Ingeniería Industrial

MÉTODOS, ESTÁNDARES Y DISEÑO DEL TRABAJO

11ª Edición

Niebel • Freivalds

CONTIENE CD



Alfaomega

Prefacio xv

1 Métodos estándares y diseño del trabajo: introducción 1

2 Técnicas para la solución de problemas 21

3 Análisis de la operación 71

4 Diseño del trabajo manual 127

5 Diseño del lugar de trabajo, equipo y herramientas 181

6 Diseño del entorno de trabajo 233

7 Diseño del trabajo cognitivo 287

8 Implantación del método propuesto 333

9 Estudio de tiempos 373

10 Calificación del desempeño 409

11 Suplementos 431

12 Datos y fórmulas de estándares 457

13 Sistemas de tiempos predeterminados 483

14 Muestreo del trabajo 525

15 Estándares de mano de obra indirecta y general 555

16 Seguimiento y uso de estándares 585

17 Pago de salarios 613

18 Capacitación y otras prácticas administrativas 639

Apéndice 1: Glosario 672

Apéndice 2: Fórmulas útiles 691

Apéndice 3: Tablas especiales 695

Apéndice 4: Norma militar MIL-STD-1567A 715

Índice 719

Universidad de Occidente

Prefacio xv

Capítulo 1

Métodos estándares y diseño del trabajo: introducción 1

Importancia de la productividad 1
Alcance de los métodos y los estándares 4
Desarrollos históricos 9
Resumen 16
Preguntas 18
Referencias 19
Sitios en Internet 20

Capítulo 2

Técnicas para la solución de problemas 21

Técnicas de exploración 23
Técnicas de registro y análisis 30
Relaciones cuantitativas entre herramientas,trabajador y máquina 42
Resumen 64
Preguntas 65
Problemas 66
Referencias 69
Software seleccionado 70

Capítulo 3

Análisis de la operación 71

Nueve enfoques principales del análisis de la operación 72
1. Propósito de la operación 73
2. Diseño de partes 76
3. Tolerancias y especificaciones 79
4. Material 82
5. Secuencia y procesos de manufactura 87
6. Preparaciones y herramientas 94
7. Manejo de materiales 100
8. Distribución de planta 110
9. Diseño del trabajo 119
Resumen 119
Preguntas 122
Problemas 123
Referencias 125
Software seleccionado 126
Videocintas seleccionadas 126

Capítulo 4

Diseño del trabajo manual 127

Sistema óseomuscular 128
Principios de diseño del trabajo: capacidades humanas y economía de movimientos 130
Estudio de movimientos 148
Trabajo manual y guía de diseño 153
Resumen 175
Preguntas 176
Problemas 177
Referencias 178
Software seleccionado 180
Sitios en Internet 180

Capítulo 5

Diseño del lugar de trabajo, equipo y herramientas 181

Antropometría y diseño 181
Principios de diseño del trabajo: el lugar de trabajo 187

Principios de diseño del trabajo: máquinas y equipo 198
Desórdenes por trauma acumulado 206
Principios de diseño del trabajo: herramientas 212
Resumen 226
Preguntas 226
Problemas 227
Referencias 230
Software seleccionado 232
Sitios en Internet 232

Capítulo 6

Diseño del entorno de trabajo 233

Iluminación 234
Ruido 242
Temperatura 250
Ventilación 255
Vibración 258
Radiación 261
Trabajo por turnos y horarios de trabajo 261
Seguridad 268
Administración de la seguridad en el trabajo y la salud (OSHA) 273
Programa de ergonomía de OSHA 277
Resumen 280
Preguntas 281
Problemas 283
Referencias 284
Software seleccionado 285
Sitios en Internet 285

Capítulo 7

Diseño del trabajo cognitivo 287

Teoría de la información 288
Modelo de procesamiento de información humano 289
Codificación de información: principios generales de diseño 306
Pantalla de información visual: principios de diseño específicos 311
Pantalla de información auditiva: principios de diseño específicos 316
Interacción persona-computadora: consideraciones de hardware 317
Interacción persona-computadora: consideraciones de software 322
Resumen 324
Preguntas 324
Problemas 326
Referencias 330
Software seleccionado 332
Sitios en Internet 332

Capítulo 8

Implantación del método propuesto 333

Herramientas de toma de decisiones 334
Presentación del método propuesto 348
Implantación 349
Análisis de puestos 352
Evaluación de puestos 353
Ley para discapacitados en Estados Unidos 363
Seguimiento 364
Implantación exitosa de métodos 365
Resumen 367
Preguntas 367
Problemas 368
Referencias 369
Software seleccionado 371

Capítulo 9

Estudio de tiempos 373

Un día de trabajo justo 374
Requerimientos del estudio de tiempos 375
Equipo para el estudio de tiempos 377
Elementos del estudio de tiempos 383
Inicio del estudio 386
Ejecución del estudio 394
Calificación del desempeño del operario 394
Cálculos del estudio 395
Tiempo estándar 397

Resumen 403
Preguntas 404
Problemas 405
Referencias 407
Software seleccionado 407
Videocintas seleccionadas 408

Capítulo 10
Calificación del desempeño 409

Desempeño estándar 410
Características de calificaciones razonables 411
Métodos para calificar 413
Aplicación de la calificación 420
Análisis de calificaciones 420
Capacitación para calificar 422
Resumen 427
Preguntas 427
Problemas 428
Referencias 428
Software seleccionado 429
Videocintas seleccionadas 429

Capítulo 11
Suplementos 431

Usos de los suplementos 431
Suplementos constantes 434
Suplementos por fatiga variable 435
Suplementos especiales 447
Aplicaciones de los suplementos 451
Resumen 452
Preguntas 452
Problemas 453
Referencias 454

Capítulo 12
Datos y fórmulas de estándares 457

Desarrollo de datos de tiempo estándar 458
Desarrollo de fórmulas a partir de datos empíricos 462
Fórmulas analíticas 468
Uso de datos de estándares 473
Resumen 478
Preguntas 479
Problemas 480
Referencias 482
Software seleccionado 482

Capítulo 13
Sistemas de tiempos predeterminados 483

Métodos de medición de tiempo (MTM) 485
Técnica secuencial de operación Maynard (MOST—*Maynard Operation Sequence Technique*) 508
Aplicación de tiempos predeterminados 514
Resumen 518
Preguntas 520
Problemas 521
Referencias 523
Software seleccionado 523

Capítulo 14
Muestreo del trabajo 525

Teoría de muestreo del trabajo 526
Aceptación del muestreo del trabajo 531
Planes de estudios de muestreo del trabajo 532
Registro de observaciones y datos 540
Utilización de máquinas 540
Determinación de suplementos 541
Determinación de tiempos estándar 543
Autoobservación 544
Software para muestreo del trabajo 548
Resumen 550
Preguntas 550
Problemas 551
Referencias 553
Software seleccionado 553
Videocintas seleccionadas 553

Universidad de Occidente · Unidad Los Mochis

Capítulo 15

Estándares de mano de obra indirecta y general 555

Estándares del trabajo indirecto y general 556
Datos de estándares de mano de obra indirecta y general 571
Estándares de desempeño profesional 575
Ventajas de los estándares del trabajo indirecto 579
Resumen 580
Preguntas 581
Problemas 582
Referencias 583
Videocintas seleccionadas 583

Capítulo 16

Seguimiento y uso de estándares 585

Seguimiento y mantenimiento de tiempos estándar 586
Uso de estándares 589
Resumen 608
Preguntas 611
Problemas 611
Referencias 612
Software seleccionado 612

Capítulo 17

Pago de salarios 613

Planes de jornada de trabajo 614
Planes de compensación flexibles 615
Planes financieros indirectos 626
Actitudes del sindicato 626
Requisitos de un plan de incentivos salariales 627
Diseño del plan de incentivos al salario 628
Administración del sistema de incentivos 630
Planes de motivación no financieros 634
Resumen 634
Preguntas 636
Problemas 636
Referencias 638
Software seleccionado 638

Capítulo 18

Capacitación y otras prácticas administrativas 639

Capacitación del operario 640
Programas de capacitación en la planta 647
Empleados y motivación 649
Interacciones humanas 654
Comunicaciones 658
Relaciones laborales y medición del trabajo 662
Prácticas modernas de administración 663
Resumen 668
Preguntas 669
Problemas 669
Referencias 670
Software seleccionado 671

Apéndice 1
Glosario 672

Apéndice 2
Fórmulas útiles 691

Apéndice 3
Tablas especiales 695

Apéndice 4
MIL-STD-1567A 715

Índice 719

Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

ANTECEDENTES

Ante la competencia creciente alrededor del mundo, casi todas las industrias, negocios y organizaciones de servicio han tenido que reestructurarse para operar con mayor efectividad. Reducir su tamaño se ha convertido en una tendencia.Cada segmento de estas organizaciones debe aumentar la intensidad de su reducción de costos y el mejoramiento de la calidad, al mismo tiempo que reducir su fuerza de trabajo. La efectividad en costos y la confiabilidad del producto son esenciales para el éxito de las actividades en todas las áreas de negocios, industria y gobierno. La efectividad en costos con una calidad mejorada dentro de la capacidad restringida de la planta es el resultado final de los métodos de ingeniería, estándares de tiempo equitativos y una mayor motivación de los empleados mediante la introducción de un sistema administrativo moderno de recompensas.

De la misma manera, conforme las máquinas y equipo son cada vez más complejos y se automatizan, en parte o por completo, es más importante estudiar tanto las componentes manuales como los aspectos cognitivos del trabajo. El operario debe percibir e interpretar grandes cantidades de información, tomar decisiones importantes y controlar las máquinas con rapidez y exactitud. En los años recientes, los trabajo han cambiado gradualmente del sector de manufactura al de servicios. En ambos sectores, el énfasis ha ido cambiando de la actividad física burda al procesamiento de información y la toma de decisiones, en particular a través de las computadoras y la tecnología moderna asociada. La misma eficiencia y técnicas de diseño del trabajo son esenciales para mejorar la productividad en cualquier industria, negocio u organización de servicio, ya sea un banco, un hospital, una tienda de departamentos, un ferrocarril o el servicio postal. Más aún, el éxito en una línea dada de productos o servicios conduce a nuevos productos e innovaciones. Es esta acumulación de éxito la que impulsa la creación de empleos y el crecimiento de la economía.

El lector debe tener cuidado de no sentirse intimidado por el nuevo vocabulario ofrecido como panacea para la falta de competitividad de una empresa. Con frecuencia estas maniobras destruyen los buenos procedimientos de ingeniería y administración que, al utilizarlos de manera adecuada, representan la clave para un éxito continuo. Así, se escucha a muchas personas hablar de reingeniería y del uso de equipos de función cruzada conforme los líderes de negocios reducen costos, inventarios, tiempos de ciclo y actividades que no agregan valor. Sin embargo, la experiencia en los últimos años comprueba que disminuir el número de empleados en la nómina sólo por automatizar sus trabajos no siempre es un camino inteligente. Los autores, con muchos años de ex-

pericia en más de 100 industrias, recomiendan con firmeza la aplicación de una ingeniería de métodos sólida, estándares realistas y pagos salariales equitativos como el fundamento de la prosperidad tanto en la manufactura como en los servicios.

POR QUÉ SE ESCRIBIÓ ESTE LIBRO

El objetivo de la undécima edición es el mismo que el de la décima: proporcionar un libro de texto universitario práctico, actualizado que describa la ingeniería de métodos para medir, analizar y diseñar el trabajo manual. La importancia de la ergonomía y el diseño del trabajo como parte de la ingeniería de métodos no sólo aumenta la productividad, sino mejora la salud y la seguridad del trabajador y, con ello, los costos finales de la compañía. Con demasiada frecuencia, los ingenieros industriales se enfocan sólo en el incremento de la productividad mediante la aplicación de cambios de métodos y simplificación del trabajo, lo que da como resultado tareas muy repetitivas para los operarios y un incremento en las tasas de incidencia de lesiones óseomusculares. Cualquier reducción en los costos obtenida se contrarresta por el incremento en los gastos médicos y de indemnización para los trabajadores, en especial si se considera el aumento constante en los costos del cuidado de la salud.

QUÉ HAY NUEVO EN LA UNDÉCIMA EDICIÓN

Se incluyó un capítulo nuevo, el capítulo 7, acerca de los aspectos cognitivos del trabajo, el procesamiento de información y la interfaz hombre-computadora. Los conceptos en este capítulo cobran una importancia creciente con la disminución constante de las tareas de manufactura en Estados Unidos y el aumento en la trascendencia del sector servicios. Se proporcionan ejemplos adicionales y casos de estudio que ilustran aplicaciones en la industria de servicios (vea el capítulo 14). Se redujo el alcance de algunos temas de menor importancia o de aquellos que han sido reemplazados por cambios tecnológicos. Por ejemplo, los capítulos 11 y 12 de la décima edición, centrados en los datos de estándares y la construcción de fórmulas, se han combinado en esta edición, dado que estas funciones ahora pueden lograrse usando varios paquetes de software disponibles en el mercado. Se agregaron cerca de 10 a 15% de ejemplos. La undécima edición todavía proporciona el apoyo continuo en muestreo del trabajo, estudio de tiempos, distribución de instalaciones y los diferentes diagramas de flujo de procesos para los estudiantes que ingresan a la profesión de ingeniería industrial y sirve como material de referencia práctico y actualizado para el ingeniero y el administrador que ya se encuentran en la práctica.

EN QUÉ DIFIERE ESTE LIBRO DE OTROS

La mayor parte de los libros de texto en el mercado tienen un manejo estricto de los elementos tradicionales del estudio de tiempos y movimientos, o bien incluyen los factores humanos y la ergonomía. Pocos libros integran ambos temas, o para el caso, pocos cursos. En la actualidad, el ingeniero industrial necesita considerar tanto los aspectos de

productividad como sus efectos en la salud y la seguridad del trabajador de manera simultánea. Pocos libros en el mercado tienen un formato que pueda usarse en el salón de clase. Este texto incluye preguntas adicionales, problemas y ejercicios muestra para el laboratorio que ayudarán al instructor. Por último, ningún libro de texto en esta materia cuenta con la amplia ayuda en Internet para el estudiante y el instructor, que proporcione formas electrónicas, información actualizada y cambios como lo hace esta edición.

ORGANIZACIÓN DEL MATERIAL PARA EL CURSO

La undécima edición está ordenada de manera que se cubra más o menos el material de un capítulo por semana en un curso semestral introductorio. Aunque hay un total de 18 capítulos, el capítulo 1 es una introducción breve, el capítulo 12 sobre construcción de fórmulas se puede cubrir en un curso de estadística y el 15 de estándares de trabajo indirecto y costos no es necesario incluirlo en un curso introductorio, lo que deja 15 capítulos para cubrir en un semestre.

Un plan semestral típico por capítulo puede ser el siguiente:

Capítulo	Clases	Qué se cubre en el curso
1	1	Breve introducción de la importancia de la productividad y el diseño del trabajo, con un perspectiva histórica concisa.
2	3	Algunas técnicas de cada área (análisis de Pareto, análisis del trabajo/guía para el lugar de trabajo, diagramas de flujo del proceso, diagramas hombre-máquina) con el análisis cuantitativo de las interacciones hombre-máquina. El balanceo de líneas se puede cubrir en otros cursos.
3	3	Análisis de la operación con algunos ejemplos.
4	4	Completo, pero la fisiología de los músculos y el gasto de energía pueden ser superficiales.
5	4	Completo.
6	4	Bases de iluminación, ruido, temperatura y quizá otros dos temas más. Seguridad y OSHA se pueden ver en otro curso.
7	3	La cobertura depende del interés del instructor.
8	3	Tres técnicas: ingeniería del valor, análisis costo-beneficio y diagramas cruzados; análisis y evaluación del trabajo e interacción con los trabajadores. Otras técnicas se pueden cubrir en otras clases.
9	2-3	Bases del estudio de tiempos.
10	1	Una forma de calificar.
11	2	Primera mitad de los suplementos que están bien establecidos.
12	1-2	Cubrir datos de estándares y fórmulas depende del interés del profesor.
13	3	Sólo un sistema de tiempos predeterminados con detalle.
14	2	Muestreo del trabajo.
15	1	Cobertura de estándares de mano de obra directa y general según los intereses del profesor.
16	2	Panorama general y costeo.
17	2	Plan de jornada de trabajo y horas estándar.
18	3	Curvas de aprendizaje, motivación y aptitudes de las personas.

El plan recomendado completa 40 a 45 clases. Tal vez algunos profesores dediquen más tiempo a algún capítulo para el que se proporciona material adicional, como diseño del trabajo (capítulos 4 a 7) y menos a la medición del trabajo tradicional (capítulos 8 a 16) o viceversa. El libro tiene esta flexibilidad.

MATERIAL SUPLEMENTARIO Y AYUDA EN LÍNEA

Esta undécima edición continúa centrándose en el omnipresente uso de las computadoras personales e Internet para establecer estándares, conceptualizar posibilidades, evaluar costos y difundir información. Una página en Internet (http://www.mhhe.com/niebel-freivalds), completa el objetivo al proporcionar al instructor amplios recursos en línea. El sitio incluye el manual del instructor actualizado, con copias electrónicas de las formas necesarias, problemas de práctica adicionales, casos de estudio y ejercicios de laboratorio sugeridos. El programa Design Tools, para estudio de tiempos, muestreo del trabajo, datos estándar, costeo, etcétera, también está disponible. Una característica nueva de la página es la adición de QuikTS y TimerPro, ambos son programas de recolección de datos para estudio de tiempos. Este último se puede bajar vía Hotsync a una agenda electrónica (Palm, m105 o superior) y usarse para recolectar los datos. Después se descargan directamente en la forma de estudio de tiempos de DesignTools para facilitar los cálculos del tiempo estándar. Para su comodidad, estos programas se incluyen en el CD anexo a este libro.

La página del libro tiene un vínculo publicado por el autor en http://www.ie.psu.edu/courses/ie327, que proporciona al instructor material antecedente, que incluye las versiones electrónicas de las formas diponibles en el manual del profesor. Los recursos para los estudiantes incluyen exámenes de práctica y sus soluciones. La información actualizada de errores encontrados o correcciones necesarias en esta nueva edición también aparece en la página. Algunas sugerencias recibidas de personas en universidades, escuelas, institutos técnicos, industrias y organizaciones laborales que usan con regularidad este libro han ayudado materialmente en la preparación de esta undécima edición. Otras sugerencias serán bienvenidas, en especial si se encuentran errores. Para hacerlas llegar, por favor, sólo oprima el botón de *OOPS!* en la dirección de Internet o por correo electrónico: *axf@psu.edu*. Igual que la página de Internet ésta también evolucionará continuamente. Todo el material antes mencionado está en inglés y su disponibilidad está sujeta a las condiciones específicas que se indican en estas páginas de Internet.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al profesor Ben Niebel (finado) por darme la oportunidad de contribuir a su respetado libro. Espero que las adiciones y modificaciones estén a la altura de sus estándares y continúe siendo útil para los ingenieros industriales al incorporarse a la planta productiva. Gracias al Dr. Dongjoon Kong de la University of Tennessee, por dedicar tanto tiempo en Penn State a la programación de DesignTools. Gracias también a los siguientes revisores por sus invaluables sugerencias:

Farhad Booeshaghi, *Florida State University*
Louis Freund, *San Jose State University*
Mikell P. Groover, *Lehigh University*
Monroe Keyserling, *University of Michigan*
Gary P. Maul, *Ohio State University*
Unny Menon, *California Polytechnic State University, San Luis Obispo*
Patrick Patterson, *Iowa State University*
Thomas Robinson, *California State University, Long Beach*

Por último, quiero expresar mi gratitud a Dace por su paciencia y apoyo.

Andris Freivalds

Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

Fórmulas

Servicio sincronizado

$$n = \frac{l + m}{l + w}$$

$$CTE_{n_1} = \frac{(l + m)(K_1 + n_1 K_2)}{n_1}$$

$$CTE_{n_2} = (l + w)(K_1 + n_2 K_2)$$

Servicio aleatorio

$$\frac{n!}{m!(n-m)!}\, p^m q^{(n-m)}$$

$$CTE = \frac{K_1 + nK_2}{R}$$

Eficiencia en la línea

$$E = \frac{\sum ME}{\sum MP} \times 100 \qquad N = R \times \frac{\sum ME}{E}$$

Tarea de enrosque de Fitts

$$MT = a + b \log_2 \frac{2D}{W}$$

Descanso recomendado

$$R = \frac{W - 5.33}{W - 1.33}$$

Guía de levantamiento

$$\text{LPR (lb)} = 51\,(10/\text{H})\,(1 - 0.0075|\text{V} - 30|)\,(0.82 + 1.8/\text{D})(1 - 0.0032\text{A})\text{MF} \times \text{MC}$$

$$\text{IL} = \text{Peso de la carga}/\text{LPR}$$

Dosis de ruido

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \ldots \leq 1.0$$

Estrés por calor

$$TGBH_{IN} = .7BH + .3TG$$

$$TGBH_{SAL} = .7BH + .1BS + .2TG$$

Tasa de incidencia $$TI = 200\,000\frac{1}{H}$$

Tasa de severidad $$TS = 200\,000\frac{LT}{H}$$

Procesamiento de información

$$H = \sum p_i \times \log_2(1/p_i)$$

$$\% \text{ redundancia} = (1 - \mathrm{H}/\mathrm{H}_{\text{máx}}) \times 100$$

$$\mathrm{RT} = \mathrm{a} + \mathrm{bH}$$

Estudio de tiempos

$$n = \left(\frac{st}{k\bar{x}}\right)^2$$

$$TN = \frac{TO \times CALIFICACIÓN}{100}$$

$$TS = TN * (1 + SUPLEMENTO)$$

Calificación sintética

$$P = \frac{f_T}{TO}$$

Interferencia de máquina

$$I = 50\left[\sqrt{(1 + X - N)^2 + 2N} - (1 + X - N)\right]$$

Tiempo de corte

$$T = \frac{L}{F_m}$$

Tasa de alimentación

Taladro, torno $$F_m = \frac{3.82 f S_f}{d}$$

Fresadora $$F_m = f n_t N_r$$

Ecuaciones de geometría

Recta

$$y = b_0 + b_1 x$$

$$b_0 = \frac{(\sum x^2)(\sum y) - (\sum x)(\sum xy)}{(n)(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b_1 = \frac{(n)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{(n)(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

Círculo $$x^2 + y^2 = r^2$$

Elipse $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$

Parábola $x^2 = \frac{a^2 y}{b}$

Hipérbola $\frac{y^2}{a^2} - \frac{x^2}{k^2} = 1$

Función de potencia $y = bm^x$

Muestreo del trabajo $n = \frac{3.84\,p(1-p)}{l^2}$

$TO = \frac{T \times n_i}{P \times n}$

Probabilidad Poisson $p(k) = \frac{a^k e^{-a}}{k!}$

Eficiencia de mano de obra $E = \frac{He}{Hc}$

Costo de materiales $\text{Costo} = Q(1 + L_{sc} + L_w + L_{SH})C - S$

Incentivos salariales $y_w = 1 + p(x-1)$

Costo unitario mano de obra $y_c = \frac{y_w}{x}$

Curva de aprendizaje $y = kx^n \quad n = \frac{\log(\text{cociente de aprendizaje})}{\log 2}$

Tiempo total de aprendizaje $T = k\,\frac{[(x_2 + 1/2)^{n+1} - (x_1 - 1/2)^{n+1}]}{n+1}$

Línea de envíos $y = k + \frac{(k-s)(x-1)}{1-x_s}$

Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

CAPÍTULO 1

Métodos, estándares y diseño del trabajo: introducción



PUNTOS CLAVE:

- Aumentar la productividad impulsa a la industria.
- La seguridad e higiene del trabajador son tan importantes como la productividad.
- La ingeniería de métodos simplifica el trabajo.
- El diseño del trabajo adapta la tarea al operario.
- El estudio de tiempos mide el trabajo y establece los estándares.

IMPORTANCIA DE LA PRODUCTIVIDAD

Ciertos cambios continuos que ocurren en el entorno industrial y de negocios deben estudiarse desde el punto de vista económico y práctico. Éstos incluyen la globalización del mercado y de la fabricación, la estratificación de las corporaciones en un esfuerzo por ser más competitivas sin deteriorar la calidad, el incremento en el uso de computadoras en todas las facetas de una empresa y la expansión sin límite de las aplicaciones informáticas. La única posibilidad para que una empresa o negocio crezca y aumente su rentabilidad es aumentar la productividad. El mejoramiento de la productividad se refiere al aumento de la producción por hora-trabajo o por tiempo gastado. Desde hace mucho, Estados Unidos se ha caracterizado por tener la más alta productividad del mundo. Durante los últimos 100 años, su productividad ha aumentado cerca de 4% por año. Sin embargo, en la última década, su tasa de incremento en productividad ha sido superada por Japón, Corea y Alemania, y le siguen muy de cerca Italia, Francia y China.

Las técnicas fundamentales que dan como resultado incrementos en la productividad son: métodos, estándares de estudio de tiempos (también conocidos como medición del trabajo) y diseño del trabajo. Del costo total de una compañía metalmecánica típica, 12% corresponde a mano de obra directa, 45% a materiales y 43% a costos generales. Todos los aspectos del negocio o la industria —ventas, finanzas, producción, ingeniería, costos, mantenimiento y administración— constituyen áreas fértiles para la aplicación de métodos, estándares y diseño del trabajo. Con mucha frecuencia, sólo se toma en cuenta la función de producción al aplicar estas técnicas. Pero aunque esta función es muy importante, otros aspectos de la empresa hacen contribuciones sustanciales al costo de operación y tiene la misma validez aplicar en ellos las técnicas de mejoramiento del costo. En ventas, por ejemplo, con los métodos modernos de obtención de información, casi siempre se obtiene información más confiable que conduce a mayores ventas con menor costo. Las cuotas de ventas para ciertas regiones proporcionan una base o estándar que el personal de ventas se esfuerza por superar y el pago por resultados siempre produce un desempeño mayor que el estándar.

Hoy, la mayor parte de los negocios e industrias estadounidenses se ha visto en la necesidad de reestructurar y disminuir el tamaño de sus empresas para operar con mayor efectividad en un mundo cada vez más competitivo. Con más intensidad que nunca, aplican la reducción de costos y el mejoramiento de la calidad mediante una mayor productividad. También es crítico el análisis de todas las componentes del negocio que no contribuyen a su rentabilidad.

Como el área de producción dentro de las industrias de manufactura contrata el mayor número de hombres y mujeres jóvenes para métodos, estándares y diseño del trabajo, este libro analizará ese campo con más detalle que cualquier otro. Sin embargo, se proporcionarán ejemplos de otras áreas, como mantenimiento, transporte, ventas y administración, al igual que de la industria de servicios.

Las áreas de oportunidad en producción para estudiantes de ingeniería, administración industrial, administración de empresas, psicología industrial y relaciones laborales son: 1) medición del trabajo, 2) métodos y diseño del trabajo, 3) ingeniería de producción, 4) análisis y control de manufactura, 5) planeación de instalaciones, 6) administración de salarios, 7) ergonomía y seguridad, 8) control de producción e inventarios y 9) control de calidad. Otras áreas como relaciones industriales o laborales, costos y presupuestos tienen una relación estrecha con el grupo de producción y dependen de él. Estas áreas de oportunidad no se limitan a la industria de la manufactura, ya que existen y tienen la misma importancia en empresas de servicio, por ejemplo, tiendas departamentales, hoteles, instituciones educativas, hospitales, bancos, aerolíneas, aseguradoras, centros militares de servicio, organismos de gobierno y centros de retiro. Hoy, en Estados Unidos, sólo alrededor de 20% de la población económicamente activa trabaja en la industria de la fabricación. El 80% restante participa en la industria de servicios o en puestos relacionados con personal. Conforme aumenta la orientación hacia la industria de servicios, habrá que usar las filosofías y técnicas de métodos, estándares y diseño del trabajo en ese sector. En cualquier situación en la que interactúen personas, materiales e instalaciones para lograr un objetivo, se podrá mejorar la productividad con la aplicación inteligente de métodos, estándares y diseño del trabajo.

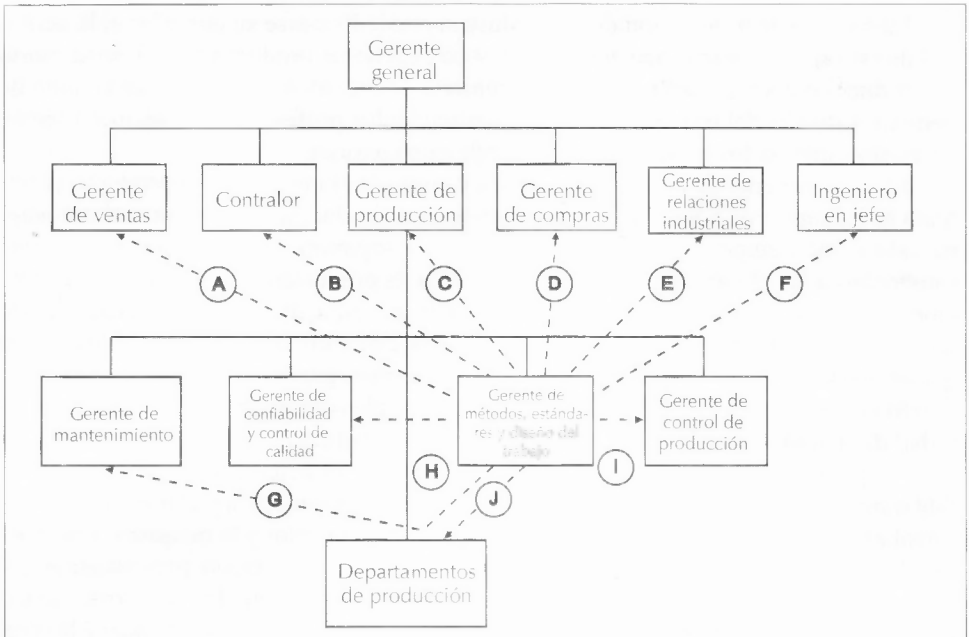
La sección de producción de una industria puede llamarse su corazón; si la actividad de esta área se interrumpe, toda la industria deja de ser productiva. El departamento de producción incluye actividades de ingeniería de métodos, estándares de estudio de tiempos y diseño del trabajo; por lo tanto, ofrece a los profesionales y técnicos recién egresados, uno de los campos de acción más satisfactorios.

El departamento de producción ordena y controla el material para producir; determina la secuencia de operaciones, inspecciones y métodos; solicita herramientas; asigna valores de tiempos; programa, despacha y da seguimiento al trabajo; y mantiene satisfechos a los clientes con la entrega oportuna de productos de calidad. La capacitación en este campo muestra cómo se efectúa la producción, dónde se lleva a cabo, cuándo se realiza y cuánto tarda. Los conocimientos en este campo serán invaluables, ya sea que el objetivo personal en última instancia sea ventas, producción o costos.

Si el departamento de producción se considera el corazón de una industria, la actividad de métodos, estándares y diseño del trabajo es el corazón del grupo de producción. Aquí, más que en cualquier otra parte, las personas determinan si el producto se fabricará de manera competitiva. Es aquí donde se usa la iniciativa y el ingenio para desarrollar herramientas eficientes, relaciones entre el trabajador y la máquina, y estaciones de trabajo para nuevos productos, con antelación a la producción, para asegurar que el producto supere la prueba que impone una competencia fuerte. Es aquí donde se usa la creatividad para mejorar los métodos y productos existentes a fin de ayudar a la compañía a alcanzar el liderazgo con su línea de productos. Con esta actividad pueden mantenerse buenas relaciones laborales a través del establecimiento de estándares de trabajo justos, o puede ser un obstáculo si se establecen tasas injustas.

El trabajo de métodos, estándares y diseño del trabajo ofrece retos reales. Todas las industrias con personal competente de ingeniería, administración de negocios, relaciones industriales, supervisión con capacitación específica y psicología aplicada que usan técnicas de métodos, estándares y diseño del trabajo, estarán mucho mejor equipadas para enfrentarse a la competencia y operar con ganancias.

El objetivo del gerente de producción es fabricar un producto de calidad, a tiempo, al menor costo posible, con una inversión de capital mínima y una satisfacción de los empleados máxima. El trabajo central del gerente de confiabilidad y control de calidad es cumplir con las especificaciones de ingeniería y satisfacer al cliente con el nivel de calidad y confiabilidad del producto durante su vida útil esperada. El gerente de control de producción está interesado sobre todo en establecer y seguir un programa de producción con la debida consideración de las necesidades del cliente y de la obtención de economías favorables que pueden lograrse con una programación minuciosa. El gerente de métodos, estándares y diseño del trabajo se ocupa de obtener la combinación del menor costo de producción posible y la mayor satisfacción del empleado sin sacrificar la seguridad en el lugar de trabajo. El gerente de mantenimiento debe centrarse en minimizar el tiempo de fallas en el proceso debido a descomposturas y reparaciones no programadas. La figura 1–1 ilustra la relación entre el gerente del departamento de métodos, estándares y diseño del trabajo, y el personal y la línea de departamentos que dependen del gerente general.



A) El costo está determinado principalmente por los métodos de fabricación.
B) Los estándares de tiempo son la base de los costos estándar.
C) Los estándares (directos e indirectos) proporcionan las bases para medir el desempeño de los departamentos de producción.
D) El tiempo es común denominador para comparar equipos y suministros competitivos.
E) Se mantienen buenas relaciones laborales con estándares equitativos y un entorno de trabajo seguro.
F) El diseño de métodos y procesos tiene una gran influencia en el diseño de productos.
G) Los estándares establecen las bases del mantenimiento preventivo.
H) Los estándares aseguran la calidad.
I) La programación se basa en los estándares de tiempo.
J) Los métodos, estándares y diseño del trabajo indican cómo y en qué tiempo se hará el trabajo.

Figura 1–1
Organigrama típico que muestra la influencia de las actividades de métodos, estándares y diseño del trabajo en la operación de la empresa.

ALCANCE DE LOS MÉTODOS Y LOS ESTÁNDARES

La ingeniería de métodos incluye diseñar, crear y seleccionar los mejores métodos, procesos, herramientas, equipo y habilidades de manufactura para fabricar un producto basado en planos y especificaciones desarrollados en la sección de ingeniería del producto. Cuando el mejor método interactúa con las mejores habilidades disponibles, surge una relación máquina-trabajador eficiente. Una vez establecido el método completo, la responsabilidad de determinar el tiempo estándar requerido para fabricar un producto se encuentra dentro del alcance de este libro. También incluye la responsabilidad de un

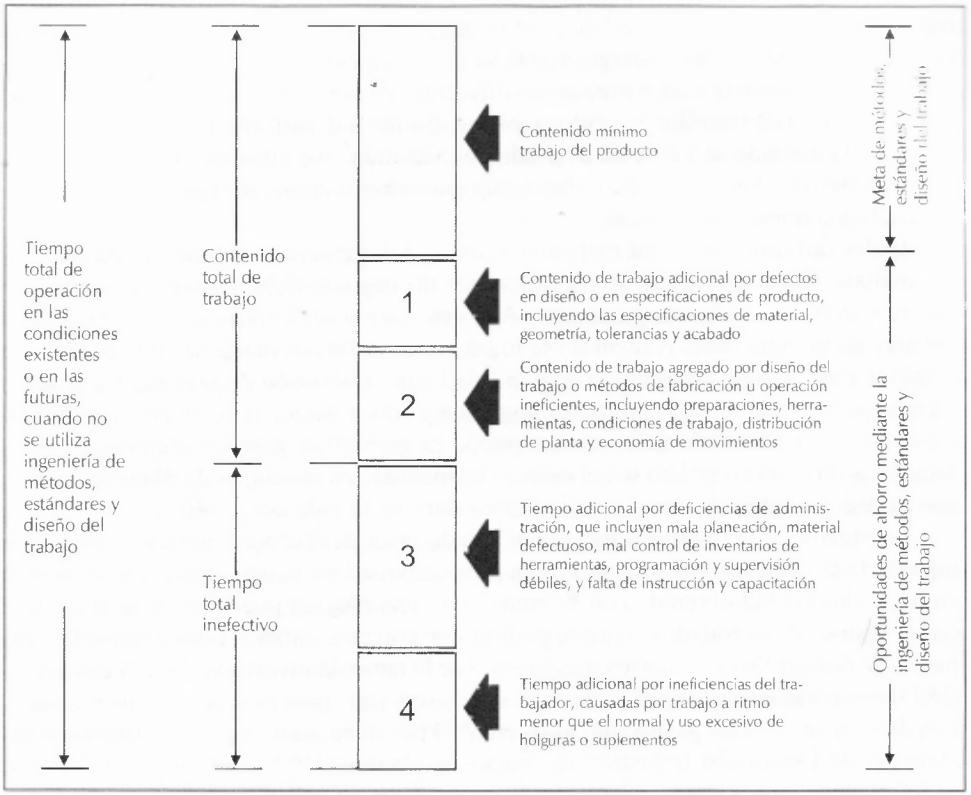


Figura 1–2
Oportunidades de ahorro con la aplicación de ingeniería de métodos y estudio de tiempos.

seguimiento para asegurar que: a) se cumplen los estándares predeterminados; b) los trabajadores tienen una compensación adecuada por su producción, habilidades, responsabilidades y experiencia, y c) los trabajadores están satisfechos con su trabajo.

El procedimiento global incluye: definir el problema; desglosar el trabajo en operaciones; analizar cada operación para determinar los procedimientos de manufactura más económicos para la cantidad dada, con la debida consideración de la seguridad del operario y su interés en el trabajo; aplicar valores de tiempo adecuados, y después dar seguimiento para verificar que opera el método prescrito. La figura 1–2 ilustra la oportunidad de reducir el tiempo de producción mediante la aplicación de ingeniería de métodos y estudio de tiempos.

INGENIERÍA DE MÉTODOS

Los términos *análisis de operaciones*, *diseño y simplificación del trabajo*, ingeniería de métodos y reingeniería corporativa, se usan con frecuencia como sinónimos. En muchos casos, se refieren a una técnica para aumentar la producción por unidad de tiempo

o disminuir el costo por unidad de producción, dicho en otras palabras, mejoramiento de la productividad. Sin embargo, según se define en este libro, la ingeniería de métodos implica el análisis en dos momentos diferentes de la historia de un producto. Primero, el ingeniero de métodos es responsable de diseñar y desarrollar los diversos centros de trabajo en donde se fabricará el producto. Segundo, ese ingeniero debe estudiar de manera continua los centros de trabajo para encontrar una mejor manera de fabricar el producto y aumentar su calidad.

En los últimos años, se ha dado el nombre de reingeniería corporativa a este segundo análisis. En este sentido, se reconoce que un negocio debe introducir cambios si quiere seguir operando con ganancias. Así, una opción sería introducir cambios fuera del área de manufactura. A menudo se logra incrementar los márgenes de utilidad con cambios positivos en áreas como contabilidad, administración de inventarios, planeación de requerimientos de materiales, logística y administración de recursos humanos. La automatización de la información puede proporcionar grandes mejoras en estas áreas. Cuanto más completo sea el estudio de métodos en las etapas de planeación, menos necesidad habrá de estudios adicionales durante la vida del producto.

La ingeniería de métodos incluye el uso de la capacidad tecnológica. Debido a la ingeniería de métodos, las mejoras en la productividad no tienen límite. La diferencia en la productividad obtenida con la innovación tecnológica puede tener tal magnitud que los países desarrollados siempre podrán mantener su competitividad respecto a los países en desarrollo con salarios más bajos. Por lo tanto, la investigación y el desarrollo (I&D) que conducen a nuevas tecnologías son esenciales para la ingeniería de métodos. Los diez países con los gastos más altos en I&D por trabajador, según informa la Organización de Desarrollo Industrial de Naciones Unidas (1985), son: Estados Unidos, Suiza, Suecia, Países Bajos, Alemania, Noruega, Francia, Israel, Bélgica y Japón. Estos países son líderes en productividad. Si continúan dedicando recursos a la investigación y desarrollo, la ingeniería de métodos, a través de la innovación tecnológica, será un instrumento que apoye su habilidad para proporcionar bienes y servicios de alto nivel.

Los ingenieros de métodos usan un procedimiento sistemático para desarrollar un centro de trabajo, fabricar un producto o proporcionar un servicio. Este procedimiento resume la continuidad de este libro y se describe a continuación. Observe que los pasos 6 y 7 no son parte del estudio de métodos, pero son necesarios en un centro de trabajo que se encuentra en operación.

1. *Seleccionar el proyecto.* Por lo común, los proyectos seleccionados representan ya sea nuevos productos o productos existentes que tienen un alto costo de manufactura y pocas ganancias. También, los productos que experimentan dificultades para mantener su calidad y que tienen problemas de competitividad son proyectos lógicos para la ingeniería de métodos. (Vea más detalles en el capítulo 2.)
2. *Obtener y presentar los datos.* Se reúnen todos los hechos importantes relacionados con el producto o servicio. Éstos incluyen dibujos y especificaciones, requerimientos de cantidad y de entrega, y proyecciones de la vida prevista del producto o servicio. Una vez obtenida toda la información importante, se registra en forma ordenada para su estudio y análisis. En este punto, es muy útil el desarrollo de diagramas de proceso. (Vea más detalles en el capítulo 2.)

3. *Analizar los datos*. Se usan los enfoques básicos del análisis de operaciones para decidir qué alternativa dará como resultado el mejor producto o servicio. Estos enfoques básicos incluyen propósito de la operación, diseño de la parte, tolerancias y especificaciones, materiales, proceso de manufactura, preparación y herramientas, condiciones de trabajo, manejo de materiales, distribución de planta y diseño del trabajo. (Vea más detalles en el capítulo 3.)
4. *Desarrollar el método ideal*. Se selecciona el mejor procedimiento para cada operación, inspección o transporte tomando en cuenta las restricciones asociadas con cada alternativa, se incluyen las implicaciones de productividad, ergonomía y seguridad e higiene. (Vea más detalles en los capítulos 3-6.)
5. *Presentar y establecer el método*. Debe explicarse con detalle el propósito del método a los responsables de su operación y mantenimiento. Se consideran todos los detalles del centro de trabajo para asegurar que el método propuesto proporcione los resultados previstos. (Vea más detalles en el capítulo 8.)
6. *Desarrollar un análisis del trabajo*. Se realiza un análisis del método establecido para asegurar que los operarios se seleccionaron bien, se capacitaron y se les remunera como corresponde. (Vea más detalles en el capítulo 7.)
7. *Establecer tiempos estándar*. Se establece un estándar justo para el método implantado. (Vea más detalles en los capítulos 9-14.)
8. *Dar seguimiento al método*. De manera periódica, se audita el método instalado para determinar si la productividad y la calidad previstas son las obtenidas, si la proyección de los costos fue correcta y si pueden hacerse nuevas mejoras. (Vea más detalles en el capítulo 16.)

En resumen, la ingeniería de métodos es un escrutinio minucioso y sistemático de todas las operaciones directas e indirectas, para encontrar mejoras que faciliten la realización del trabajo en términos de la seguridad y la salud del trabajador, y permitir que se lleve a cabo en menos tiempo, con menor inversión por unidad (es decir, con mayor rentabilidad).

DISEÑO DEL TRABAJO

Como parte del desarrollo o mantenimiento de un nuevo método, deben usarse los principios de diseño del trabajo para ajustar la tarea y la estación de trabajo al operario humano, conforme a la ergonomía. Por desgracia, casi siempre se olvida el diseño del trabajo en la búsqueda de una mayor productividad. Con mucha frecuencia, la sobresimplificación de los procedimientos genera trabajos repetitivos para los operarios, lo que a su vez aumenta la tasa de lesiones óseomusculares relacionadas con el trabajo. Cualesquiera incrementos de la productividad y reducción de costos se anulan debido al aumento en los costos médicos y compensaciones al trabajador, en especial con la creciente tendencia actual en el cuidado de la salud. En consecuencia, es necesario que el ingeniero de métodos incorpore los principios de diseño del trabajo en cualquier método nuevo, de manera que no sólo sea más productivo sino también seguro y que no cause lesiones al operador. (Los capítulos 4–7 tratan este tema.)

ESTÁNDARES

Los estándares son el resultado final del estudio de tiempos o la medición del trabajo. Esta técnica establece un estándar de tiempo permitido para realizar una tarea dada, con base en la medición del contenido del trabajo del método prescrito, con la debida consideración de fatiga y retrasos personales e inevitables. El analista de estudio de tiempos usa varias técnicas para establecer un estándar: estudio de tiempos con cronómetro, captura de datos en computadora, datos estándar, sistemas de tiempos predeterminados, muestreo del trabajo y estimaciones basadas en datos históricos. Cada técnica se aplica a ciertas condiciones. El analista de estudio de tiempos debe saber cuándo usar una técnica dada y debe utilizarla con juicio y exactitud.

Las funciones del analista de estudio de tiempos y de los ingenieros de métodos tienen una relación estrecha. Aunque sus objetivos difieren, un buen analista de estudio de tiempos es un buen ingeniero de métodos, ya que una componente básica de sus técnicas es la ingeniería de métodos. En industrias pequeñas, estas dos actividades suele realizarlas la misma persona. Establecer los valores de tiempo es un paso en el desarrollo sistemático de nuevos centros de trabajo y en el mejoramiento de los métodos que se utilizan en los centros existentes.

Los estándares obtenidos se usan para implantar un esquema de salarios. En muchas compañías, en especial las pequeñas, el mismo grupo responsable de los métodos y estándares de trabajo realiza la actividad de pago de salarios. Además, esta actividad se realiza de común acuerdo con los responsables del análisis de puestos y la evaluación del trabajo, para que estas actividades interrelacionadas funcionen bien.

Control de la producción, distribución de planta, compras, contabilidad y control de costos, y diseño de procesos y productos son áreas adicionales que tienen una relación estrecha con las funciones de métodos y estándares. Para operar con efectividad, todas estas áreas dependen de los datos de tiempos y costos, hechos y procedimientos operativos que maneja el departamento de métodos y estándares. En el capítulo 16 se da una descripción breve de estas relaciones.

OBJETIVOS DE MÉTODOS, ESTÁNDARES Y DISEÑO DEL TRABAJO

Los objetivos principales de estas técnicas son: a) incrementar la productividad y la confiabilidad del producto tomando en cuenta la seguridad y b) reducir el costo unitario, para producir más bienes y servicios de calidad. La aptitud de producir más con menos redundará en más trabajos para más personas por un número mayor de horas por año. Sólo mediante la aplicación inteligente de los principios de métodos, estándares y diseño del trabajo podrán aumentar la planta productiva de bienes y servicios, a la vez que se incrementa el potencial de compra de los consumidores. Al seguir estos principios se puede minimizar el desempleo y los puestos eventuales, como consecuencia, reducir la espiral del costo del apoyo económico a los no productivos.

Los corolarios de los objetivos principales son:

1. Minimizar el tiempo requerido para realizar tareas.
2. La mejora continua de la calidad y confiabilidad de productos y servicios.

3. Conservar recursos y minimizar costos especificando los materiales directos e indirectos más adecuados para la producción de bienes y servicios.
4. Considerar con cuidado la disponibilidad de energía.
5. Maximizar la seguridad, salud y bienestar de todos los empleados.
6. Producir con una preocupación creciente por la conservación del medio ambiente.
7. Seguir un programa humanitario de administración que redunde en el interés por el trabajo y la satisfacción de cada empleado.

DESARROLLOS HISTÓRICOS

EL TRABAJO DE TAYLOR

En general, se reconoce a Frederick W. Taylor como el fundador moderno del estudio de tiempos en Estados Unidos. Sin embargo, en Europa se realizaban estudios de tiempos con bastante anticipación al trabajo de Taylor. En 1760, Jean Rodolphe Perronet, un ingeniero francés, hizo estudios de tiempos exhaustivos de la fabricación de clavos del número 6, en tanto que 60 años antes, un economista inglés, Charles W. Babbage, había realizado estudios de tiempos en la manufactura de clavos del número 11.

Taylor comenzó su trabajo de estudio de tiempos en 1881, cuando estaba asociado con la Midvale Steel Company, en Filadelfia. Aunque provenía de una familia adinerada, desdeñó sus raíces y comenzó a trabajar como aprendiz. Después de 12 años de trabajo, desarrolló un sistema basado en la "tarea". Taylor propuso que la administración planeara el trabajo de cada empleado al menos un día antes. Los trabajadores recibirían instrucciones completas por escrito con la descripción detallada de sus tareas y los medios para lograrlo. Cada trabajo debía tener un tiempo estándar determinado por expertos en estudio de tiempos. En el proceso de establecer tiempos, Taylor recomendó desglosar el trabajo en pequeñas divisiones de esfuerzo conocidas como "elementos". Los expertos debían cronometrarlas por separado y usar los valores colectivos para determinar el tiempo permitido para cada tarea.

Las primeras presentaciones de Taylor se recibieron sin entusiasmo porque muchos ingenieros interpretaron sus desarrollos como un nuevo sistema de tarifas por pieza y no como una técnica para analizar el trabajo y mejorar los métodos. Tanto la administración como los empleados estaban escépticos respecto al trabajo a destajo porque muchos estándares se basaban en una estimación "a ojo" del supervisor, o estaban infladas por los jefes para proteger el desempeño de sus departamentos.

En junio de 1903, en la reunión de Saratoga de la American Society of Mechanical Engineers (ASME), Taylor presentó su famoso estudio "Shop Management" ("Administración de la planta") que contenía los elementos de la administración científica: estudio de tiempos, estandarización de todas las herramientas y tareas, uso de un departamento de planeación, empleo de reglas de cálculo e implementos de apoyo similares, tarjetas de instrucciones para trabajadores, bonos por el desempeño exitoso, tasas diferenciales, sistemas nemotécnicos de clasificación de productos, sistemas de rutas y sistemas modernos de costos. Las técnicas de Taylor fueron bien recibidas por muchos gerentes de planta y, para 1917, de 113 plantas que habían implantado la "administra-

ción científica", 59 consideraban que era un éxito; 20, un éxito parcial, y 34, que había fallado (Thompson, 1917).

En 1898, mientras trabajaba en la Bethlehem Steel Company (había renunciado a Midvale), Taylor realizó el experimento del hierro de primera fusión que fue una de las demostraciones más celebradas de sus principios. Estableció el método correcto y los incentivos monetarios. Los trabajadores que subían a un camión una carga de lingotes de 92 libras por una rampa, pudieron incrementar su productividad de 12.5 toneladas por día a 47 o 48 toneladas diarias. Este trabajo se realizó con un incremento en el pago diario de $1.15 a $1.85. Taylor aseguraba que la tasa de desempeño de los trabajadores era más alta "sin huelgas ni peleas y que los obreros se sentían más contentos".

Otro de los estudios famosos de Taylor en Bethlehem Steel fue el experimento de las palas. Los trabajadores que paleaban en Bethlehem eran dueños de sus palas y las usaban para todos los trabajos, sacar mineral pesado o bien carbón diseminado ligero. Después de muchos estudios, Taylor diseñó palas que se ajustaban a las distintas cargas: con mango corto para el mineral y mango largo para el carbón. Como resultado, la productividad aumentó y el costo de manejo de materiales disminuyó de 8 a 3 centavos por tonelada.

Otra contribución bastante conocida de Taylor fue el descubrimiento del proceso de Taylor-White de tratamiento térmico del acero para herramientas. Al estudiar los aceros autotemple, desarrolló la manera de endurecer una aleación de acero al cromo-tungsteno sin que quedara quebradizo, calentándolo hasta casi su punto de fusión. El "acero de alta velocidad" obtenido duplicó la productividad de la máquina de corte y todavía se usa en todo el mundo. Más tarde desarrolló la ecuación de Taylor para el corte de metales.

No tan conocido como sus contribuciones de ingeniería es el hecho de que en 1881 fue campeón de dobles en tenis, en Estados Unidos. Usó una raqueta rara diseñada por él con un mango curvo tipo cuchara. Taylor murió de neumonía en 1915, a la edad de 59 años. Para obtener más información acerca de este talentoso individuo, los autores recomiendan su biografía escrita por Kanigel (1997).

A principios de los años 1900, el país pasaba por un periodo inflacionario sin precedentes. La palabra eficiencia había pasado de moda, y la mayor parte de los negocios e industrias buscaban nuevas ideas para mejorar su desempeño. La industria ferroviaria también sintió la necesidad de incrementar sus tasas de envíos en forma sustancial para cubrir el aumento general en los costos. Louis Brandeis, entonces representante de las asociaciones de negocios del Este, aseguraba que los ferrocarriles no se merecían o no necesitaban el incremento, puesto que no deseaban introducir en su industria la "administración científica". Brandeis afirmaba que las compañías ferrocarrileras podían ahorrar 1 millón de dólares al día con las técnicas recomendadas por Taylor. Así fue que Brandeis y la Eastern Rate Case (como se conoció después) introdujeron por primera vez los conceptos de Taylor como "administración científica".

En esta época, muchas personas que no tenían los conocimientos de Taylor, Barth, Merrick y otros pioneros, ansiaban la fama en este nuevo campo. Se establecieron como "expertos en eficiencia" e intentaron instalar programas de administración científica en la industria. Pronto encontraron una resistencia natural al cambio por parte de los empleados y como no contaban con técnicas para manejar problemas de relaciones huma-

nas, tuvieron grandes dificultades. Deseosos de quedar bien y equipados sólo con un conocimiento seudocientífico, en general establecían tasas difíciles de cumplir. La situación se hizo tan grave que algunos administradores tuvieron que descontinuar todo el programa para poder seguir operando.

En otros casos, los gerentes de planta permitían que los supervisores establecieran los estándares y esto casi nunca era satisfactorio. Una vez establecidos dichos estándares, algunos gerentes de planta de la época, interesados sobre todo en la reducción de costos de mano de obra, sin escrúpulos disminuían el salario si consideraban que algún empleado ganaba mucho dinero. El resultado fue un trabajo más pesado y al mismo tiempo menos dinero para llevar a casa. Por supuesto, fue natural la reacción violenta de los trabajadores.

Estos sucesos se esparcieron a pesar de las numerosas instalaciones iniciadas por Taylor. En el Arsenal de Watertown, los obreros protestaron a tal grado contra el nuevo sistema de estudio de tiempos que, en 1910, la Interstate Commerce Commission (ICC) inició una investigación. Varios informes derogatorios influyeron en la decisión del Congreso, en 1913, de agregar una cláusula a la ley de partidas presupuestales que estipulaba que ninguna parte de los fondos podía usarse para pagar a personas dedicadas al estudio de tiempos. Esta restricción se aplicó en las plantas manejadas por el gobierno que pagaban a los empleados con fondos del Estado.

No fue hasta 1947 que la Cámara de Representantes rescindió la prohibición del uso de cronómetros y la aplicación de estudio del trabajo. Es interesante el hecho de que, aún hoy, algunos sindicatos de las plantas de reparación de ferrocarriles prohíben el uso de cronómetros. También es interesante observar que la corriente de Taylor continúa en aplicación en las líneas de ensamble contemporáneas, en la facturación de los abogados que se calcula en fracciones de hora y en los arreglos recomendados de electrodomésticos.

ESTUDIO DE MOVIMIENTOS Y EL TRABAJO DE LOS GILBRETH

Frank Gilbreth y su esposa Lilian desarrollaron la técnica moderna del estudio de movimientos, que se puede definir como el estudio de los movimientos del cuerpo humano al realizar una operación, para mejorarla mediante la eliminación de movimientos innecesarios, la simplificación de los necesarios y el establecimiento de la secuencia de movimientos más favorable para la eficiencia máxima. Frank Gilbreth introdujo sus ideas y filosofía en el oficio de colocar ladrillos en donde trabajaba. Después de introducir la mejora de los métodos mediante el estudio de movimientos (que incluyó un andamio ajustable que había inventado) y la capacitación del operario, pudo aumentar el número de ladrillos colocados a 350 piezas por trabajador por hora. Antes de los estudios de Gilbreth se consideraba que 120 ladrillos por hora era una tasa satisfactoria de desempeño para un colocador.

En mayor grado que cualquier otra persona, los Gilbreth fueron responsables de que la industria reconociera la importancia que tiene un estudio detallado de los movimientos del cuerpo humano para aumentar la producción, reducir la fatiga y capacitar a los operarios con el mejor método para realizar una operación. Desarrollaron la técnica conocida como estudio de micromovimientos que usa la filmación de los movimientos

para estudiarlos. El estudio de micromovimientos con una película en cámara lenta no está restringido a aplicaciones industriales.

Además, los Gilbreth desarrollaron las técnicas de análisis ciclográfico y cronociclográfico para estudiar las trayectorias de movimiento realizadas por un operario. Con el método ciclográfico se coloca una pequeña luz en el dedo, mano o parte del cuerpo que se estudia y se fotografía el movimiento mientras el operario realiza su trabajo. Con las fotos se obtiene un registro permanente del patrón de movimiento empleado que se puede analizar para mejorarlo. El cronociclógrafo, es similar al ciclógrafo, pero su circuito eléctrico se interrumpe periódicamente, lo que ocasiona que la luz parpadee. Así, en lugar de obtener líneas continuas de los patrones de movimiento, la fotografía muestra pequeños guiones de luz espaciados según la velocidad de movimiento de la parte del cuerpo. Entonces, con el cronociclógrafo es posible calcular velocidad, aceleración y desaceleración, además de estudiar los movimientos del cuerpo. El mundo deportivo ha encontrado que esta técnica de análisis, actualizada al video, es invaluable para mostrar el desarrollo de la forma y la habilidad durante el entrenamiento.

Como una nota curiosa, quizá el lector se interese en el extremo al que llegó Frank Gilbreth para lograr la eficiencia máxima, incluso en su vida personal. Su primogénito y su hija cuentan anécdotas de su padre que se rasuraba con dos rastrillos al mismo tiempo o usaba distintas señales de comunicación para reunir a todos sus hijos, que eran doce. De ahí el título de su libro, *Cheaper by the Dozen* (*Más barato por docena*, Gilbreth y Gilbreth, 1948). Después de la muerte relativamente temprana de Frank, a la edad de 55 años, Lillian, quien había recibido el grado de doctora en psicología y había trabajado a la par como colaboradora, continuó por su cuenta avanzando en el concepto de simplificación del trabajo, en especial para las personas con discapacidades físicas. Ella murió en 1972 a la respetable edad de 93 años (Gilbreth, 1988).

LOS PRIMEROS CONTEMPORÁNEOS

Carl G. Barth, un asociado de Frederick W. Taylor, desarrolló una regla de cálculo para producción con la que se determinaban las combinaciones más eficientes de velocidades y alimentaciones en el corte de metales con diferentes durezas, considerando la profundidad de corte, el tamaño y la vida de la herramienta. También fue notorio su trabajo para determinar holguras. Investigó el número de libras-pie de trabajo que podía realizar un trabajador en un día. Después desarrolló una regla que igualaba la fuerza para empujar o jalar en el brazo del trabajador con el peso que podía manejar durante cierto porcentaje del día.

Harrington Emerson aplicó los métodos científicos en el Ferrocarril de Santa Fe y escribió el libro *Twelve Principles of Efficiency* (*Doce principios de la eficiencia*), en el que intenta informar a la administración sobre los procedimientos para una operación eficiente. Reorganizó la compañía, integró sus procedimientos de taller, implantó costos estándar y un plan de incentivos, y transfirió el trabajo de contabilidad a las máquinas tabuladoras Hollerith. De este esfuerzo surgió un ahorro anual de más de 1.5 millones de dólares y obtuvo el reconocimiento de su enfoque, llamado *ingeniería de eficiencia*.

En 1917, Henry Laurence Gantt desarrolló gráficas sencillas que miden el desempeño al igual que muestran la programación. Esta herramienta de control de la producción fue adoptada con entusiasmo en la industria de la construcción naval durante la Primera Guerra Mundial. Por primera vez fue posible comparar el desarrollo real con el plan original y ajustar los programas diarios de acuerdo con la capacidad, las entregas atrasadas y las necesidades de los clientes. Gantt se conoce también por el desarrollo de su sistema de pago de salarios que compensaba a los trabajadores por un desempeño mejor que el estándar, eliminaba las penalizaciones por fallas y ofrecía al jefe un bono por cada empleado cuyo desempeño fuera mejor que el estándar. Gantt hizo hincapié en las relaciones humanas y promovió la administración científica como algo más que un "acelerador" inhumano del trabajo.

El estudio de tiempos y movimientos tuvo un gran estímulo durante la Segunda Guerra Mundial, cuando Franklin D. Roosevelt, a través del Departamento del Trabajo de Estados Unidos, impulsó el establecimiento de estándares para aumentar la producción. La política establecida citaba: mayor paga para mayor producción pero sin aumento en los costos unitarios de mano de obra, esquemas de incentivos que se pactan entre trabajadores y administradores, y uso de estudio de tiempos o de registros históricos para establecer estándares de producción.

SURGIMIENTO DEL DISEÑO DEL TRABAJO

El diseño del trabajo es una disciplina bastante nueva que aborda el diseño de las tareas, estaciones de trabajo y entorno laboral, para ajustarlas mejor al operario. En Estados Unidos se conoce más como *factores humanos*, y en el ámbito internacional, como *ergonomía*, término derivado de las palabras griegas para trabajo (*erg*) y leyes (*nomos*).

En la unión americana, después del trabajo inicial de Taylor y los Gilbreth, la selección y capacitación militar durante la Primera Guerra Mundial y los experimentos de psicología industrial en la Escuela de Graduados de Harvard, en Western Electric (vea los estudios Hawthorne en el capítulo 8) fueron contribuciones importantes al área de diseño del trabajo. En Europa, durante y después de la Primera Guerra Mundial, el Consejo Británico para la Fatiga Industrial realizó numerosos estudios acerca del desempeño humano en distintas condiciones. Más tarde, el Consejo Británico de Investigaciones Médicas y Almirantazgo extendió estos estudios al estrés por calor en otras condiciones. Sin embargo, durante y después de la Segunda Guerra Mundial, la complejidad del equipo bélico y los aviones militares originó el desarrollo de los laboratorios de psicología en ingeniería militar de Estados Unidos y un crecimiento real de la profesión. El inicio de la carrera al espacio con el lanzamiento del Sputnik en 1957 sólo aceleró el crecimiento de los factores humanos, en especial en los sectores aeroespacial y militar. A partir de los años 70, los desarrollos se trasladaron al sector industrial y, más recientemente, a los equipos de cómputo, software amigable y el entorno en las oficinas. Otros aspectos que impulsan el crecimiento de los factores humanos incluyen el surgimiento de los casos de litigio sobre responsabilidad del producto y lesiones personales y, aunque trágicos, los desastres tecnológicos de gran escala, como el incidente nuclear en la isla Three Mile Island y la fuga de gas en la planta de Union Carbide en Bhopal, India. Es evidente que el desarrollo de las computadoras y la tecnología mantendrá ocupados durante muchos años a los especialis-

tas en factores humanos y ergonomistas con el diseño de mejores lugares de trabajo, de productos y la mejora de la calidad de vida.

ORGANIZACIONES

Desde 1911 existe un esfuerzo organizado para mantener a la industria al día con los últimos desarrollos de las técnicas iniciadas por Taylor y Gilbreth. Las organizaciones técnicas han contribuido a la actualización de la ciencia de estudio de tiempos, diseño del trabajo e ingeniería de métodos, de acuerdo con los estándares actuales. En 1915 se fundó la Taylor Society para promover las ciencias de la administración; en 1917 los interesados en los métodos de producción organizaron la Society of Industrial Engineers. La American Management Association (AMA) surgió desde 1913 cuando un grupo de gerentes de capacitación formó la National Association of Corporate Schools. Sus distintas divisiones patrocinan cursos y publicaciones sobre mejoramiento de la productividad, medición del trabajo, incentivos, simplificación del trabajo y estándares para varios oficios. Junto con la American Society of Mechanical Engineers (ASME), la AMA otorga cada año la Gantt Memorial Medal a la aportación más distinguida a la administración industrial como un servicio a la comunidad.

La Society for the Advancement of Management (SAM) se formó en 1936 con la fusión de la Society of Industrial Engineers y la Taylor Society. Esta organización resaltó la importancia de los estudios de tiempos y métodos, y los pagos de salarios. La industria ha usado durante mucho tiempo las filmaciones de tasas de producción de estudio de tiempos de la SAM. Cada año, la SAM ofrece la "llave de Taylor" para la contribución sobresaliente al avance de las ciencias de la administración y la "medalla Gilbreth" para un logro notorio en el campo del estudio de movimientos, habilidad y fatiga. En 1972, la SAM combinó sus esfuerzos con la AMA.

El Institute of Industrial Engineers (IIE) se fundó en 1948 con el propósito de: mantener la práctica de la ingeniería industrial en un nivel profesional; promover un alto grado de integridad entre los miembros de la profesión; alentar y apoyar a la educación e investigación en las áreas de interés para los ingenieros industriales; promover el intercambio de ideas e información entre los miembros de la profesión (por ejemplo, con la publicación de la revista *IIE Transactions*); servir el interés público con la identificación de personas calificadas para ejercer como ingenieros industriales, y promover el registro profesional de los ingenieros industriales. La Society of Work Science, de la IIE (el resultado de unir las divisiones de medición del trabajo y ergonomía, en 1994) mantiene a los miembros actualizados en todos los aspectos de esta área de trabajo. La sociedad otorga cada año los premios Phill Carroll y M. M. Ayoub por logros especiales en medición del trabajo y ergonomía, respectivamente.

En el área de diseño del trabajo, la primera organización profesional, la Ergonomics Research Society, fue fundada en Gran Bretaña en 1949. Inició la primera revista profesional, *Ergonomics*, en 1957. La Human Factors and Ergonomics Society se fundó en 1957 en Estados Unidos. En la década de 1960, esta sociedad tuvo un rápido crecimiento, ya que su membresía aumentó de 500 a 3000. En la actualidad cuenta con más de 5000 miembros organizados en 20 grupos técnicos. Sus metas principales son: 1) definir y apoyar los factores humanos/ergonomía como una disciplina científica y en la

práctica, con el intercambio de información técnica entre los miembros; 2) educar e informar a los negocios, la industria y el gobierno sobre factores humanos/ergonomía, y 3) promover factores humanos/ergonomía como un medio para mejorar la calidad de vida. La sociedad también publica una revista de casos, *Human Factors*, y realiza conferencias anuales para que los miembros se conozcan e intercambien ideas.

Con la proliferación de las sociedades profesionales nacionales, en 1959 se fundó una organización global, la International Ergonomics Association, para coordinar las actividades de ergonomía a nivel internacional. En la actualidad existen 38 sociedades individuales con más de 15 000 miembros en todo el mundo.

TENDENCIAS ACTUALES

Quienes practican métodos, estándares y diseño del trabajo se han dado cuenta que los factores como sexo, edad, salud y bienestar, tamaño físico y fuerza, aptitud, actitudes de capacitación, satisfacción en el trabajo y respuesta a la motivación tienen ingerencia directa en la productividad. Todavía más, los analistas de hoy reconocen que el trabajador tiene objeciones, con todo derecho, a que se le trate como a una máquina. Los trabajadores temen un enfoque científico puro y les disgusta de manera inherente cualquier cambio en su manera actual de operar. Incluso la administración, con frecuencia rechaza innovaciones valiosas en los métodos, por su aversión al cambio.

Los trabajadores tienden a tener recelo de los métodos y el estudio de tiempos porque ven que el resultado es un incremento en la productividad. Para ellos esto significa menos trabajo y en consecuencia menor paga. Deben convencerse de la idea de que ellos, como consumidores, se benefician con costos más bajos, y que los mercados se amplían como resultado de esos menores costos, lo que significa más trabajo para más personas durante más semanas al año.

Algunos temores actuales sobre el estudio de tiempos se deben a experiencias desagradables con expertos en eficiencia. Para muchos trabajadores, el estudio de tiempos y movimientos es sinónimo de velocidad o explotación. Estos términos denotan el uso de incentivos para inducir un nivel de producción mayor, seguido de la implantación de los nuevos niveles como nivel de producción normal, esto obliga a los trabajadores a realizar grandes esfuerzos para poder mantener incluso sus ingresos anteriores. En el pasado, los administradores con poca visión y sin escrúpulos utilizaron esta práctica.

Aun en la actualidad, algunos sindicatos se oponen al establecimiento de estándares mediante medición, al desarrollo de tasas de producción por hora mediante la evaluación del trabajo y a la aplicación de pago de incentivos. Estos sindicatos piensan que el tiempo permitido para realizar una tarea y el pago que debe recibir un empleado representan aspectos que deben resolverse en los acuerdos del contrato colectivo.

Quienes están en la práctica actual usan el enfoque "humano". Deben poseer conocimientos adecuados sobre el comportamiento humano y habilidades en el arte de la comunicación. También deben saber escuchar y respetar las ideas y los pensamientos de otros, en particular, de los trabajadores que realizan las tareas. Deben dar el crédito debido a quien se lo merece. De hecho, por costumbre, deben dar el crédito a la otra persona aunque haya duda de su merecimiento. En la práctica del estudio de tiempos y movimientos, deben recordar que la mejor actitud es la de cuestionar, resaltada por los

Gilbreth, Taylor y los demás pioneros en el área. La idea de que "siempre hay una mejor manera" debe buscarse continuamente en el desarrollo de nuevos métodos que mejoren la productividad, la calidad, la entrega, la seguridad del trabajador y su bienestar.

Hoy en día, existe una mayor intervención del gobierno en la reglamentación de métodos, estándares y diseño del trabajo. Por ejemplo, los contratistas y subcontratistas para la fabricación de equipo militar tienen una presión creciente para documentar los estándares de mano de obra directa como resultado del MIL-STD 1567A (emitido en 1975; revisado en 1983 y 1987). Cualquier empresa que gana un contrato por más de 1 millón de dólares está sujeta al MIL-STD 1567A, que exige un plan y procedimientos de medición del trabajo, un plan para establecer y mantener estándares de ingeniería de exactitud conocida y trazabilidad, un plan para el mejoramiento de métodos junto con los estándares, un plan para el uso de estándares como un insumo en el presupuesto, las estimaciones, la planeación y evaluación del desempeño, y la documentación detallada de todos estos planes.

De manera similar, en el área de diseño del trabajo, el Congreso aprobó la OSHAct que establece el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), un organismo dedicado a la investigación para desarrollar guías y estándares para la salud y seguridad del trabajador, y la Occupational Safety and Health Administration (OSHA), una agencia para hacer cumplir y mantener esos estándares. Con el repentino incremento de lesiones debidas a movimientos repetitivos en la industria alimentaria, en 1990 la OSHA estableció la "Guía de administración del programa de ergonomía para las plantas empacadoras de carne". Guías similares para la industria general se convirtieron en el "estándar de ergonomía OSHA" aceptado como ley por el presidente Clinton en 2001. Sin embargo, el Congreso rescindió la medida poco después. Hoy OSHA trabaja en una forma revisada de este estándar.

Dado el creciente número de individuos con distintas aptitudes, en 1990, el Congreso aprobó el American with Disabilities Act (ADA). Este reglamento tiene un impacto importante en todos los empleadores que cuentan con 15 empleados o más, pues afecta a las prácticas de reclutamiento, contratación, promoción, capacitación, despido, licencias y asignación de trabajo.

Si bien la medición del trabajo se concentró en un tiempo en la mano de obra directa, los métodos y estándares se usan cada vez más para la mano de obra indirecta. Esta tendencia continuará conforme disminuya el número de trabajos de manufactura tradicional y aumente el número de tareas de servicio en Estados Unidos. También se incrementará el uso de técnicas computarizadas o de sistemas de tiempos predeterminados como MOST. Muchas compañías han desarrollado software para estudio de tiempos y muestreo de trabajo que utiliza la captura electrónica de datos para recabar la información requerida.

La tabla 1–1 ilustra el avance en métodos, estándares y diseño del trabajo.

RESUMEN

La industria, los negocios y el gobierno están de acuerdo en que la reserva potencial para el incremento de la productividad es la mayor esperanza para manejar la inflación y la competencia. El aspecto más importante para aumentar la productividad es la

Tabla 1–1 Avances realizados en métodos, estándares y diseño del trabajo

Año	Suceso
1760	Perronet realiza estudios de tiempos en pernos del núm. 6.
1820	Charles W. Babbage realiza estudios de tiempos en pernos del núm. 11.
1832	Charles W. Babbage publica una obra sobre economía de equipo en la fabricación (*On the Economy of Machinery and Manufactures*).
1881	Frederick E. Taylor inicia su trabajo de estudio de tiempos.
1901	Henry L. Gantt desarrolla el sistema de tareas e incentivos al salario.
1903	Taylor presenta sus ideas sobre administración de planta a la ASME.
1906	Taylor publica un artículo sobre el arte de cortar metales (*On the Art of Cutting Metals*).
1910	La Interstate Commerce Commission inicia una investigación sobre el estudio de tiempos. Gilbreth publica su estudio de tiempos (*Motion Study*). Gantt publica sobre trabajo, salarios y ganancias (*Work, Wages, and Profits*).
1911	Taylor publica su libro sobre administración científica (*The Principles of Scientific Management*).
1912	Se organiza la Society to Promote the Science Management. Emerson estima que es posible ahorrar 1 millón de dólares diarios si los sistemas ferroviarios aplican administración científica.
1913	Emerson publica los doce principios de eficiencia (*The Twelve Principles of Efficiency*). El Congreso agrega una cláusula a la ley de partidas presupuestales, estipula que ninguna parte de los fondos se puede usar como pago a personas dedicadas al estudio de tiempos. Henry Ford muestra la primera línea de ensamble en movimiento, en Detroit.
1915	Se funda la Taylor Society para sustituir a la Society to Promote the Science of Management.
1917	Frank B. y Lilian M. Gilbreth publican su estudio de movimientos (*Applied Motion Study*).
1923	Se forma la American Management Association.
1927	Elton Mayo inicia el estudio Hawthorne en la planta de Hawthorne, Illinois, de la Western Electric Company.
1933	Ralph M. Barnes recibe el primer doctorado otorgado en Estados Unidos en el campo de la ingeniería industrial en Cornell University. Su tesis conduce a la publicación de "Motion and Time Study".
1936	Se organiza la Society for the Advancement of Management.
1945	El Departamento del Trabajo determina el establecimiento de estándares para mejorar la productividad de los suministros de guerra.
1947	Se aprueba un decreto que permite al Departamento de Guerra usar estudio de tiempos.
1948	Se funda el Institute of Industrial Engineers, en Columbus, Ohio. Eiji Toyoda y Taichi Ohno en la Toyota Motor Company introducen el concepto de producción ligera.
1949	Prohibición del uso de cronómetros, derivada del lenguaje de asignación. Se funda la Ergonomics Research Society (ahora The Ergonomics Society) en Gran Bretaña.

Tabla 1–1 (conclusión)

Año	Suceso
1957	Se funda la Human Factors and Ergonomics Society, en Estados Unidos.
	E. J. McCormick publica sobre ergonomía (*Human Factors Engineering*).
1959	Se funda la International Ergonomics Association para coordinar las actividades de ergonomía en todo el mundo.
1970	El Congreso aprueba el OSHAct que establece la Occupational Safety and Health Admnistration.
1972	La Society for the Advancement of Management se fusiona con las American Management Associations.
1975	Se emite la norma MIL-STD 1567 (USAF) para la medición del trabajo.
1981	Se introduce por primera vez la guía para levantamientos NIOSH.
1983	Se emite la norma MIL-STD 1567A para la medición del trabajo.
1986	Se emite la norma completa MIL-STD 1567A con el apéndice de la guía para medición del trabajo.
1988	Se emite el ANSI/HSF Standard 100-1988 para ingeniería de factores humanos en estaciones de trabajo visuales con terminales de pantalla.
1990	El Congreso de Estados Unidos aprueba la ley ADA sobre personas con discapacidades.
	OSHA establece la guía de administración del programa de ergonomía para plantas empacadoras de carne.
1993	Se revisa la guía para levantamientos NIOSH
1995	Se emite la primera propuesta de ANSI Z-365 Standard para el control de padecimientos traumáticos acumulativos relacionados con el trabajo.
2001	El estándar de ergonomía de OSHA se firmó y emitió como ley, pero fue rescindido poco después por el Congreso de Estados Unidos.

aplicación continua de los principios de métodos, estándares y diseño del trabajo. Sólo de esta manera podrá obtenerse mayor producción de las personas y las máquinas. La mano de obra estadounidense espera, y tiene la fuerza para lograrlo, obtener incrementos continuos en sus salarios. El gobierno de Estados Unidos se ha prometido seguir una política paternalista creciente para proporcionar a quienes están en desventaja vivienda, cuidados médicos para la tercera edad, trabajos para las minorías, etc. Para ajustarse al creciente incremento en los costos de mano de obra y los impuestos, y conservar el negocio, debe obtenerse más de los elementos productivos: personas y máquinas.

PREGUNTAS

1. ¿Qué otro nombre recibe el estudio de tiempos?
2. ¿Cuál es el objetivo principal de la ingeniería de métodos?
3. Enumere los ocho pasos para la aplicación de la ingeniería de métodos.

4. ¿En dónde se realizaron los primeros estudios de tiempos y quién los hizo?
5. Explique los principios de Frederick W. Taylor de la administración científica.
6. ¿Qué significa estudio de movimientos y quiénes son los pioneros de esa técnica?
7. ¿Era comprensible el escepticismo de la administración y la mano de obra respecto a las tasas establecidas por "expertos en eficiencia"? ¿Por qué?
8. ¿Qué organizaciones se preocupan por seguir adelante con las ideas de Taylor y los Gilbreth?
9. ¿Qué reacción psicológica es característica en los trabajadores cuando se sugieren cambios en los métodos?
10. Explique la importancia del enfoque humano en el trabajo de métodos y estudio de tiempos.
11. ¿Cuál es la relación entre el estudio de tiempos y la ingeniería de métodos?
12. ¿Por qué el diseño del trabajo es un elemento importante en el estudio de métodos?
13. ¿Qué eventos importantes contribuyeron a la necesidad de la ergonomía?

REFERENCIAS

Barnes, Ralph M., *Motion and time Study: Design and Measurement of Work*, 7a. ed. Nueva York, John Wiley & Sons, 1980.

Eastman Kodak Co., Sección de Factores Humanos, *Ergonomic Design for People at Work*, Nueva York, Van Nostrand Reinhold, 1983.

Gilbreth, F. y L. Gilbreth, *Cheaper by the Dozen*, Nueva York, T. W. Crowell, 1948.

Gilbreth, L. M., *As I Remember: An Autobiography*, Norcross, GA, Engineering & Management Press, 1988.

Kanigel, R., *One Best Way*, Nueva York, Viking, 1997.

Konz, S. y S. Johnson, *Work Design*, 5a. ed., Scottsdale, AZ, Holcomb Hathaway, 2000.

Mundell, Marvin E. *Motion and Time Study: Improving Productivity*, 5a. ed., Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1978.

Nadler, Gerald, "The Role and Scope of Industrial Engineering", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992.

Niebel Benjamin W., *A History of Industrial Engineering at Penn State*, University Park, PA, University Press, 1992.

Salvendy, G., Ed., *Handbook of Human Factors*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1987.

Saunders, Byron W. "The Industrial Engineering Profession", en *Handbook of Industrial Engineering*, Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1982.

Taylor, F. W., *The Principles of Scientific Management*, Nueva York, Harper, 1911.

Thompson, C. Bertrand, *The Taylor System of Scientific Management*, Chicago, IL, A. W. Shaw, 1917.

United Nations Industrial Development Organization, *Industry in the 1980s: Structural Change and Interdependence*, Nueva York, United Nations, 1985.

SITIOS EN INTERNET

The Ergonomics Society – http://www.ergonomics.org.uk/
Human Factors and Ergonomics Society – http://hfes.org/
Institute of Industrial Engineers – http://www.iienet.org/
International Ergonomics Association – http://www.iea.cc/
OSHA – http://www.osha.gov/

CAPÍTULO 2

Técnicas para la solución de problemas

PUNTOS CLAVE:

- *Seleccionar el proyecto* mediante la aplicación del análisis de Pareto, los diagramas de pescado, las gráficas de Gantt, las gráficas PERT y la guía de análisis de trabajo/lugar de trabajo.
- *Obtener y presentar datos* por medio de diagramas de operación, de flujo, hombre/máquina y de grupo.
- *Desarrollar el método ideal* para las relaciones hombre/máquina con servicio sincronizado y aleatorio, así como los cálculos de balanceo de líneas.

Un buen programa de ingeniería de métodos sigue un proceso ordenado, que inicia con la selección del proyecto y termina con su implantación (figura 2–1). El primer paso, quizá el más importante —ya sea al diseñar un nuevo centro de trabajo o al mejorar una operación existente— es la identificación del problema en forma clara y lógica. Igual que el mecánico usa herramientas como micrómetros y calibradores para facilitar su desempeño, el ingeniero de métodos usa técnicas adecuadas para realizar un mejor trabajo en menos tiempo. Se dispone de una variedad de dichas técnicas de solución de problemas y cada una tiene aplicaciones específicas.

Las primeras cinco se usan en el primer paso del análisis de métodos, *seleccionar el proyecto*. El análisis de Pareto y los diagramas de pescado surgieron en los círculos de calidad japoneses a principios de la década de los 60's (vea el capítulo 18) y tuvieron mucho éxito en el mejoramiento de la calidad y la reducción de costos en sus procesos de manufactura. Las gráficas de Gantt y PERT se originaron en la década de 1940 como respuesta a la necesidad de una mejor planeación y control de proyectos militares complejos. Pueden ser útiles para identificar problemas en el entorno industrial.

La selección de proyectos se basa en tres aspectos: económico (quizá el más importante), técnico y humano. Las consideraciones económicas pueden involucrar nuevos productos para los que no se cuenta con estándares, o productos existentes que tienen costos de manufactura altos. Los problemas pueden ser grandes cantidades de desperdi-

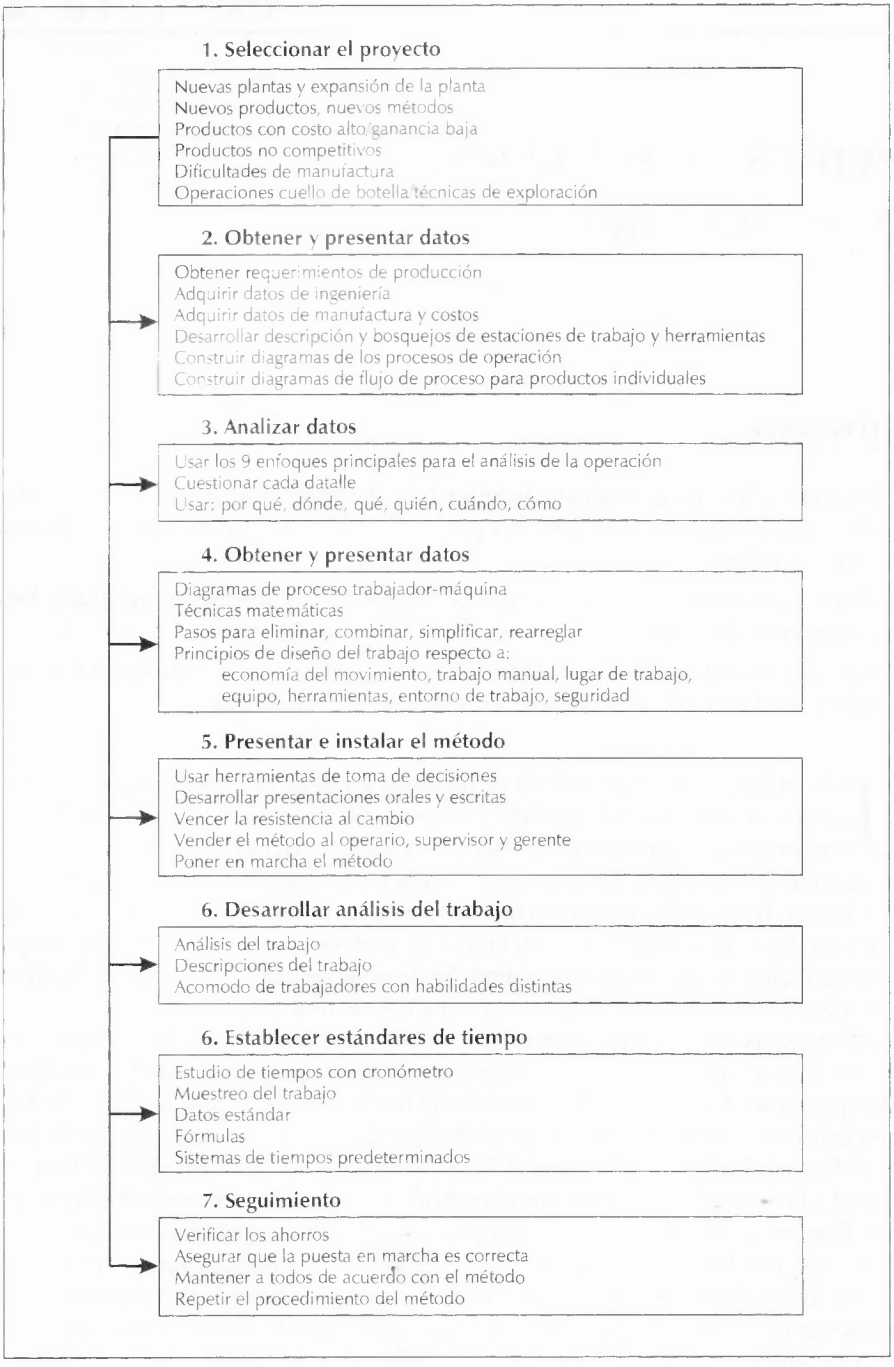


Figura 2–1 Pasos principales en un programa de ingeniería de métodos.

cio y retrabajo, manejo de materiales excesivo, en términos del costo o la distancia, o tal vez operaciones "cuellos de botella". Las consideraciones técnicas pueden incluir los métodos de procesamiento que deben mejorarse, problemas de control de calidad debidos al método o problemas de desempeño de un producto comparado con su competencia. Los aspectos humanos pueden incluir trabajo con alta repetición que llevan a lesiones relacionadas con el trabajo, tareas con alta tasa de accidentes, tareas demasiado fatigantes o trabajos sobre los cuales los empleados se quejan todo el tiempo.

Las primeras cuatro técnicas son las de uso más común en la oficina del analista. La quinta, guía de análisis trabajo/lugar de trabajo, ayuda a identificar problemas en un área, departamento o lugar de trabajo específicos y se desarrolla mejor como parte de las observaciones físicas del lugar. La guía proporciona una identificación subjetiva del trabajador, tarea o entorno claves, o de los factores administrativos que pueden ocasionar problemas potenciales. Además, indica las técnicas adecuadas para las evaluaciones cuantitativas. Aplicar esta guía debe ser el primer paso necesario antes de recolectar datos cuantitativos exhaustivos sobre el método actual.

Los siguientes cinco procedimientos se usan para registrar el método actual y comprenden el segundo paso del método de análisis, *obtener y presentar datos*. La información pertinente, como cantidad de producción, programas de entrega, tiempos de operación, instalaciones, capacidad de las máquinas, materiales especiales y herramientas especiales, puede representar una parte importante en la solución de problemas y debe registrarse. (Los datos también son útiles en el tercer paso del método de análisis, *analizar los datos*.)

Las últimas tres técnicas son más útiles como un enfoque cuantitativo en el cuarto paso del método de análisis, *desarrollar el método ideal*. Una vez presentados los hechos con claridad y exactitud, se examinan en forma crítica, para definir e implantar el método más práctico, económico y efectivo. Por lo tanto, deben usarse en conjunto con las técnicas de análisis operativo descritas en el capítulo 3. Observe que la mayor parte de las técnicas de los tres grupos se pueden utilizar en la etapa de análisis operativo del desarrollo.

TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN

ANÁLISIS DE PARETO

Las áreas con problemas se pueden definir mediante una técnica desarrollada por el economista Pareto para explicar la concentración de la riqueza. En el *análisis de Pareto*, los artículos de interés se identifican y miden en una escala común y después se acomodan en orden ascendente, creando una distribución acumulada. Por lo común, 20% de los artículos clasificados representan 80% o más de la actividad total; en consecuencia, la técnica también se conoce como *regla 80-20*. Por ejemplo, 80% del valor del inventario total se encuentra en sólo 20% de los artículos en el inventario; en 20% de los trabajos ocurren 80% de los accidentes (figura 2–2), o 20% de los trabajos representan cerca de 80% de los costos de compensación para trabajadores. De manera conceptual, el analista de métodos concentra la mayor parte de su esfuerzo en unos cuantos trabajos que producen casi todos los problemas. En muchos casos, la distribución de Pareto se

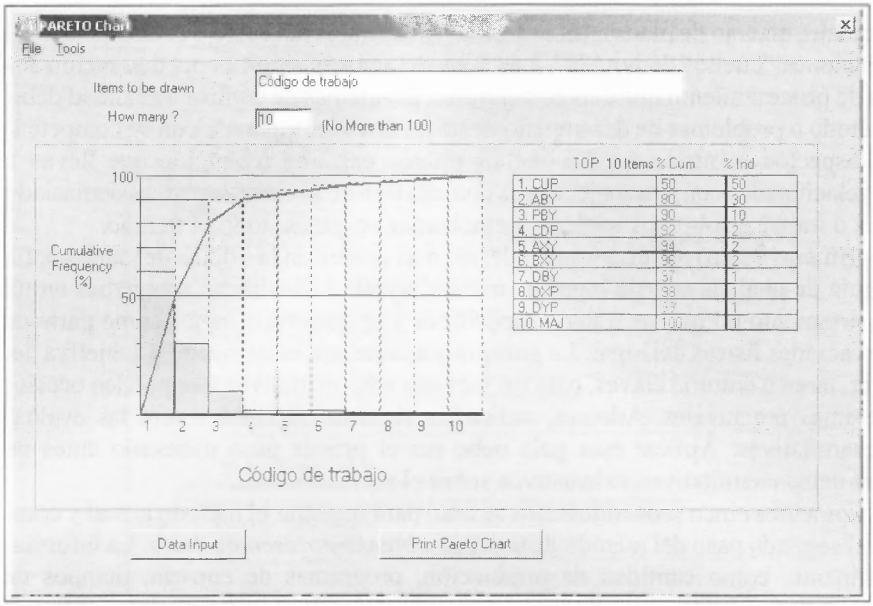


Figura 2–2 Distribución de Pareto para accidentes industriales. Veinte por ciento de los códigos de trabajo (CUP y ABY) generan aproximadamente 80% de los accidentes

puede transformar en una línea recta usando la transformación lognormal, a partir de la cual se puede realizar un análisis cuantitativo más profundo (Herron, 1976).

DIAGRAMAS DE PESCADO

Los *diagramas de pescado*, también conocidos como *diagramas de causa-efecto*, fueron desarrollados por Ishikawa a principios de los años 50 cuando trabajaba en un proyecto de control de calidad para la Kawasaki Steel Company. El método consiste en definir la ocurrencia de un evento no deseable o problema, es decir, el *efecto*, como la "cabeza del pescado" y después identificar los factores que contribuyen, es decir las *causas*, como el "esqueleto del pescado" que sale del hueso posterior de la cabeza. Las causas principales se dividen en cuatro o cinco categorías principales: humanas, máquinas, métodos, materiales, entorno, administración, cada una dividida en subcausas. El proceso continúa hasta enumerar todas las causas posibles. Un buen diagrama tendrá varios niveles de huesos y proporcionará la visión global de un problema y de los factores que contribuyen a él. Después, los factores se analizan desde un punto de vista crítico en términos de su contribución probable al problema. Se espera que este proceso tienda a identificar las soluciones potenciales. En la figura 2–3 se muestra un ejemplo de un diagrama de pescado para identificar problemas en el logro del 100% de eficiencia en operaciones de fresado.

Los diagramas de pescado han funcionado con éxito en los círculos de calidad en Japón, donde se espera que todos los niveles de trabajadores y administradores contri-

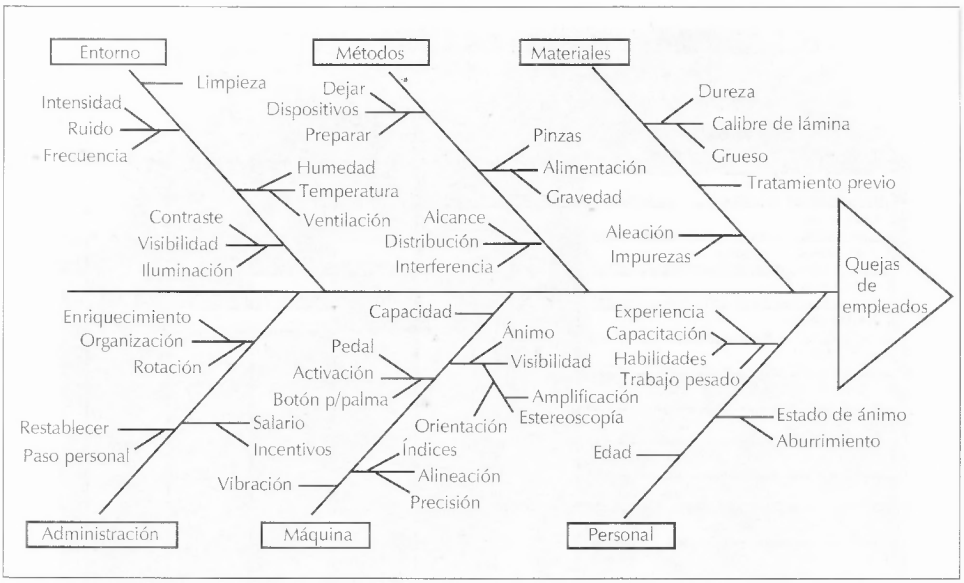


Figura 2–3 Diagrama de pescado para quejas de salud de los operarios de una cortadora.

buyan. Es posible que tales diagramas tengan menos éxito en la industria estadounidense, donde la cooperación entre trabajadores y administradores puede ser menos efectiva para producir las soluciones y resultados deseados (Cole, 1979).

GRÁFICAS DE GANTT

La *gráfica de Gantt* es quizá la primera técnica de planeación y control de proyectos que surgió durante la década de 1940 en respuesta a la necesidad de administrar mejor los complejos proyectos y sistemas de defensa. Una gráfica de Gantt muestra sencillamente el tiempo de terminación planeado para las distintas actividades del proyecto como barras graficadas contra el tiempo en un eje horizontal (figura 2–4a). Los tiempos de terminación reales se muestran con sombreado en las barras. Si se traza una línea vertical en un día dado, se puede determinar con facilidad qué componentes del proyecto van adelantadas o atrasadas respecto a la programación. Por ejemplo, en la figura 2–4a, a fines de marzo, el trabajo de la maqueta está atrasado en sus dos etapas. Una gráfica de Gantt exige que el planificador del proyecto desarrolle un plan anticipado y proporcione una revisión rápida del avance del proyecto en cualquier momento. Por desgracia, no siempre describe por completo la interacción entre las actividades del proyecto. Se requieren para ello, técnicas más analíticas como las gráficas PERT.

La gráfica de Gantt también se puede usar para mostrar la secuencia de actividades de una máquina en la planta. La gráfica para una máquina puede incluir reparación o mantenimiento si se tachan los periodos planeados para parar la máquina. Por ejemplo, en la figura 2–4b, alrededor de las 12:00 pm del miércoles, el trabajo de la fresadora está retrasado mientras que la producción de la perforadora está adelantada.

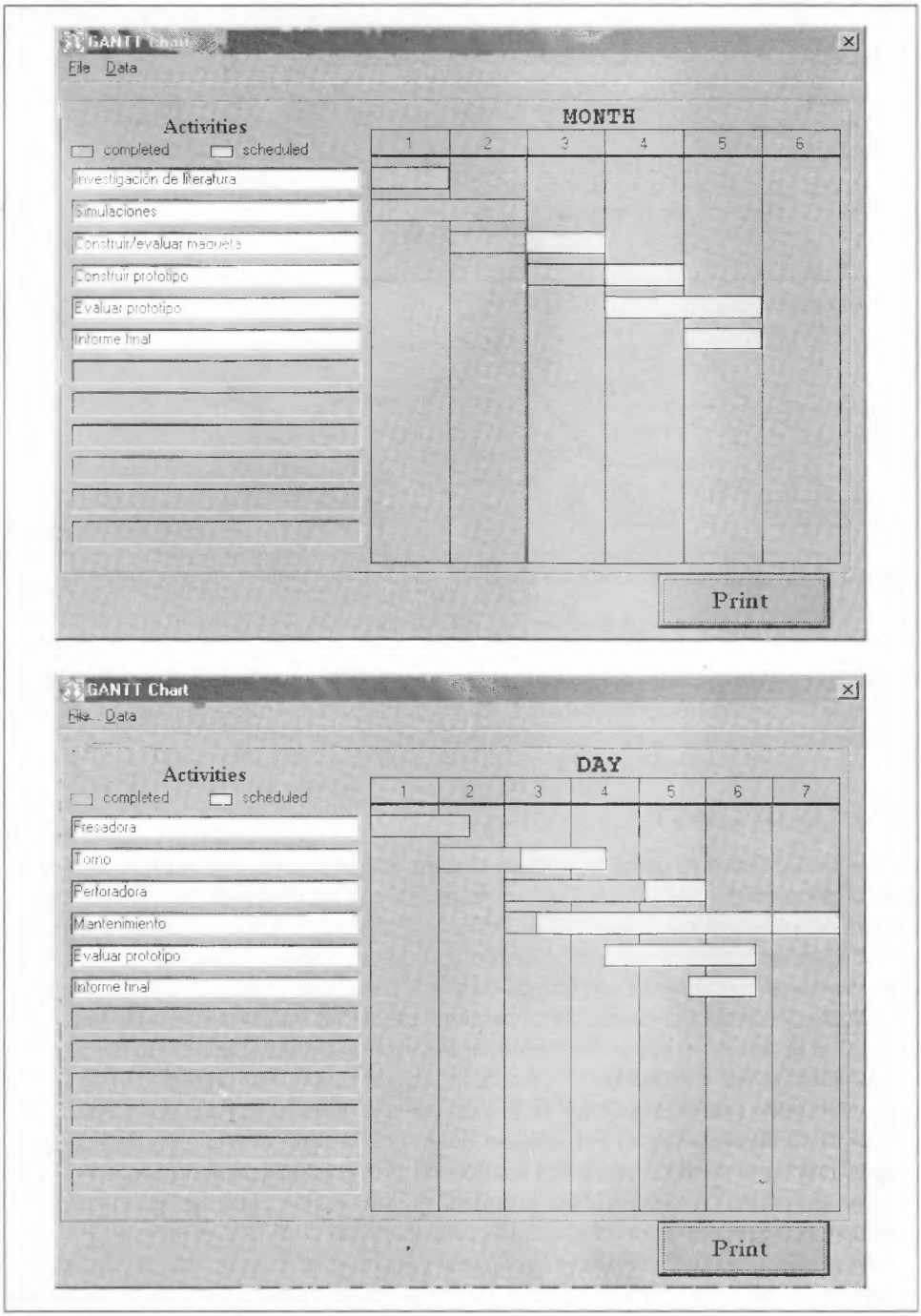


Figura 2–4 Ejemplo de a) gráfica de Gantt basada en un proyecto y b) gráfica de Gantt basada en una máquina o proceso.

GRÁFICAS PERT

PERT son las iniciales de *Program Evaluation and Review Technique* o técnica de revisión y evaluación de proyectos. Una *gráfica PERT*, también conocida como diagrama de redes o ruta crítica, es un método de planeación y control que muestra en forma gráfica la manera óptima de lograr un objetivo predeterminado, por lo general, en términos de tiempo. Esta técnica se empleó en la milicia de Estados Unidos para el diseño de procesos como el desarrollo del misil Polaris y la operación de sistemas de control en submarinos de propulsión nuclear. Los analistas de métodos usan PERT para mejorar la programación mediante la reducción de costos o de la satisfacción del cliente.

Al usar PERT para programación, los analistas casi siempre proporcionan dos o tres estimaciones para cada actividad. Por ejemplo, si usan tres estimaciones de tiempo, se basan en las siguientes preguntas:

1. ¿Cuánto tiempo se requiere para terminar una actividad específica si todo funciona de manera ideal (estimación optimista)?
2. En condiciones promedio, ¿cuál es la duración más probable para esta actividad?
3. ¿Cuál es el tiempo requerido para terminar esta actividad si casi todo sale mal (estimación pesimista)?

Con estas tres estimaciones, el analista puede derivar una distribución de probabilidad para el tiempo que requiere realizar la actividad (vea la tabla 2–1).

En la gráfica PERT, los eventos (representados por nodos) son puntos en el tiempo que muestran el inicio y terminación de una operación específica o de un grupo de ope-

Tabla 2–1 Valores de costo y tiempo para realizar varias actividades en condiciones normales y urgentes

	Normal		Urgente	
Actividades	**Semanas**	**Dólares**	**Semanas**	**Dólares**
A	4	4 000	2	6 000
B	2	1 200	1	2 500
C	3	3 600	2	4 800
D	1	1 000	0.5	1 800
E	5	6 000	3	8 000
F	4	3 200	3	5 000
G	3	3 000	2	5 000
H	0	0	0	0
I	6	7 200	4	8 400
J	2	1 600	1	2 000
K	5	3 000	3	4 000
L	3	3 000	2	4 000
M	4	1 600	3	2 000
N	1	700	1	700
O	4	4 400	2	6 000
P	2	1 600	1	2 400

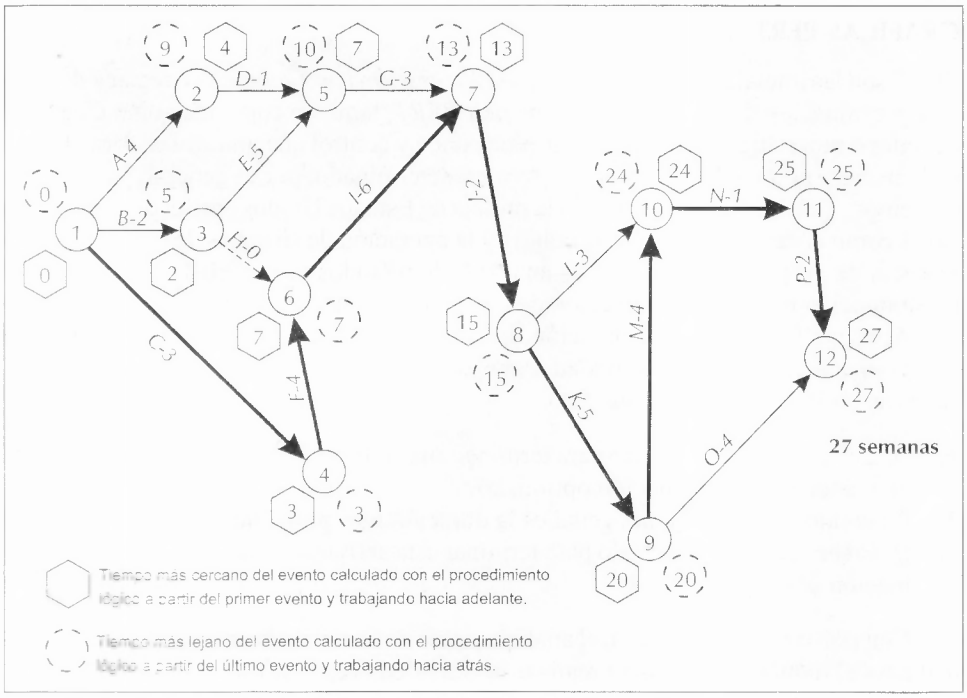


Figura 2–5 Red que muestra la ruta crítica (línea gruesa).
Los números en los nodos son los eventos. Las líneas con flechas de dirección indican operaciones que dependen de la operación precedente. Los tiempos sobre las flechas representan la duración normal en semanas. Los hexágonos asociados con los eventos indican el tiempo más próximo del evento. Los círculos punteados asociados con los eventos muestran el tiempo más lejano del evento.

raciones. Cada operación o grupo de ellas en un departamento se define como una actividad y se llama arco. Cada arco tiene un número que representa el tiempo (días, semanas, meses) necesario para completar una actividad. Existen actividades que no usan tiempo o costo pero que son necesarias para mantener la secuencia correcta, se conocen como actividades ficticias y se indican con líneas punteadas.

El tiempo mínimo necesario para terminar todo el proyecto, corresponde a la trayectoria más larga del nodo inicial al nodo final. En la figura 2–5, el tiempo mínimo necesario para terminar el proyecto es la trayectoria más larga del nodo 1 al 12. Esta trayectoria también se conoce como ruta crítica. Siempre existe una ruta más larga en un proyecto, pero puede haber más de una que refleje el tiempo mínimo necesario para terminarlo.

Las actividades que no están en la ruta crítica tienen cierta flexibilidad en el tiempo. Esta flexibilidad, o libertad, se llama "holgura". La holgura se calcula restando el tiempo normal del tiempo disponible. En otras palabras, es el tiempo que puede prolongarse una actividad no crítica sin retrasar la fecha de terminación del proyecto. Esto im-

plica que cuando la intención es reducir el tiempo de terminación del proyecto, es mejor analizar las actividades de la ruta crítica y no las que forman parte de otras trayectorias.

La figura 2–5 ilustra una red elemental y su ruta crítica. Esta ruta, identificada por las líneas gruesas, tiene una duración de 27 semanas. Se pueden usar varios métodos para abreviar la duración del proyecto y se puede estimar el costo de las distintas alternativas. Por ejemplo, suponga que se ha obtenido la siguiente tabla de costos y que existe una relación lineal entre el tiempo y el costo semanal. Se puede calcular el costo de las duraciones alternativas:

Programa de 27 semanas, duración normal del proyecto . . .	costo = $22 500
Programa de 26 semanas, la forma menos costosa de ganar una semana sería reducir M o J una semana, con un costo adicional de $400	costo = $22 900
Programa de 25 semanas, la forma menos costosa de ganar dos semanas sería reducir las actividades M y J, una semana cada una, con un costo adicional de $800	costo = $23 300
Programa de 24 semanas, la manera menos costosa de ganar tres semanas es reducir las actividades M, J y K una semana cada una, con costo adicional de $1 300 . . .	costo = $23 800
Programa de 23 semanas, la forma menos costosa de ganar cuatro semanas sería reducir M y J una semana cada una y K, dos semanas con costo adicional de $1 800 . . .	costo = $24 300
Programa de 22 semanas, la forma menos costosa de ganar cinco semanas sería reducir M y J una semana cada una, K dos semanas e I una semana con un costo adicional de $2 400	costo = $24 900
Programa de 21 semanas, la forma menos costosa de ganar seis semanas sería reducir M y J una semana cada una, K e I dos semanas cada una, con un costo adicional de $3 000	costo = $25 500
Programa de 20 semanas, la forma menos costosa de ganar siete semanas sería reducir M, J y P una semana cada una, y K e I dos semanas cada una, con costo adicional de $3 800	costo = $26 300
Programa de 19 semanas, la manera menos costosa de ganar ocho semanas es reducir las actividades M, J, P y C una semana cada una y las actividades K e I dos semana cada una, con un costo adicional de $5 000 . . . . (Observe que ahora se tiene una segunda ruta crítica a través de los nodos 1, 3, 5 y 7.)	costo = $27 500

Programa de 18 semanas, la forma menos costosa de ganar nueve semanas sería reducir M, J, P, C, E y F una semana cada una, y las actividades K e I dos semanas cada una, con un costo adicional de $7 800 ..... (Observe que al reducir el tiempo a 18 semanas se obtiene una segunda ruta crítica.) costo = $30 300

GUÍA DE ANÁLISIS DEL TRABAJO/LUGAR DE TRABAJO

La *guía de análisis del trabajo/lugar de trabajo* (vea la figura 2–6) identifica problemas dentro de un área, departamento o lugar de trabajo. Antes de reunir datos cuantitativos, el analista visita el área y observa al trabajador, la tarea, el lugar y el entorno que lo rodea. Además, identifica los factores administrativos que pueden afectar el comportamiento o desempeño del trabajador. Estos factores proporcionan una perspectiva global de la situación y guían al analista en el uso de métodos más cuantitativos para colectar y analizar los datos. El ejemplo de la figura 2–6 muestra la aplicación de la guía de análisis del trabajo/lugar de trabajo para una operación en caliente en la manufactura de televisores. Los aspectos clave incluyen levantar cargas pesadas, tensión por calor y exposición al ruido.

TÉCNICAS DE REGISTRO Y ANÁLISIS

DIAGRAMAS DE PROCESO DE LA OPERACIÓN

El *diagrama de proceso de la operación* muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones, inspecciones, holguras y materiales que se usan en un proceso de manufactura o de negocios, desde la llegada de la materia prima hasta el empaque del producto terminado. La gráfica describe la entrada de todas las componentes y subensambles al ensamble principal. De la misma manera que un plano muestra detalles de diseño como ajustes, tolerancias y especificaciones, el diagrama de proceso de la operación proporciona detalles de manufactura o de negocios a simple vista.

Al construir un diagrama de proceso de la operación se usan dos símbolos: un círculo pequeño, con diámetro de 3/8 pulg, que denota una operación, y un cuadrado pequeño, de 3/8 pulg por lado, que denota una inspección. Una operación tiene lugar cuando una parte bajo estudio se transforma intencionalmente o cuando se realiza su estudio o la planeación antes de realizar el trabajo productivo. Algunos analistas prefieren separar las operaciones manuales de las que se llevan a cabo sobre el papel. Las operaciones manuales, por lo general, se relacionan con la mano de obra directa, mientras que el análisis de información con frecuencia es una porción de los costos indirectos o gastos. Una inspección tiene lugar cuando la parte se examina para determinar su conformidad con un estándar. Debe hacerse notar que algunos analistas prefieren describir sólo las operaciones y llaman al resultado *diagrama de proceso descriptivo*.

Antes de comenzar la construcción del diagrama de proceso de la operación, el analista identifica el diagrama con un título, "diagrama de proceso de la operación" y otra información como número de parte, número de dibujo, descripción del proceso, mé

Guía de análisis del trabajo/lugar de trabajo

Trabajo/lugar: TERMINAL CARGADA Analista: Af Fecha: 1-27-

Descripción: INSERTAR EL TUBO (CINESCOPIO) EN EL CONO

Factores del trabajador

Nombre: Edad: 42 Sexo: (M) F Estatura: 6' Peso: 90

Motivación: Alta Media (Baja) Satisfacción en el trabajo: Alta Media (Baja)

Escolaridad: Parte de bach. (Bach.) Licenciatura Condición física: Alta (Media) Baja

Equipo de seguridad (Anteojos) Casco Zapatos (Tapones de oídos) Otros GUANTES CON MANGA

Factores de la tarea	*Con referencia a:*
¿Qué ocurre? ¿Cómo fluyen las partes de entrada/salida? TUBO DE LA BANDA A MÁQUINA DE INSERCIÓN, LUEGO SELLADOR, Y REGRESO A BANDA	Diagramas de proceso de flujo
¿Qué tipos de movimientos se necesitan? LEVANTAMIENTOS REPETITIVOS, CAMINAR, AGARRAR	Análisis con video. Principios de economía de movimiento
¿Existen dispositivos? ¿Automatización? SÍ, POSICIONAR TUBO; SÍ, PARA PROCESO BÁSICO; NO, PARA MANEJO DE MATERIALES	
¿Qué herramientas se usan? NO	Lista de evaluación de herramientas
¿Está bien distribuido el lugar de trabajo? ¿Hay alcances lejos? NO – CAMINAR Y ALCANZAR SON EXCESIVOS	Lista de evaluación de estación de trabajo
¿Hay movimientos incómodos de dedos/muñecas? ¿Frecuencia? NO	Índice de riesgos CTD
¿Hay movimientos de levantar? SÍ, TUBOS DE VIDRIO PESADOS	Análisis de levantar NIOSH, modelo UM2D
¿Se fatiga el trabajador? ¿Carga física? SÍ, SÍ	Análisis de ritmo cardiaco, holguras trabajo-descanso
¿Toma decisiones? ¿Carga mental? MÍNIMAS	
¿Qué tan largo es cada ciclo? ¿Cuál es el tiempo estándar? ~ 1 1/2 MIN	Estudio de tiempos, lista de verificación MTM-2
Factores del entorno	**Lista de verificación trabajo-entorno**
¿Es aceptable la iluminación? ¿Hay reflejos? SÍ NO	Valores recomendado por IESNA
¿Es aceptable el nivel de ruido? NO – SE REQUIEREN TAPONES DE OÍDOS	Niveles de OSHA
¿Hay tensión por el calor? ¡SÍ!	WBRT
¿Hay vibraciones? NO	Estándares ISO

Factores administrativos	**Observaciones:**
¿Existen incentivos al salario? NO	INTENTAR POSICIONAR MÁS DE CERCA LA BANDA Y LAS MÁQUINAS, ¡MUY PELIGROSO!
¿Existe rotación del trabajo? ¿Enriquecimiento del trabajo? SÍ NO	
¿Se proporciona capacitación o especialización en el trabajo? SÍ	
¿Cuáles son las políticas administrativas globales? —	

Figura 2–6 Guía de análisis del trabajo/lugar de trabajo para una operación con terminal cargada en una instalación de manufactura de televisores.

todo actual y propuesto, fecha y nombre de la persona que hace el diagrama. La infor mación adicional puede incluir número de diagrama, planta, edificio y departamento.

Las líneas verticales indican el flujo general del proceso al realizar el trabajo, la horizontales que llegan a las líneas de flujo verticales indican los materiales, ya sea comprados o trabajados, que se usan en el proceso. Las partes se muestran al entrar a una línea vertical para ensamble o al salir de una línea vertical para desarmado. Los ma teriales que se desarman o extraen se representan por una línea de materiales horizonta dibujada a la derecha de la línea de flujo vertical, mientras que los de ensamble se mues tran con una línea horizontal dibujada a la izquierda de la línea vertical.

En general, el diagrama de proceso de la operación se construye de manera que no se crucen las líneas verticales y las horizontales. Si es necesario un cruce se usa la prác tica convencional para mostrar que no hay unión; esto es, se dibuja un pequeño semi círculo en la línea horizontal en el punto de intersección con la línea vertical (vea l figura 2–7).

Se asignan a cada operación e inspección los valores del tiempo, basados en esti maciones o en mediciones reales. La figura 2–8 muestra un diagrama de proceso de una operación en la manufactura de mesitas para teléfono.

El diagrama de proceso de la operación terminado ayuda al analista a visualizar e método actual, con todos sus detalles, para que pueda desarrollar procedimientos nue vos y mejores. Muestra el efecto que tendrá un cambio en una operación dada sobre la operaciones precedentes y subsecuentes. Es común lograr reducciones de 30% en e tiempo de desempeño al usar los principios de análisis de las operaciones junto con e

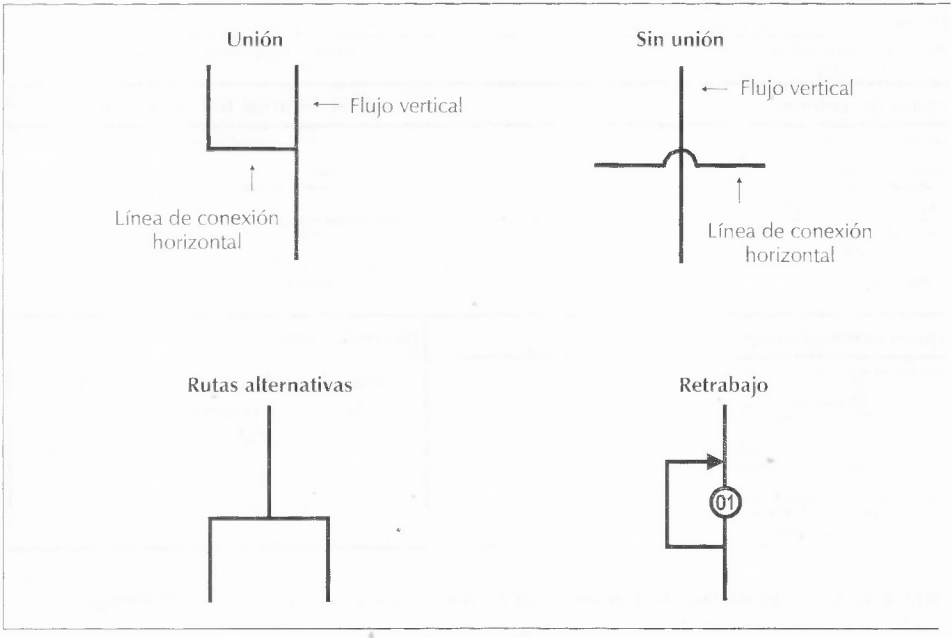


Figura 2–7 Convenciones para los diagramas de proceso.

diagrama de proceso de la operación. Es inevitable que la construcción del diagrama sugiera posibilidades de mejora.

El diagrama de proceso de la operación indica el flujo general de las componentes de un producto, y como cada paso se muestra en la secuencia cronológica adecuada, el diagrama, en sí, es una distribución de planta ideal. Así, el analista de métodos, el ingeniero de distribución de planta y las personas en áreas relacionadas encuentran esta técnica útil para desarrollar nuevas distribuciones y mejorar las existentes.

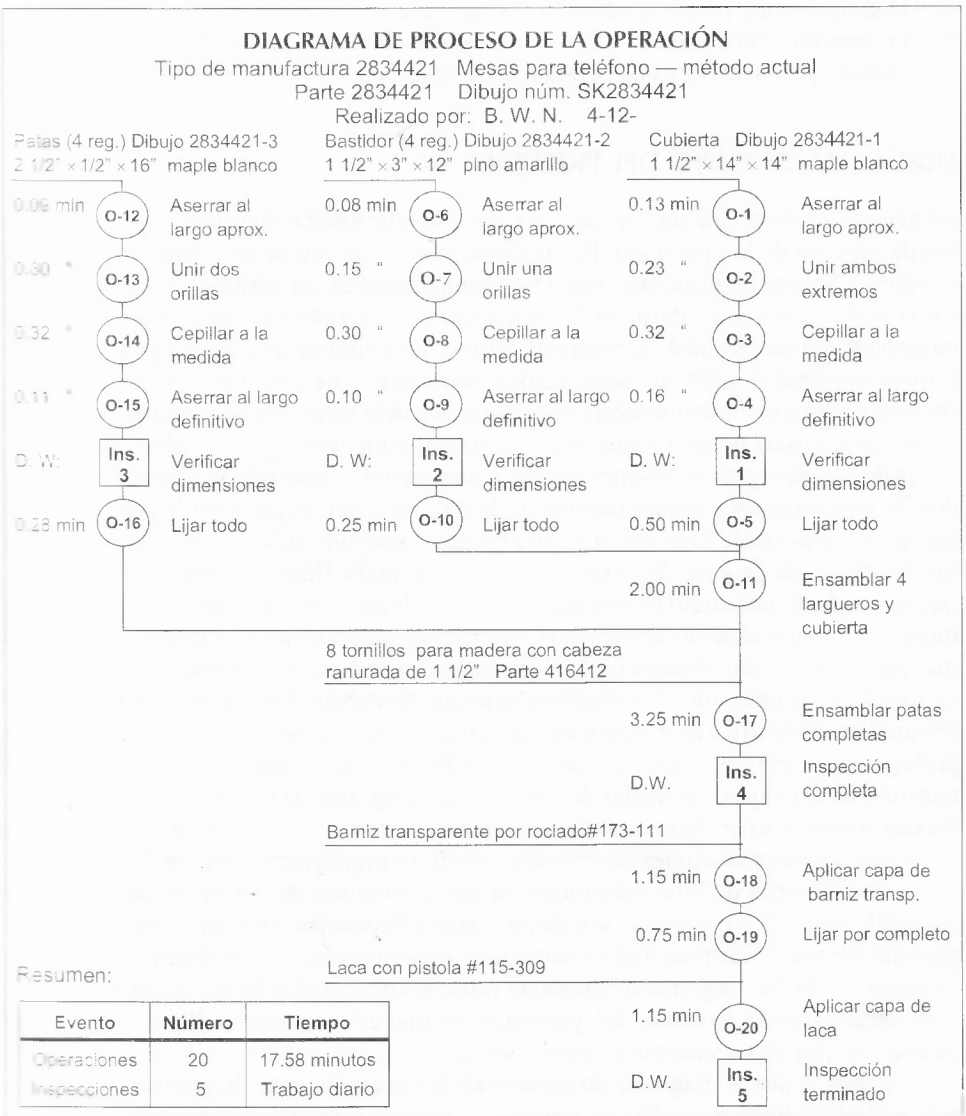


Figura 2–8 Diagrama de proceso de la operación que ilustra la manufactura de mesitas para teléfono.

El diagrama de proceso de la operación también es útil al promover y explicar el método propuesto. Como proporciona mucha información clara permite una comparación ideal entre dos soluciones posibles. Esta técnica importante:

1. Identifica todas las operaciones, inspecciones, materiales, movimientos, almacenamientos y retrasos al hacer una parte o completar un proceso.
2. Muestra todos los eventos en la secuencia correcta.
3. Muestra con claridad la relación entre las partes y la complejidad de su fabricación.
4. Distingue entre partes producidas y compradas.
5. Proporciona información sobre el número de empleados utilizados y el tiempo requerido para realizar cada operación e inspección.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

En general, el *diagrama de flujo del proceso* contiene mucho más detalle que el diagrama de proceso de la operación. Por lo tanto, es común que no se aplique al ensamble completo. Se usa, en principio, para cada componente de un ensamble o de un sistema para obtener el máximo ahorro en la manufactura, o en procedimientos aplicables a una componente o secuencia de trabajo específicos. El diagrama de flujo del proceso es valioso en especial al registrar costos ocultos no productivos, como distancias recorridas, retrasos y almacenamientos temporales. Una vez detectados estos periodos no productivos, los analistas pueden tomar medidas para minimizarlos y, por ende, sus costos.

Además de registrar las operaciones e inspecciones, estos diagramas muestran todos los movimientos y almacenamientos de un artículo en su paso por la planta. Entonces, los diagramas de flujo del proceso requieren símbolos adicionales a los usados en los diagramas de proceso de la operación. Una pequeña flecha significa un transporte, que se puede definir como mover un objeto de un lugar a otro, excepto cuando el movimiento se lleva a cabo durante el curso normal de una operación o inspección. Una D mayúscula indica una demora (*delay*) que ocurre cuando no se permite el procesamiento inmediato de una parte en la siguiente estación de trabajo. Un triángulo equilátero sobre un vértice significa un almacenamiento, que sucede cuando una parte se detiene y se protege contra el movimiento no autorizado. Estos cinco símbolos (vea la figura 2–9) constituyen el conjunto estándar de símbolos del diagrama de procesos (ASME, 1972). En ocasiones, se usan otros símbolos no estándar para operaciones de documentación o de apoyo y para operaciones combinadas, como se muestra en la figura 2–10.

Los diagramas de flujo del proceso de uso común son de dos tipos: de producto o material (figura 2–11, preparación de publicidad directa por correo) y operativos o de persona (figura 2–12, personal de servicio que inspecciona las unidades de campo de oxígeno LUX). El diagrama de producto proporciona detalles de los eventos que ocurren sobre un producto o material, y el diagrama operativo da los detalles de cómo realiza una persona una secuencia de operaciones.

Lo mismo que el diagrama de proceso de la operación, este diagrama se identifica con un título, "diagrama de flujo del proceso", y se acompaña de información que incluye número de parte, número de dibujo, descripción del proceso, método actual o propuesto, y el nombre de la persona que lo realiza. Otros datos, como planta, edificio o

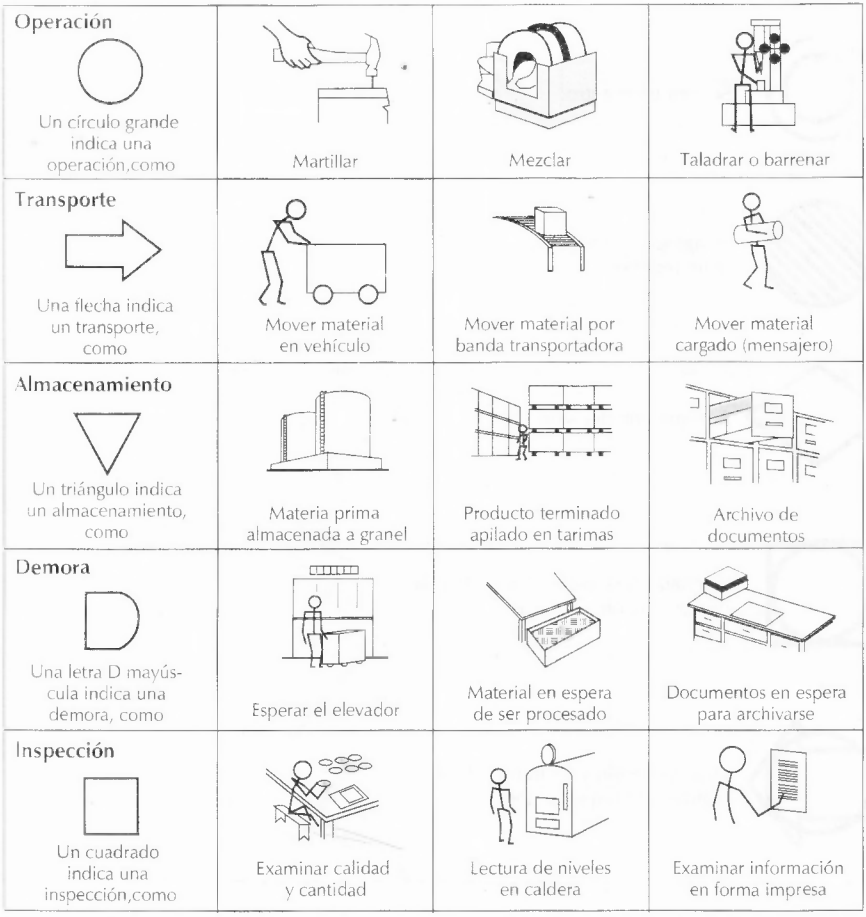


Figura 2–9 Conjunto estándar de símbolos para diagramas de proceso según la ASME.

departamento, número de diagrama, cantidad y costo pueden ser valiosos para identificar por completo el trabajo al que se refiere el diagrama.

Para cada evento del proceso, el analista asienta su descripción, marca el símbolo adecuado e indica los tiempos de proceso o demora y las distancias de los transportes. Después conecta los símbolos de los eventos sucesivos con líneas hacia abajo. La columna de la derecha proporciona espacio para que el analista escriba comentarios o recomendaciones de cambios potenciales.

Para determinar la distancia que se mueve, el analista debe medir con exactitud cada movimiento con un flexómetro. En general, se puede llegar a cifras bastante exactas si se cuenta el número de columnas (si existen) que pasa el material al moverse y luego se multiplica por el espacio entre ellas menos una. Es usual no registrar los movi-

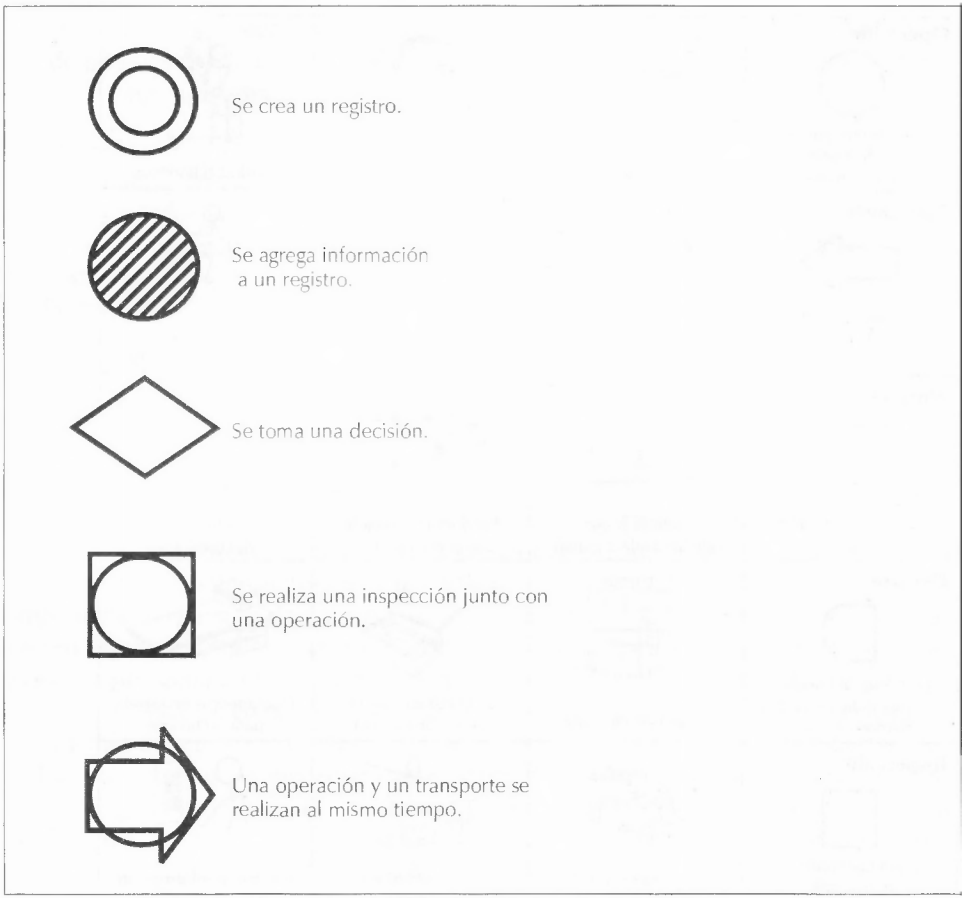


Figura 2–10 Símbolos no estándar para los diagramas de proceso.

mientos de 5 pies (1.5 m) o menos; sin embargo, puede hacerse si el analista piensa que afectan materialmente el costo total del método en estudio.

Todos los tiempos de demora y almacenamiento deben incluirse en el diagrama. Sin embargo no es suficiente con sólo indicar que ocurren. Cuanto más tiempo pase una parte en almacén o se demore, más grande será el costo que acumule y mayor será la espera del cliente para su entrega. Por lo tanto, es importante saber cuánto tiempo pasa una parte en una demora o almacenamiento. El método más económico para determinar la duración de las demoras es marcar varias partes con gis indicando la hora exacta en que se almacenaron o se detuvieron. Después, se verifica esa sección periódicamente para ver el momento en que esas partes regresan a producción. Con una muestra paralela en la cual se registra el tiempo transcurrido y el promedio de esos tiempos, el analista puede obtener valores con suficiente exactitud.

Diagrama de flujo del proceso

Página 1 de 1

Ubicación: Dorben Ad Agency

Actividad: Preparación de publicidad por correo

Fecha: 1-26-98

Operador: J. S. Analista: A. F.

Marque el método y tipo apropiados

Método: (Actual) Propuesto

Tipo: Obrero (Material) Máquina

Comentarios:

Resumen			
Actividad	Actual	Propuesto	Ahorros
Operación	4		
Transporte	4		
Demora	4		
Inspección	0		
Almacenaje	2		
Tiempo (min.)			
Distancia (pies)	340		
Costo			

Descripción de la actividad	Símbolo	Tiempo (minutos)	Distancia (pies)	Método Recomendado
almacén	○ ⇨ D □ ▽			
al cuarto de compaginación	○ ⇨ D □ ▽		100	
compaginar por tipo	○ ⇨ D □ ▽			
compaginar cuatro hojas	○ ⇨ D □ ▽			
apilar	○ ⇨ D □ ▽			
al cuarto de doblado	○ ⇨ D □ ▽		20	
acomodar, doblar, plegar	○ ⇨ D □ ▽			
apilar	○ ⇨ D □ ▽			
a la engrapadora de ángulo	○ ⇨ D □ ▽		20	
engrapar	○ ⇨ D □ ▽			
apilar	○ ⇨ D □ ▽			
al cuarto de correspondencia	○ ⇨ D □ ▽		200	
etiquetar con dirección	○ ⇨ D □ ▽			
al correo	○ ⇨ D □ ▽			
	○ ⇨ D □ ▽			
	○ ⇨ D □ ▽			
	○ ⇨ D □ ▽			
	○ ⇨ D □ ▽			
	○ ⇨ D □ ▽			

Figura 2–11 Diagrama de flujo del proceso (material) para la preparación de publicidad directa por correo.

El diagrama de flujo del proceso, igual que el diagrama de proceso de la operación, no es un fin, es sólo un medio para lograr un fin. Esta técnica facilita la eliminación o reducción de costos ocultos de una componente. Debido a que muestra con claridad los transportes, demoras y almacenamientos, la información que proporciona puede conducir a la reducción tanto en cantidad como en duración de estos elementos. Además, al registrar las distancias, el diagrama tiene un gran valor para el mejoramiento de la distribución de planta. Estas técnicas se describen con detalle en el capítulo 3.

Diagrama de proceso del flujo

Página 1 de 1

		Resumen			
Ubicación: Dorben Co.		Actividad	Actual	Propuesto	Ahorros
Actividad: Inspección de campo de oxígeno LUX		Operación	7		
Fecha: 4-17-97		Transporte	6		
Operador: T. Smith	Analista: R. Ruhf	Demora	2		
Marque el método y tipo apropiados		Inspección	6		
Método: (Actual) Propuesto		Almacenaje	0		
Tipo: (Obrero) Material Máquina		Tiempo (min.)	32.60		
Comentarios:		Distancia (pies)	375		
		Costo			

Descripción de la actividad	Símbolo	Tiempo (minutos)	Distancia (pies)	Método Recomendado
Dejar vehículo, caminar a la puerta, tocar timbre	○ ⇨ D □ ▽	1.00	75	Hablar antes al cliente para evitar retrasos
Esperar, entrar a la casa	○ ⇨ D □ ▽			
Caminar a tanque	○ ⇨ D □ ▽	0.25	25	
Desconectar tanque de la unidad	○ ⇨ D □ ▽	0.35		
Revisar si hay abolladuras, grietas en recubrimiento, vidrio roto o partes faltantes	○ ⇨ D □ ▽	1.25		Es mejor hacer esto mientras camina al vehículo
Limpiar unidad con limpiador y desinfectante reglamentarios	○ ⇨ D □ ▽	2.25		Esto se realiza con más efectividad en el vehículo
Regresar al vehículo con tanque vacío	○ ⇨ D □ ▽	1.00	75	
Abrir vehículo, colocar tanque en dispositivo y conectar la máquina	○ ⇨ D □ ▽	1.75		
Abrir válvula; iniciar llenado	○ ⇨ D □ ▽	0.25		
Esperar el llenado del tanque	○ ⇨ D □ ▽	12.00		Limpiar la unidad mientras se llena
Verificar que el humidificador funcione bien	○ ⇨ D □ ▽	0.50		Eliminar. Ya se hizo
Verificar presión (indicador)	○ ⇨ D □ ▽	0.20		
Verificar contenido de tanque (indicador)	○ ⇨ D □ ▽	0.20		
Regresar con el paciente con tanque lleno	○ ⇨ D □ ▽	1.10	100	
Conectar el tanque lleno	○ ⇨ D □ ▽	1.00		
Verificar funcionamiento de humidificador	○ ⇨ D □ ▽	0.75		
Esperar que el paciente quite la cánula nasal o la máscara	○ ⇨ D □ ▽	2.00		
Instalar nueva cánula o máscara	○ ⇨ D □ ▽	2.50		
Verificar flujo con el paciente	○ ⇨ D □ ▽	2.25		
Fijar etiqueta con inicial y fecha de inspección	○ ⇨ D □ ▽	1.00		Hacer esto durante el llenado
Regresar al vehículo	○ ⇨ D □ ▽	1.00	100	

Figura 2–12 Diagrama de flujo del proceso (trabajador) para la inspección de campo de oxígeno LUX.

DIAGRAMA DE FLUJO

Aunque el diagrama de flujo del proceso contiene la mayor parte de la información pe
tinente relacionada con el proceso de manufactura, no muestra un plano del flujo de tr
bajo. En ocasiones, esta información ayuda a desarrollar un nuevo método. P
ejemplo, antes de reducir un transporte, el analista debe ver o visualizar en dónde exis
un espacio para añadir una instalación que acorte la distancia. De igual manera, es ú

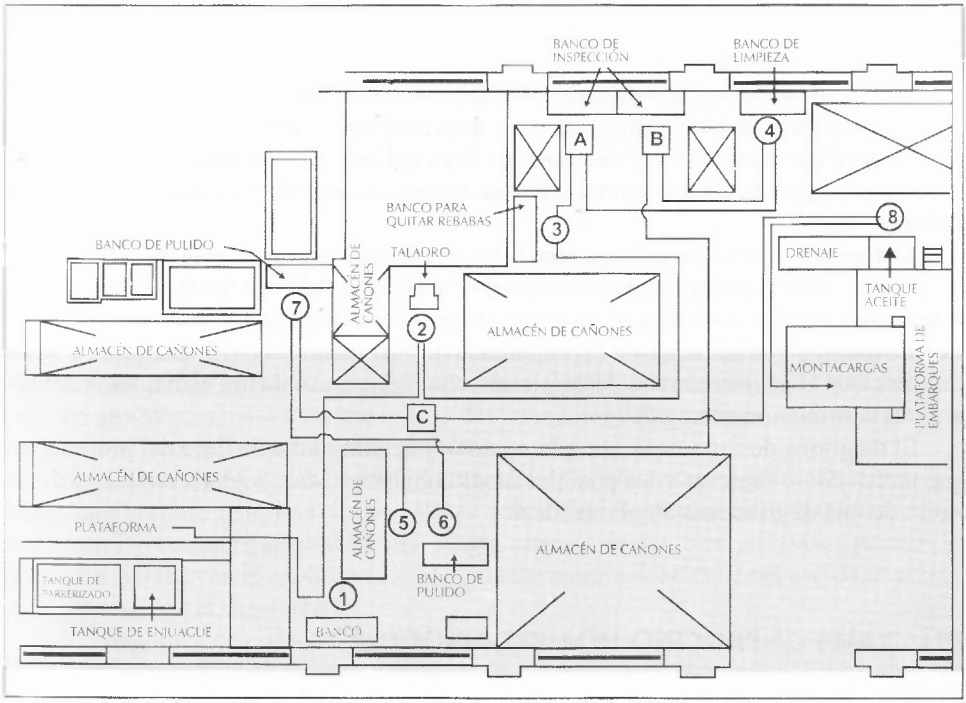


Figura 2–13 Diagrama de flujo de la distribución anterior para un grupo de operaciones del rifle Garand. (La sección sombreada de la planta representa el espacio total requerido para la distribución revisada [figura 2–14]. Esto significa un ahorro de 40% de espacio.)

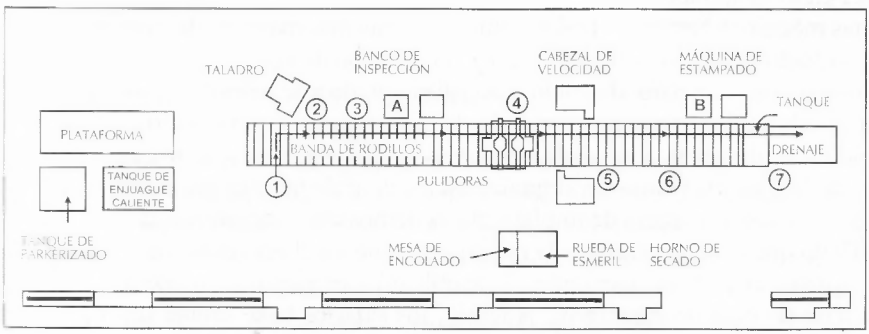


Figura 2–14 Diagrama de flujo de la distribución revisada para un grupo de operaciones del rifle Garand.

visualizar áreas de almacenamiento temporal o permanente, estaciones de inspección y puntos de trabajo.

La mejor manera de proporcionar esta información es tomar un plano existente de las áreas de la planta que se estudian y trazar las líneas del flujo que indican el movi-

miento del material de una actividad a la siguiente. Un *diagrama de flujo* es una representación pictórica de la distribución de la planta y los edificios, que muestra la localización de todas las actividades del diagrama de flujo del proceso. Al construir un diagrama de flujo, debe identificarse cada actividad con el símbolo y número correspondiente al que aparece en el diagrama de flujo del proceso. La dirección del flujo se indica con pequeñas flechas sobre las líneas. Se pueden usar varios colores para indicar distintos flujos.

La figura 2–13 ilustra un diagrama de flujo realizado junto con el diagrama de flujo del proceso para mejorar la producción del rifle Garand (M1) en Springfield Armory. Esta representación pictórica, junto con el diagrama de flujo del proceso, dio como resultado ahorros que aumentaron la producción de 500 cañones de rifle por turno a 3600 cañones, con el mismo número de empleados. La figura 2–14 ilustra el diagrama de flujo de la distribución corregida.

El diagrama de flujo es un complemento útil del diagrama de flujo del proceso, ya que indica cómo regresar y las posibles áreas congestionadas, además facilita el desarrollo de una distribución de planta ideal.

DIAGRAMA DE PROCESO HOMBRE-MÁQUINA

El *diagrama de proceso hombre-máquina* se usa para estudiar, analizar y mejorar una estación de trabajo a la vez. El diagrama muestra la relación de tiempo exacta entre el ciclo de trabajo de una persona y el de la máquina. Estas características pueden ayudar a lograr una utilización más completa tanto del trabajador como de la máquina y un mejor balance del ciclo de trabajo.

Muchas máquinas herramienta son completamente automáticas (desarmador automático) o semiautomáticas (torno revólver). Con este tipo de instalaciones, a menudo el operador está ocioso una parte del ciclo. La utilización de este tiempo ocioso puede incrementar el salario del trabajador y mejorar la eficiencia de la producción.

La costumbre de que un empleado opere más de una máquina se conoce como *acoplamiento de máquinas*. Como las organizaciones de trabajadores pueden resistirse a este concepto, la mejor manera de implantarlo es demostrar la oportunidad de mayores ingresos. Dado que el acoplamiento de máquinas aumenta el porcentaje de "tiempo de esfuerzo" durante el ciclo de operación, es posible ofrecer mayor salario si una compañía cuenta con un plan de incentivos. Además, los salarios base suelen ser más altos cuando se practica el acoplamiento de máquinas, pues el operario tiene mayor responsabilidad y puede realizar un mayor esfuerzo físico y mental.

Al construir el diagrama, el analista primero debe identificarlo con un título como "diagrama de proceso hombre-máquina". La información adicional incluye: número de parte, número de dibujo, descripción de la operación, método presente o propuesto, fecha y nombre de la persona que lo realiza.

Los diagramas de proceso hombre-máquina siempre se hacen a escala, entonces el analista elige la distancia en pulgadas que representa una unidad de tiempo, de manera que el diagrama sea claro. Mientras más largo sea el ciclo de la operación, más cor

será la distancia por décimo de minuto. Una vez establecidos los valores exactos para la distancia, en pulgadas por unidad de tiempo, se inicia la gráfica. El lado izquierdo muestra las operaciones y el tiempo que usa el trabajador; a la derecha se colocan los tiempos de trabajo y ociosos de la(s) máquina(s). Una línea continua vertical representa el tiempo de trabajo del empleado. Una discontinuidad en esta línea significa tiempo ocioso. De manera similar, una línea continua bajo el nombre de cada máquina indica tiempo de operación y las discontinuidades designan tiempo ocioso de la máquina. Una línea punteada en la columna de una máquina señala tiempo de carga y descarga de la máquina, durante el cual no está ociosa y tampoco productiva (vea la figura 2–15).

El analista registra todos los elementos de tiempo de trabajo y ocioso para el operario y la máquina hasta que termina el ciclo. La parte inferior del diagrama muestra los tiempos totales de trabajo y ociosos, tanto para el trabajador como para la máquina. El tiempo productivo más el tiempo ocioso del trabajador debe ser igual al tiempo productivo más el tiempo ocioso de cada máquina que opera.

Es necesario obtener valores de tiempos elementales exactos antes de construir el diagrama hombre-máquina. Estos valores deben representar los tiempos estándar que incluyen las holguras aceptables por fatiga, retrasos inevitables y retrasos personales (vea más detalles en el capítulo 11). El analista siempre debe evitar el uso de cronómetros al construir el diagrama.

El diagrama del proceso hombre-máquina terminado muestra con claridad las áreas de ocurrencia de tiempo ocioso de la máquina y el trabajador. En general, estas áreas son un buen punto de partida para el mejoramiento. Sin embargo, también debe compararse el costo de la máquina ociosa con el del empleado ocioso. El analista podrá recomendar un método sobre otro sólo hasta haber considerado el costo total. Las consideraciones económicas se presentan en la siguiente sección.

DIAGRAMAS DE PROCESO DE GRUPO

El *diagrama de proceso de grupo*, en cierto modo, es una adaptación del diagrama hombre-máquina. Este último ayuda a determinar el número más económico de máquinas que un trabajador puede operar. No obstante, algunos procesos e instalaciones son de tal magnitud que en lugar de que un trabajador opere varias máquinas, se requieren varios trabajadores para operar una máquina con efectividad. El diagrama de proceso de grupo muestra la relación exacta entre los ciclos de operación y ociosos de la máquina y los tiempos de operación y ociosos por ciclo de los trabajadores que la atienden. El diagrama revela la posibilidad de mejoramiento si se reducen ambos tiempos ociosos.

La figura 2–16 ilustra el diagrama de proceso de grupo para un proceso con un gran número de horas ociosas, hasta 18.4 en un turno de 8 horas y también muestra que la compañía emplea dos operarios más de los que necesita. La compañía reubicó algunos controles del proceso con lo que pudo reasignar los elementos de trabajo para que cuatro operarios, y no seis, operaran la prensa de extrusión. Una mejor operación del mismo proceso se muestra en el diagrama de grupo de la figura 2–17. Fue sencillo obtener el ahorro de 16 horas por turno desarrollado mediante este diagrama.

DIAGRAMA DE PROCESO HOMBRE-MÁQUINA

Diagrama de Fresar ranura en abrazadera de regulador — Diagrama núm. 807
Dibujo núm. J-1492 — Parte núm J-1492-1 — Método Propuesto
Inicio de diagrama Cargar máquina para fresado — Realizó C. A. Anderson
Fin de diagrama Descargar abrazaderas ranuradas — Fecha 8-27 — Hoja 1 de 1

Descripción del elemento	*Operador*	B&S Hor. Mill *Máquina 1*		B&S Hor. Mill *Máquina 2*	
Detener máquina #1	.0004				
Regresar banda máquina #1 5 pulgadas	.0010	Descargar	.0024		
Aflojar sujetador, sacar pieza y ponerla a un lado (máquina #1)	.0010			Fresar ranura	.0040
Recoger pieza y apretar sujetador máquina #1	.0018				
Arrancar máquina #1	.0004			Tiempo ocioso	
		Cargar	.0032		
Avanzar banda y conectar alimentación máquina #1	.0010				
Caminar a máquina #2	.0011				
Parar máquina #2	.0004	Fresar ranura	.0040		
Regresar banda máquina #2 5 pulgadas	.0010			Descargar	.0024
Aflojar sujetador, sacar pieza y ponerla a un lado (máquina #2)	.0010				
Recoger pieza y apretar sujetador (máquina #2)	.008				
				Cargar	.0032
Arrancar máquina #2	.0004	Tiempo ocioso			
Avanzar banda y conectar alimentación máquina #2	.0010				
Caminar a máquina #1	.0011				
Tiempo ocioso de operador por ciclo	.0000			Tiempo ocioso máquina #1	.0038
Tiempo de trabajo de operador por ciclo	.0134			Horas productivas máquina #1	.0096
Horas-hombre por ciclo	.0134			Tiempo de ciclo máquina #1	.0134
		Tiempo ocioso máquina #2	.0038		
		Horas productivas máquina #2	.0096		
		Tiempo de ciclo máquina #2	.0134		

Figura 2–15 Diagrama de proceso hombre-máquina para una operación de fresado.

RELACIONES CUANTITATIVAS ENTRE HERRAMIENTAS, TRABAJADOR Y MÁQUINA

Aun cuando el diagrama de proceso hombre-máquina ilustra el número de instalacione que pueden asignarse a un operario, con frecuencia esto se calcula en menos tiemp mediante el desarrollo de un modelo matemático. Por lo común, la relación hom bre-máquina es de tres tipos: 1) servicio sincronizado, 2) servicio completamente alea torio y 3) una combinación de servicio sincronizado y aleatorio.

DIAGRAMA DE PROCESO DE GRUPO CON EL MÉTODO ACTUAL

PRENSA HIDRÁULICA DE EXTRUSIÓN DEPTO. II PLANTA EN BELLEFONTE

ELABORADO POR B.W.N. 4-15 DIAGRAMA No. G-85

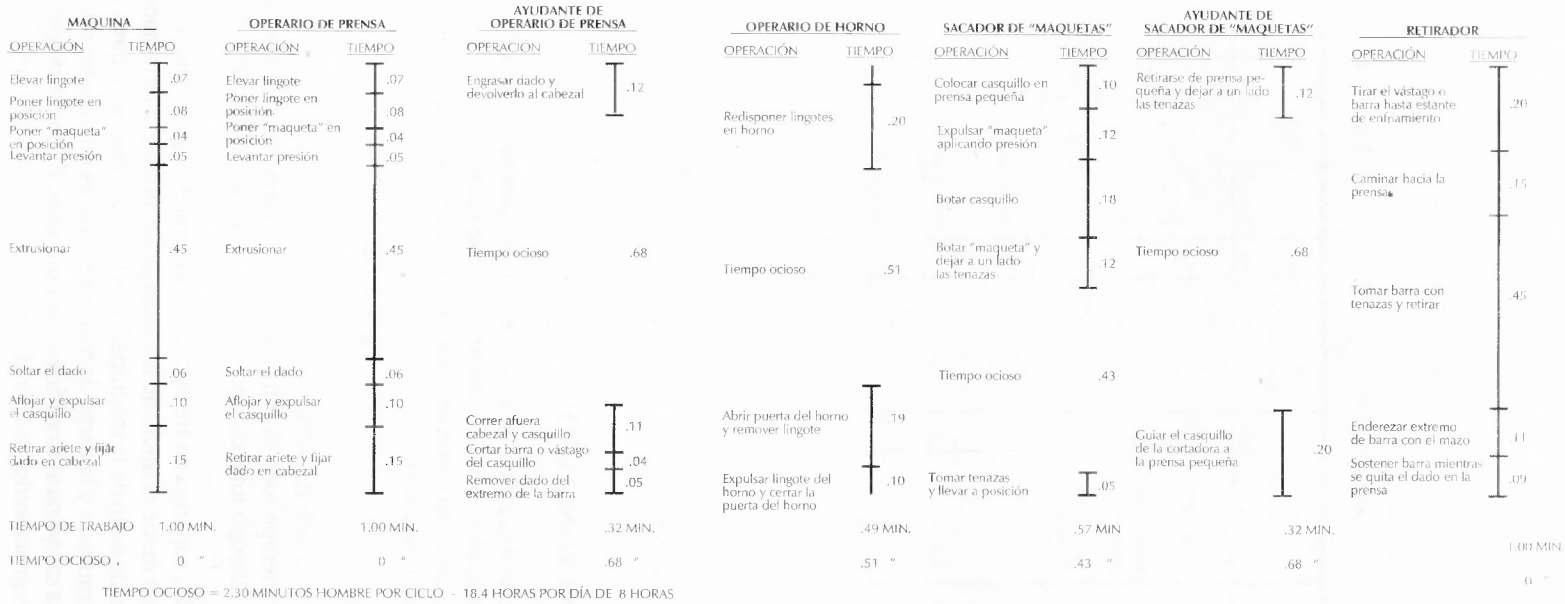


Figura 2–16 Diagrama de proceso de grupo con el método actual en un proceso de extrusión hidráulica.

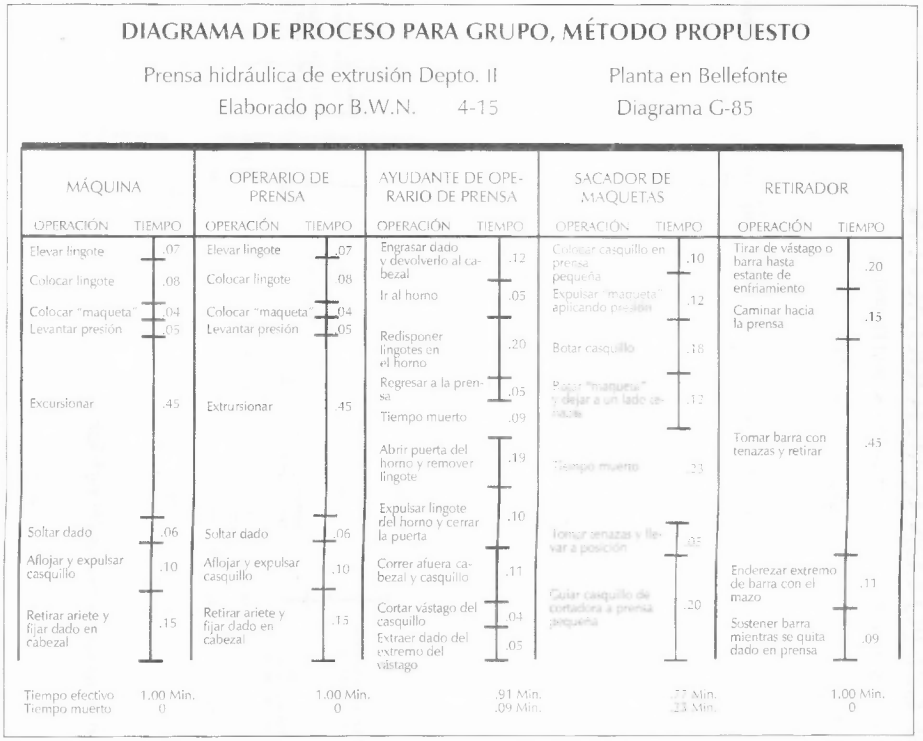


Figura 2–17 Diagrama de proceso de grupo para el método propuesto de la operación de un proceso de extrusión hidráulico

SERVICIO SINCRONIZADO

Al asignar más de una máquina a un operario no siempre se obtiene el caso ideal en el que tanto el trabajador como las máquinas están ocupados durante todo el ciclo. Esos casos ideales se conocen como *servicio sincronizado*, y el número de máquinas asignadas se puede calcular como:

$$n = \frac{l + m}{l}$$

donde: n = número de máquinas asignadas al operario.
l = tiempo total de carga y descarga (servicio) del operario por máquina.
m = tiempo total de operación de la máquina (alimentación automática).

Por ejemplo, suponga un tiempo de ciclo total de cuatro minutos para procesar un producto medido desde el inicio de la descarga del producto terminado anterior hasta el final del tiempo de ciclo de la máquina. El servicio del operario, que incluye la descarga del producto terminado y la carga de materia prima, es un minuto, mientras que el tiempo de ciclo de la máquina automática es tres minutos. El resultado del servicio sincronizado sería la asignación de:

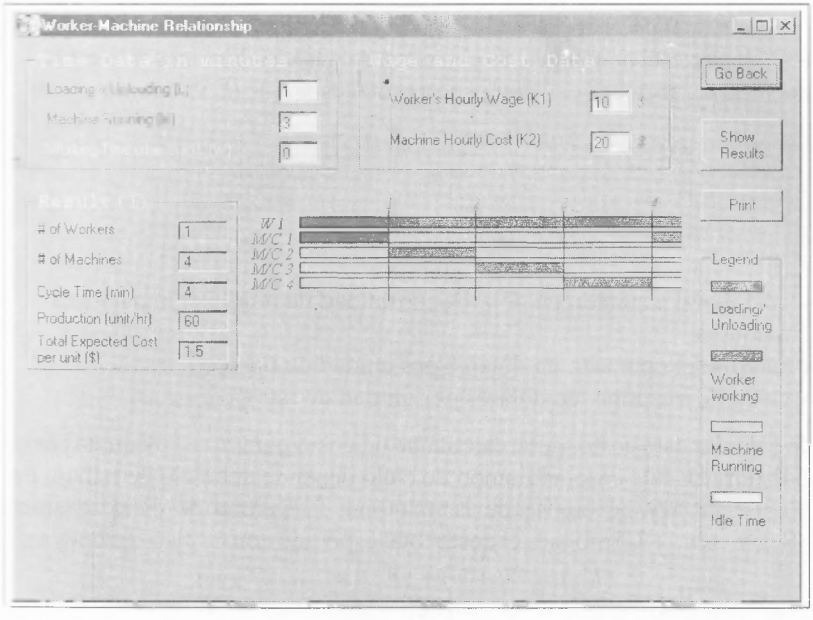


Figura 2–18 Asignación de servicio sincronizado para un operario y cuatro máquinas

$$n = \frac{l + 3}{l} = 4 \text{ máquinas}$$

En una gráfica, esta asignación aparecería como se muestra en la figura 2–18, cuando el operario se mueve a la segunda máquina una vez que sirvió a la primera. Para el momento en que sirve la cuarta máquina, el operario debe regresar a la primera para darle servicio, puesto que ha terminado el ciclo de la primera máquina automática.

Si se aumenta el número de máquinas en este ejemplo, ocurre interferencia de máquinas y se tiene una situación en la que una o más instalaciones no se utilizan durante una parte del ciclo de trabajo. Si se reduce a algún número menor que cuatro, entonces el operario estará ocioso una parte del ciclo. En esos casos, el costo total mínimo por pieza representa el criterio de la operación óptima. Para establecer el mejor método, el analista debe evaluar el costo de cada máquina ociosa y el salario por hora de cada operario. Las técnicas cuantitativas pueden determinar el mejor arreglo. El procedimiento es primero estimar el número de máquinas que deben asignarse a un operario en condiciones realistas estableciendo el número entero más pequeño a partir de la siguiente ecuación:

$$n_1 \leq \frac{l + m}{l + w}$$

donde n_1 = número entero menor,
w = tiempo total del operario (sin interactuar directamente con la máquina, como al caminar hacia la otra máquina).

El tiempo de ciclo cuando el operario da servicio a n_1 máquinas es $l + m$, ya que en este caso el trabajador no está ocupado todo el ciclo, pero las instalaciones sí lo están.

Una vez obtenido n_1, se puede calcular el costo total esperado (CTE) como sigue:

$$\text{CTE}_{n_1} = \frac{K_1(l + m) + n_1K_2(l + m)}{n_1}$$

$$= \frac{(l + m)(K_1 + n_1K_2)}{n_1}$$

donde: CTE = costo total esperado en dólares por unidad de producción para una máquina,

K_1 = salario del operario, en dólares por unidad de tiempo,

K_2 = costo de máquina, en dólares por unidad de tiempo.

Después de calcular este costo, debe calcularse un costo para $n_1 + 1$ máquinas asignadas a un trabajador. En este caso, el tiempo de ciclo depende del ciclo de trabajo del operario, ya que existe tiempo ocioso de la máquina. El tiempo de ciclo es ahora $(n_1 + 1)(l + w)$. Sea $n_2 = n_1 + 1$. Entonces el costo total esperado con n_2 instalaciones es:

$$\text{CTE}_{n_2} = \frac{(K_1)(n_2)(l + w) + (K_2)(n_2)(n_2)(l + w)}{(n_2)}$$

$$= (l + w)(K_1 + n_2K_2)$$

El número de máquinas asignadas depende de la cantidad n_1 o n_2 que dé el menor costo total esperado por pieza.

EJEMPLO 2.1 Servicio sincronizado

Un operario tarda 1 minuto en servir una máquina y 0.1 minuto para caminar a la siguiente máquina. Cada una trabaja de manera automática durante 3 minutos, el operario gana \$10.00/hora y el costo de operar la máquina es \$20.00(hora. ¿cuántas máquina puede atender el operario?

El número óptimo de máquinas que puede servir el operario es:

$$n = (l+m)/(l+w) = (1+3)/(1+0.1) = 3.6$$

Cuando el número es fraccionario se tienen dos opciones. Se pueden asignar tres máquinas al operario (resultado 1), en cuyo caso, el operario estaría ocioso parte del tiempo. O se pueden asignar cuatro máquinas al operario (resultado 2), en cuyo caso las máquinas estarían paradas parte del tiempo. La selección de la mejor opción puede basarse en la economía de la situación, es decir, en el menor costo por unidad.

En el resultado 1, el costo esperado de producción a partir de la ecuación de costo total anterior (con una división entre 60 para convertir horas a minutos) es

$$\text{CTE}_{n_1} = (l+m)(K_1+n_1K_2)/n_1 = (1+3)(10+3\times20)/3/60 = \$1.556/\text{unidad}$$

Un enfoque alternativo es calcular la tasa de producción (R) por hora:

$$R = \frac{60}{1+m} \times n_1$$

Cuando las máquinas son el factor que limita (es decir, el trabajador está ocioso parte del tiempo) y las máquinas están operando, la tasa de producción se basa en una unidad por máquina por 4.0 minutos de tiempo de ciclo total (1.0 minutos de tiempo de servicio, 3.0 minutos de tiempo de máquina). Con 3 máquinas operando 60 minutos/hora, la tasa de producción es:

$$R = \frac{60}{1+3} \times 3 = 45 \text{ unidades/hora}$$

Entonces, el costo esperado es el costo de la mano de obra y las máquinas dividido entre la tasa de producción:

$$\text{CTE}_3 = (K_1 + n_1 K_2) / R = (10 + 3 \times 20) / 45 = \$1.556/\text{unidad}$$

En el resultado 2, el costo de producción esperado a partir de la ecuación (2) es:

$$\text{CTE}_4 = (l+w)(K_1 + n_2 K_2) = (1+0.1)(10+4 \times 20) / 60 = \$1.65/\text{unidad}$$

En el enfoque alternativo, la tasa de producción se basa en que el trabajador es el factor que limita (esto es, hay tiempos ociosos de las máquinas). Como el trabajador puede producir una unidad por ciclo de 1.1 minutos (1.0 minutos de tiempo de servicio y 0.1 minuto de tiempo de caminata), la tasa de producción (R) por hora para el enfoque alternativo es:

$$R = \frac{60}{1+w} = \frac{60}{1.1} = 54.54 \text{ unidades/hora}$$

Entonces el costo es el costo esperado de mano de obra y máquinas dividido entre la tasa de producción:

$$\text{CTE}_4 = (K_1 + n_1 K_2) / R = (10 + 4 \times 20) / 54.54 = \$1.65/\text{unidad}$$

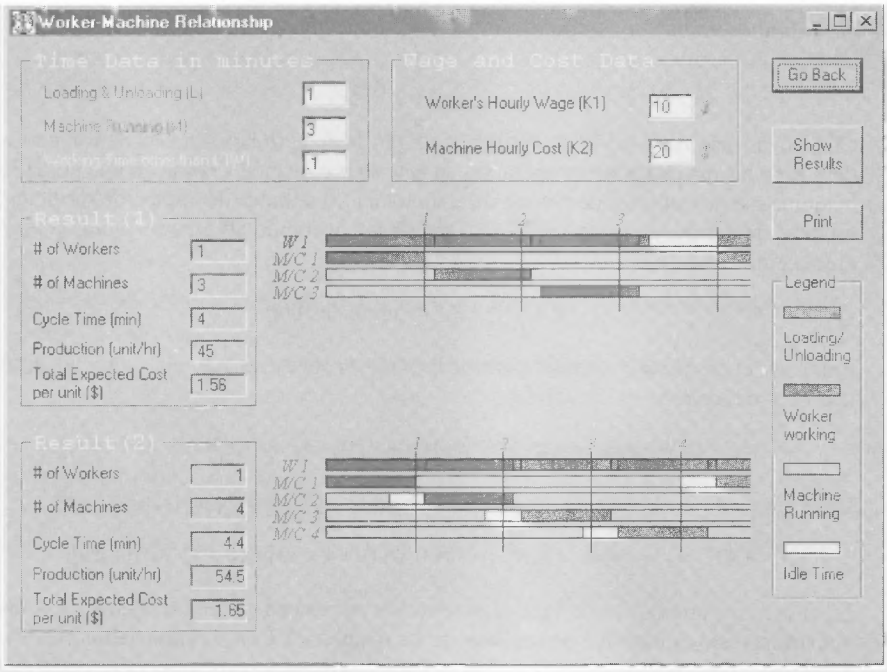
Con base en el menor costo, la asignación de tres máquinas es la mejor. Sin embargo, si existe una demanda del mercado a un buen precio de venta, las ganancias se pueden maximizar si se usa una asignación de cuatro máquinas. También note que, en este ejemplo, con un tiempo de caminata de 0.1 minuto, la producción disminuye del ideal de 60 unidades por minuto (vea la figura 2–18).

Observe el efecto que se obtiene al reducir el tiempo de carga/descarga de 1 minuto a 0.9 minutos, que es un tiempo relativamente pequeño. El número óptimo de máquinas que el operario puede servir es ahora:

$$n = (l+m) / (l+w) = (0.9+3) / (0.9+0.1) = 3.9$$

Aunque el número todavía es fraccionario, ahora es muy cercano a cuatro, la cantidad realista. Si se asignan tres máquinas al operario (resultado 1), éste estará ocioso una porción mayor de tiempo, que aumenta de 0.7 a 0.9 minutos o a casi 25% del tiempo. El costo de producción esperado según la ecuación (1) es (con la división entre 60 para convertir horas a minutos):

$$\text{CTE}_3 = (l+w)(K_1 + n_2 K_2) / n_1 = (0.9+3)(10+3 \times 20) / 3 / 60 = \$1.517/\text{unidad}$$



El enfoque alternativo conduce a una tasa de producción:

$$R = \frac{60}{1+m} \times n_1 = \frac{60}{3.9} \times 3 = 46.15 \text{ unidades/hora}$$

El costo esperado es el costo de mano de obra y de máquinas entre la tasa de producción:

$$\text{CTE}_3 = (K_1 + n_1 K_2) / R = (10 + 3 \times 20) / 46.15 = \$1.517/\text{unidad}$$

Si se asigna al trabajador cuatro máquinas, número que es más realista (resultado 2), el tiempo ocioso de la máquina, que es el más costoso, disminuye de 0.4 minutos a 0.1 minutos. El costo esperado de producción según la ecuación (2) es:

$$\text{CTE}_4 = (l + w)(K_1 + n_2 K_2) = (0.9 + 0.1)(10 + 4 \times 20) / 60 = \$1.50/\text{unidad}$$

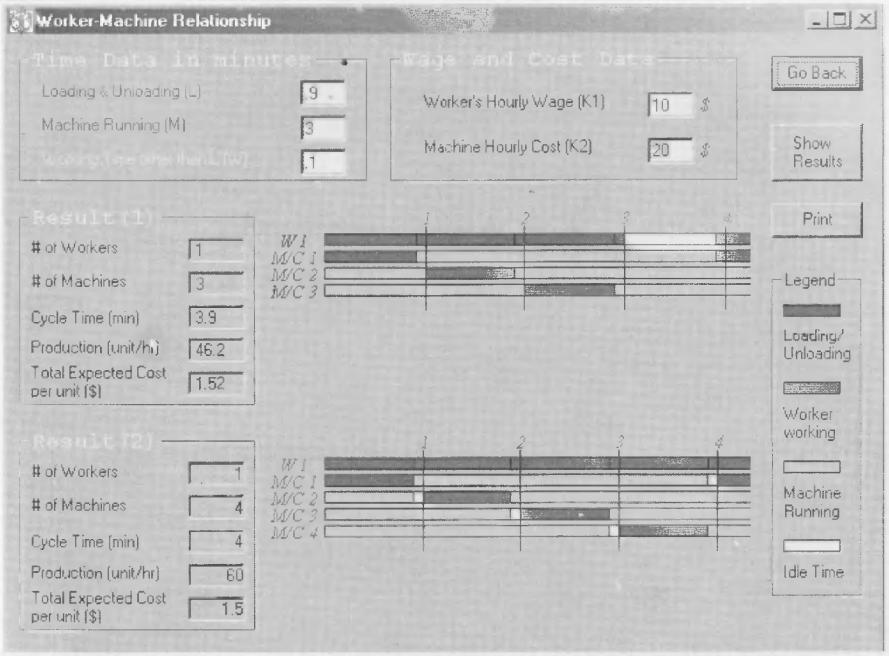
El enfoque alternativo conduce a una tasa de producción (R) por hora:

$$R = \frac{60}{1+w} = \frac{60}{1.0} = 60 \text{ unidades/hora}$$

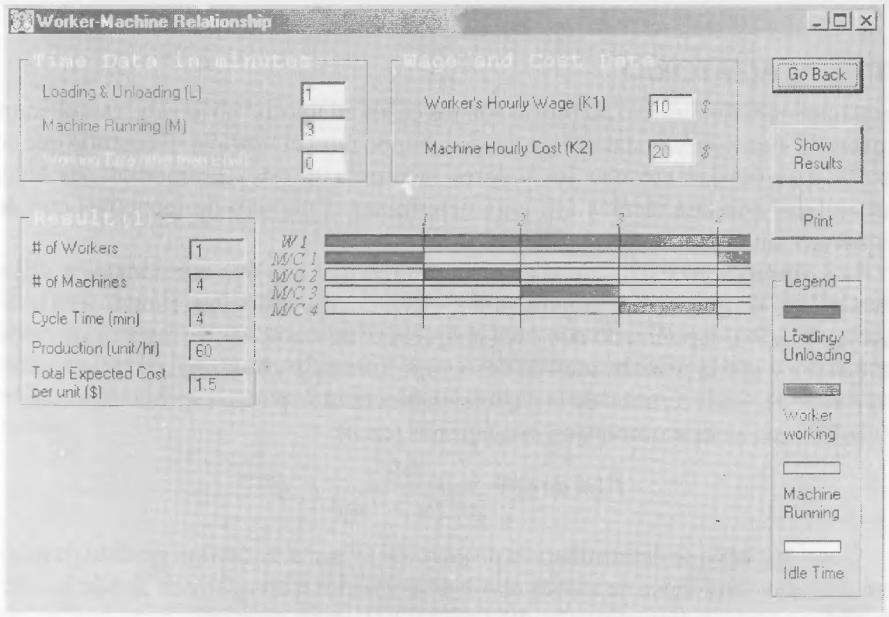
El costo esperado es el costo de mano de obra y máquinas entre la tasa de producción:

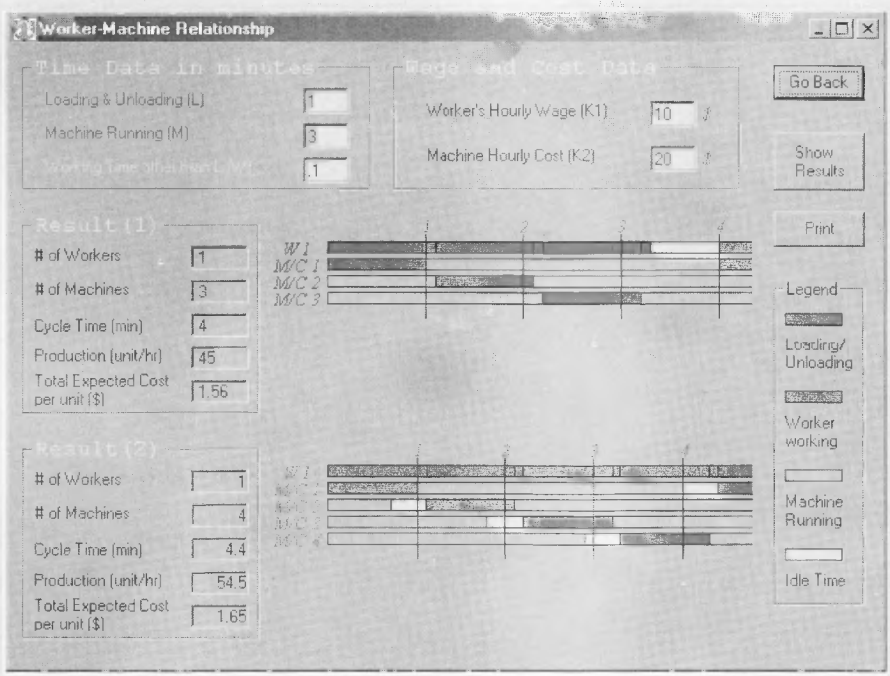
$$\text{CTE}_4 = (K_1 + n_1 K_2) / R = (10 + 4 \times 20) / 60 = \$1.50/\text{unidad}$$

Con base en el costo mínimo y el tiempo ocioso mínimo, la asignación de cuatro máquinas es ahora la mejor. Advierta que la disminución de 10% en el tiempo de carga/descarga (de 1 minuto a 0.9 minutos) dio como resultado varias mejoras positivas:



- incremento de 10% en la producción (60 *v.s.* 54.54 unidades /hora)
- reducción del tiempo ocioso de 0.7 min para el operario (17.5% del tiempo de ciclo) con el primer escenario a 0.1 min para las máquinas en el segundo escenario
- disminución de 3.6% en costos unitarios de $1.556 a $1.50 por unidad





Esto demuestra la importancia de disminuir el tiempo de carga o preparación, que se estudiará con más detalle en el capítulo 3. Observe también que al disminuir el tiempo de caminata en una cantidad comparable (0.1 min que en este caso la elimina por completo) se obtiene el caso ideal mostrado en seguida o en la figura 2–18 con el mismo costo unitario de $1.50.

SERVICIO ALEATORIO

Las situaciones de *servicio aleatorio* son los casos en los que no se sabe en qué momento necesita atención la instalación o cuánto tiempo dura el servicio. Es común que se conozcan o se puedan calcular los valores medios; con estos promedios, las leyes de probabilidad son una técnica útil para determinar el número de máquinas que deben asignarse a un operario.

Los términos sucesivos de la expansión binomial dan una aproximación útil de la probabilidad de que se descompongan 0, 1, 2, 3, . . . , n máquinas (donde n es relativamente pequeño), suponiendo que cada máquina se descompone de manera aleatoria durante el día y que la probabilidad de descompostura es p y la probabilidad de que opere es $q = (1 - p)$. Cada término de la expansión binomial se puede expresar como la probabilidad de que se descompongan m máquinas (de n):

$$P(m\,de\,n) = \frac{n!}{m!\,(n - m)!}\,p^m q^{n-m}$$

Como ejemplo se determinará la proporción mínima de tiempo perdido de máquina para distintas cantidades de tornos revólver asignados a un operario, donde la máquina promedio opera sin atención 60% del tiempo. El tiempo promedio de atención del ope-

rario (máquina descompuesta o requiere servicio) a intervalos regulares es 40%. El analista estima que deben asignarse tres tornos por empleado en este tipo de trabajo. Con este arreglo, las probabilidades de que se descompongan m máquinas (de n) son:

Máquinas descompuestas (m)	Probabilidad
0	$\frac{3!}{0!(3-0)!}(.4)^0(.6)^3 = (1)(1)(.216) = .216$
1	$\frac{3!}{1!(3-1)!}(.4)^1(.6)^2 = (3)(.4)(.36) = .432$
2	$\frac{3!}{2!(3-2)!}(.4)^2(.6)^1 = (3)(.16)(.6) = .288$
3	$\frac{3!}{3!(3-3)!}(.4)^3(.6)^0 = (1)(.064)(1) = .064$

Con este enfoque se puede determinar la proporción de tiempo que las máquinas están paradas y el tiempo perdido resultante de un operario por cada tres máquinas. En este ejemplo se tiene:

Núm de máquinas paradas	Probabilidad	Horas-máquina perdidas por turno de 8 horas
0	0.216	0
1	0.432	0*
2	0.288	(0.288)(8) = 2.304
3	0.064	(2)(0.064)(8) = 2.034
	1.000	3.328

*Como sólo una máquina está parada a la vez, el operario puede atenderla.

$$\text{Proporción de tiempo de máquina perdido} = \frac{3.328}{24.0} = 13.9\%$$

Se pueden realizar cálculos similares para la asignación de mayor o menor cantidad de máquinas para determinar la asignación que proporcione el menor tiempo de máquina perdido. Por lo común, la asignación más satisfactoria es el arreglo que da el menor costo total esperado por pieza, donde para un arreglo dado, este costo se calcula con la expresión:

$$\text{CTE} = \frac{K_1 + nK_2}{R}$$

donde: K_1 = salario por hora del operario,
K_2 = costo por hora de la máquina,

n = número de máquinas asignadas,
R = producción en piezas, de las n máquinas por hora.

Las piezas por hora de las n máquinas se calculan con el tiempo medio por pieza que requiere una máquina, el tiempo promedio de servicio de la máquina por pieza y el tiempo perdido por hora.

Por ejemplo, para la asignación de 5 máquinas a un operario, un analista determinó que el tiempo de maquinado por pieza era 0.82 horas, el tiempo para atender la máquina por pieza era 0.17 horas y el tiempo promedio de descomposturas 0.11 horas por máquina por hora. Entonces, cada máquina está disponible para trabajo de producción sólo 0.89 horas cada hora. El tiempo promedio requerido para producir una pieza por máquina sería:

$$\frac{0.82 + 0.17}{0.89} = 1.11$$

Por lo tanto, las cinco máquinas producirán 4.5 piezas por hora. Si el salario por hora del operario es \$12 y el costo por hora de la máquina es \$22, se tiene un costo total esperado por pieza de:

$$\frac{\$12.00 + 5(\$22.00)}{4.5} = 27.11$$

EJEMPLO 2.2 Servicio aleatorio

Se asigna un operario para dar servicio a tres máquinas que tienen un tiempo esperado de descompostura de 40%. Cuando operan, cada máquina puede producir 60 unidades/hora. El operario gana \$10.00/hora y operar una máquina cuesta \$60.00/hora. ¿vale la pena contratar otro operario para mantener estas máquinas en operación?

Caso A: un operario

Máquinas paradas (m)	Probabilidad	Horas-máquina perdidas por día de 8 horas
0	$\frac{3!}{0!\,3!}(.4)^0(.6)^3 = 0.216$	0
1	$\frac{3!}{1!\,2!}(.4)^1(.6)^2 = 0.432$	0
2	$\frac{3!}{2!\,1!}(.4)^2(.6)^1 = 0.288$	$0.288 \times 8 = 2.304$
3	$\frac{3!}{3!\,0!}(.4)^3(.6)^0 = 0.064$	$0.064 \times 16 = 1.024$

Si se considera que se pierde un total de 3.328 horas de producción (2.304+ 1-024) en un día de 8 horas, sólo se pueden producir 1240.3 unidades (20.672×60) a un promedio por hora de 155.04. El costo unitario es:

$$CTE = (10 + 3 \times 60) / 155.04 = \$1.23 / \text{unidad}$$

Caso B: dos operarios

Máquinas paradas (m)	Probabilidad	Horas-máquina perdidas por día de 8 horas
0	$\frac{3!}{0!\,3!}(.4)^0(.6)^3 = 0.216$	0
1	$\frac{3!}{1!\,2!}(.4)^1(.6)^2 = 0.432$	0
2	$\frac{3!}{2!\,1!}(.4)^2(.6)^1 = 0.288$	0
3	$\frac{3!}{3!\,0!}(.4)^3(.6)^0 = 0.064$	$0.064 \times 8 = 0.512$

Existe una mejora considerable respecto al caso A. Como sólo se pierden 0.512 horas de producción en un día de 8 horas, la producción aumenta a 1409.28 unidades (23.488×60) o un promedio por hora de 176.16. El costo unitario es:

$$CTE = (2 \times 10 + 3 \times 60) / 176.16 = \$1.14 / \text{unidad}$$

Por lo tanto, hay eficiencia de costo si se contrata otro operario y se mantienen las máquinas en operación.

Observe que al contratar un tercer operario para mantener las máquinas en operación todo el tiempo no se logra más eficiencia en el costo. Aunque la producción total aumenta de manera marginal, el costo total se incrementa más y el costo unitario se convierte en:

$$CTE = (3 \times 10 + 3 \times 60) / 180 = \$1.17 / \text{unidad}$$

RELACIONES COMPLEJAS

Quizá el tipo más común de relación hombre-máquina es una combinación de los servicios sincronizado y aleatorio. En este caso, el tiempo de servicio es relativamente constante, pero el servicio de las máquinas es aleatorio. Más aún, se supone que el tiempo entre las descomposturas tiene una distribución de probabilidad dada. Conforme aumenta el número de máquinas y su relación con el operario se vuelve más compleja, la interferencia de máquinas y los tiempos de retraso consecuentes se incrementa. En la práctica, la interferencia de máquinas ocurre, en principio, de 10 a 30% del tiempo total de trabajo, con extremos hasta 50%. Se han desarrollado varios enfoques para manejar este tipo de situaciones.

Uno de estos enfoques supone una carga de trabajo esperada para el operario basada en el número de máquinas asignadas y el tiempo medio de operación y el tiempo medio de servicio de las máquinas. Para hasta seis maquinas, se recomienda el uso de las curvas empíricas de la figura 2–19.

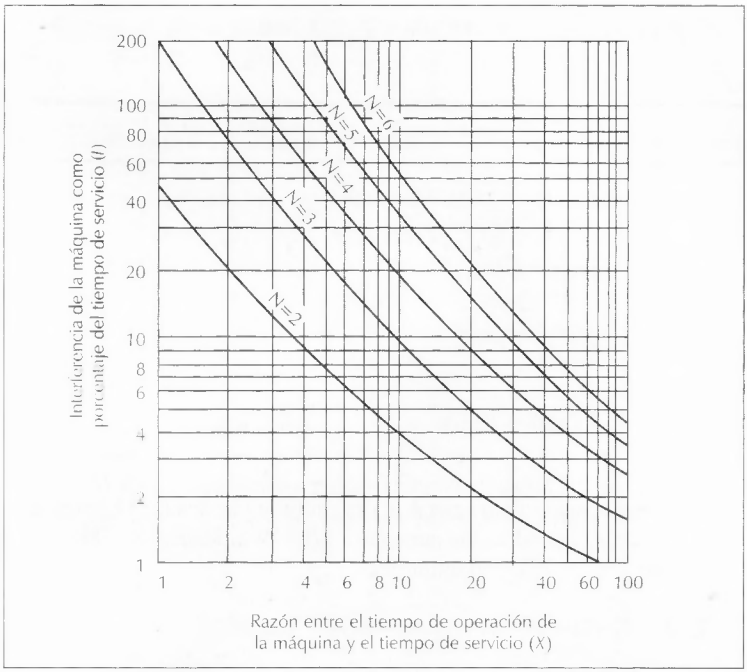


Figura 2–19 Interferencia de máquina como porcentaje del tiempo de servicio cuando el número de máquinas asignadas a un operario es 6 o menos.

Para siete máquinas o más, se puede usar la *fórmula de Wright* (Wright, Duval Freeman, 1936):

$$I = 50\left[\sqrt{(1+X-N)^2+2N} \; - \; (1+X-N)\right]$$

donde: I = interferencia, expresada como porcentaje del tiempo medio de servicio
X = razón entre el tiempo medio de operación de la máquina y el tiempo medio de servicio.
N = número de máquina asignadas a un operario.

En el ejemplo 2–3 se muestra una aplicación de esta fórmula.

EJEMPLO 2–3 Cálculo del tiempo de interferencia de la máquina

En una producción de bobinas, se asignan husos a un operario. El tiempo medio de la máquina en operación determinado en un estudio con cronómetro es 150 minutos. E tiempo medio de servicio estándar por paquete, también encontrado en el estudio de tiempos, es minutos. El cálculo de la interferencia de la máquina expresado como porcentaje d tiempo medio de atención del operario es:

$$I = 50\left[\sqrt{(1+X-N)^2+2N} - (1+X-N)\right]$$

$$= 50\left[\sqrt{\left(1+\frac{150}{3.00}-60\right)^2+120} - \left(1+\frac{150}{3.00}-60\right)\right]$$

$$I = 50\left[\sqrt{(1+50-60)^2+120} - (1+50-60)\right]$$

$$I = 1159\%$$

Así, se tendría:

Tiempo de operación de la máquina	150 min
Tiempo de servicio	3.0 min
Tiempo de interferencia de máquina	$11.59 \times 3.0 = 34.77$ min

Ascroft (1950) usó teoría de colas con la suposición de que el tiempo entre descomposturas tiene una distribución exponencial, para extender el enfoque anterior y desarrollar tablas para determinar los tiempos de interferencia de las máquinas. Esto se muestra en la tabla A3–13 (apéndice 3) y proporcionan valores para los tiempos de operación e interferencia de una máquina para valores de la razón de servicio k:

$$k = l / m$$

donde: l = tiempo de servicio
m = tiempo de operación de máquina

El tiempo de ciclo total para producir una pieza es:

$$c = m + l + i$$

donde: c = tiempo de ciclo total
i = tiempo de interferencia de máquina

Observe que los valores de los tiempos de operación e interferencia de la máquina en la tabla A3–13 están dados como porcentaje del tiempo de ciclo total. Además, cualquier tiempo del trabajador o de caminata (w) debe incluirse como parte del tiempo de servicio. El ejemplo 2–4 ilustra el *método de Ashcroft* para calcular el tiempo de interferencia de máquina.

EJEMPLO 2–4 Cálculo de interferencia de máquina con el método de Ashcroft

Con referencia al ejemplo 2–3:

$$k = l / m = 3 / 150 = 0.02$$

$$N = 60$$

De la tabla A3–13, apéndice 3, con tiempo de servicio exponencial, $k = 0.02$ y $N = 60$, se tiene un tiempo de interferencia de máquina de 16.8% del tiempo de ciclo. Se tiene que $T_i = 0.168c$, donde c es el tiempo de ciclo para producir una unidad por huso. Entonces:

$$c = m + l + i$$

$$c = 150 + 3.00 + 0.168c$$

$$0.832c = 153$$

$$c = 184 \text{ minutos}$$

y

$$T_i = 0.168c = 30.9 \text{ minutos}$$

El tiempo de interferencia calculado por la ecuación (34.8 minutos, ejemplo 2–3) es muy cercano al desarrollado aquí con el modelo de colas. Sin embargo, cuando disminuye el n (el número de máquinas asignadas), la diferencia proporcional entre las dos técnicas aumenta.

BALANCEO DE LÍNEAS

El problema referente a determinar el número ideal de trabajadores que deben asignars a una línea de producción es análogo al de determinar el número de operarios asignado a una estación de trabajo; el diagrama de proceso de grupo resuelve ambos problema Quizá la situación más elemental de *balanceo de líneas*, que surge con frecuencia, aquella en la que varios operarios, cada uno realizando operaciones consecutivas, tr bajan como una unidad. En este caso, la tasa de producción depende del operario m lento. Por ejemplo, suponga que se tiene una línea de cinco trabajadores que ensambl monturas de hule fijadas con adhesivo antes del proceso de curado. Las asignaciones trabajo específicas pueden ser las siguientes: operario 1, 0.52 minutos; operario 2, 0.4 minutos; operario 3, 0.65 minutos; operario 4, 0.41 minutos; operario 5, 0.55 minuto El operario 3 establece el paso, como se observa en la siguiente tabla:

Operario	Minutos estándar para realizar la operación	Tiempo de espera según el operario más lento	Minutos estándar permitidos
1	0.52	0.13	0.65
2	0.48	0.17	0.65
3	0.65	—	0.65
4	0.41	0.24	0.65
5	0.55	0.10	0.65
Totales	2.61		3.25

La eficiencia de esta línea se puede calcular como la razón de los minutos estánd reales totales entre los minutos estándar permitidos totales, es decir:

$$E = \frac{\sum_{1}^{5} ME}{\sum_{1}^{5} MP} \times 100 = \frac{2.61}{3.25} \times 100 = 80\%$$

donde: E = eficiencia,
ME = minutos estándar por operación,
MP = minutos estándar permitidos por operación.

Los detalles sobre tiempos estándar se estudiarán en el capítulo 9.

Algunos analistas prefieren considerar el porcentaje de tiempo ocioso (% inactividad):

$$\% \text{ de inactividad} = 100 - E = 20\%$$

En situaciones de la vida real similares a este ejemplo, existe la oportunidad de obtener ahorros significativos. Si un analista puede ahorrar 0.10 minutos para el operario 3, el ahorro neto por ciclo no será 0.10 minutos, sino 0.10×5, o sea. 0.50 minutos.

Sólo en las situaciones más inusuales la línea tendrá un balance perfecto; es decir, en la que los minutos estándar para realizar cada operación son idénticos para cada miembro del equipo. Los "minutos estándar para realizar una operación" en realidad no constituyen un estándar. Lo es sólo para el individuo que lo establece. Así, en el ejemplo anterior, donde el operario 3 tiene un tiempo estándar de 0.65 minutos para realizar la primera operación, otro analista de medición del trabajo pudo haber obtenido una cifra menor de 0.61 minutos o una mayor de 0.69 minutos. El intervalo de valores de estándares establecidos por diferentes analistas de medición del trabajo para la misma operación puede ser aún mayor que el sugerido por el ejemplo. Lo importante es que aunque el estándar sea 0.61, 0.65 o 0.69, un operario consciente no debe tener dificultad para cumplirlo. De hecho, el trabajador quizá lo mejore si toma en cuenta el desempeño de los operarios en la línea que tienen menor contenido de trabajo en sus asignaciones. Los operarios que tienen un tiempo de espera debido a la producción del operario más lento no suelen observarse como en espera. Más bien, reducen el paso de sus movimientos para usar los minutos estándar establecidos por ese operario.

El número de trabajadores necesarios para lograr la tasa de producción requerida es igual a:

$$N = R \times \sum MP = R \times \frac{\sum ME}{E}$$

donde: N = número de operarios necesarios en la línea,
R = tasa de producción deseada.

Por ejemplo, suponga que se tiene un nuevo diseño y debe establecerse su línea de ensamble. Intervienen ocho operaciones diferentes. La línea debe producir 700 unidades por día (o 700/480 = 1.458 unidades por minuto) y como se quiere minimizar el espacio de almacén, no deben producirse mucho más de 700 unidades diarias. Los minutos estándar de las ocho operaciones basados en datos existentes son los siguientes: operación 1, 1.25 minutos; operación 2, 1.38 minutos; operación 3, 2.58 minutos; operación 4, 3.84 minutos; operación 5, 1.27 minutos; operación 6, 1.29 minutos; ope-

ración 7, 2.48 minutos, y operación 8, 1.28 minutos estándar. Para planear esta línea de ensamble con el arreglo más económico, se estima el número de operarios requerido para un nivel de eficiencia dado (idealmente, 100%), como sigue:

$$N = 1.458 \times (1.25 + 1.38 + 2.58 + 3.84 + 1.27 + 1.29 + 2.48 + 1.28)/1.00$$
$$= 22.4$$

Con una eficiencia más realista de 95%, el número de operarios se convierte en 22.4/0.95 = 23.6.

Debido a que es imposible tener seis décimos de operario, lo razonable será establecer la línea con 24 trabajadores. Un enfoque alternativo, sin restricciones de los sindicatos, puede ser el empleo de trabajadores de tiempo parcial.

El siguiente paso es estimar el número de operarios para cada una de las ocho operaciones. Las 700 unidades de trabajo requieren un día, por lo tanto, será necesario producir una unidad en alrededor de 0.685 minutos (480/700). El número de operarios requerido para cada operación se estima dividiendo los minutos permitidos para producir una pieza entre los minutos estándar de cada operación, como sigue:

Operación	Minutos estándar	Minutos estándar minutos/unidades	Núm. de operarios
Operación 1	1.25	1.83	2
Operación 2	1.38	2.02	2
Operación 3	2.58	3.77	4
Operación 4	3.84	5.62	6
Operación 5	1.27	1.86	2
Operación 6	1.29	1.88	2
Operación 7	2.48	3.62	4
Operación 8	1.28	1.87	2
Total	15.37		24

Para identificar la operación más lenta, se divide el número estimado de operarios entre los minutos estándar para cada una de las ocho operaciones. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Operación 1	1.25/2 = 0.625
Operación 2	1.38/2 = 0.690
Operación 3	2.58/4 = 0.645
Operación 4	3.84/6 = 0.640
Operación 5	1.27/2 = 0.635
Operación 6	1.29/2 = 0.645
Operación 7	2.48/4 = 0.620
Operación 8	1.28/2 = 0.640

Así, la operación 2 determina la producción de la línea. En este caso es:

$$\frac{2 \text{ trabajadores} \times 60 \text{ min}}{1.38 \text{ minutos estándar}} = 87 \text{ piezas por hora, o } 696 \text{ piezas por día}$$

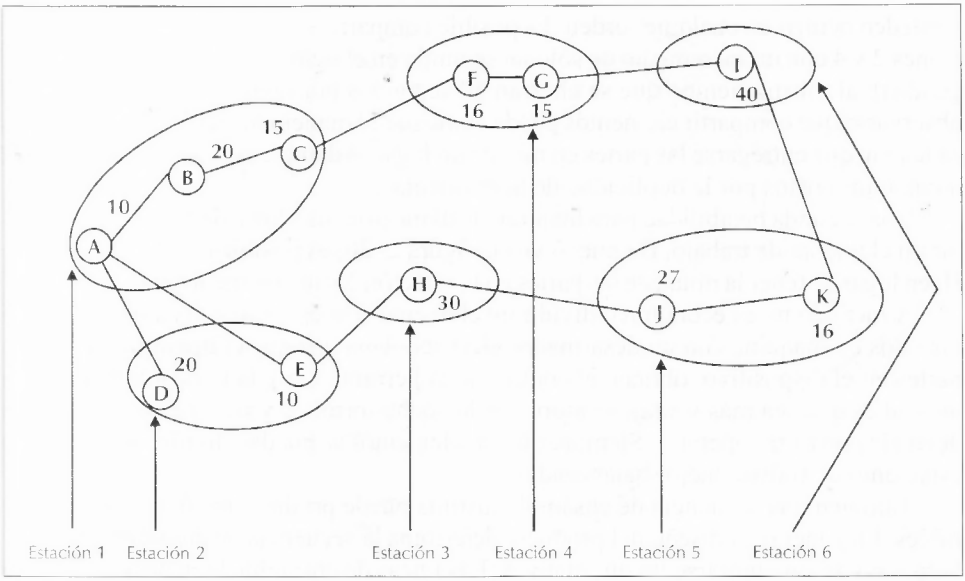


Figura 2–20 Línea de ensamble con seis estaciones o centros de trabajo

Si esta tasa de producción es inadecuada, será necesario aumentar la producción del operario 2. Esto se puede lograr mediante:

1. Uno o ambos operarios de la segunda operación trabajando tiempo extra para acumular un pequeño inventario en esta estación de trabajo,
2. La utilización de los servicios de un tercer trabajador de tiempo parcial en la estación de trabajo 2,
3. La reasignación de parte del trabajo de la operación 2 a la estación 1 o la 3 (sería preferible asignar más trabajo a la operación 1),
4. La mejora del método en la operación 2 para disminuir el tiempo de ciclo en esa estación de trabajo.

En el ejemplo anterior, dados el tiempo de ciclo y los tiempos de operación, un analista puede determinar el número de operarios necesarios para cada operación de modo que se cumpla con un programa de producción deseado. El problema de asignación de trabajo a una línea de producción también puede minimizar el número de estaciones de trabajo, dado el tiempo de ciclo deseado; o con el número de estaciones de trabajo, se pueden asignar los elementos de trabajo a las estaciones, dentro de las restricciones establecidas para minimizar el tiempo de ciclo.

Una estrategia importante para balancear la línea de ensamble es compartir los elementos de trabajo. Dos operarios o más con algún tiempo ocioso en su ciclo de trabajo pueden compartir el trabajo de otra estación para lograr mayor eficiencia en toda la línea. Por ejemplo, la figura 2–20 muestra una línea de ensamble con seis estaciones de trabajo. La estación 1 tiene tres elementos, A, B y C, con un total de 45 segundos. Observe que los elementos B, D y E no pueden iniciar hasta que A termina y que B, D y

E pueden ocurrir en cualquier orden. Es posible compartir el elemento H entre las estaciones 2 y 4 con un incremento de sólo un segundo en el tiempo de ciclo (de 45 a 46 segundos), al mismo tiempo que se ahorran 30 segundos por unidad ensamblada. Debe observarse que compartir elementos puede aumentar el manejo de materiales, pues quizá tengan que entregarse las partes en más de un lugar. Además, es posible que se incrementen los costos por la duplicidad de herramientas.

Una segunda posibilidad para mejorar el balanceo de una línea de ensamble es dividir un elemento de trabajo. De nuevo vea la figura 2–20; es posible dividir el elemento H, en lugar de tener la mitad de las partes en la estación 2 y la otra mitad en la estación 4.

A menudo no es económico dividir un elemento. Un ejemplo sería atornillar ocho tornillos de máquina con un desarmador eléctrico. Una vez que el operario coloca las partes en el dispositivo, obtiene el control de la herramienta y la pone a funcionar, lo normal es que sea más ventajoso atornillar los ocho tornillos y no sólo una parte para dejar el resto a otro operario. Siempre que los elementos se puedan dividir, se obtendrán estaciones de trabajo mejor balanceadas.

También una secuencia de ensamble distinta puede producir resultados más favorables. En general, el diseño del producto determina la secuencia de ensamble. Sin embargo, no deben ignorarse las alternativas. Las líneas de ensamble bien balanceadas no sólo son menos costosas, también ayudan a mantener un buen ánimo en los trabajadores porque existen diferencias muy pequeñas en el contenido de trabajo que realizan en la línea.

El siguiente procedimiento para resolver el problema de balanceo de líneas de ensamble se basa en el "balanceo de líneas de General Electric". El método supone lo siguiente:

1. Los operarios no se pueden mover de una estación a otra para ayudar a mantener una carga de trabajo uniforme.
2. Los elementos de trabajo establecidos son de tal magnitud que dividirlos más, disminuiría la eficiencia del desempeño de manera sustancial. (Una vez establecidos los elementos de trabajo deben identificarse con un código.)

El primer paso en la solución del problema es determinar la secuencia de los elementos de trabajo individuales. Mientras menos restricciones se impongan en el orden en que pueden realizarse los elementos de trabajo, mayor será la probabilidad de lograr un balance favorable en la asignación del trabajo. Para determinar la secuencia de los elementos de trabajo, el analista responde la siguiente pregunta: ¿qué otros elementos de trabajo, si los hay, deben terminarse antes de iniciar este elemento de trabajo? Esta pregunta se hace respecto a cada elemento para establecer un diagrama de precedencia para la línea de producción que se estudia (vea la figura 2-19). El diseño funcional, los métodos de producción disponibles y otros, pueden introducir restricciones en la secuencia de los elementos de trabajo.

Una segunda consideración en el problema de asignación de trabajo en la línea de producción se refiere a las restricciones de zonas. Una zona representa una subdivisión que puede estar o no físicamente identificada o separada de otras zonas del sistema. Puede justificarse confinar ciertos elementos de trabajo a una zona dada, para reunir tareas, condiciones de trabajo o salarios similares. Por otro lado, quizá las restricciones

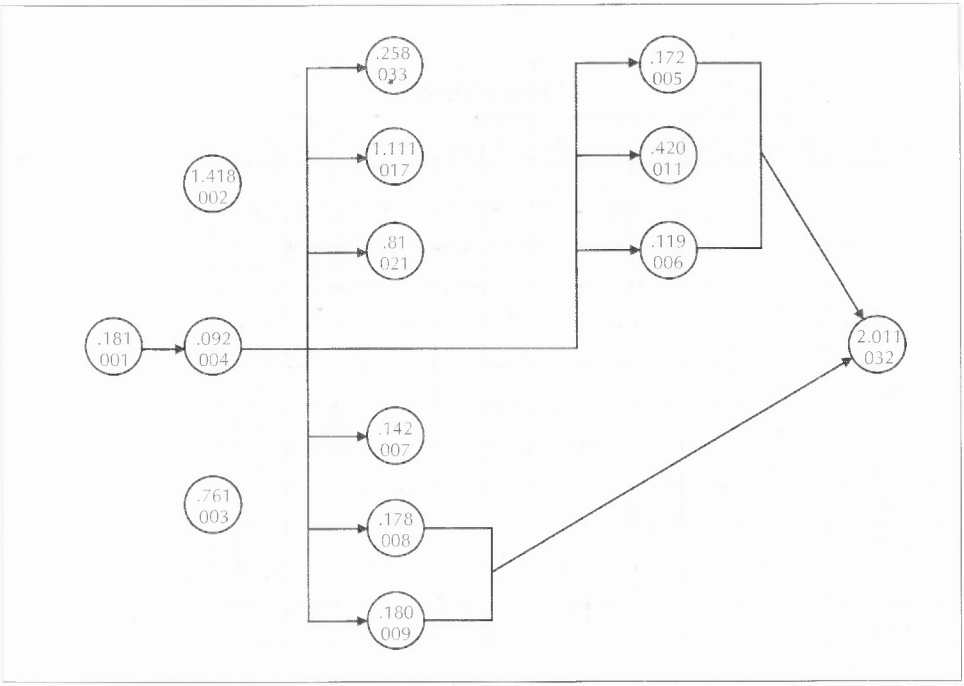


Figura 2–21 Diagrama de precedencias parcial.
Observe que los elementos de trabajo 002 y 003 pueden realizarse en cualquier orden respecto a los demás, y que el elemento 032 no puede iniciar hasta que terminen 005, 006, 008 y 009. También observe que una vez terminado el 004, pueden iniciar 033, 017, 021, 005, 011, 006, 007, 008 o 009.

de zonas ayuden a identificar las etapas físicas de una componente, como mantenerla en cierta posición al realizar determinado elemento de trabajo. Como ejemplo, todos los elementos de trabajo relacionados con un lado de la componente pueden realizarse en una zona antes de voltear la componente.

Es obvio que si un sistema tiene muchas restricciones de zona, serán menos las posibles combinaciones disponibles para investigación. El analista comienza por bosquejar el sistema e identificar las zonas. Después, estima la tasa de producción con la expresión:

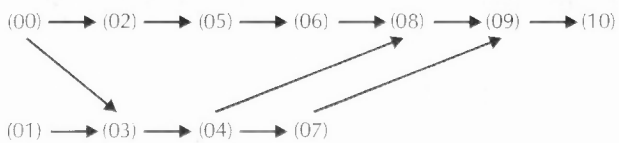
$$\text{producción por día} = \frac{\text{min/día de trabajo}}{\text{tiempo de ciclo del sistema (min/unidad)}}$$

donde el tiempo de ciclo del sistema es el tiempo estándar de la zona o estación que limita.

Enseguida se establece la gráfica de precedencias:

Tiempo estimado de unidad de trabajo (minutos)	*Unidad de trabajo*	*Unidad de trabajo*										
		00	*01*	*02*	*03*	*04*	*05*	*06*	*07*	*08*	*09*	*10*
0.46	*00*			1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.35	*01*				1	1			1	1	1	1
0.25	*02*						1	1		1	1	1
0.22	*03*					1			1	1	1	1
1.10	*04*								1	1	1	1
0.87	*05*							1		1	1	1
0.28	*06*									1	1	1
0.72	*07*										1	1
1.32	*08*										1	1
0.49	*09*											1
0.55	*10*											
6.61												

Figura 2–22 Matriz de precedencia para un problema de balanceo de líneas



Esta gráfica de precedencias muestra que la unidad de trabajo (00) debe terminar antes de (02), (03), (05), (06), (04), (07), (08), (09) y (10); y la unidad de trabajo (01) debe estar terminada antes de (03), (04), (07), (08), (09) y (10). Ya sea (00) o (01) pueden realizarse en primer lugar o al mismo tiempo. Además, la unidad de trabajo (03) no puede iniciar hasta que la unidades (00) y (01) hayan terminado, y así sucesivamente.

Para describir estas relaciones, se establece la matriz de precedencias ilustrada en la figura 2–22. En ella, el número 1 significa la relación "debe preceder". Por ejemplo, la unidad de trabajo (00) debe preceder a las unidades (02), (03), (04), (05), (06), (07), (08), (09) y (10). Además (09) sólo precede a la unidad (10).

Ahora debe calcularse un "peso de posición" para cada unidad de trabajo. Este cálculo es la suma de cada unidad de trabajo y todas las que deben seguirle. Así, el "peso de posición" para la unidad (00) sería:

$$\sum 00, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10$$
$$= 0.46 + 0.25 + 0.22 + 1.10 + 0.87 + 0.28 + 0.72 + 1.32 + 0.49 + 0.55$$
$$= 6.26$$

La lista de pesos de posición en orden decreciente de magnitud da lo siguiente:

Elementos de trabajo sin ordenar	Elementos de trabajo ordenados	Peso de posición	Predecesores inmediatos
00	00	6.26	—
01	01	4.75	—
02	03	4.40	(00), (01)
03	04	4.18	(03)
04	02	3.76	(00)
05	05	3.51	(02)
06	06	2.64	(05)
07	08	2.36	(04), (06)
08	07	1.76	(04)
09	09	1.04	(07), (08)
10	10	0.55	(09)

Los elementos de trabajo deben asignarse a las distintas estaciones de trabajo. Este proceso se basa en los pesos de posición (es decir, los elementos de trabajo con los pesos más grandes se asignan primero) y el tiempo de ciclo del sistema. El elemento de trabajo con el peso de posición más alto se asigna a la primera estación. El tiempo no asignado de esta estación se determina restando la suma de los tiempos de los elementos asignados del tiempo de ciclo estimado. Si se tiene un tiempo adecuado sin asignar, se elige el elemento de trabajo con el siguiente peso de posición más alto, siempre que ya se hayan asignado los elementos en la columna de "predecesores inmediatos". Una vez agotado el tiempo disponible en una estación de trabajo, se analiza la siguiente y el procedimiento continúa hasta asignar todos los elementos.

Como ejemplo, suponga que la producción requerida por turno de 450 minutos es 300 unidades. El tiempo de ciclo del sistema es 450/300 = 1.50 minutos y la línea balanceada final se muestra en la tabla 2–2.

En el arreglo ilustrado, con seis estaciones de trabajo, el tiempo de ciclo es 1.32 minutos (estación de trabajo 4). Este arreglo produce 450/1.32 = 341 unidades, que es más que el requerimiento diario de 300.

Sin embargo, con seis estaciones, también sobra una gran cantidad de tiempo. Este tiempo muerto u ocioso por ciclo es:

$$\sum_{1}^{6} 0.04 + 0.22 + 0.17 + 0 + 0.11 + 0.77 = 1.31 \text{ minutos}$$

Para obtener un balanceo más favorable, se puede resolver el problema para tiempos de ciclo menores que 1.50 minutos. El resultado puede ser más operarios y más producción por día que tal vez tenga que almacenarse. Otra posibilidad incluye operar la línea con un balanceo más eficiente durante un número limitado de horas al día.

Tabla 2–2 Línea de ensamble balanceada

Trabajo				Tiempo de elemento de trabajo	Tiempo de estación		
Estación	Elemento	Peso de posición	Predecesores inmediatos		Acumulativo	No asignado	Observaciones
1	00	6.26	—	0.46	0.46	1.04	—
1	01	4.75	—	0.35	0.81	0.69	—
1	03	4.40	(00), (01)	0.22	1.03	0.47	—
1	04	4.18	(03)	1.10	2.13	—	Inaceptable
1	02	3.76	(00)	0.25	1.28	0.22	—
1	05	3.56	(02)	0.87	2.05	—	Inaceptable
2	04	4.18	(03)	1.10	1.10	0.40	—
2	05	3.56	(02)	0.87	1.97	—	Inaceptable
3	05	3.56	(02)	0.87	0.87	0.63	—
3	06	2.64	(05)	0.28	1.15	0.35	—
3	08	2.36	(04), (06)	1.32	2.47	—	Inaceptable
4	08	2.36	(04), (06)	1.32	1.32	0.18	—
4	07	1.76	(04)	0.72	2.04	—	Inaceptable
5	07	1.76	(04)	0.72	0.72	0.78	—
5	09	1.04	(07), (08)	0.49	1.21	0.29	—
5	10	0.55	(09)	0.55	1.76	—	Inaceptable
6	10	0.55	(09)	0.55	0.55	0.95	—

Existen varios paquetes de software, como STORM, que eliminan la parte tediosa de los cálculos y realizan estos pasos en forma automática.

RESUMEN

Los distintos diagramas presentados en este capítulo son técnicas valiosas para presentar y resolver problemas. Para cada trabajo dado existen varios tipos de procedimientos; de la misma forma varios diseños de diagramas pueden ayudar en la solución de un problema de ingeniería. Los analistas deben comprender las funciones específicas de cada diagrama de proceso y elegir el correcto para resolver el problema específico y mejorar las operaciones.

El análisis de Pareto y los diagramas de pescado se usan para seleccionar una operación crítica e identificar las causas y los factores que contribuyen al problema. Los diagramas de Gantt y de PERT son técnicas para la programación de proyectos. El diagrama de Gantt proporciona sólo un panorama global y PERT cuantifica las interacciones entre las diferentes actividades. La guía de análisis del trabajo/lugar de trabajo se usa, en principio, en la observación física para identificar el operario, la tarea, el entorno y los factores administrativos clave. El diagrama de proceso de la operación proporciona una idea completa de las relaciones entre las operaciones e inspecciones de ensamble que incluyen varias componentes. El diagrama de proceso del flujo proporciona más detalles sobre las operaciones de manufactura para detectar costos ocultos o indirectos, como retrasos, costos de almacenamiento y costos de manejo de materiales

El diagrama de flujo es un complemento útil del diagrama de flujo del proceso al desarrollar distribuciones de planta. Los diagramas de proceso hombre-máquina y de grupo muestran las máquinas o instalaciones junto con el o los operarios, y se usan para analizar tiempos muertos u ociosos de ambos. Los cálculos de servicio sincronizado y aleatorio y las técnicas de balanceo de líneas se usan para desarrollar operaciones más eficientes mediante métodos cuantitativos.

Las 13 técnicas son muy importantes para el analista de métodos. Los diagramas son una ayuda descriptiva y de comunicación valiosa par entender un proceso y las actividades asociadas. Su uso correcto puede ayudar a presentar y resolver el problema y a vender e instalar la solución. Las técnicas cuantitativas sirven para determinar el arreglo óptimo de operarios y máquinas. Los analistas deben estar familiarizados con el álgebra y la teoría de probabilidad para desarrollar un modelo matemático que proporcione la mejor solución al problema de la máquina o instalación. De esta manera, obtendrán buenos resultados al presentar métodos mejorados a la administración, en la capacitación de empleados sobre el método prescrito y al concentrarse en los detalles pertinentes al mismo tiempo que en la distribución de planta.

PREGUNTAS

1. ¿Qué muestra el diagrama de proceso de la operación?
2. ¿Qué símbolos se usan para construir el diagrama de proceso de la operación?
3. ¿Cómo muestra el diagrama de proceso de la operación los materiales que se introducen en el flujo general?
4. En qué difieren el diagrama de flujo del proceso y el diagrama de proceso de la operación?
5. ¿Cuál es el propósito principal del diagrama de flujo del proceso?
6. ¿Qué símbolos se usan en el diagrama de flujo del proceso?
7. ¿Por qué es necesario construir diagramas de proceso a partir de la observación directa, y no de la información obtenida del supervisor?
8. En la construcción de diagramas de proceso, ¿qué método se puede usar para estimar las distancias recorridas?
9. ¿Cómo se pueden determinar los tiempos de demora en la construcción de diagramas de proceso del flujo?, ¿y los tiempos de almacenamiento?
10. ¿Cuándo recomendaría el uso de un diagrama de flujo?
11. ¿Cómo puede mostrarse el flujo de varios productos en el diagrama de flujo?
12. ¿Qué símbolos se usan exclusivamente en el estudio de documentación?
13. ¿Cuáles son las limitaciones de los diagramas de proceso de la operación, de flujo del proceso y del de flujo?
14. Explique cómo puede ahorrar dinero a la compañía el diagrama de PERT.
15. Explique cómo obtendría los tiempos "optimista" y "pesimista" para el diagrama de PERT.
16. ¿Cuándo es aconsejable construir un diagrama de proceso hombre-máquina?
17. ¿Qué es acoplamiento de máquinas?
18. ¿De qué manera se beneficia el operario con el acoplamiento de máquinas?

19. Explique cómo convencería a los líderes sindicales que se oponen fuertemente a la técnica de acoplamiento de máquinas.
20. ¿En qué difieren los diagramas de proceso de grupo y de hombre-máquina?
21. En una planta de procesamiento, ¿cuál de los siguientes diagramas tiene la mayor aplicación: hombre-máquina, grupo, operación, flujo? ¿Por qué?
22. ¿Cuál es la diferencia entre servicio sincronizado y servicio aleatorio?

PROBLEMAS

1. Con base en la siguiente tabla de costos de "emergencia", ¿cuál es el tiempo mínimo para terminar el proyecto ilustrado en la figura 2–5, cuyos costos normales se muestran en la tabla 2–1? ¿Cuál es el costo adicional para terminar el proyecto en este tiempo?

Programa de emergencia

	Semanas	Dólares
A	2	$7 000
B	1	$2 500
C	2	$5 000
D	0.5	$2 000
E	4	$6 000
F	3	$5 000
G	2	$6 000
H	0	0
I	4	$7 600
J	1	$2 200
K	4	$4 500
L	2	$2 200
M	3	$3 000
N	1	$1 000
O	2	$6 000
P	1	$3 000

2. En el departamento de roscado automático de la Dorben Company se tienen cinco máquinas asignadas a cada operario. Para un trabajo dado, el tiempo de maquinado por pieza es 0.164 horas, el de servicio a la máquina es 0.038 horas. El salario de un operario es $12.80 por hora y el costo de la máquina es $14 por hora. Calcule el costo esperado por unidad producida. Excluya el costo de materiales.
3. En la Dorben Company se ha asignado un trabajador para operar varias máquinas similares. Cada una se descompone de manera aleatoria durante el día. Un estudio de muestreo del trabajo indica que, en promedio, la máquina opera sin atención 60% del tiempo. El tiempo promedio de atención del operario en intervalos irregulares es 40%. Si el costo de la máquina es $20 por hora y el salario del trabajador $12 por hora, ¿cuál sería el número de máquinas más favorable (desde el punto de vista económico) que debe operar un trabajador?
4. El analista en la Dorben Company desea asignar un número similar de instalaciones a cada operario según el costo mínimo por unidad producida. Un estudio detallado de las instalaciones revela lo siguiente:

Tiempo estándar de carga de la máquina = 0.34 minutos
Tiempo estándar de descarga de la máquina = 0.26 minutos
Tiempo de traslado entre dos máquinas = 0.06 minutos
Salario del operario = $12.00 por hora
Costo de máquina (tanto ociosa como en operación) = $18.00 por hora
Tiempo de alimentación automática = 1.48 minutos

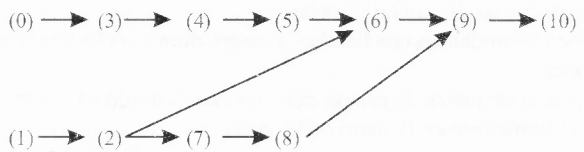
¿Cuántas máquinas deben asignarse a cada operario?

5. Un estudio revela que un grupo de tres máquinas semiautomáticas asignadas a un operario funciona sin atención 70% del tiempo. El tiempo promedio de servicio del operario a intervalos irregulares es 30% del tiempo de estas tres máquinas. ¿Cuál sería la estimación del tiempo perdido de máquinas por jornada de 8 horas debido a la falta de un trabajador?

6. De acuerdo con los siguientes datos, recomiende una asignación de trabajo y el número de estaciones de trabajo.

Unidad de trabajo	Tiempo unitario estimado de trabajo en minutos
0	0.76
1	1.24
2	0.84
3	2.07
4	1.47
5	2.40
6	0.62
7	2.16
8	4.75
9	0.65
10	1.45

La producción mínima requerida por día es 90 ensambles. El analista desarrolló la siguiente matriz de precedencias



7. Cuántas máquinas deben asignarse a un operario para disminuir los costos de operación si:
   a. El tiempo de carga y descarga de una máquina es 1.41 minutos.
   b. El tiempo de traslado a la siguiente instalación es 0.08 minutos.
   c. El tiempo de máquina (alimentación automática) es 4.34 minutos.
   d. El costo del operario es $13.20 por hora.
   e. El costo de máquina es $18.00 por hora.

8. Calcule la proporción del tiempo de máquina que se pierde en una operación con cuatro máquinas cuando cada una opera sin atención 70% del tiempo y el tiempo promedio de aten-

ción del operario a intervalos irregulares es 30%. ¿Es éste el mejor arreglo para minimizar el porcentaje de tiempo de máquina perdido?

9. En un proceso de ensamble que incluye seis operaciones distintas, es necesario producir 250 unidades por día de 8 horas. Los tiempos de operación medidos son los siguientes:

   a. 7.56 minutos.

   b. 4.25 minutos.

   c. 12.11 minutos.

   d. 1.58 minutos.

   e. 3.72 minutos.

   f. 8.44 minutos.

   ¿Cuántos trabajadores se requerirán para un 80% de eficiencia? ¿Cuántos operarios se utilizarán en cada una de las seis operaciones?

10. Un estudio revela los siguientes pasos en el ensamble de un soporte (un triángulo de tres piezas pequeñas dentro de otro triángulo de tres piezas más grandes).

    montacargas: entrega piezas de pino de 2×4 desde el almacén externo (20 min)

    operario de sierra de banda: corta seis pieza del tamaño adecuado (10 min)

    ensamblador # 1: obtiene tres piezas cortas y atornilla el triángulo pequeño (5 min)

    ensamblador # 2: obtiene tres piezas largas y atornilla el triángulo grande (10 min)

    ensamblador # 3: obtiene uno de cada uno de los triángulos y los fija como soporte (20 min)

    supervisor: inspecciona el soporte terminado y prepara la entrega (5 min)

    a. Dibuje un diagrama del proceso de flujo de la operación.
    b. ¿Cuál es el porcentaje de tiempo ocioso y de producción para una línea de ensamble no balanceada?
    c. Balancee la línea de ensamble usando las estaciones de trabajo adecuadas. ¿Cuales son ahora los porcentajes de tiempo ocioso y de producción?

11. La operación actual consiste en los siguientes elementos:

    el operario quita la unidad de la prensa (0.2 min)
    el operario camina al área de inspección, busca defectos (0.1 min)
    el operario lija las orillas ásperas (0.2 min)
    el operario coloca la unidad en una banda transportadora para seguir su proceso y regresa a la prensa (0.1 min)
    el operario limpia la matriz de la prensa con aire comprimido (0.3 min)
    el operario rocía lubricante en la matriz (0.1 min)
    el operario coloca una hoja de metal en la prensa, oprime INICIO (0.2 min)
    el ciclo de la prensa es automático durante 1.2 min

    Dado que el operario gana $10/hora y el costo de las prensas es $15/hora, dibuje el diagrama hombre-máquina para obtener el menor costo de operación. ¿Cuál es la producción? ¿Cuál es el costo unitario?

12. Dadas las siguientes lesiones registrables en OSHA (es decir, lesiones que van al registro de OSHA 200 y quedan abiertas para investigación) por código de tarea y tipo de lesión, del 1° de enero de 1997 al 1° de septiembre de 1998, ¿qué se puede concluir sobre las lesiones? ¿Qué código de tarea estudiaría primero? Si tuviera recursos limitados, a qué los dedicaría? (Sugerencia: Dibuje un diagrama de Pareto).

Código de tarea	Tipo de lesión		
	Torcedura/ esguince	CTD	Otro
AMS	1	0	0
BTR	1	2	0
CUE	2	0	1
CUP	4	4	19
DAW	0	0	2
EST	0	0	2
FAO	3	1	1
FAR	3	1	3
FFB	1	0	1
FGL	1	0	1
FPY	1	2	0
FQT	0	0	3
FQ9	2	0	3
GFC	0	0	1
IPM	4	1	16
IPY	1	0	0
IP9	1	0	0
MPL	1	0	0
MST	0	0	0
MXM	1	0	2
MYB	1	1	3
WCU	1	0	1

13. Un análisis exploratorio identificó el siguiente trabajo como área de problema. Dibuje un diagrama de proceso de flujo (tipo de materiales) para la siguiente operación de desmantelado, limpieza y desgrasado de un motor.

Los motores se guardan en el almacén de motores usados. Cuando se necesita uno, se recoge con un elevador eléctrico que va en un monorriel, se transporta al área de desmantelado y se descarga sobre un soporte. Ahí el operario lo desmantela colocando las partes en una canasta de desengrasado. La canasta se transporta al área de desengrasado, se carga en el , se desgrasa y se vuelve a cargar en el transportador. De ahí se lleva al área de limpieza donde las partes sólo se tiran al suelo para dejarlas secar. Después de varios minutos de secado, se levantan las partes y se limpian en los bancos de limpieza. Las partes limpias se recogen en charolas especiales para esperar transporte. Se descargan en un carrito y se llevan a la estación de inspección. De ahí se dejan resbalar a los bancos de inspección.

REFERENCIAS

Ashcroft, H., "The productivity of Several Machines under the Care of one Operator". *Journal of the Royal Statistical Society B*, núm 1 (1950), pp- 145–51.

ASME. *ASME Standard-Operation and Flow Process Charts, ANSI Y15.3-1974*. Nueva York, American Society of Mechanical Engineers, 1974.

Baker, Kenneth R., *Elements of Sequencing and Balancing*, Hannover, NJ, K. R. Baker, 1995.

Cole, R., *Work, Mobility, and Participation: A Comparative Study of American and Japanese Industry*, Berkeley, CA, University of California Press, 1979.

Herron, D., "Industrial Engineering Applications of ABC Curves", *AIIE Transactions* 8, núm 2 (junio, 1976), pp. 210–218.

Moodie, C., "Assembly Line Balancing", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992, pp. 1446–1459.

Stecke, K., "Machine Interference", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992, pp. 1460–1494.

Takeji, K. y Sakamato, S. "Charting Techniques", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed. Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992, pp. 1415–1445.

Wright, W. R., W. G. Duvall y H. A. Freeman, "Machine Interference", *Mechanical Engineering*, 58 núm 8 (agosto de 1936), pp. 510–14.

SOFTWARE SELECCIONADO

Design Tools (incluido en el libro). Nueva York, McGraw-Hill, 2002.

Storm 4.0, Quantitative Modeling for Decision Support, Lakeshore Publishing, 24100 Lakeshor Blvd., Euclid, OH 44123.

CAPÍTULO 3

Análisis de la operación

Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

PUNTOS CLAVE:

- Usar el análisis de la operación para mejorar el método preguntando *qué*.
- Centrar la atención en el propósito de la operación preguntando *por qué*.
- Centrar la atención en el diseño, materiales, tolerancias, procesos y herramientas preguntando *cómo*.
- Dirigir la atención al operario y el diseño del trabajo preguntando *quién*.
- Concentrarse en la distribución de planta preguntando *dónde*.
- Examinar con detalle la secuencia de manufactura preguntando *cuándo*.
- Intentar siempre *simplificar* eliminando, combinando y rearreglando las operaciones.

El analista de métodos usa el análisis de la operación para estudiar todos los elementos productivos e improductivos de una operación, con el propósito de incrementar la productividad por unidad de tiempo y reducir los costos unitarios, al tiempo que se mantiene o mejora la calidad. El análisis de la operación es tan efectivo en la planeación de nuevos centros de trabajo como en el mejoramiento de los existentes. Al usar el enfoque de preguntas en todas las facetas de la estación de trabajo, las herramientas necesarias y el diseño del producto, el analista puede desarrollar un centro de trabajo eficiente.

La mejora de las operaciones existentes es un proceso continuo en la industria y este capítulo estudia principalmente ese proceso. Estos principios tienen la misma validez e importancia al planear nuevos centros de trabajo. El análisis de la operación obtiene y presenta hechos mediante una variedad de técnicas para los diagramas de flujo del proceso. El análisis de la operación es el tercer paso de los métodos, en el que se realiza el análisis y se cristalizan las componentes del método propuesto.

La experiencia indica que casi todas las operaciones se pueden mejorar si se les dedica suficiente atención. Como el procedimiento de análisis sistemático es efectivo en

industrias grandes y pequeñas, en talleres de producción por pedido o en la producción masiva, el análisis de la operación se aplica a todos las áreas de manufactura, los negocios y el gobierno. Si se usa de manera adecuada, desarrolla mejores métodos de trabajo con la simplificación de los procedimientos operativos y el manejo de materiales, y la utilización más efectiva del equipo. De esta manera, las compañías pueden aumentar la producción y reducir los costos unitarios; asegurar la calidad y reducir el trabajo defectuoso y promover el entusiasmo del operador al mejorar las condiciones de trabajo, minimizar la fatiga y permitir mayores ingresos para el trabajador.

NUEVE ENFOQUES PRINCIPALES DEL ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN

Quizá la actitud más común de la administración es pensar que sus problemas son únicos. En consecuencia, parece que cualquier método nuevo será poco práctico. En realidad, todos los trabajos, ya sean burocráticos, de mantenimiento, de oficina, en la maquinaria, de ensamble o la mano de obra en general, productivos o improductivos, son lo mismo; consisten en una combinación de los 17 elementos básicos definidos por Gilbreth (vea capítulo 4). Por ejemplo, los elementos de trabajo para conducir un automóvil se parecen mucho a los requeridos para operar un torno; los movimiento básicos empleados al dar una mano de bridge son casi idénticos a los elementos de algunas inspecciones manuales y de carga de máquinas. El hecho de que todo el trabajo sea similar en muchos aspectos, verifica el principio de que si se pueden mejorar los métodos en una planta, entonces se pueden mejorar en todas.

Como se describió en el capítulo 1, el uso de un procedimiento sistemático es invaluable para obtener ahorros reales. El primer paso es reunir toda la información relacionada con el volumen previsto de trabajo. Para determinar cuánto tiempo y esfuerzo debe dedicarse al mejoramiento del método actual o a la planeación de uno nuevo, los analistas evalúan el volumen esperado, la oportunidad de captar el negocio de nuevo, la vida del trabajo, la posibilidad de cambios en el diseño y el contenido del trabajo. Si se concluye que el trabajo es activo, se justifica un estudio detallado.

Una vez estimados la cantidad, la vida y el contenido del trabajo, los analistas de operaciones reúnen la información de manufactura. Ésta incluye todas la operaciones, las instalaciones usadas para realizarlas y los tiempos; los movimientos o transportes, el equipo para esos transportes y las distancias; todas las inspecciones, instalaciones de inspección y tiempos; todos los inventarios, almacenes y tiempos; todas las operaciones de venta junto con los precios; todos los dibujos y especificaciones de calidad y diseño. Después de reunir esta información que afecta calidad y costo, debe presentarse en forma adecuada para su estudio. Una de las maneras más efectivas es mediante los diagramas presentados en el capítulo 2. El analista debe revisar cada diagrama de operación e inspección y responder a varias preguntas, donde la más importante es "por qué":

1. "¿Por qué es necesaria esta operación?"
2. "¿Por qué esta operación se realiza de esta manera?"

3. "¿Por qué son tan pequeñas estas tolerancias?"
4. "¿Por qué se especificó este material?"
5. "¿Por qué se asignó a este tipo de operario para hacer el trabajo?"

La pregunta "por qué" sugiere enseguida otras preguntas, entre ellas, "cómo", "quién", "dónde" y "cuándo". Entonces el analista puede formular las preguntas:

1. "¿Cómo puede mejorarse esta operación?"
2. "¿Quién puede realizar mejor esta operación?"
3. "¿Dónde puede realizarse esta operación con menor costo o calidad más alta?"
4. "¿Cuándo debe realizarse la operación para minimizar el manejo de materiales?"

Por ejemplo, en el diagrama de proceso de la operación mostrado en la figura 2–8, los analistas pueden intentar responder a las preguntas de la tabla 3–1 para determinar si las mejoras sugeridas son prácticas. Las respuestas ayudan a iniciar la eliminación, combinación y simplificación de las operaciones.

Al obtener las respuestas a tales preguntas, los analistas se dan cuenta de otras preguntas que pueden conducir a mejoras. Las ideas parecen generar más ideas, y es común que los analistas experimentados desarrollen varias posibilidades de mejora. Para esto deben mantener su mente abierta, de manera que los fracasos anteriores no lo desanimen para probar nuevas ideas.

Cuando se usan los nueve enfoques primarios de análisis al estudiar cada operación, la atención se centra en las partes que tienen más oportunidad de producir mejoras. Sin embargo, no todos estos enfoques se aplican a cada actividad de un diagrama de flujo; pero, en general, debe considerarse más de uno. El método de análisis recomendado es tomar cada paso del método actual y analizarlo, tomando en cuenta todos los puntos clave, con un enfoque claro y específico en las mejoras. Se sigue este mismo procedimiento en las subsecuentes operaciones, inspecciones, movimientos, almacenamientos, etc. Una vez analizado cada elemento, se estudia el producto completo y se consideran de nuevo todos los puntos de análisis en busca de todas las posibilidades de mejora. Lo normal es que en todas las plantas surja un número ilimitado de oportunidades para mejorar los métodos. Con el fin de lograr los ahorros máximos, deben estudiarse con cuidado las operaciones individuales y colectivas como se describió. Siempre que los ingenieros competentes y analistas del ramo sigan este procedimiento, se obtendrán resultados benéficos.

1. PROPÓSITO DE LA OPERACIÓN

Éste quizá sea el más importante de los nueve puntos del análisis de la operación. La mejor manera de simplificar una operación es formular una manera de obtener los mismos resultados, o mejores, sin costo adicional. La regla elemental de un analista es tratar de *eliminar* o *combinar* una operación antes de intentar mejorarla. En nuestra

Tabla 3–1 Preguntas que deben hacerse en la fabricación de mesas para teléfonos

Pregunta	Mejora del método
1. ¿Se puede comprar madera de maple blanco de 1 1/2" ×14" sin costo adicional por pie cuadrado?	Eliminar extremos desperdiciados en los tramos que no son múltiplos de 14".
2. ¿Se pueden conseguir tablas de maple compradas con cantos lisos y paralelos?	Eliminar las juntas de los extremos (operación 2).
3. ¿Se pueden comprar tablas al espesor requerido y al menos con una cara cepillada? En tal caso, ¿cuál es el costo adicional?	Eliminar el cepillado al tamaño.
4. ¿Por qué no apilar dos tablas y cortarlas juntas en secciones de 14"?	Reducir el tiempo de 0.18 (operación 4).
5. ¿Qué porcentaje de unidades rechazadas se tendrá en la primera inspección?	Si el porcentaje es bajo quizá pueda eliminarse esta inspección.
6. ¿Por qué debe lijarse la cubierta por todos lados?	Eliminar el lijado de un lado de la cubierta y reducir el tiempo (operación 5).
7. ¿Se puede comprar la madera de pino amarillo en longitudes fijas de 11/2" ×3" sin costo adicional por pie cuadrado?	Eliminar los extremos desperdiciados en los tramos que no son múltiplos de 12".
8. ¿Se pueden conseguir tablas de pino compradas con cantos lisos y paralelos?	Eliminar el ensamble de un canto o arista.
9. ¿Se pueden comprar tablas para largueros al espesor requerido, con una cara cepillada? En tal caso, ¿cuál es el costo adicional?	Eliminar el cepillado al tamaño.
10. ¿Por qué no apilar dos tablas o más y cortar las secciones de 14" al mismo tiempo?	Reducir el tiempo de 0.10 (operación 9).
11. ¿Qué porcentaje de rechazos se tiene en la primera inspección de los largueros?	Si el porcentaje es pequeño, quizá pueda eliminarse la inspección.
12. ¿Es necesario lijar los largueros por todos lados?	Eliminar parte del lijado y reducir el tiempo (operación 10).
13. ¿Se puede comprar la madera de maple blanco en longitudes fijas de 2 1/2" ×2 1/2" sin costo adicional por pie cuadrado?	Eliminar los extremos desperdiciados en tramos que no son múltiplos de 16".
14. ¿Es posible usar un tamaño menor que 2 1/2" ×2 1/2"?	Reducir el costo del material.
15. ¿Se pueden comprar tablas de maple blanco con cantos lisos y paralelos?	Eliminar el ensamble de artistas o cantos.
16. ¿Se pueden comprar las piezas de las patas al espesor requerido y con sus lados cepillados? Si es así ¿cuál es el costo adicional?	Eliminar el cepillado al tamaño.
17. ¿Por qué no apilar dos tablas o más y cortar las secciones de 14" al mismo tiempo?	Reducir el tiempo (operación 15).
18. ¿Qué porcentaje de rechazos se tendrá en la primera inspección de las patas?	Si el porcentaje es bajo, tal vez se pueda eliminar esta inspección.
19. ¿Por qué es necesario lijar las patas por todos lados?	Eliminar parte del lijado y reducir el tiempo (operación 16).
20. ¿Un sujetador facilitaría el ensamble de los largueros y la cubierta?	Reducir el tiempo de ensamble (operación 11).
21. ¿Se podría hacer un muestreo en la primera inspección del ensamble?	Reducir el tiempo de inspección (operación 4).
22. ¿Es necesario lijar después de aplicar una capa de barniz claro?	Eliminar la operación 19.

experiencia, casi 25% de las operaciones que se realizan en la industria estadounidense se pueden eliminar si se dedica suficiente estudio al diseño y al proceso.

En la actualidad se realiza demasiado trabajo innecesario. En muchos casos, la tarea o el proceso no deben simplificarse o mejorarse, sino eliminarse por completo. Al eliminar una operación se ahorra el costo de la instalación de un método mejorado y no hay interrupciones o retrasos , pues no se desarrolla, prueba e instala ese método mejorado. No tiene que capacitarse a los operarios y la resistencia al cambio se minimiza cuando se elimina una tarea o actividad innecesaria. Respecto a la documentación, antes de desarrollar una forma de transferencia de información, el analista debe preguntarse "¿en realidad se necesita la forma?" Con el avance de los sistemas controlados por computadora actuales debe reducirse la producción de formas y documentos.

Con frecuencia, las operaciones innecesarias son el resultado de una planeación inadecuada al establecer el trabajo. Una vez determinada la rutina estándar, es difícil cambiarla, aun cuando el cambio elimine una parte del trabajo y lo haga más sencillo. Al planear nuevos trabajos, el personal de planeación puede incluir una operación adicional si existe la posibilidad de rechazo del producto sin ese trabajo adicional. Por ejemplo, si al tornear una barra de acero existe la duda de si hacer dos o tres cortes para lograr un terminado de 40 micropulgadas, será inevitable que el planeador especifique tres cortes, aunque un mantenimiento adecuado de las herramientas de corte, complementado por una alimentación y velocidad ideales, permitiría que el trabajo se hiciera con dos cortes.

Las operaciones innecesarias surgen a menudo por un desempeño inadecuado de la operación anterior. Debe realizarse una segunda operación para "corregir" o dejar aceptable el trabajo de la primera. Por ejemplo, en una planta se pintaban con pistola de aire las armaduras de motores eléctricos colocadas sobre soportes y era imposible pintar la parte inferior de la armadura porque el soporte la obstruía. Entonces era necesario retocar las bases de las armaduras después de pintarlas con pistola. El resultado de un estudio del trabajo fue rediseñar el soporte de manera que sostuviera la armadura y permitiera pintarla toda. Además, el nuevo soporte permitía pintar siete armaduras a la vez, mientras que con el método anterior sólo se pintaba una. Así, al tomar en cuenta que una operación innecesaria puede deberse al desempeño inadecuado de la operación anterior, fue posible eliminar la operación de retoque (vea la figura 3–1).

Como otro ejemplo, en la fabricación de engranes de gran tamaño, era necesaria una operación de pulido a mano para eliminar las ondulaciones en los dientes una vez formado el engrane. Una investigación reveló que las ondulaciones en la superficie de los dientes aparecían por contracciones y expansiones debidas a cambios de temperatura durante el día. Al encerrar la unidad completa e instalar un sistema de aire acondicionado, la compañía pudo mantener una temperatura adecuada durante todo el día. Las ondulaciones desaparecieron de inmediato y no fue necesario continuar con el pulido manual.

Para eliminar una operación el analista debe considerar la siguiente pregunta: "¿puede un proveedor externo realizar la operación a menor costo?" En un ejemplo, los cojinetes de bola comprados a un proveedor externo tenían que empacarse en grasa antes del ensamble. Un estudio de los proveedores relevantes detectó que se podían comprar cojinetes "sellados de por vida" a otro proveedor y con un costo menor.

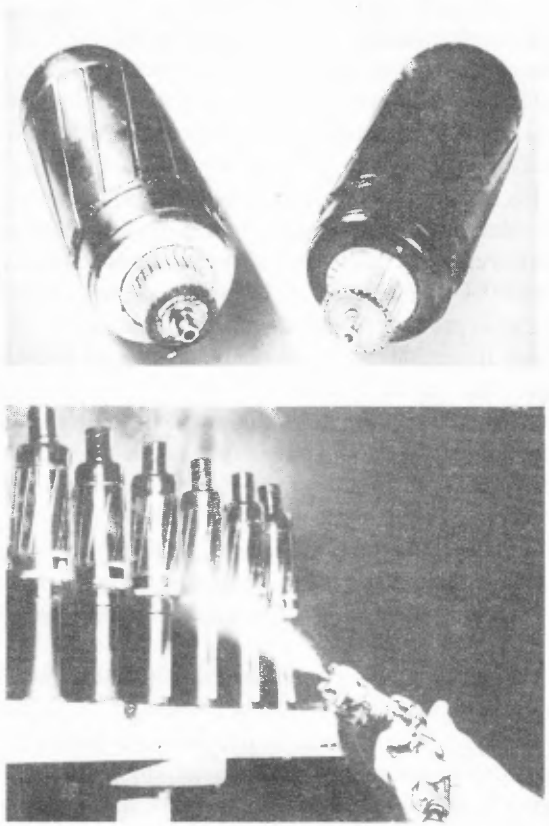


Figura 3-1
a) Armadura pintada al quitarla del soporte anterior (*izquierda*) y al quitarla del nuevo (*derecha*) *b*) Armaduras en el soporte nuevo que permite una cobertura completa de la parte inferior

Los ejemplos dados en esta sección resaltan la necesidad de establecer el propósito de cada operación antes de intentar mejorarla. Una vez establecido que la operación es necesaria, los siguientes nueve pasos del análisis de la operación deben ayudar a determinar cómo mejorarla.

2. DISEÑO DE PARTES

Los ingenieros de métodos con frecuencia piensan que una vez aceptado el diseño, su único recurso es planear su manufactura económica. Aun cuando puede ser difícil introducir incluso un pequeño cambio en el diseño, un buen ingeniero de métodos debe revisar todos los diseños en busca de mejoras posibles. Los diseños se pueden cambiar; y si el resultado es una mejora y la actividad del trabajo es significativa, entonces el cambio debe realizarse.

Para mejorar el diseño, deben tomarse en cuenta las siguientes bases para obtener diseños de menor costo para cada componente y subensamble:

1. Simplificar los diseños para reducir el número de partes.
2. Reducir el número de operaciones y las distancias recorridas en la fabricación, ensamblando mejor las partes y facilitando el maquinado.
3. Utilizar mejores materiales.
4. Liberar tolerancias y apoyar la exactitud en las operaciones clave, en lugar de aplicar una serie de límites estrechos.
5. Diseñar para la fabricación y el ensamble.

La General Electric Company resumió estas ideas para desarrollar diseños de costo mínimo en la tabla 3-2.

Los siguientes son ejemplos de métodos perfeccionados como resultado de considerar mejores materiales o procesos en un esfuerzo por mejorar el diseño.

1. Las cajas para tubo "conduit" se hacían de hierro colado. El diseño mejorado es de lámina de acero que da una caja más fuerte, ligera, agradable y menos costosa.
2. Se usaba un proceso de cuatro pasos para doblar una parte a la forma deseada (vea la figura 3–2). Esto era ineficiente y estresaba el metal en los dobleces. El diseño se modificó para usar un proceso de extrusión menos costoso. Las secciones extrudidas se cortan a la longitud deseada. El rediseño eliminó tres pasos.
3. La simplificación del diseño para obtener una mejor unión de partes se usaba en el ensamble de terminales a sus conductores eléctricos. La práctica original requería doblar hacia arriba el extremo de la terminal para formar un casquete que se llenaba con soldadura; después se estañaba el alambre del conductor, se insertaba en el casquete y se mantenía ahí hasta que se solidificaba la soldadura. El diseño modificado usa soldadura por resistencia para fijar la terminal al alambre del conductor, lo que elimina las operaciones de formado y estañado.
4. La parte original estaba diseñada con tres componentes que debían ensamblarse. Un enfoque mucho menos costoso usaba un diseño de una pieza que podía maquinarse como una parte sólida y eliminaba dos componentes y varias operaciones.

De la misma manera que existen oportunidades de mejorar la productividad con un mejor diseño de producto, se encuentran oportunidades similares para mejorar el diseño de las formas (en papel o computadora) empleadas en la industria o los negocios. Una vez confirmada la necesidad de usar una forma, deben estudiarse su recolección y el flujo de información. Los siguientes criterios se aplican al desarrollo de formas:

1. Mantener la sencillez en su diseño, minimizando la cantidad de información.
2. Proporcionar espacio suficiente para cada dato que permita distintos métodos para asentarlo (escritura, máquina de escribir, procesador de palabras).
3. La secuencia de información de entrada debe tener un patrón lógico.
4. Codificar con colores la forma para facilitar la distribución y las rutas.
5. Proporcionar márgenes adecuados para ajustarse a procedimientos e instalaciones de archivo estándar.
6. Limitar las formas de computadora a una hoja.

Tabla 3–2 Métodos para desarrollar diseños de costo mínimo

Fundición o colado

1. Eliminar núcleos de arena seca (horneada).
2. Minimizar profundidad para obtener piezas más planas.
3. Usar un peso mínimo congruente con un espesor suficiente para colar sin enfriar.
4. Elegir formas simples.
5. Las formas simétricas producen contracción uniforme.
6. Usar radios amplios, no esquinas.
7. Si las superficies han de ser exactas entre sí, deben formar parte del mismo modelo, si es posible.
8. Localizar las divisiones de manera que no afecten el aspecto o el uso y no tengan que pulirse o esmerilarse.
9. Especificar modelos múltiples en lugar de sencillos.
10. Modelos de metal preferibles a los de madera.
11. Usar moldes permanentes en vez de patrones de metal.

Moldeo

1. Eliminar inserciones de las partes.
2. Diseñar moldes con número mínimo de partes.
3. Usar formas simples.
4. Localizar las uniones de manera que no tengan que lijarse o pulirse.
5. Minimizar el peso.

Troquelado

1. Emplear partes troqueladas en lugar de moldeadas, fundidas, maquinadas o armadas.
2. Usar troquel "nestable" para economizar materiales.
3. Usar el mismo dado para agujeros que requieren relaciones exactas entre sí.
4. Diseñar para que se utilice material de rollo.
5. Diseñar el troquelado con distancia mínima al cizallado y resistencia máxima al dado con el menor número de movimientos.

Conformado

1. Usar piezas estiradas en lugar de soldadas o forjadas.
2. Estirados de poca profundidad, si es posible.
3. Radios amplios en las esquinas.
4. Usar doblado en lugar de estirado.
5. Usar conformado de tiras o alambres en lugar de troquelado de láminas.

Fabricación

1. Usar tornillos autorroscantes, no estándar.
2. Usar pasadores en lugar de tornillos estándar.
3. Remaches en lugar de tornillos.
4. Usar remaches huecos mejor que macizos.
5. Es mejor soldadura por puntos o salientes que remaches.
6. Usar soldadura directa en vez de la de aporte suave o fuerte.
7. Usar colado en matriz o moldeado en lugar de ensamble de varias piezas.

Maquinado

1. Usar maquinado de rotación en lugar de métodos rectilíneos (o cepillado).
2. Usar maquinado automático o semiautomático y no manual.
3. Reducir número de hombros o escalones.
4. Omitir acabado cuando sea posible.
5. Usar acabado áspero si es satisfactorio.
6. Dimensionar los dibujos desde el mismo punto que se usa para medición e inspección.
7. Usar rectificado sin centros en vez de entre centros.
8. Evitar conicidades y contornos conformados.
9. Permitir radio de entalle o rebaje en hombros.

Torneado

1. Eliminar una segunda operación.
2. Usar material con laminado en frío.
3. Diseñar para usar torneado en vez de roscado.
4. Usar roscas laminadas en vez de cortadas.

Soldadura

1. Usar armado en vez de colado o forjado.
2. Emplear tamaños mínimos de soldadura.
3. Es mejor soldar en posición a nivel, que vertical o sobre la cabeza.
4. Eliminar bordes biselados antes de soldar.
5. Usar contornos cortados con soplete en lugar de maquinados.
6. Acomodar las piezas para el mejor corte de placas rectangulares y evitar desperdicio.
7. Usar soldadura intermitente y no continua.
8. Diseñar soldaduras circulares o en línea recta para usar las máquinas automáticas.

Tratamiento y acabados

1. Reducir al mínimo el tiempo de horneado.
2. Usar secado con aire en lugar de horneado.
3. Usar menos capas o más delgadas.
4. Eliminar tratamiento y acabados por completo.

Ensambles

1. Hacer ensambles simples.
2. Realizar ensambles progresivos.
3. Hacer sólo un ensamble y eliminar pruebas.
4. Hacer las partes bien la primera vez para no requerir ajustes y retrabajo en el ensamble.
   Esto significa dibujos correctos con tolerancias adecuadas y partes hechas según éstos.

General

1. Reducir el número de partes.
2. Reducir el número de operaciones.
3. Reducir distancias recorridas en la manufactura.

Fuente: Adaptado de las hojas de referencia del American Machinist, 12ª Ed., Nueva York, McGraw-Hill Publishing Co.

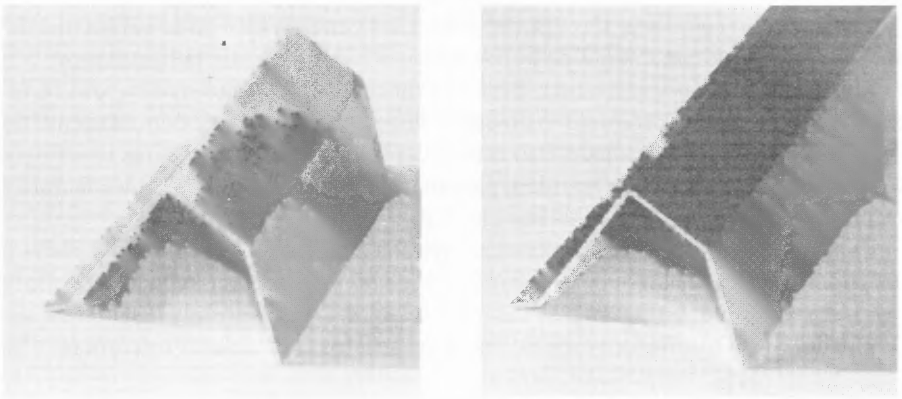


Figura 3–2 Rediseño de parte para eliminar tres pasos
a) Se usaba un proceso de cuatro pasos para doblar esta pieza. Esto era ineficiente y estresaba el metal en los dobleces. (Cortesía de Alexandria Extrusion Company.)
b) Esta pieza se dobla por extrusión en un solo paso y más tarde se corta a la longitud adecuada. (Cortesía de Alexandria Extrusion Company.)

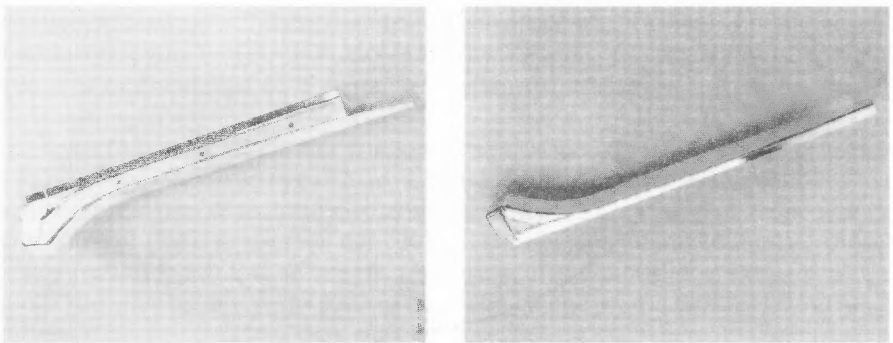


Figura 3–3 Rediseño de parte para eliminar varias piezas
a) La parte original estaba diseñada en tres piezas y tenía que ensamblarse. (Cortesía de Alexandria Extrusion Company.)
b) El diseño mejorado en una pieza se puede maquinar como una pieza sólida. (Cortesía de Alexandria Extrusion Company.)

3. TOLERANCIAS Y ESPECIFICACIONES

El tercero de los nueve puntos del análisis de la operación se refiere a las tolerancias y las especificaciones que se relacionan con la calidad del producto, es decir, su habilidad

para satisfacer una necesidad dada. Mientras las tolerancias y las especificaciones siempre se toman en cuenta al revisar el diseño, en general, esto no es suficiente; deben estudiarse independientemente de otros enfoques del análisis de la operación.

Los diseñadores pueden tender a incorporar especificaciones más rígidas de lo necesario al desarrollar el producto. Esto puede deberse a una falta de conocimiento de los costos y a la idea de que es necesario establecer tolerancias y especificaciones más estrechas que las requeridas en realidad, para que los departamentos de manufactura produzcan dentro del intervalo de tolerancia real.

El analista de métodos debe conocer bien los detalles de costos y tener plena conciencia del efecto que la reducción innecesaria de las tolerancias o rechazos puede tener en el precio de venta. La figura 3–4 ilustra la relación entre el costo y las tolerancias del maquinado. Si los diseñadores son demasiado estrictos al establecer tolerancias y espe-

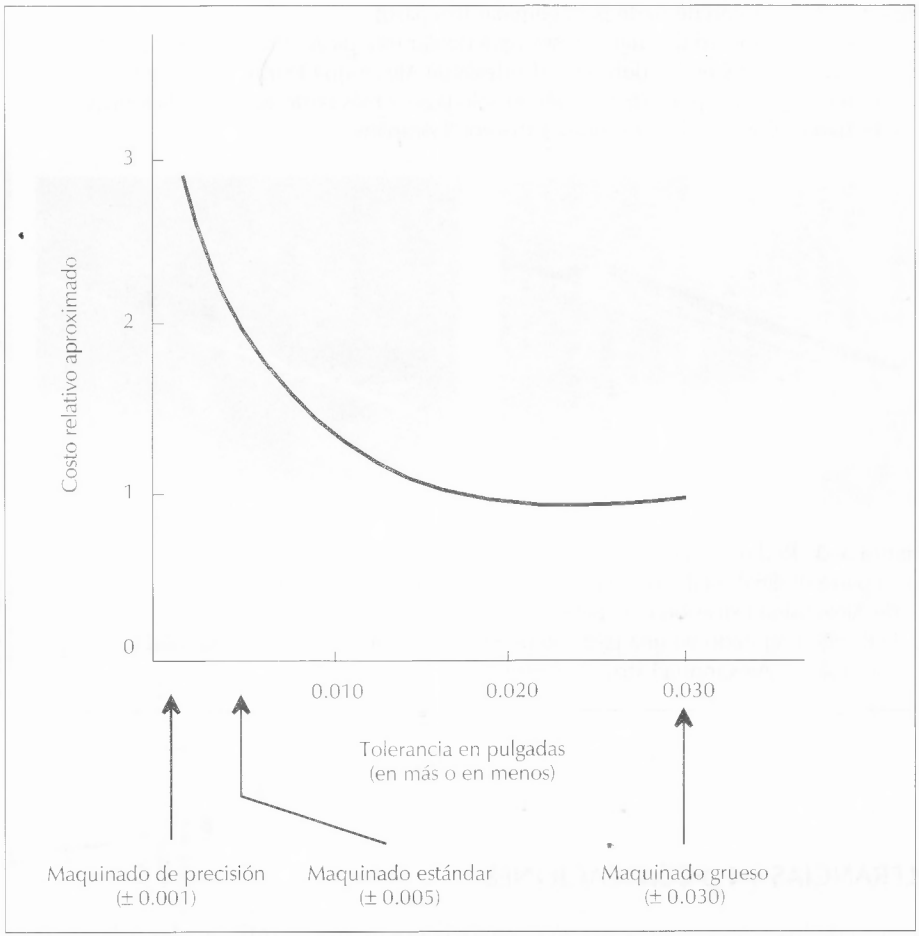


Figura 3-4 Relación aproximada entre el costo y las tolerancias de maquinado.

cificaciones, la administración debe emprender un programa de capacitación que presente con claridad la economía de las especificaciones. Además, debe estudiar el costo adicional de los productos por desperdicios y/o rechazos. En la actualidad sólo hay una manera de que una compañía sea competitiva: todas las partes de un producto deben fabricarse con las dimensiones precisas dadas en el dibujo. Desarrollar productos de calidad de modo que se reduzcan los costos es la primera regla del enfoque de la calidad instituido por Taguchi (1986). Este enfoque incluye combinar los métodos de ingeniería y estadística para lograr mejoras en costo y calidad mediante la optimización del diseño del producto y los métodos de manufactura.

Los dibujos de un fabricante indicaban una tolerancia de 0.0005 pulg en un anillo con reborde para el eje de un motor de CD. Las especificaciones originales tenían una tolerancia de 1.8105 a 1.8110 pulg en el diámetro interior. Esta tolerancia estrecha parecía necesaria porque el anillo se contraía sobre el eje del motor. Una investigación reveló que una tolerancia de 0.003 pulg era adecuada para que se ajustara la contracción. El dibujo se cambió de inmediato a una especificación de 1.809 a 1.812 pulg en el diámetro interior. Este cambio eliminó la siguiente operación como resultado de que alguien cuestionó la necesidad de una tolerancia tan estrecha.

El analista debe tener cuidado con las especificaciones demasiado liberales lo mismo que con las restrictivas. Cerrar una tolerancia a menudo facilita una operación de ensamble u otro paso subsecuente. Esto puede tener una buena evaluación en el sentido económico, aunque tal vez incremente el tiempo requerido para realizar una operación anterior al ensamble. En este contexto, el analista debe recordar que la tolerancia global es igual a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las tolerancias individuales que la constituyen.

El analista también debe tomar en cuenta el procedimiento ideal de inspección. Ésta es una verificación de la cantidad, calidad, dimensiones y desempeño. Por lo común, las inspecciones se realizan mediante diferentes técnicas: inspección puntual, inspección lote por lote o inspección del 100%. La inspección puntual es una verificación periódica para asegurar que se cumplen los estándares establecidos. Por ejemplo, una operación de silueteado y perforado sin precisión en una prensa perforadora debe contar con una inspección puntual para asegurar que se conserva el tamaño y la ausencia de rebabas. A medida que el dado se desgasta o conforme aparecen defectos en el material con que se trabaja, la inspección puntual detectará el problema a tiempo para hacer los cambios necesarios, sin generar un número grande de rechazos.

La inspección lote por lote es un procedimiento de muestreo en el que se examina una muestra para determinar la calidad de la corrida de producción o lote. El tamaño de la muestra depende del porcentaje permitido de unidades defectuosas y el tamaño del lote de producción que se verifica. Una inspección del 100% consiste en revisar todas las unidades y rechazar las defectuosas. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que este tipo de inspección no asegura un producto perfecto. La monotonía de la revisión tiende a crear fatiga y disminuye la atención del operador. El inspector puede pasar por alto algunas partes defectuosas o rechazar algunas aceptables. Como la inspección del 100% no asegura un producto perfecto, puede obtenerse una calidad aceptable si se usan los métodos mucho más económicos de inspección puntual o lote por lote.

Por ejemplo, en un taller de producción cierta operación de pulido automático tenía un rechazo normal de 1%. Someter los lotes a una inspección de 100% hubiera sido cos-

toso. Así, la administración decidió, con ahorros apreciables, considerar que 1% era un porcentaje de defectos permitido aun cuando esos productos pasarían por las operaciones de recubrimiento y acabado sólo para ser desechados en la inspección final antes del envío.

- Investigando las tolerancias y especificaciones y tomando las medidas necesarias, la compañía puede reducir los costos de inspección, minimizar el desperdicio, disminuir los costos de reparación y mantener una calidad alta.

4. MATERIAL

Uno de los primeros puntos que considera un ingeniero al diseñar un nuevo producto es, "¿qué material debe usarse?". Como la elección del material adecuado es difícil debido a la gran variedad disponible, con frecuencia es más práctico incorporar un material mejor y más económico al diseño existente.

Los analistas de métodos deben examinar las siguientes posibilidades para los materiales directos e indirectos que se usan en un proceso:

1. Encontrar un material menos costoso.
2. Encontrar materiales que sean más fáciles de procesar.
3. Usar materiales de manera más económica.
4. Usar materiales recuperados.
5. Usar materiales y suministros de manera más económica.
6. Estandarizar los materiales.
7. Encontrar el mejor proveedor respecto a precio y disponibilidad.

ENCONTRAR UN MATERIAL MENOS COSTOSO

La industria realiza un desarrollo continuo de nuevos procesos para fabricar y refinar materiales. Existen publicaciones mensuales que presentan resúmenes del costo aproximado por libra de láminas, barras y placas de acero, y el costo de hierro, acero, aluminio y bronce fundidos, así como de resinas termoplásticas y termofraguadas y otros materiales básicos. Un material que ayer no era competitivo en precio, puede serlo hoy.

Una compañía usaba barras espaciadoras Micarta entre los devanados de los transformadores. La separación permitía la circulación de aire. Una investigación reveló que las barras de Micarta podían sustituirse por tubos de vidrio con ahorros considerables. El tubo de vidrio era menos costoso y cumplía mejor los requerimientos de servicio porque el vidrio soportaba temperaturas más altas. Más aún, los tubos huecos de vidrio permitían mayor circulación de aire que las barras sólidas Micarta.

Otra compañía también usaba un material de menor costo que satisfacía los requerimientos en la producción de transformadores de distribución. Originalmente se usaba una placa de porcelana para separar y sostener las terminales de salida del transforma-

dor. La compañía descubrió que una placa de cartón comprimido funcionaba igual y su costo era mucho más bajo.

Hoy, muchos plásticos compiten de manera efectiva con los metales y la madera. Por ejemplo, la figura 3-5 ilustra un cambio de material en la manufactura de engranes para el contador de combustible de una bomba mecánica para gasolina; se logró un ahorro de $0.13 por unidad al igual que $ 10 000 dólares anuales en mantenimiento de herramientas al convertir dos partes del ensamble de metal a plástico. Un trinquete se hacía antes de lámina de acero que debía ser formado, desrebabado y rectificado según la tolerancia. El nuevo trinquete se moldea por inyección de plástico Delrin. De manera similar se cambió el engrane de acero troquelado y acuñado por otro hecho con termoplástico moldeado por inyección. El nuevo diseño del ensamble del contador de la bomba se producía por 13 centavos menos y además resultó tener una confiabilidad mayor, no necesitar mantenimiento y proporcionar una vida de servicio más larga.

Los analistas de métodos deben recordar que, en general, artículos como válvulas, relevadores, cilindros de aire, transformadores, uniones de tubería, cojinetes, coples, pernos, herramientas y motores se pueden comprar a menor costo que el de fabricación.

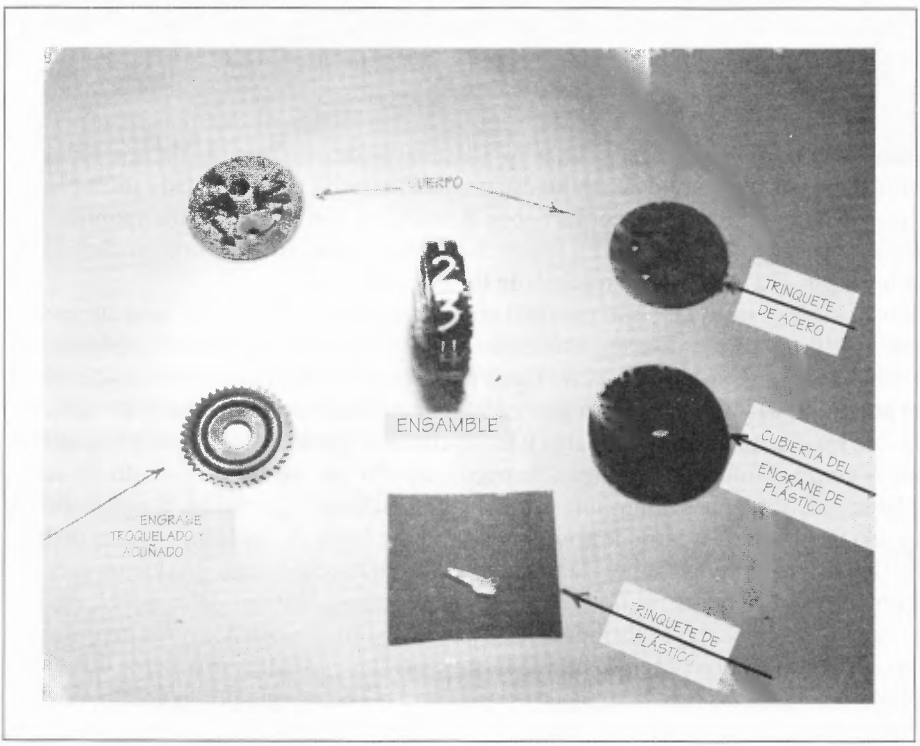


Figura 3–5 Engrane del contador de combustible de una bomba mecánica para gasolina. A la izquierda aparece el engrane troquelado y acuñado que se convirtió a un engrane de plástico, mostrado a la derecha. El engrane de acero ensamblado al cuerpo (*derecha arriba*) se convirtió en uno de plástico Delrin (*abajo*). El ensamble se muestra en el centro. (Cortesía de Veeder Root Company subsidiaria de Danaher Co.)

ENCONTRAR UN MATERIAL MÁS FÁCIL DE PROCESAR

Por lo común, es más sencillo procesar algunos materiales que otros. Consultar los datos de propiedades físicas en los manuales ayuda a los analistas a discernir qué material tendrá la reacción más favorable para el proceso al que debe sujetarse en su transformación de materia prima a producto terminado. Por ejemplo, el maquinado varía inversamente con la dureza, y la dureza casi siempre varía directamente con la fuerza.

En la actualidad, los materiales más versátiles son compuestos reforzados. El moldeo por transferencia de resinas puede producir partes más complejas con mayores ventajas desde el punto de vista de calidad y tasas de producción, que casi todo el resto de los procedimientos de formado de metales y plásticos. Así, al especificar un plástico reforzado con fibras de carbón y epoxy, el analista puede sustituir una parte de metal por un compuesto con ventajas tanto en la calidad como en el costo.

USAR MATERIALES DE MANERA MÁS ECONÓMICA

- La posibilidad de usar los materiales de forma más económica es un área fértil para el análisis. Si la razón del material de desperdicio y el que en realidad va al producto es alta, entonces debe estudiarse una mayor utilización. Por ejemplo, si se pesa el material que entra al molde de compresión de plástico, es posible usar sólo la cantidad exacta requerida para llenar la cavidad; también puede eliminarse el exceso de rebaba.

En otro ejemplo, la producción de troquelados en lámina de acero, si el esqueleto parece contener una cantidad indebida de material de desperdicio, se debe estudiar la posibilidad de pasar al siguiente ancho estándar de material y usar un dado múltiple. Si ya se usa un dado múltiple, los cortes deben distribuirse con cuidado para asegurar una utilización máxima del material. La figura 3–6 ilustra cómo un acomodo cuidadoso de las partes logra una utilización máxima de bajas existencias.

Muchos fabricantes de clase mundial encuentran no sólo deseable, sino necesario disminuir el peso de los diseños existentes. Por ejemplo, el automóvil promedio en 1999 debió disminuir su peso en 1 200 libras para cumplir con la tasa de eficiencia de 80 millas por galón de gasolina para la siguiente generación de automóviles. Esta meta requiere que los diseñadores funcionales y los analistas de métodos apliquen reingeniería a muchas componentes. Por ejemplo, se puede esperar que un recubrimiento de acero inoxidable para reforzar el aluminio sustituya a las defensas cromadas, al igual que un mayor uso de plásticos y compuestos estructurales en lugar de las componentes de hierro. Se llevan a cabo reducciones de peso similares en muchos otros productos conocidos, como lavadoras, cámaras de video, videograbadoras, maletas, televisores, etc.

Hoy, la tecnología de recubrimientos en polvo sustituye a muchos otros métodos de acabado de metales. Los polvos para recubrimiento son partículas finamente divididas de polímeros orgánicos (acrílico, epoxy, poliéster o mezclas) que por lo común contienen pigmentos, rellenos y aditivos. Este recubrimiento consiste en la aplicación de una fórmula adecuada a un sustrato, que después se fusiona en una película continua mediante la aplicación de calor, formando un terminado protector y decorativo. En vista de los reglamentos ambientales que afectan las operaciones tradicionales de acabado de metales, como la galvanoplastia y la pintura por inyección de agua, el recubrimiento en polvo ofrece un medio más seguro y limpio. La metodología también puede proporcio-



Figura 3–6 Método de corte con soplete de placas laterales para cajas de engranes (observe el acomodo de punta y talón para aprovechar mejor la lámina). (*Fuente:* General Electric Co.)

nar un acabado durable, atractivo y efectivo en costos para las superficies metálicas que se utilizan en muchos productos comerciales, como repisas de alambre, cajas de control, enganches de trailer, medidores de agua, barandales, escaleras para barcos, particiones para oficinas y palas para nieve.

USAR MATERIALES DE DESECHO

Con frecuencia los materiales se pueden recuperar en lugar de venderse como desperdicio. Los productos secundarios de una porción no trabajada o de desperdicio, pueden ofrecer posibilidades reales de ahorro. Por ejemplo, un fabricante de gabinetes de enfriamiento de acero inoxidable tenía secciones de 4 a 8 pulgadas de desperdicio por el corte. Un análisis identificó las cubiertas para interruptores eléctricos como un posible producto secundario. Otro fabricante, después de recuperar el injerto de acero de las bobinas defectuosas de hule aglutinado, usó los cilindros huecos de hule como protección en los muelles para barcos y veleros.

Si no es posible desarrollar un producto secundario, entonces los materiales de desperdicio deben clasificarse para obtener un buen precio. Deben proporcionarse contenedores distintos para acero de herramientas, acero, latón, cobre y aluminio. Los encargados del barrido y acarreo deben recibir instrucciones de mantener el desperdicio

separado. Por ejemplo, de los focos fundidos debe separarse el casquillo de latón y después romper el vidrio y tirarlo, el filamento de tungsteno debe removerse y almacenarse para obtener un valor residual alto. Muchas compañías guardan las cajas de madera de empaques y después las cortan en tablas estándar para hacer cajas más pequeñas para sus propios empaques. Esta práctica por lo común es económica y la han adoptado en muchas industrias grandes y en centros de servicio de mantenimiento.

Existen sólo unos cuantos ejemplos en la industria alimenticia. Un fabricante de tofu procesa las semillas, extrayendo el material proteínico comestible con centrifugado y le quedan toneladas de desperdicio de fibra. En lugar de pagar para que la lleven a un relleno, la regala a los granjeros locales como alimento para cerdos, con la condición de que lo recojan. De manera similar, los empacadores de carne utilizan todas las partes de una vaca: pieles, huesos, incluso la sangre, todas menos el "muuu".

USAR HERRAMIENTAS Y SUMINISTROS DE MANERA MÁS COMPLETA

La administración debe promover el uso completo de todos los suministros de la planta. Un fabricante de equipo introdujo la política de no distribuir más alambre de soldadura a los trabajadores si no entregaban las puntas de menos de 2 pulgadas del que estaban usando. El costo de la soldadura se redujo de inmediato más de 15%. La soldadura fuerte o con latón es, en general, la manera más económica de reparar herramientas de corte costosas, como escariadores, herramientas de forma especial y fresas. Si la costumbre en la compañía es descartar estas herramientas cuando se rompen, el analista debe investigar el potencial de ahorro de un programa de recuperación de herramientas.

Los analistas también deben buscar la manera de utilizar las partes no desgastadas de ruedas de esmeril, discos pulidores y otros. Además, los guantes y trapos no deben desecharse sólo porque están manchados. Guardarlos sucios y luego lavarlos es más barato que reemplazarlos. El analista de métodos puede hacer una contribución real a la compañía si minimiza el desperdicio, que en la actualidad significa una quinta parte del material.

ESTANDARIZAR MATERIALES

El analista de métodos debe tomar en cuenta la posibilidad de estandarizar los materiales. Debe minimizar el número de tamaños, formas, grados, etcétera de cada material utilizado en los procesos de producción y ensamble. Los ahorros típicos como resultado de reducir los tamaños y grados de los materiales empleados incluyen los siguientes:

- Las órdenes de compra se hacen por cantidades mayores, que casi siempre se traduce en menor costo por unidad.
- El nivel de inventarios es menor, pues debe tenerse menos material en reserva.
- Necesitan realizarse menos registros de inventario.
- Deben pagarse menos facturas.
- Se requiere menos espacio para los materiales en el almacén.
- La inspección por muestreo reduce el número total de partes inspeccionadas.
- Se requieren menos cotizaciones y órdenes de compra.

La estandarización de materiales, lo mismo que otras técnicas de mejoramiento de métodos, es un proceso continuo. Requiere la cooperación constante de los departamentos de diseño, planeación de la producción y compras.

ENCONTRAR EL MEJOR PROVEEDOR

Para la gran mayoría de los materiales, suministro y partes, varios proveedores darán diferentes precios, niveles de calidad, tiempos de entrega y la posibilidad de mantener inventarios. Es usual que la responsabilidad de localizar el proveedor más favorable recaiga en el departamento de compras. Sin embargo, el mejor proveedor del año pasado puede no serlo ahora. El analista de métodos debe promover que el departamento de compras cotice de nuevo los materiales, suministros y partes más costosos para obtener mejores precios y calidad y a fin de incrementar el inventario de los proveedores cuando estén de acuerdo en mantenerlos para sus clientes. Es común que el analista de métodos logre reducciones de 10% en el costo de materiales y 15% en inventarios con este enfoque a través de los departamentos de compras.

Quizá la razón más importante del éxito continuo del sector de manufactura en Japón es el *keiretsu*. Ésta es una forma de organizar los negocios y la manufactura que enlaza a las empresas. Se puede interpretar como una red de relaciones entre fabricantes, a menudo entre los grandes fabricantes y sus proveedores. Así, compañías como Hitachi y Toyota y otros competidores internacionales adquieren las partes de sus productos de proveedores constantes que proporcionan la calidad requerida y buscan el perfeccionamiento para ofrecer mejores precios a las compañías de su red. Los departamentos de compras conscientes pueden crear relaciones con sus proveedores, comparables con las de la llamada producción *keiretsu*.

5. SECUENCIA Y PROCESOS DE MANUFACTURA

Conforme la tecnología de manufactura del siglo XXI elimine la fabricación con mano de obra en su mayor parte, para dar paso a los procedimientos de capital intensivo, los ingenieros de métodos tendrán que enfocarse al ensamble y maquinado multifuncional y de multiejes. El equipo moderno es capaz de cortar a mayores velocidades con más exactitud en máquinas rígidas y flexibles que emplean controles y materiales para herramientas avanzadas. Las funciones de programación permiten realizar mediciones en proceso y después del proceso para verificar la sensibilidad y ajuste de las herramientas, que dan como resultado un control de calidad del que se puede depender.

Los ingenieros de métodos deben entender que el tiempo dedicado al proceso de manufactura se divide en tres pasos: planeación y control de inventarios, operaciones de preparación y manufactura en proceso. Todavía más, es frecuente encontrar que estos procedimientos, en suma, sólo tienen una eficiencia cercana a 30% desde el punto de vista del mejoramiento de los procesos.

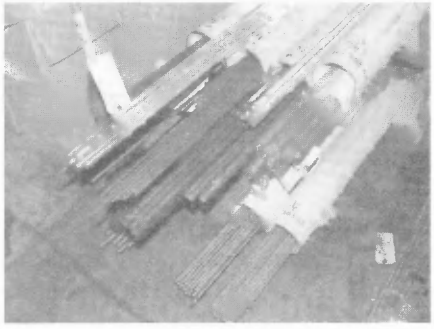
Para perfeccionar el proceso de manufactura, el analista debe considerar lo siguiente: 1) reorganización de las operaciones; 2) mecanización de las operaciones manuales; 3) utilización más eficiente de la maquinaria en operaciones mecánicas; 4) operación

más eficiente de la maquinaria; 5) fabricación cercana a la forma final del producto, y 6) automatización por medio de robots.

REORGANIZACIÓN DE LAS OPERACIONES

- Con frecuencia se obtienen ahorros al reorganizar las operaciones. Como ejemplo, la brida de la caja de conexiones de un motor eléctrico requería cuatro perforaciones, una en cada esquina. Además, la base debía ser plana y lisa. Originalmente, el operario primero esmerilaba la base y después usaba un taladro para hacer las perforaciones. La operación de taladrado dejaba rebabas que debían quitarse en un paso posterior. Se reorganizó la operación para que se hicieran primero las perforaciones y luego se lijara la base, con lo que el analista eliminó la operación de quietar rebabas. El esmeril las removía de manera automática.
- Combinar operaciones casi siempre reduce costos. Por ejemplo, un fabricante producía soportes para el motor y la caja de salida de ventiladores eléctricos. Después de pintar las partes por separado, los operarios las remachaban para unirlas. Los analistas obtuvieron ahorros considerables en tiempo al remachar la caja de salida al soporte del motor antes de la operación de pintura. De manera similar, al usar una máquina más compleja que combina varias operaciones se puede reducir el tiempo para producir la pieza terminada y aumentar la productividad (vea la figura 3–7). Aunque la máquina puede ser más costosa, se logran grandes ahorros al reducir los costos de mano de obra.





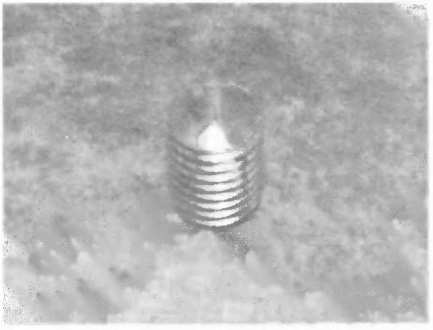


Figura 3–7 La combinación de operaciones elimina pasos. El material mostrado en *b*) se corta al tamaño adecuado y se rosca en el torno Citizen CNC mostrado en *a*) para obtener la pieza terminada ilustrada en *c*).
a) Torno Citizen CNC
b) Material almacenado
c) Pieza terminada
(las tres fotos son cortesía de Jergens Inc.)

En otro caso, el mercado de cabezas de cilindros fundidas de aluminio se incrementa y las fundidoras encuentran que pueden ahorrar en costos si cambian del fundido en moldes de acero a un proceso de espuma perdida. La espuma perdida es un procedimiento de colado que usa un molde desechable de poliestireno rodeado de una delgada capa de cerámica. La fundición en molde de acero requiere gran cantidad de maquinado posterior. En comparación, el proceso de espuma perdida reduce el maquinado y elimina los costos de disponer de la arena, asociados con la fundición en moldes de acero.

Sin embargo, antes de cambiar una operación, el analista debe estudiar los posibles efectos en detrimento de las operaciones subsecuentes en la línea. Reducir el costo de una operación puede tener como resultado costos más altos en otras operaciones. Por ejemplo, un cambio recomendado en la manufactura de bobinas de campo de CA tuvo el efecto global de mayores costos y por lo tanto resultó impráctico. Las bobinas de campo se hacían de tiras de cobre pesadas que se aislaban con cinta de mica después de formar las vueltas. La cinta de mica se aplicaba a mano sobre cada vuelta enrollada. La compañía decidió formar en una máquina las tiras de cobre antes de enrollarlas. Esto fue contraproducente pues al enrollar la cinta de mica se quebraba y necesitaba reparaciones tardadas antes de poder aceptar el producto.

MECANIZACIÓN DE OPERACIONES MANUALES

Cualquier analista de métodos que ejerce en la actualidad, debe tomar en cuenta el uso de equipo y herramientas automáticos y de propósitos específicos, en particular, si las cantidades de producción son grandes. Sobresalen entre los últimos ofrecimientos a la industria las máquinas de control programado, de control numérico (CN) y de control numérico por computadora (CNC) y otros equipos. Todos permiten obtener ahorros sustanciales en los costos de mano de obra, además de las siguientes ventajas: reducción de inventario en proceso, menos partes dañadas por manejo, menor desperdicio, disminución del espacio en la planta y reducción del tiempo de producción. Por ejemplo, (vea la figura 3–8) mientras que se requieren dos operarios para una máquina herramienta de operación manual, sólo se requiere uno para una máquina herramienta controlada por computadora. El uso de un brazo robótico que opera una máquina herramienta totalmente automática no requiere operario, lo que reduce los costos de mano de obra en forma considerable (a pesar del costo de capital inicial más alto).

Otros equipos automáticos incluyen: desarmadores automáticos, taladros de broca múltiple, máquinas para barrenar y roscar; máquinas herramienta para indizar divisiones, máquinas de fundición que combinan moldeo, vaciado, mezclado y rectificado, y equipos para acabados de pintura y recubrimiento metálico. El uso de herramientas automáticas para ensamble como desarmadores eléctricos, martillos neumáticos o eléctricos y alimentadores mecánicos, con frecuencia es más económico que usar herramientas manuales.

Para ilustrar, una compañía que produce ventanas especiales usaba métodos manuales para presionar los rieles en ambos extremos de la placa de vidrio que se había cubierto con una envoltura de hule sintético. Las placas de vidrio se sostenían en posición con dos paletas con cierre neumático. El trabajador tomaba un riel, lo posicionaba sobre el extremo del vidrio, tomaba un mazo y martillaba el riel a su posición sobre el vidrio. La operación era lenta y ocasionaba muchos desórdenes en músculos y esqueleto a los



Figura 3–8 Mecanizar las operaciones manuales puede reducir los costos de mano de obra a) Se requieren dos operarios para una máquina herramienta de operación manual. *b*) Una máquina herramienta controlada por computadora requiere sólo un operario. *c*) Una máquina herramienta controlada por computadora de tecnología de punta todavía requiere un operario pero realiza más operaciones. *d*) Un brazo de robot de operación automática no requiere operarios. [a) © Yogi, Inc./CORBIS; *b*) © Molly O'Byron Welpott; *c*) y *d*) Cortesía de Okuma.]

trabajadores. Además, el desperdicio era considerable por los vidrios rotos con el martilleo. Se diseñó una nueva máquina que presionaba los rieles neumáticamente en la placa de vidrio sobre la envoltura sintética. Los trabajadores aceptaron la nueva instalación con entusiasmo porque resultaba mucho más sencillo realizar el trabajo; los problemas de salud desaparecieron, la productividad aumentó y los vidrios rotos disminuyeron casi a cero.

• La aplicación de la mecanización no sólo se dirige a las operaciones de un proceso, también a la documentación. Por ejemplo, las aplicaciones de los códigos de barras pueden ser muy valiosas para el analista de operaciones. Estos códigos pueden introducir con rapidez y exactitud una gran variedad de datos. Las computadoras pueden después manipularlos según el objetivo deseado, como contar y controlar el inventario,

establecer rutas específicas para transportar los artículos a través del proceso o identificar el estado de avance y el operario que trabaja en cada pieza del trabajo en proceso.

UTILIZACIÓN DE INSTALACIONES MECÁNICAS MÁS EFICIENTES

Si una operación se hace en forma mecánica, siempre existe la posibilidad de un medio más eficiente de mecanización. En una compañía, por ejemplo, las raíces de los álabes de turbina se maquinaban realizando tres operaciones de fresado. Tanto el tiempo de ciclo como el costo eran altos. Al introducir el fresado externo, las tres superficies se acababan al mismo tiempo con ahorros considerables de tiempo y costo. Otra compañía pasó por alto la posibilidad de utilizar una prensa. Este proceso es uno de los más rápidos para formado y forjado. Una pieza estampada tenía cuatro agujeros que se perforaban después del estampado. Usando un dado diseñado para las perforaciones, el trabajo se pudo realizar en sólo una fracción del tiempo de perforado.

La mecanización del trabajo no sólo se aplica al trabajo manual. Por ejemplo, una compañía de la industria alimenticia verificaba el peso de diferentes líneas de productos con una balanza. Este equipo requería que el operador observara el peso, lo registrara en una forma y realizara algunos cálculos. Un estudio de ingeniería de métodos recomendó la introducción de un sistema de control estadístico del peso. Con el método mejorado, el operador pesa el producto en una báscula digital programada para aceptarlo dentro de cierto intervalo de pesos. Al pesar el producto, la información se transfiere a una computadora personal que compila la información e imprime el informe deseado.

OPERACIÓN MÁS EFICIENTE DE LAS INSTALACIONES MECÁNICAS

Una buena regla para el analista de métodos es "diseña para hacer el doble a la vez". Por lo común, una operación con dados múltiples en una prensa es más económica que la de una sola etapa. Las cavidades múltiples en procesos de fundición, moldeo y otros semejantes son opciones a considerar si se trata de un volumen suficiente. En las operaciones de maquinado el analista debe estar seguro de que se usa la alimentación y las velocidades adecuadas. También debe investigar el afilado de las herramientas de corte para obtener el mejor desempeño, verificar si esas herramientas están bien colocadas, si se usa el lubricante correcto y si la máquina está en buenas condiciones y recibe el mantenimiento apropiado. Muchas máquinas herramienta operan a una fracción de su capacidad posible. Esforzarse por operar las instalaciones mecánicas de forma más eficiente casi siempre da beneficios.

FABRICACIÓN CERCANA A LA FORMA FINAL

Al usar un proceso de manufactura que produce componentes con casi la forma final se puede maximizar la utilización del material, reducir el desperdicio, minimizar el procesamiento secundario como maquinado y acabados, y permitir la manufactura con mate-

riales menos dañinos al medio ambiente. Por ejemplo, formar partes con metales en polvo (PM) en lugar del forjado o fundido convencional, a menudo proporciona una fabricación cercana a la forma final para muchas componentes y, por ende, ahorros económicos drásticos, al igual que ventajas funcionales. En el caso de las bielas formadas con PM, se ha informado que se obtienen reducciones en la masa alternativa, con resultados de menor ruido y vibración, al igual que menores costos.

CONSIDERACIÓN DEL USO DE ROBOTS

Por razones de costo y productividad, el análisis de uso de robots en muchas áreas de manufactura tiene algunas ventajas (vea la figura 3–9). Por ejemplo, las áreas de ensamble incluyen trabajo que en general tiene un alto costo de mano de obra, que en algunos casos es responsable de la mitad de los costos de manufactura de un producto. La ventaja principal de integrar un robot moderno en el proceso de ensamble es su flexibilidad inherente. Se pueden ensamblar múltiples productos en un solo sistema y es posible reprogramarlos para manejar distintas tareas con variaciones en las partes. Además, el ensamble con robots proporciona una calidad consistente y repetible con una producción predecible.

La vida normal de un robot es alrededor de 10 años. Si se le da mantenimiento y se usa para mover cargas adecuadas, esta vida se puede extender hasta 15 años. En consecuencia, la depreciación del costo de un robot es relativamente baja. También, si su tamaño y configuración son adecuados, se puede usar en varias operaciones. Por ejemplo, un robot se puede utilizar para cargar una máquina de troquelado, cargar un tanque de extinción, para cargar y descargar una operación de forja a martinete, para cargar una placa de vidrio en una operación de lavado, y así sucesivamente. En teoría, un robot del tamaño y configuración correctos se puede programar para hacer cualquier trabajo.

Además de las ventajas de productividad, los robots ofrecen ventajas de seguridad. Se pueden usar en centros de trabajo que ponen en peligro al trabajador por la naturaleza del proceso (vea el capítulo 6). Por ejemplo, en el proceso de forja a martinete, existe un gran peligro si el metal caliente salpica durante la inyección en la cavidad de la forja. Una de las aplicaciones originales de los robots fue la forja. En una compañía, un robot de cinco ejes desarrollado por Unimation Inc., da servicio a una máquina de forjado de 600 toneladas controlada por microprocesadores. En la operación, el robot coloca en posición el molde al abrirse, agarra el colado por la guía y despeja la cavidad. Al mismo tiempo, inicia la lubricación automática por rociado. El robot expone el colado a un escáner infrarrojo y después da instrucciones a la máquina para que acepte un nuevo producto. Deposita el colado en una estación de salida para el desbaste. Aquí, un operario lejos de la máquina de forja desbasta, sin correr peligro, el colado a fin de prepararlo para las operaciones subsecuentes.

Los fabricantes de vehículos de motor han hecho mucho hincapié en el uso de robots para soldadura. En Nissan Motors, 95% de la soldadura de vehículos se realiza con robots; Mitsubishi Motors informó que 70% de la soldadura se realizaba con robots. En estas compañías, el tiempo muerto de los robots tiene un promedio menor a 1%.

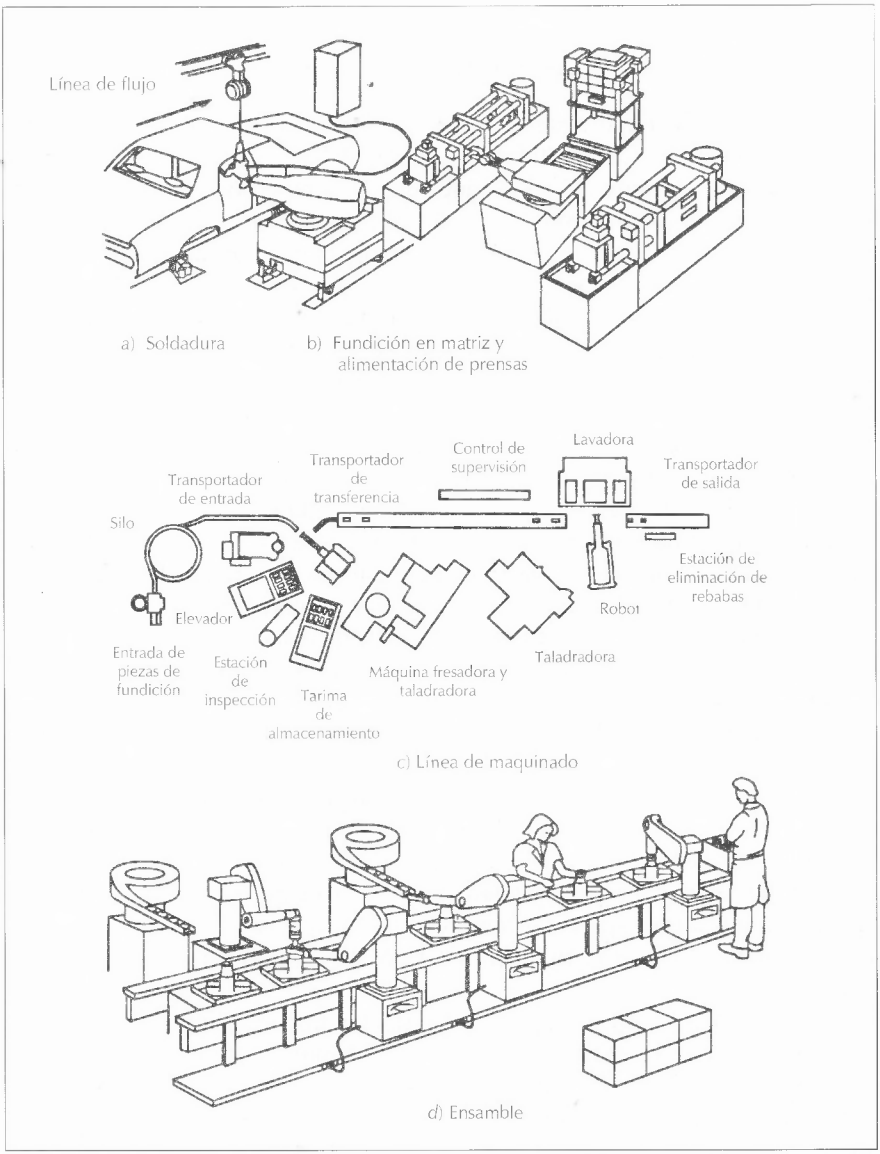


Figura 3–9 Ilustración de algunas aplicaciones comunes de los robots industriales. En *a*), se muestra un robot para soldadura, pero lo común es que cierto número de robots se usen en una línea de ensamble de automóviles. En *b*), un robot descarga máquinas fundidoras, realiza operaciones de enfriamiento por inmersión y carga material en una prensa. La línea de maquinado se utiliza para producir los alojamientos de levas mostrados en *c*). La línea de ensamble *d*) emplea una combinación de robots, alimentadoras de partes y operarios humanos.

Universidad de Occidente · Unidad Los Mochis

6.
PREPARACIONES Y HERRAMIENTAS

Uno de los elementos más importantes de todas las formas de trabajo, herramientas y preparaciones es su economía. La cantidad de herramental que proporciona las mayores ventajas depende de: 1) la cantidad de producción, 2) lo repetitivo del negocio, 3) la mano de obra, 4) los requerimientos de entrega y 5) el capital necesario.

El error más importante entre los planeadores y los fabricantes de herramientas es comprometer el dinero en herramientas que muestran grandes ahorros al usarlas, pero que rara vez operan. Por ejemplo, un ahorro de 10% en el costo de mano de obra directa en un trabajo constante justifica un gasto más elevado en herramientas, que ahorros de 80% o 90% en pequeños trabajos que aparecen en los programas de producción sólo unas cuantas veces al año. (Éste es un ejemplo del análisis de Pareto del capítulo 2). La ventaja económica de menores costos de mano de obra es el factor de control al determinar las herramientas; en consecuencia, los dispositivos sencillos pueden ser una buena opción, aun cuando se usen para pequeñas cantidades. Otras consideraciones, como la mejora en los intercambios, una mayor exactitud o la reducción de problemas con la mano de obra, pueden ser razones que justifiquen trabajar con herramientas elaboradas, aunque no sea lo normal. En el capítulo 8 en la sección de gráficas de punto de equilibrio se analiza un ejemplo del trueque entre los costos de dispositivos y herramientas.

Una vez determinada la cantidad de herramental necesaria (o la cantidad ideal si ya se tiene el herramental), deben evaluarse las características específicas de los diseños más favorables para la producción. Éstas se describen en la lista de evaluación de preparaciones y herramientas mostrada en la figura 3–10.

Las preparaciones tienen una relación estrecha con el herramental porque es inevitable que éste determine el tiempo de preparación y desmantelado. Cuando se habla de tiempo de preparación se incluyen elementos como llegar al trabajo, recibir instrucciones, dibujos, herramientas y material; preparar la estación de trabajo para iniciar la producción en la forma prescrita (preparar herramientas, ajustar los paros: alimentación, velocidad y profundidad de corte; etcétera); desmantelar la preparación y regresar las herramientas.

Las operaciones de preparación son particularmente importantes en la producción por pedido, donde las corridas tienden a ser pequeñas. Aunque este tipo de planta tenga instalaciones modernas y haga un gran esfuerzo, quizá tenga dificultad en competir si las preparaciones son demasiado tardadas por mala planeación y uso de herramientas ineficientes. Cuando la razón del tiempo de preparación entre el de producción es alta, se pueden desarrollar varias posibilidades para mejorar la preparación y el herramental. Una opción atractiva es un sistema de tecnología de grupos.

La esencia de la tecnología de grupos es la clasificación de las distintas componentes de los productos de una compañía, de manera que las partes con forma y secuencia de proceso similares se identifican numéricamente. Las partes que pertenecen a la misma familia como anillos, mangas, discos y collarines se programan para producción en el mismo periodo en una línea de propósito general, dispuesta en la secuencia de operación óptima. Como el tamaño y la forma de las partes en una familia dada varía, casi siempre la línea está equipada con dispositivos de tipo universal de acción rápida.

Dispositivos	Sí	No
1. ¿Puede usarse el mismo dispositivo para fabricar otros productos similares?	❑	❑
2. Este dispositivo, ¿puede ser similar a otro que se haya usado con ventajas? Si es así, ¿cómo puede mejorarse?	❑	❑
3. ¿Pueden usarse materiales del almacén para hacer el dispositivo?	❑	❑
4. ¿Es posible incrementar la producción si se coloca más de una parte en el dispositivo?	❑	❑
5. ¿Pueden removerse con rapidez las virutas del dispositivo?	❑	❑
6. ¿Son fuertes los sujetadores de manera que no se pandeen al apretarlos para fijar la parte al dispositivo?	❑	❑
7. ¿Debe diseñarse una llave de tuercas especial para usar el dispositivo?	❑	❑
8. ¿Deben diseñarse fresas, portaherramientas y collarines especiales para usarse con el dispositivo?	❑	❑
9. ¿Es preciso el elemento de posicionamiento en dispositivos de tipo rotatorio?	❑	❑
10. ¿Puede usarse el dispositivo sobre una cabeza de posicionamiento rotatorio estándar?	❑	❑
11. ¿Es posible diseñar el dispositivo para que maneje más de una operación a la vez?	❑	❑
12. ¿El diseño del dispositivo permite que el trabajo esté cerca de la mesa de la fresadora?	❑	❑
13. ¿Puede calibrarse el trabajo en el dispositivo? ¿Puede usarse un calibrador de resorte?	❑	❑
14. ¿Pueden usarse pasadores para ayudar a sujetar la pieza mientras es fresada?	❑	❑
15. ¿Se han colocado resortes en todos los sujetadores?	❑	❑
16. ¿Se han templado todos los puntos de contacto, sujetadores, etcétera de acero?	❑	❑
17. ¿Qué clase de plantillas se van a diseñar?	❑	❑
18. ¿Se está usando un tornillo de doble o triple rosca al sostener el trabajo, para sacarlo con menos vueltas y quitar la parte más rápido?	❑	❑
19. ¿Podría el herramentista hacer la plantilla?	❑	❑
20. ¿Tienen las patas de la plantilla el largo adecuado para permitir el paso del taladro, escariador o vástago del escariador, sin que llegue a la mesa del taladro?	❑	❑
21. ¿Es la plantilla demasiado pesada para manejarla con facilidad?	❑	❑
22. ¿Tiene la plantilla identificación con número de localización en el almacén y números de partes que ayuden a la producción?	❑	❑
23. ¿Tiene la parte los soportes adecuados para que la fuerza de sujeción no lo dañe?	❑	❑

Partes	Sí	No
1. ¿Ha pasado la parte por operaciones previas? Si es así, ¿puede alguna de sus superficies usarse como localizador o matriz?	❑	❑
2. ¿Puede la parte colocarse en el dispositivo con rapidez?	❑	❑
3. ¿Puede la parte removerse del dispositivo con rapidez?	❑	❑
4. ¿Está la parte sostenida con firmeza para que no se suelte, afloje o vibre al hacer un corte? (El corte debe hacerse contra la parte sólida del dispositivo y no contra el sujetador)	❑	❑
5. ¿Puede fresarse la parte en un sujetador estándar y evitar el uso de un dispositivo costoso?	❑	❑
6. Si el fresado es angular, ¿podría simplificarse el dispositivo usando un ángulo de fresa ajustable estándar?	❑	❑
7. ¿Pueden colarse orejas de sujeción en la parte que se maquina para sostenerla mejor?	❑	❑
8. ¿Se pusieron notas en el dibujo, o marcas en las piezas sueltas, que indiquen la plantilla en que se trabajan, de manera que si se pierden o colocan mal puedan encontrarse?	❑	❑
9. ¿Se han redondeado todas las esquinas necesarias?	❑	❑

Perforaciones	Sí	No
1. ¿Absorbe el dispositivo el choque del taladro?	❑	❑
2. ¿Podrían usarse pasadores o tornillos para sujetar la pieza mientras se taladra?	❑	❑
3. ¿Son los bujes del taladro tan largos que necesitan brocas de extensión?	❑	❑
4. ¿Están localizados los sujetadores para resistir o ayudar a resistir la presión del taladro?	❑	❑
5. ¿Tiene el taladro las velocidades necesarias para hacer toda clase de perforaciones?	❑	❑
6. ¿El taladro de banco debe tener un dispositivo para roscar?	❑	❑
7. No es práctico taladrar y escariar varios agujeros pequeños y sólo uno grande en la plantilla, pues es posible hacer los pequeños más rápido en un taladro chico y sólo el grande en la plantilla de la máquina más grande.		
a. ¿Es más económico hacer la perforación grande en otra plantilla?	❑	❑
b. ¿Tendría la precisión suficiente?	❑	❑

Otros	Sí	No
1. ¿Puede diseñarse un calibrador o agregarse sujetadores para ayudar al operario a colocar las fresas o verificar el trabajo?	❑	❑
2. ¿Hay suficiente espacio para que los collarines pasen sobre la pieza sin golpearla?	❑	❑

Figura 3–10 Lista de evaluación de preparaciones y herramientas

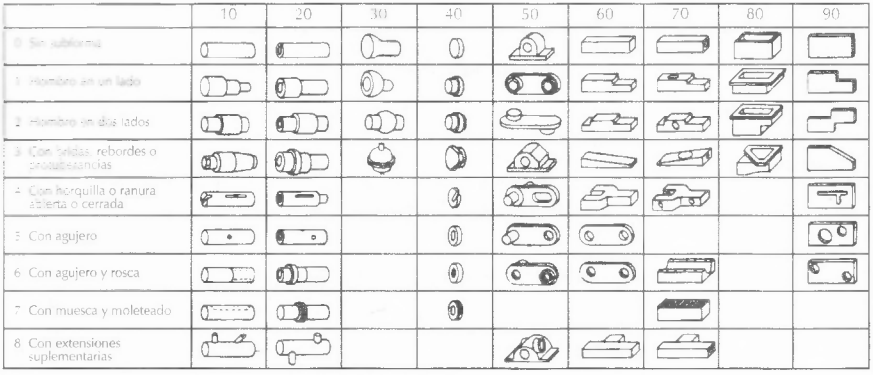


Figura 3–11 Sistema de agrupamiento para tecnología de grupos

Este tipo de línea puede tener una mayor producción, tiempos de preparación menores, mayor utilización de máquinas, menor manejo de materiales, tiempos de ciclo más cortos y mejora en los costos. El diseño y desarrollo de dispositivos de tipo universal significa que se requiere menos equipo y que se reducen los costos ocultos como los de almacenamiento de herramientas y de obsolescencia.

Como ejemplo, la figura 3–11 ilustra un sistema de agrupamiento dividido en nueve clases. Observe la similitud de las partes en cada columna. Si se maquina un eje con cuerdas externas y mandrilado parcial en un extremo, la parte se coloca en la clase 206.

Para mejorar los métodos, se deben analizar la preparación y las herramientas para: 1) reducir el tiempo de preparación con planeación, métodos y control de la producción mejores; 2) usar toda la capacidad de la máquina, y 3) usar herramientas más eficientes.

REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE PREPARACIÓN

Las técnicas *justo a tiempo* (*JIT*), que han ganado aceptación en los últimos años, resaltan la reducción de los tiempos de preparación a un mínimo, simplificándolos o eliminándolos. El sistema de producción Toyota con intercambio de dado en un minuto (SMED —*single minute exchange of die*, Shingo, 1981) es un buen ejemplo de este enfoque. Con frecuencia se puede eliminar parte del tiempo de preparación asegurando que la materia prima cumple las especificaciones, las herramientas tienen filo y los dispositivos están disponibles y en buen estado. La producción en lotes pequeños suelen reducir los costos. Este tipo de lotes puede significar menores inventarios, con menores costos para mantenerlos y menos problemas de almacén, como contaminación, corrosión, deterioro, obsolescencia, y robo. El analista debe entender que disminuir el tamaño del lote puede traer un incremento en los costos totales de preparación para la misma cantidad de producción en un periodo dado. Deben considerarse varios puntos al reducir los tiempos de preparación:

1. El trabajo que pueda realizarse mientras el equipo opera debe hacerse en ese tiempo. Por ejemplo, se pueden colocar las herramientas para el equipo de control numérico (CN) mientras el equipo opera.

2. Usar los sujetadores más eficientes. En general, los sujetadores de acción rápida que emplean acción de leva, palancas y otros, son más rápidos, proporcionan la fuerza adecuada y son una buena alternativa contra los sujetadores de rosca. Cuando éstos deben usarse (por la fuerza de sujeción), se pueden emplear roldanas "C" o agujeros ranurados para que los tornillos y tuercas no tengan que quitarse de la máquina y se puedan volver a usar, reduciendo el tiempo de preparación del siguiente trabajo.
3. Eliminar el ajuste de la base de la máquina. Rediseñar las partes y dispositivos y usar la herramienta prestablecida puede eliminar la necesidad de espaciadores o ajuste de guía de la posición de la mesa.
4. Utilizar plantillas o calibradores de bloque para hacer ajustes rápidos a los topes de las máquinas.

En general, el tiempo de preparación incluye el tiempo dedicado a obtener herramientas y materiales, preparar la estación de trabajo para la producción, limpiarla y regresar las herramientas al almacén. Muchas veces es difícil controlar este tiempo y el trabajo que se hace es el menos eficiente. Un control de la producción efectivo puede reducirlo. Si se responsabiliza a la sección de despacho de proporcionar a tiempo las herramientas, los calibradores y los materiales, y de que regresen al almacén después de terminar el trabajo, se elimina la necesidad de que el operario deje su área de trabajo. Entonces, el trabajador sólo tiene que realizar la preparación y limpieza de la máquina. Quienes están más familiarizados con este trabajo pueden realizar la función de apoyo rutinaria de proporcionar dibujos, instrucciones y herramientas. Es posible satisfacer un gran número de requisiciones al mismo tiempo y minimizar los tiempos de preparación. De nuevo, la tecnología de grupos puede ser ventajosa.

Debe disponerse de duplicados de las herramientas de corte, en lugar de hacer que el operador las afile. Cuando éste pide nuevas herramientas, regresa las que no tienen filo y el encargado las afila. Afilar herramientas se convierte en una función separada que facilita su estandarización.

Para minimizar los tiempos de descomposturas, cada operario debe saber siempre cuál es la siguiente asignación de trabajo. Una técnica que se usa con frecuencia para mantener la carga de trabajo visible para los operarios, supervisores y superintendentes, es un tablero en cada instalación de producción, con tres pinzas o tres bolsillos para recibir las órdenes de trabajo. La primera pinza contiene las órdenes de trabajo programadas; la segunda pinza, las que se están trabajando, y la tercera, las órdenes terminadas. Cuando se emiten órdenes de trabajo, el despachador las coloca en la pinza de trabajos programados. Al mismo tiempo recoge los papeles de las órdenes terminadas de la tercera pinza y las entrega al departamento de programación para su registro. Este sistema asegura que los operarios tienen cargas de trabajo continuas y elimina la necesidad de ir con el supervisor para recibir su siguiente asignación.

Llevar un registro de las preparaciones difíciles y recurrentes puede ahorrar un tiempo considerable al recibir pedidos repetidos. Quizá la manera más sencilla y efectiva de compilar un registro de preparaciones es tomar una fotografía una vez que esté terminada. La fotografía debe engraparse y archivarse con la tarjeta de la operación de

producción, o colocarse en sobre de plástico transparente y fijarse al herramental antes de almacenarlo en el depósito de herramientas.

USO DE TODA LA CAPACIDAD DE LA MÁQUINA

Una revisión cuidadosa de muchos trabajos, con frecuencia revela posibilidades de utilizar una mayor parte de la capacidad de la máquina. Por ejemplo, la preparación de una fresadora para fabricar una palanca articulada se cambió de manera que seis caras fueran fresadas al mismo tiempo con cinco fresas. La preparación anterior requería que el trabajo se hiciera en tres pasos, por lo que la parte debía colocarse en un dispositivo diferente tres veces. La nueva preparación redujo el tiempo de maquinado total e incrementó la exactitud de la relación entre las seis caras fresadas.

Los analistas también deben tomar en cuenta el posicionamiento de una parte mientras otra se maquina. Esta oportunidad existe en muchos trabajos de fresadora donde es posible el fresado convencional en un golpe de la mesa y el fresado inverso cuando regresa el golpe. Mientras que el operario carga un dispositivo en un lado de la mesa de maquinado, un dispositivo similar sostiene la pieza maquinada mediante alimentación automática. Al regresar a la mesa de la máquina, el operador quita la primera pieza y vuelve a cargar el dispositivo. Mientras se lleva a cabo este trabajo interno, la máquina corta la pieza del segundo dispositivo.

En vista de que el costo de la energía siempre aumenta, es importante utilizar el equipo más económico para hacer el trabajo. Hace varios años, el costo de la energía era una parte tan insignificante de los costos totales que se prestaba poca atención a la utilización de la capacidad total de las máquinas. Existen literalmente miles de operaciones donde se usa sólo una fracción de la capacidad de la máquina, con el consecuente desperdicio de energía eléctrica. En la industria del comercio de metales actual, el costo de la energía es superior a 2.5% del costo total, con firmes indicaciones de que aumentará al menos 50% durante la próxima década. Es muy probable que una planeación cuidadosa para utilizar una mayor proporción de la capacidad de las máquinas logre hasta 50% de ahorros en uso de energía en muchas plantas. Lo normal para la mayoría de los motores es que, si se puede aumentar la tasa de la carga completa de 25% a 50%, se logre tanto como un 11% de incremento en la eficiencia.

De manera similar, los motores de CA eficientes en energía proporcionan entre 2% y 4% más eficiencia en la operación que los motores estándar. Además los motores eficientes en energía operan a temperatura más baja que los motores estándar y, por lo tanto, tienen una vida de servicio más larga. Este tipo de motores trabajan bien en instalaciones continuas, como compresoras, bombas, ventiladores y extractores. Los motores estándar con menor costo inicial son por lo común más convenientes en situaciones de uso intermitente.

EJEMPLO 3–1 Ahorros a través del uso de motores eficientes en energía

Un analista estudia el reemplazo de un motor de 25 HP que tiene 10 años trabajando por un motor nuevo eficiente en energía. El motor operará un estimado de 6000 horas anuales a 91 % de su carga total. Los ahorros anuales estimados para este motor, con base en 3% de mejora en eficiencia y un costo de energía de $0.05 kwh es:

Costo de energía/año (motor estándar) = $HP \times 0.746 \times F \times H \times C \times 1/E$

donde: HP = caballos de fuerza del motor,
0.746 = factor de conversión (caballos de fuerza a watts),
F = porcentaje de la carga completa,
H = horas anuales de operación,
E = eficiencia,
C = costo de energía.

Costo de energía/año (motor estándar) = $25 \times 0.746 \times 0.91 \times 6000 \times 0.05/0.88 = \$5786$

Costo de energía/año (motor eficiente en energía) = $25 \times 0.746 \times 0.91 \times 6000 \times 0.05/0.91 = \$5595$

Esto indica ahorros en energía de $191 anuales. El analista debe comparar estos ahorros anuales con el costo adicional del motor eficiente en energía. Si ese costo adicional se puede ahorrar en un periodo de tres años, el analista debe proceder.

INTRODUCIR HERRAMIENTAS MÁS EFICIENTES

De la misma manera que las técnicas de procesamiento están sujetas a un desarrollo continuo, deben considerarse herramientas nuevas, más eficientes. Las herramientas de corte recubiertas han mejorado en forma drástica la combinación crítica de resistencia al desgaste/ruptura. Por ejemplo, las herramientas revestidas con carburo de titanio (TiC) han proporcionado de 50% a 100% de incremento en velocidad respecto a las que no tienen recubrimiento, aun cuando ambos tipos tienen la misma resistencia a la ruptura. Las ventajas incluyen superficies más duras, que reducen el desgaste por abrasión; excelente adhesión al sustrato; un coeficiente de fricción bajo con la mayor parte de los materiales de trabajo; químicamente inertes, y resistencia a temperaturas elevadas.

Las herramientas de carburo de tungsteno presentan más efectividad de costos que las de acero de alta velocidad, en muchos trabajos. Por ejemplo, una compañía obtuvo ahorros de 60% al cambiar su operación de fresado en una pieza de fundición de magnesio. Antes se fresaba la base completa en dos operaciones, usando fresas de acero de alta velocidad. El resultado de un análisis fue que debían emplearse tres cortadoras con puntas de carburo montadas en un dispositivo especial para fresar la parte completa. Con esto fue posible usar alimentación y velocidades más rápidas y el acabado de las superficies no pudo ser mejor.

Con frecuencia pueden lograrse ahorros alterando la geometría de las herramientas. Cada preparación tiene requerimientos distintos que pueden satisfacerse sólo con el diseño de un sistema que optimice el intervalo de alimentación para el control de viruta, las fuerzas de corte y la intensidad de los bordes. Por ejemplo, se pueden diseñar formas geométricas de fuerza baja de un solo lado para tener buen control de virutas y reducir la fuerza. En este caso, los ángulos de corte positivos altos se agrupan para reducir el espesor de la rebaba y proporcionar una fuerza de corte y temperatura bajas.

Al introducir herramientas más eficientes, el analista debe desarrollar mejores métodos para fijar las piezas. El trabajo debe sostenerse de manera que se coloque y desmonte con rapidez (figura 3–12). Aunque la carga de las componentes todavía es una operación manual, aumenta la productividad lo mismo que la igualdad.



Figura 3–12 Dispositivos y herramientas más eficientes. (Cortesía de Jergens, Inc.)

Por último, la gerencia debe proporcionar las herramientas manuales adecuadas. Muchas de ellas, como los desarmadores, están diseñadas para tareas específicas. Un desarmador eficiente para un conjunto de condiciones puede ser ineficiente para otro. Los analistas deben especificar las herramientas más efectivas que deben emplearse. En el capítulo 5 se proporcionan más detalles sobre la selección de herramientas manuales.

7. MANEJO DE MATERIALES

El manejo de materiales incluye movimiento, tiempo, lugar, cantidad y espacio. Primero, el manejo de materiales debe asegurar que las partes, la materia prima, los materiales en proceso, los productos terminados y los suministros se muevan periódicamente de un lugar a otro. Segundo, como la operación requiere materiales y suministros en un tiempo específico, el manejo de materiales asegura que ningún proceso de producción o cliente se detenga por la llegada temprana o tardía de materiales. Tercero, garantiza que los materiales se entreguen en el lugar correcto. Cuarto, asegura que los materiales se entreguen sin daños y en la cantidad adecuada. Por último, el manejo de materiales debe tomar en cuenta espacios de almacén, tanto temporales como permanentes.

Un estudio llevado a cabo por el Material Handling Institute reveló que entre 30 y 85% del costo de llevar un producto al mercado está asociado con el manejo de materiales. Un axioma es: la parte mejor manejada es la que menos se maneja manualmente. Sean grandes o pequeñas las distancias de los movimientos, éstos deben someterse a un escrutinio. Los cinco puntos siguientes deben considerarse para reducir el tiempo dedicado al manejo de materiales: 1) reducir el tiempo dedicado a recoger el material; 2) usar equipo mecanizado o automático; 3) utilizar mejor las instalaciones de manejo

existentes; 4) manejar los materiales con más cuidado, y 5) considerar la aplicación de códigos de barras para los inventarios y actividades relacionadas.

Un buen ejemplo de la aplicación de estos cinco puntos es la evolución de los almacenes; el centro de almacenamiento antiguo se ha convertido en un centro de distribución automatizado. En la actualidad, el almacén automatizado usa el control por computadora para el movimiento de los materiales, al igual que para el flujo de la información a través del procesamiento de datos. En este tipo de almacén, recibir, transportar, clasificar, recoger y controlar el inventario se manejan como funciones integradas.

REDUCIR EL TIEMPO DEDICADO A RECOGER EL MATERIAL

Con frecuencia, se piensa en el manejo de materiales sólo como transporte y no se toma en cuenta el posicionamiento en la estación de trabajo que tiene la misma importancia. Como muchas veces se pasa por alto el posicionamiento del material en la estación de trabajo, quizá ofrezca mayores oportunidades de ahorro que el transporte. Reducir el tiempo dedicado a recoger o tomar el material minimiza el manejo manual costoso y cansado en la máquina o el centro de trabajo. Da al operario la oportunidad de hacer su trabajo más rápido, con menos fatiga y mayor seguridad.

Por ejemplo, considere eliminar el material regado en el suelo. Quizá se pueda apilar directamente en una tarima o rastra después de procesarlo. Esto puede significar una reducción sustancial en el tiempo de transporte en la terminal (el tiempo que el equipo de manejo de materiales está ocioso mientras se lleva a cabo la carga y descarga). Por lo común, cierto tipo de transportadores o montacargas pueden traer el material a la estación de trabajo reduciendo o eliminando el tiempo necesario para recogerlo. Las fábricas también pueden instalar transportadores por gravedad, junto con la remoción automática de las partes terminadas, minimizando el manejo de materiales en la estación de trabajo. La figura 3–13 muestra ejemplos de equipo común de manejo de materiales.

Las relaciones entre los distintos tipos de equipo de manejo de materiales y de almacenamiento deben estudiarse para desarrollar arreglos más eficientes. Por ejemplo, el esquema de la figura 3–14 muestra un arreglo para recoger las órdenes, describe cómo se pueden remover los materiales de las repisas, ya sea con un hombre a bordo de un vehículo especial (izquierda) o de manera manual (derecha). Un montacargas puede ayudar al reabastecimiento de las repisas. Una vez que se recogen los artículos deseados, se mandan por transportador al lugar de trabajo donde se realizan las operaciones de acumular órdenes y empacar.

USAR EQUIPO MECANIZADO O AUTOMÁTICO

Mecanizar el manejo de materiales casi siempre reduce costos de mano de obra y los daños a los materiales, mejora la seguridad, alivia la fatiga y aumenta la producción. Sin embargo, debe tenerse cuidado de seleccionar el equipo y los métodos adecuados. La estandarización del equipo es importante puesto que simplifica la capacitación del operario, permite intercambiar equipos y requiere menos refacciones.

Los ahorros posibles a través de la mecanización del equipo de manejo de materiales se tipifican en los siguientes ejemplos. Al inicio del programa IBM 360, para cons-

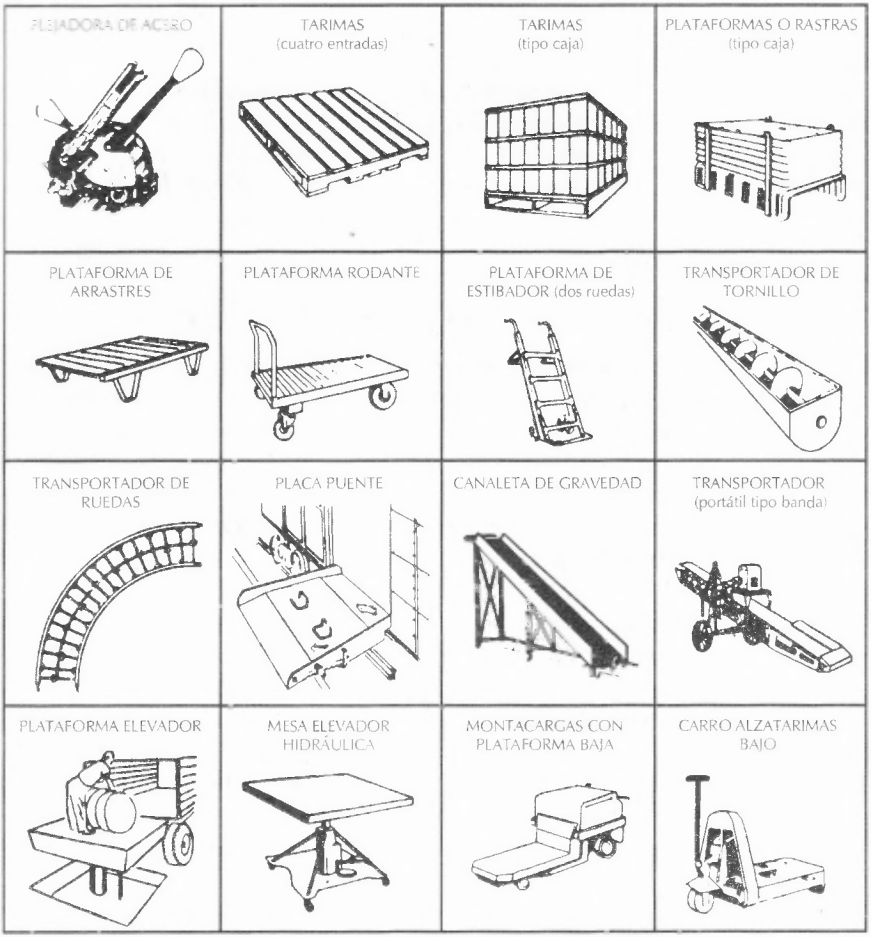


Figura 3-13 Equipo de manejo de materiales usado hoy en la industria. (*Fuente:* The Material Handling Institute.)

truir un tablero, el operador iba al almacén, elegía las tarjetas correctas requeridas para el tablero específico según su lista de "conexiones", regresaba a la mesa de trabajo y procedía a insertar las tarjetas en el tablero de acuerdo con la lista. El método mejorado utiliza dos máquinas automáticas de almacenamiento vertical, cada una con 10 carros y cuatro cajones por carro (figura 3–15). Los carros se mueven hacia arriba y dan vuelta en un sistema que es una versión comprimida de la rueda de Ferris. Con 20 posiciones posibles para detenerse según las necesidades, la unidad siempre selecciona la ruta más corta, ya sea hacia adelante o hacia atrás, para traer los cajones apropiados a la abertura en el tiempo mínimo posible. Desde su asiento, el operador marca la parada correcta, jala el cajón para exponer las tarjetas requeridas, saca la tarjeta y la coloca en el tablero. El método mejorado ha reducido el área de almacenamiento cerca de 50%, ha mejorado la distribución de la estación de trabajo y ha disminuido de manera sustancial los errores al minimizar el manejo, la toma de decisiones y la fatiga del operador.

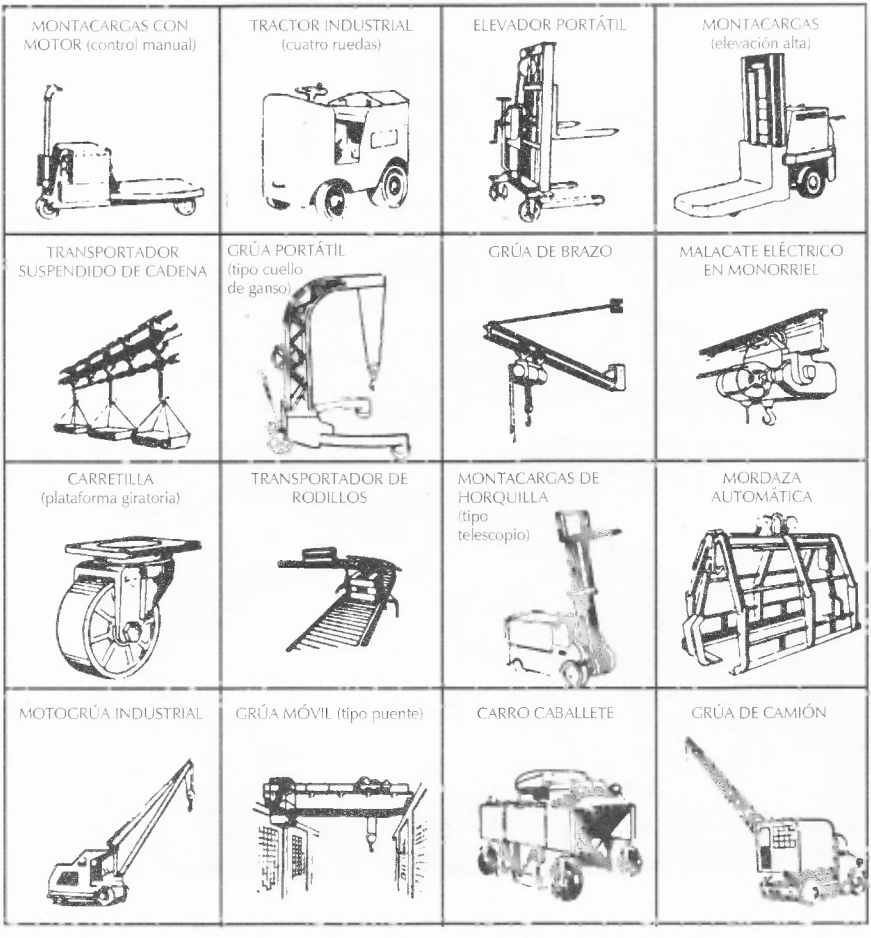


Figura 3–13 (*continuación*)

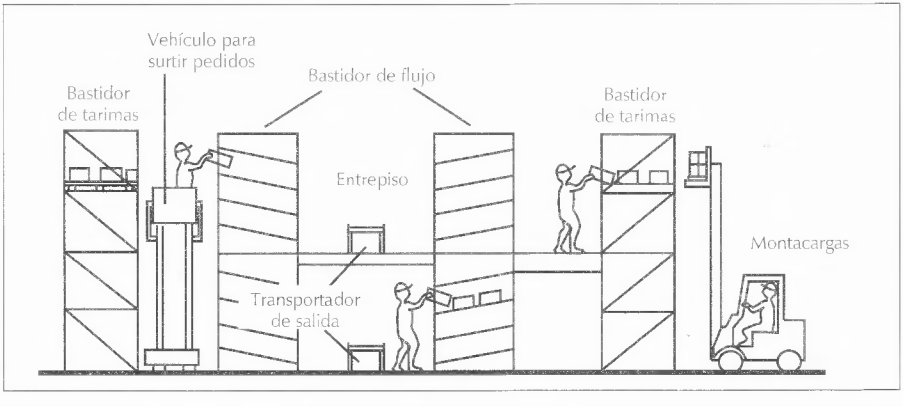


Figura 3–14 Esquema de operaciones de almacén eficientes.



Figura 3–15 Área de trabajo para una máquina de almacenamiento vertical usada en el ensamble de tableros de computadora.

Muchas veces un vehículo de guía automatizada (AGV, *automated guided vehicle*) puede sustituir a un conductor. Los AGV se usan con éxito en muchos casos, un ejemplo es la distribución de correo. Lo normal es que estos vehículos no estén programados, sólo siguen un imán o guía óptica en una ruta planeada. Se detienen en lugares específicos un periodo predeterminado que permite al empleado cargar y descargar. Si presiona un botón de "detener" y otro de "continuar" cuando termina la operación de carga/descarga, el empleado puede prolongar el periodo en cada parada. Los AGV se pueden programar para ir a cualquier lugar en más de una trayectoria. Están equipados con sensores e instrumentos de control para evitar colisiones con otros vehículos. Además, cuando se usan estos vehículos guiados, los costos del manejo de materiales varían muy poco con la distancia.

La mecanización también es útil en el manejo manual de los materiales, como la carga de tarimas. Existen varios dispositivos bajo el nombre genérico de mesa elevador que elimina la mayor parte del levantamiento que debe realizar un operario. Algunas



Figura 3-16 Mesa elevador hidráulica usada para minimizar el levantamiento manual. (*Cortesía:* Lee Engineering Co., Pawtucket, RI.)

tienen resortes con la tensión adecuada para ajustar de manera automática la altura óptima para el trabajador conforme se colocan las cajas en una tarima o en la mesa. (Vea en el capítulo 4 la determinación óptima de la altura del elevador.) Otras son neumáticas (vea la figura 3-16) y es sencillo ajustarlas con un control para eliminar el levantamiento y poder deslizar el material de una superficie a otra. Algunas se ladean para permitir mejor acceso a los contenedores, mientras que otras rotan, lo que facilita la carga de las tarimas. En general, las mesas elevador son quizá la medida de control menos costosa usada de acuerdo con la guía de levantamiento NIOSH[1] (vea el capítulo 4).

EJEMPLO 3–2 Carga neta máxima que puede manejar un montacargas con seguridad

Primero se calcula la tasa de torque multiplicando la distancia del centro del eje frontal al centro de la carga (vea la figura 3-17):

$$\text{Carga} = \text{tasa de torque} / B$$

donde B es la distancia C + D, con D = A/2.

[1]NIOSH es el National Institute of Occupational Safety and Health.

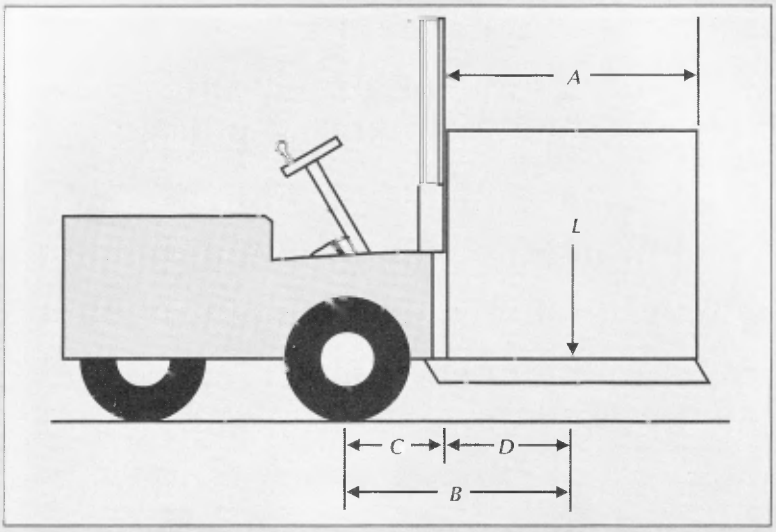


Figura 3–17 Montacargas típico.

Si la distancia C del centro del eje frontal al final del frente del montacargas es 18 pulg y la longitud de la plataforma A es 60 pulg, entonces la carga neta máxima que debe manejar un montacargas de 200 000 pulgadas-libra será:

$$L = \frac{200\,000}{18 + 60/2} = 4\,167 \text{ lb}$$

Si se planea el tamaño de la tarima de manera que se utilice toda la capacidad del equipo, la compañía obtendrá un mayor rendimiento del equipo de manejo de materiales.

UTILIZAR MEJOR EL EQUIPO DE MANEJO DE MATERIALES EXISTENTE

Para asegurar el mayor rendimiento de las instalaciones de manejo de materiales, esos equipos deben utilizarse con efectividad. Así, tanto los métodos como el equipo deben tener la suficiente flexibilidad para realizar una variedad de tareas de manejo de materiales en condiciones variables. Cargar tarimas con material en almacenes temporales o permanentes permite que mayores cantidades de material se transporten más rápido que si se almacena sin usar tarimas, y logra ahorros hasta de 65% en costos de mano de obra. En ocasiones, el material se puede manejar en unidades más grandes y convenientes para el diseño de repisas especiales. Cuando se hace esto, los compartimientos, ganchos, pasadores o soportes para sostener el trabajo deben manejarse en múltiplos de 10 para facilitar el conteo durante el procesamiento y la inspección final. Si se usa algún equipo de manejo de materiales parte del tiempo, debe estudiarse la posibilidad de usarlo una porción más grande de ese tiempo. Se puede lograr una mayor utilización si se reubican las instalaciones de producción o si se adapta el equipo de manejo de materiales al trabajo de las diversas áreas.

MANEJAR LOS MATERIALES CON MÁS CUIDADO

Investigaciones industriales indican que cerca del 40% de los accidentes en la planta ocurren durante las operaciones de manejo de materiales. De estos, 25% son causados por levantamiento y cambio de lugar del material. Con un análisis cuidadoso del manejo de materiales y el uso de dispositivos mecánicos para ese manejo cuando es posible, se reducen la fatiga y los accidentes de los empleados. Los registros prueban que la fábrica segura también es una fábrica eficiente. Protecciones de seguridad en ciertos puntos de transmisión de energía, prácticas operativas seguras, buena iluminación y limpieza adecuada son esenciales para que el equipo de manejo de materiales sea seguro. Los trabajadores deben instalar y operar todo este equipo de manera compatible con las reglas de seguridad existentes.

Un mejor manejo de materiales reduce los daños al producto. Si el número de partes rechazadas en su manejo entre estaciones es significativo, entonces esta área debe investigarse. En general, se puede minimizar este tipo de daño si se fabrican carretillas o charolas de diseño especial para colocar las partes en cuanto termina su procesamiento. Por ejemplo, un fabricante de partes para motores de avión tenía un número considerable de daños en la rosca externa de una componente que se almacenaba en charolas de metal al terminar cada operación. Al usar carretillas manuales de estibador de dos ruedas para mover las charolas llenas a la siguiente estación, las partes maquinadas pegaban unas con otras y en los lados de las charolas, a tal grado que el daño era grave. Alguien investigó la causa de los rechazos y sugirió construir tarimas de madera con compartimientos individuales. Esto evitó que las partes se golpearan y redujo en forma considerable el número de partes dañadas. También fue más fácil controlar las corridas de producción debido al conteo rápido de las partes y los rechazos.

En un hospital general, una grúa portátil mecanizada permitió una mayor utilización del tanque de Hubbard para terapia física (vea la figura 3-18). Con este equipo controlable de manejo de materiales, los pacientes podían sumergirse cómodamente en el tanque, sentados o boca abajo.

CONSIDERAR LA APLICACIÓN DE CÓDIGO DE BARRAS PARA LOS INVENTARIOS Y ACTIVIDADES RELACIONADAS

La mayoría de los técnicos tienen conocimiento de los códigos de barras y el escáner o lector. El código de barras ha acortado las filas en las cajas del supermercado y las tiendas departamentales. Las barras negras y los espacios blancos representan dígitos que identifican de manera única el producto y su fabricante. Una vez que se lee este "código universal del producto (UPC, *universal product code*) en la caja, los datos decodificados se envían a una computadora que registra la información oportuna sobre productividad, estado del inventario y ventas. Las siguientes cinco razones justifican el uso de código de barras para control de inventarios y actividades relacionadas:

1. *Exactitud.* El desempeño representativo típico es menos de un error en 3.4 millones de caracteres. Esto es favorable al compararlo con el 2% a 5% de error característico de la introducción de datos a través de un teclado.

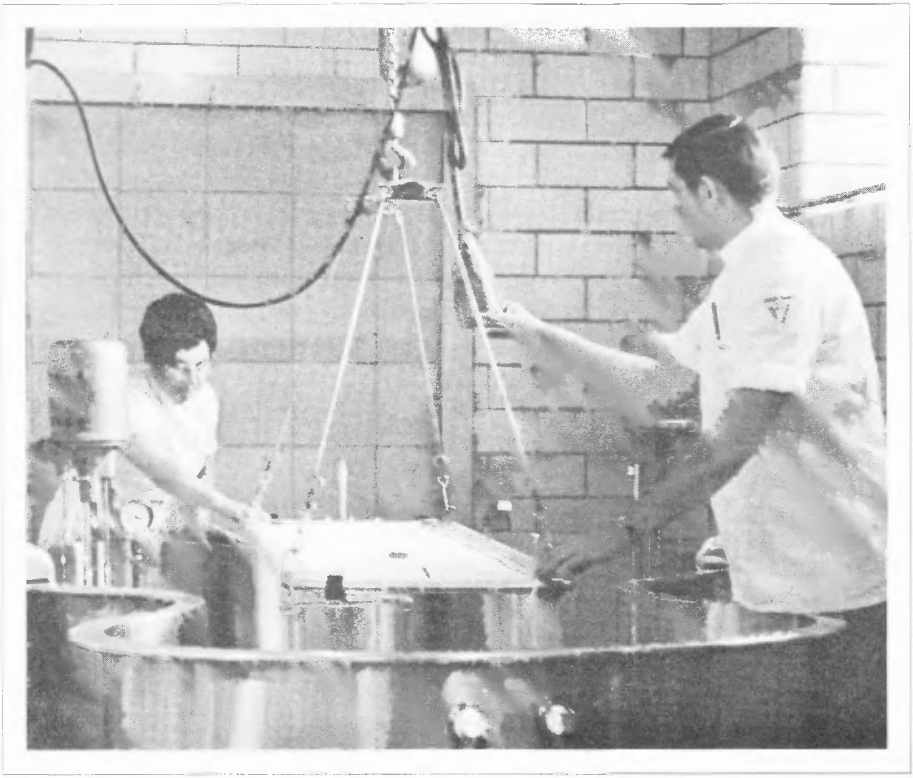


Figura 3–18 Grúa portátil para mejorar el uso del tanque de Hubbard en terapia física.

2. *Desempeño.* Un escáner de código de barras introduce datos tres o cuatro veces más rápido que al oprimir teclas en un teclado.
3. *Aceptación.* La mayoría de los empleados disfrutan usar el escáner. Es inevitable que lo prefieran al uso del teclado.
4. *Costo bajo.* Como los códigos de barras están impresos en paquetes y contenedores, el costo de agregar su identificación es muy bajo.
5. *Portabilidad.* Un trabajador puede llevar un escáner a cualquier área de la planta para determinar los inventarios, el estado de las órdenes, etcétera.

El código de barras es útil en las áreas de recepción y almacén, para dar seguimiento a los trabajos, para los informes de mano de obra, en el control de herramientas, envíos, informe de fallas, aseguramiento de la calidad, control y programación de la producción. Por ejemplo, la etiqueta de un contenedor para almacenar proporciona la siguiente información: descripción de la parte, tamaño, cantidad para empacar, número de departamento, nivel básico de inventario y punto de reorden. Es posible ahorrar mucho tiempo si se usan escáners para reunir estos datos al reabastecer el inventario.

Los informes de Accu-Sort Systems, Inc. sobre algunas aplicaciones prácticas incluyen el control automático de sistemas de transportadores, envío de materiales al lugar donde se necesitan y un manejo de materiales con instrucciones claras y concisas

del lugar a donde deben llevarse, con la verificación automática de que sea el material adecuado. Si los códigos de barras se incorporan a los controladores programables y al equipo de empaque automático, se puede usar la comparación, en línea, en tiempo real de las etiquetas de los contenedores con el contenido para evitar fallas en las órdenes.

RESUMEN: MANEJO DE MATERIALES

Los analistas siempre deben buscar la manera de eliminar el manejo ineficiente de los materiales, sin sacrificar la seguridad. Para ayudarlos en esta tarea, el Materials Handling Institute (1998) desarrolló 10 principios de manejo de materiales. Éstos son:

1. *Principio de planeación.* Todo el manejo de materiales debe ser el resultado de un plan deliberado en el que se definen por completo necesidades, objetivos de desempeño y especificaciones funcionales de los métodos propuestos.
2. *Principio de estandarización.* Métodos, equipo, controles y software para el manejo de materiales debe estandarizarse dentro de los límites que logran los objetivos globales de desempeño y sin sacrificar flexibilidad, modularidad y producción.
3. *Principio del trabajo.* El trabajo de manejo de materiales debe minimizarse sin sacrificar la productividad o el nivel de servicio requerido de la operación.
4. *Principio de ergonomía.* Debe reconocerse y respetarse la capacidad y las limitaciones humanas al diseñar las tareas y equipo de manejo de materiales, para asegurar operaciones seguras y efectivas.
5. *Principio de carga unitaria.* Las cargas unitarias deben ser del tamaño adecuado y configurarse de manera que logren el flujo del material y los objetivos de inventarios en cada etapa de la cadena de proveedores.
6. *Principio de utilización del espacio.* Debe hacerse uso efectivo y eficiente de todo el espacio disponible.
7. *Principio de sistema.* Las actividades de movimiento y almacenaje de materiales deben estar integradas por completo para formar un sistema operativo que abarca recepción, inspección, almacenamiento, producción, ensamble, empaque, unificación, selección de órdenes, envíos, transporte y manejo de reclamaciones.
8. *Principio de automatización.* Las operaciones de manejo de materiales deben mecanizarse y/o automatizarse cuando sea posible, para mejorar la eficiencia operativa, incrementar las respuestas, mejorar la consistencia y predictibilidad, disminuir los costos operativos y eliminar la mano de obra repetitiva o potencialmente insegura.
9. *Principio ambiental.* El impacto ambiental y el consumo de energía son criterios a considerar al diseñar o seleccionar el equipo y los sistemas alternativos para el manejo de materiales.
10. *Principio del costo del ciclo de vida.* Un análisis económico exhaustivo debe tomar en cuenta todo el ciclo de vida del equipo de manejo de materiales y los sistemas que resulten.

Para reiterar, el principio predominante es que cuanto menos se maneje el material, mejor es su manejo.

8.
DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

El objetivo principal de una distribución de planta efectiva es desarrollar un sistema de producción que permita la manufactura del número deseado de productos, con la calidad deseada, al menor costo. La distribución física es un elemento importante del sistema de producción que comprende instrucciones de operación, control de inventarios, manejo de materiales, programación, determinación de rutas y despacho. Todos estos elementos deben integrarse con cuidado para satisfacer el objetivo establecido. Aunque es difícil y costoso hacer cambios al arreglo existente, el analista debe revisar cada porción de la distribución completa. Las malas distribuciones de planta dan como resultado costos importantes. Por desgracia, la mayoría de estos costos son ocultos y, en consecuencia, no es sencillo exponerlos. Los costos de mano de obra indirecta debidos a transportes lejanos, rastreos, retrasos y paros del trabajo por cuellos de botella son característicos de una planta con una distribución anticuada y costosa.

TIPOS DE DISTRIBUCIÓN

¿Existe un tipo de distribución que tienda a ser la mejor? La respuesta es no. Una distribución dada puede ser la mejor para un conjunto dado de condiciones y la peor para otro. En general, todas las distribuciones de planta representan una distribución de planta básica o una combinación de dos de ellas: *por producto* o *en línea* y *por proceso* o *funcional*. En la distribución en línea, la maquinaria se localiza de tal manera que el flujo de una operación a la siguiente se minimiza para cualquier grupo de productos. En una organización que usa esta técnica, es común ver una pulidora de superficies entre una fresadora y un torno revólver, con una mesa de ensamble y un tanque de recubrimiento en el área contigua. Este tipo de distribución es común en ciertas operaciones de producción en masa, pues los costos de manejo de materiales son más bajos que para el agrupamiento de procesos.

La *distribución por producto* tiene algunas desventajas. Debido a que una gran variedad de oficios están representados en un área relativamente pequeña, la insatisfacción de los empleados puede ser grande. Esto ocurre, en especial, cuando las distintas oportunidades van aparejadas con diferencias notorias en la remuneración. Dado que se agrupan instalaciones muy diferentes, la capacitación de los operarios puede ser complicada, sobre todo si no se dispone de un trabajador especializado en el área inmediata que enseñe a uno nuevo. El problema de encontrar supervisores competentes también es considerable debido a la variedad de instalaciones y tareas que deben supervisar. También, este tipo de distribución necesita una inversión inicial mayor, ya que se requieren líneas de servicios duplicadas, como aire, agua, gas, combustible y energía. Otra desventaja de agrupar por producto es que el arreglo tiende a parecer desordenado y caótico. En estas condiciones, puede ser difícil promover la limpieza y el orden. Sin embargo, estas desventajas se compensan con las ventajas, si los requerimientos de producción son sustanciales.

La *distribución por proceso* es el agrupamiento de instalaciones similares. Aquí, se agrupan los tornos en una sección, departamento o edificio. Las fresadoras, los taladros

y las troqueladoras también se agrupan en sus respectivas secciones. Este tipo de arreglo tiene la apariencia de limpieza y orden, y tiende a promoverlos. Otra ventaja de la distribución funcional es la facilidad con la que se capacita al operario. Rodeado de empleados experimentados que operan máquinas similares, el nuevo trabajador tiene la oportunidad de aprender de ellos. El problema de encontrar supervisores competentes es menor, pues las demandas de trabajo no son grandes. Como estos supervisores sólo tienen que conocer un tipo general o clase de instalaciones, su experiencia no tiene que ser extensa como la de los supervisores del agrupamiento por producto. Además, si las cantidades fabricadas de productos similares son limitadas y se tienen órdenes especiales frecuentes, una distribución por proceso es más satisfactoria.

La desventaja de agrupar por proceso es la posibilidad de transportes largos y regresos constantes de los trabajos que requieren una serie de operaciones en varias máquinas. Por ejemplo, si las instrucciones de operación de un trabajo especifican una secuencia de perforar, voltear, maquinar bordes y pulir, el movimiento del material de una sección a la siguiente puede ser en extremo costosa. Otra desventaja importante es el gran volumen de documentación requerido para emitir órdenes y controlar la producción entre secciones.

GRÁFICAS DE RECORRIDO

Antes de diseñar una nueva distribución de planta o corregir la anterior, el analista debe reunir datos de lo que puede influir en ella. Las *gráficas de recorrido* pueden ayudar en el diagnóstico de los problemas relacionados con el arreglo de los departamentos y las áreas de servicio, al igual que con la localización de equipo en un sector dado de la planta. La gráfica de recorrido es una matriz que presenta la magnitud del manejo de materiales que se realiza entre dos instalaciones por periodo. La unidad que identifica este manejo puede ser lo que el analista piense que es adecuado. Pueden ser libras, toneladas, frecuencia de manejo u otros. La figura 3-19 ilustra una gráfica de recorrido muy elemental.

PLANEACIÓN SISTEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE MUTHER

Un enfoque sistemático para la distribución de planta desarrollado por Muther (1973) se denomina planeación sistemática de la distribución (PSD). La meta de la PSD es localizar dos áreas con alta frecuencia de interrelaciones lógicas cercanas una de la otra, usando un procedimiento de seis pasos:

1. **Relaciones en la gráfica.** En el primer paso, se establecen las relaciones entre las diferentes áreas y se grafican en una forma especial llama *diagrama de relaciones* (vea la figura 3-20). Una relación es un grado relativo de cercanía, deseada o requerida, entre distintas actividades, áreas, departamentos, cuartos, según lo determina el flujo de información (volumen, tiempo, costo, ruta) de una gráfica de recorrido, o de manera más cualitativa de las interacciones funcionales o la información subjetiva. Por ejemplo, aunque la pintura puede ser un paso lógico entre el acabado e

De \ A	Torno de revólver Núm. 4 W & S	Perforadora Delta 17"	Taladro de 2 brocas L & G	Fresadora horizontal núm. 2 Cinn	Fresadora vertical núm.3B & S	Prensa de 100 ton Niágara	Rectificadora sin puntos núm. 2	Esmeril núm. 3 Excello Thd.
Torno de revólver núm. 4 W & S		20	45	80	32	4	6	2
Perforadora Delta 17"			6	8	4	22	2	3
Taladro de 2 brocas L & G				22	14	18	4	4
Fresadora horizontal núm. 2 Cinn	120				10	5	4	2
Fresadora vertical núm. 3 B & S						6	3	1
Prensa de 100 ton Niágara		60	12	2			0	1
Rectificadora sin puntos núm. 2		15						15
Esmeril núm. 3 Excello Thd.				15	8			

Figura 3–19 Gráfica de recorrido, una herramienta útil para resolver problemas de manejo de materiales y distribución de planta relacionados con distribuciones tipo proceso. La gráfica enumera el número de artículos (por periodo dado) o el volumen (como toneladas por turno) transportadas entre las diferentes máquinas.

inspección final y el empaque, los materiales tóxicos y peligrosos o las condiciones inflamables pueden requerir que el área de pintura esté completamente separada de las demás. La tabla 3–3 muestra los valores de las relaciones en una escala de 4 a –1, basado en las vocales que definen la relación por su nombre en inglés.

2. **Requerimientos de espacio.** En el segundo paso se establecen los requerimientos de espacio en pies o metros cuadrados. Estos valores se pueden calcular con base en los requerimientos de producción extrapolados a partir de las áreas existentes, proyectados a futuro por expansiones, o fijos según los estándares legales, como el ADA o los estándares de arquitectura. Además de los metros cuadrados, se describe el tipo y la forma del área, o puede ser importante la localización respecto a los servicios requeridos.

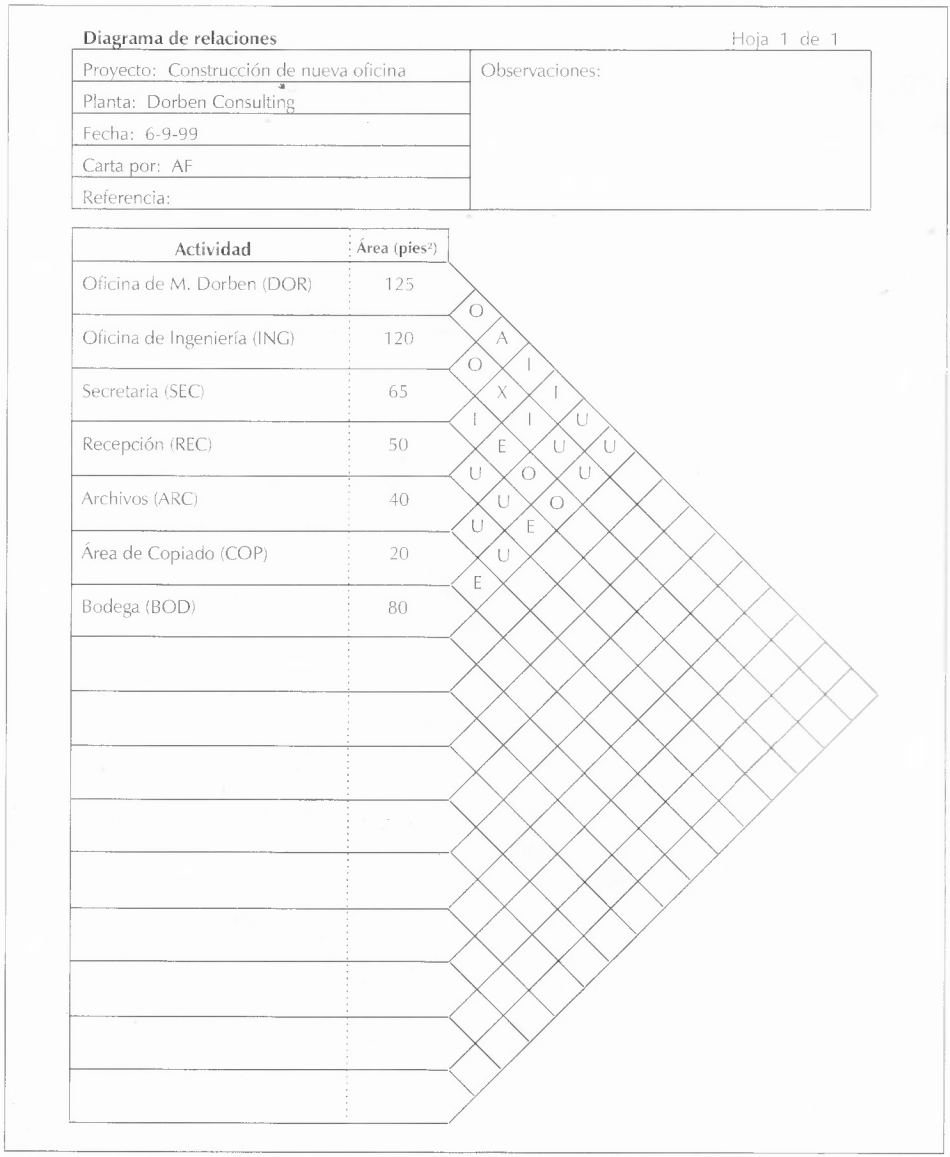


Figura 3–20 Diagrama de relaciones para Dorben Consulting.

3. **Diagrama de relaciones de las actividades.** En el tercer paso se dibuja una representación visual de las distintas actividades. El analista comienza con las relaciones absolutamente importantes (A) y usa cuatro líneas paralelas cortas para unir las dos áreas. Después procede a las relaciones E con tres líneas paralelas de cerca del doble de longitud que las líneas A. Continúa este proceso con las relaciones I, O, etcétera, aumentando el largo de las líneas e intentando evitar cruces y confusiones.

Tabla 3–3 Calificación de las relaciones PSD

Relación	Calificación de cercanía	Valor	Líneas de diagrama	Color
Absolutamente necesaria	A	4		Rojo
Especialmente importante	E	3		Amarillo
Importante	I	2		Verde
Ordinario	O	1		Azul
(U) No importante	U	0		
(X) No deseable	X	–1		Café

Para las relaciones no deseables, las dos áreas se colocan tan lejos como sea posible y se dibuja una línea quebrada (que representa un resorte) entre ellas. (Algunos analistas pueden definir relaciones en extremo indeseables con valor –2 y una línea quebrada doble.)

4. **Distribución según la relación de espacio.** A continuación se crea la representación del espacio y se dibujan las áreas a escala en términos de su tamaño relativo. Una vez que la distribución se ve bien, se comprimen las áreas en un plano de la planta. Esto no es tan sencillo como se oye y tal vez sea necesario usar plantillas. Además, se pueden hacer modificaciones a esta distribución debidas a requerimientos de manejo de materiales (como la necesidad de localizar las áreas de recepción y envío contra una pared exterior), de almacenamiento (quizá con acceso exterior similar), de personal (una cafetería o los sanitarios cercanos), de características de construcción (actividades de una grúa en un área abierta; la operación del montacargas en la planta) y los servicios.
5. **Evaluación de arreglos alternativos.** Con las numerosas distribuciones posibles, es común que varias parezcan alternativas adecuadas. En ese caso, el analista debe evaluarlas para determinar la mejor solución. Primero, debe identificar factores que se consideran importantes; por ejemplo, capacidad para una expansión futura, flexibilidad, eficiencia del flujo, efectividad del manejo de materiales, seguridad, facilidad de supervisión, apariencia o estética y otros. Segundo, debe establecer la importancia relativa de estos factores mediante un sistema de ponderaciones, como la escala 0 a 10. Después, califica las alternativas según satisfacen cada factor. Muther (1973) sugiere la misma escala de 4 a –1: con 4 un resultado casi perfecto; 3, especialmente bueno; 2, importante; 1, ordinario o común; 0, sin importancia, y –1, no aceptable. Cada calificación se multiplica por su ponderación. Los productos de cada alternativa se suman y el valor más alto indica la mejor alternativa. En este punto, un modelo a escala en tres dimensiones de la distribución quizá ayude al analista a convencer a la alta administración que no tiene el tiempo ni está familiarizado con todos los detalles de los planos de dos dimensiones.
6. **Distribución seleccionada e instalación.** El paso final es implantar el nuevo método.

EJEMPLO 3–3 Distribución de planta para Dorben Consulting usando PSD

El grupo Dorben Consulting desea desarrollar la distribución de un área nueva de oficinas. Existen siete áreas de actividad: la oficina de M. Dorben, la oficina de ingeniería (ocupada por dos ingenieros), el área de secretarias, la recepción y área de espera para visitantes, el archivo, el área de copiado y el almacén. M. Dorben evaluó de manera subjetiva las relaciones entre las actividades que se muestran en el diagrama de relaciones de la figura 3–20. La gráfica también indica las asignaciones para cada área, que van desde 20 pies cuadrados para las copiadoras hasta 125 pies cuadrados para la oficina de M. Dorben. Por ejemplo, la relación entre M. Dorben y la secretaria se considera absolutamente importante (A), mientras que entre el área de ingeniería y la recepción es no deseable (X), para que los visitantes no interrumpan el trabajo de los ingenieros.

Un primer intento sobre diagrama de relaciones conduce a la figura 3–21. Al agregar el tamaño relativo de cada área se obtiene el diagrama de relaciones de espacio de la figura 3–22. Al comprimir las áreas se llega al plano final de la planta ilustrada en la figura 3–23.

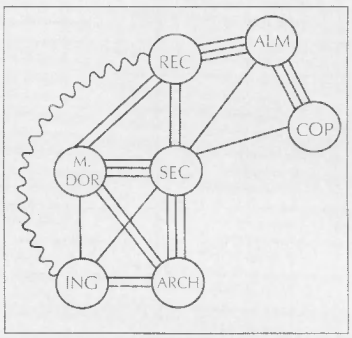


Figura 3–21 Diagrama de relaciones entre actividades para Dorben Consulting.

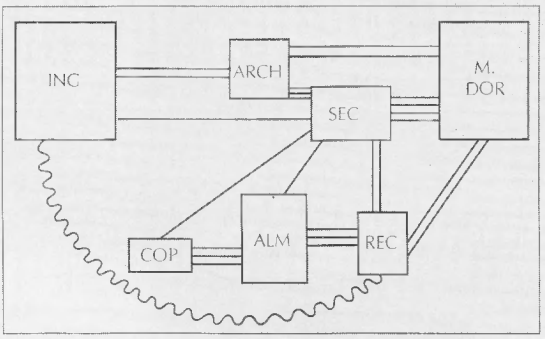


Figura 3–22 Distribución con las relaciones de espacio para Dorben Consulting.

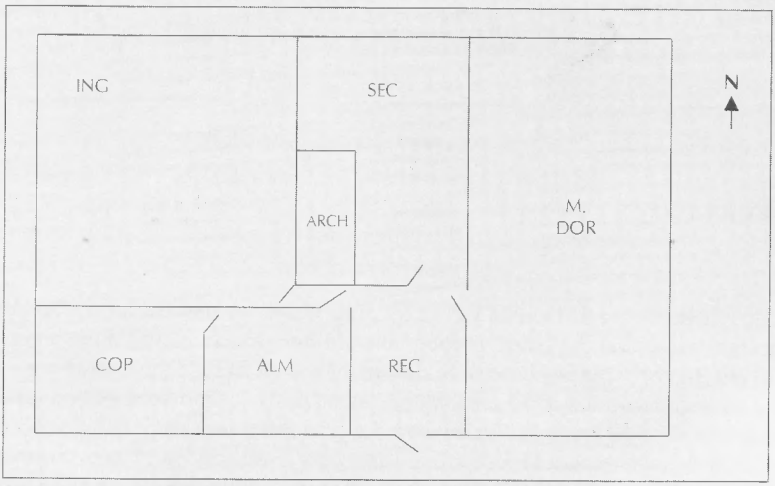


Figura 3–23 Plano de la planta para Dorben Consulting.

Evaluación de alternativas Hoja 1 de 1

Planta: Dorben Cosulting	Alternativas	A	B	C	D	E	
Proyecto: Construcción de nuevas oficinas		Oficina de Dorben hacia el sur	Oficina de Dorben hacia el este				
Fecha: 6-9-99							
Analista: AF							

Factor/consideración	Peso	Calificaciones y calificaciones ponderadas										Comentarios
		A		B		C		D		E		
Aislamiento del personal	8	1	8	3	24							
Movimiento de suministros	4	3	12	3	12							
Recepción de visitantes	4	4	16	4	16							
Flexibilidad	8	3	24	2	16							
Totales		60		68								

Observaciones:
La alternativa B, con la oficina de Dorben hacia el este y la de ingeniería hacia el oeste, disminuye las interrupciones al trabajo de los ingenieros debidas a los visitantes.

Figura 3–24 Evaluación de alternativas para Dorben Consulting.

Dado que la oficina de Dorben y el área de ingeniería son casi del mismo tamaño, pueden intercambiarse con facilidad, proporcionando dos distribuciones alternativas. Estas se avalúan (figura 3-24) con base en el aislamiento del personal (que es muy importante para M. Dorben, para quien se tiene una ponderación de 8), los movimientos de suministros, la recepción de visitantes y la flexibilidad. La gran diferencia entre las distribuciones es la cercanía de ingeniería a la recepción. Entonces, la alternativa B (mostrada en la figura 3-23), con 68 puntos, es preferible a la alternativa A cuya evaluación es de 60 puntos.

DISTRIBUCIÓN DE PLANTA ASISTIDA POR COMPUTADORA

Existen paquetes de software comerciales que pueden ayudar a desarrollar distribuciones realistas en forma rápida y poco costosa. El programa CRAFT (Computerized Relative Allocation Facilities) ha tenido un uso extenso. Un centro de actividades puede ser un departamento o centro de trabajo dentro de un departamento. Es posible identificar como fija cualquier actividad del centro y congelarla para tener libertad de movimiento con las demás. Por ejemplo, a menudo es mejor congelar centros de actividad como elevadores, sanitarios y escaleras. Los datos de entrada incluyen los números de los centros de trabajo fijos, los costos de manejo de materiales, flujo interactivo entre centros y la representación en bloques de la distribución. El algoritmo heurístico pregunta, ¿qué cambios se harían en los costos de manejo de materiales si se intercambiaran los centros de trabajo? Una vez almacenada la respuesta, la computadora trabaja en forma iterativa hasta que converge en una solución buena. CRAFT calcula la matriz de distancias como distancias rectangulares desde los centroides de los departamentos.

Otro programa disponible es CORELAP. Sus requerimientos de entrada son el número de departamentos, las áreas de cada uno, las relaciones departamentales y las ponderaciones de estas relaciones. CORELAP construye las distribuciones ubicando los departamentos con áreas en forma rectangular. El objetivo es proporcionar una distribución en la cual los departamentos con "calificación alta" sean cercanos.

ALDEP, otro programa disponible, construye distribuciones de planta mediante la selección aleatoria de un departamento que se ubica en cierto lugar. El diagrama de relaciones se escanea y se introduce a la distribución un departamento con una calificación de cercanía alta. Este proceso continúa hasta que el programa coloca todos los departamentos. Después, ALDEP calcula la calificación de la distribución y repite el proceso un número específico de veces. También tiene la habilidad de proporcionar distribuciones para varios pisos.

En un principio, todos estos programas de distribución de planta se desarrollaron para computadoras grandes. Ahora se han incorporado los algoritmos a programas para PC. Uno de ellos, SPIRAL, intenta optimizar las relaciones de adyacencia sumando las relaciones positivas y restando las negativas para las áreas adyacentes. En esencia, éste es un enfoque cuantificado de Muther y se describe con más detalle en Goetschalckx (1992). Por ejemplo, al introducir los datos del ejemplo de Dorben Consulting se obtiene la distribución ligeramente distinta que se muestra en la figura 3–25.

Observe que existe una tendencia a generar espacios largos y angostos para minimizar la distancia entre los centros de los mismos. Éste es un problema importante de CRAFT, ALDEP y otros. SPIRAL intenta modificar esta tendencia agregando una penalización por la forma. También, gran parte de estos programas (es decir, los que son programas de *mejoramiento*, como CRAFT, que trabajan a partir de una distribución inicial) tienen la tendencia a lograr locales mínimos y no obtener la distribución óptima. Este problema se puede superar si se inicia con varias distribuciones. Éste es un problema menor en los programas de *construcción*, como SPIRAL, que generan una solución desde el principio. Un programa más poderoso y quizá más útil es FactoryCAD, que toma los datos de planos existentes en archivos de AutoCAD y crea distribuciones muy detalladas adecuadas para la planeación arquitectónica.

Figura 3-25
Archivos de entrada de SPIRAL a) DORBEN.DAT, b) DORBEN.DEP y c) Distribución obtenida para el ejemplo de Dorben Consulting

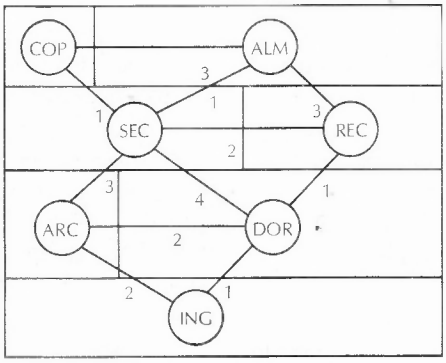
a)

```
[proyect_name]              DORBEN
[number_of_departments]     7
[department_file_name]      DORBEN.DEP
[building_width]            25
[building_depth]            20
[seed]                      12345
[tolerance]                 0.00010
[time_limit]                120
[number_of_iterations]      20
[report_level]              2
[max_shape_ratio]           2.50
[shape_penalty]             500.00
```

b)

```
M. DOR   0   0   125   0   0   VERDE      Dorben
ING      0   0   120   0   0   AZUL       Ingenieros
SEC      0   0   65    0   0   ROJO       Secretaria
REC      0   0   50    0   0   AMARILLO   Recepción
ARCH     0   0   40    0   0   CAFÉ       Archivo
COP      0   0   20    0   0   GRIS       Copiadora
ALM      0   0   80    0   0   NEGRO      Almacén
DOR   ING   1
DOR   SEC   4
DOR   REC   1
DOR   ARCH  2
ING   SEC   1
ING   REC   -1
ING   ARCH  2
SEC   REC   2
SEC   ARCH  3
SEC   COP   1
SEC   ALM   1
REC   ALM   3
COP   ALM   3
SAL   SAL   0
```

c)



9. DISEÑO DEL TRABAJO

Debido a los nuevos reglamentos (como OSHA) y la preocupación por la salud (es decir, los crecientes costos médicos y de compensación al trabajador), las técnicas de diseño del trabajo se cubrirán con detalle en capítulos separados. El capítulo 4 estudia el trabajo manual y los principios de la economía de movimientos, el capítulo 5 analiza los principios ergonómicos del lugar de trabajo y el diseño de herramientas, el 6 presenta las condiciones de trabajo y ambientales, y el capítulo 7 incluye el trabajo cognitivo respecto a la entrada de información desde pantallas, el procesamiento de información y la interacción con computadoras.

RESUMEN

Los nueve principios del análisis de operaciones representan un enfoque sistemático al análisis de los hechos presentados en los diagramas de operaciones y en los de proceso del flujo. Sin importar la naturaleza del trabajo, ya sea continuo o intermitente, por proceso o por pedido, con bienes suaves o duros, cuando personal competente aplica el análisis sistemático de las operaciones se obtienen ahorros reales. Estos principios se aplican tanto a la planeación de nuevos trabajos como al mejoramiento de los que están en producción. Los resultados primordiales del análisis de la operación son una mayor producción y mejor calidad, pero también se obtienen beneficios para todos los trabajadores y ayuda a desarrollar mejores métodos y condiciones de trabajo. El resultado final es que el trabajador logra más y mejor trabajo en la planta, y puede disfrutar su vida.

Un método sistemático para recordar y aplicar los 9 principios del análisis de operaciones es la lista de verificación con preguntas pertinentes de la figura 3–26. En ella, se puede observar cómo al usar la lista se obtiene una reducción en el costo del eje de una perilla de control para cobertor eléctrico. Al rediseñar el eje para producirlo en forma más económica como una pieza moldeada en matriz en lugar de trabajarla en un torno, se redujeron los costos de fabricación de $68.75 por mil piezas a $17.19 el millar.

Los analistas deben obtener las respuestas a todas las preguntas de la lista de verificación relacionadas con todos los pasos del diagrama de flujo. Este procedimiento siempre conduce a maneras eficientes de realizar el trabajo. Las ideas se registran conforme surgen para que no se olviden, en este punto también se incluyen bosquejos. Los analistas quizá se sorprendan con el número de ineficiencias reveladas y no deben tener problemas para recopilar varias posibilidades de mejoramiento. Es común que una mejora genere otra. Para tener éxito en este tipo de trabajo, deben tener una mente abierta y buenas habilidades creativas. La lista de verificación también es útil para proporcionar la capacitación sobre el método a supervisores y superintendentes de planta. Se puede ayudar a los supervisores de planta a desarrollar ideas constructivas a través de preguntas que los hagan pensar, si se hacen con inteligencia. La lista de verificación sirve como guía para el líder a cargo de la capacitación en el método.

Fecha 3/15 Depto. 11 Dibujo 18-4612 Sub. 2
Molde — Matriz — Estilo — Artículo 2
Patrón — Espec. Insp. C Espec. L. — Sub. —
Descripción de la pieza *Eje de perilla de control de cobertor eléctrico*
Operación *Tornear, ranurar, taladrar, clavar, fresar, roscar, cortar* Operario *Blazer*

DETERMINAR Y DESCRIBIR	DETALLES DEL ANÁLISIS
1. PROPÓSITO DE LA OPERACIÓN Formar contornos de varilla de 3/8" S.A.E. 1112 en torno automático según las especificaciones del dibujo.	¿Es posible lograr mejores resultados de otra manera? *Sí, por fundición en matriz*
2. LISTA COMPLETA DE TODAS LAS OPERACIONES REALIZADAS EN LA PARTE Núm. Descripción Est. de trabajo Depto. 1. *Tornear, ranurar, taladrar, clavar, fresar, roscar, cortar B & S* 11 2. *Quitar rebaba* *banco* 12 3. *Inspección 1%* *banco* 18 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10.	¿Se puede eliminar la operación analizada? *No* ¿Combinarse con otra? *No* ¿Realizarse en el tiempo ocioso de otra? *Sí, por acoplamiento de máquinas.* ¿Es la secuencia de operaciones la mejor posible? *Sí.* ¿Debe realizarse la operación en otro departamento para ahorrar costo o manejo? *Quizá pueda comprarse fuera a menor costo*
3. REQUERIMIENTOS DE INSPECCIÓN a) De la operación anterior b) De esta operación *Sí, tal vez el CEC reduzca la cantidad inspeccionada* c) De la siguiente operación	La tolerancia, las holguras, el terminado y otros requisitos ¿son necesarios? ¿son demasiados costos? ¿son adecuados para el objetivo?
4. MATERIAL El metal colado con base de zinc sería menos costoso Compuestos para el corte y otros materiales de suministro	Debe considerar el tamaño, lo adecuado para el uso y otras condiciones. ¿Puede usarse material de menor costo?
5. MANEJO DE MATERIALES a) Transportado por *carro de 4 ruedas a los automáticos* b) Retirado por *a mano en carro de 2 ruedas* c) Manejado en la estación de trabajo por	Deben usarse grúa, transportador por gravedad, bandejas o vehículos especiales? Considere la distribución de planta respecto a la distancia recorrida. • *Quizá usar gravedad hasta la estación de desrebabado.*

Figura 3–26 Lista de verificación para el análisis de la operación de manufactura del eje de una perilla de control para cobertor eléctrico.

6. PREPARACIÓN (Anexe los bosquejos a la descripción si es necesario) *Esto es satisfactorio de la forma en que se realiza* a) Herramental *Actual* Sugerencias *Rediseñar la pieza para que se haga por colado en matriz con base de zinc en lugar de en el torno S.A.E. 1112*	¿Cómo se consiguen los dibujos y herramientas? ¿Puede mejorarse la preparación? Piezas de ensayo. Ajuste de máquinas. Herramientas ¿Son adecuadas? ¿Se proporcionan? Herram. de trinquete, herram. eléctricas, herram. especiales, plantillas, prensas sujetadores especiales, dispositivos múltiples dobles
Consejo de Ingeniería de Métodos Forma 101	**HOJA DE ANÁLISIS**

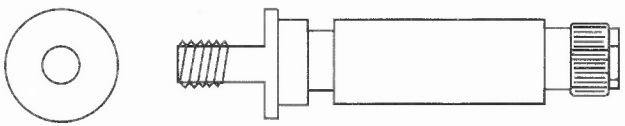
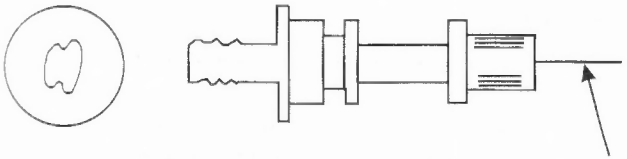
7. CONSIDERE LAS SIGUIENTES POSIBILIDADES	ACCIÓN RECOMENDADA
1. Instalar canaletas de entrega por gravedad.	—
2. Usar entrega por caída.	*Sí, para acumular en barriles.*
3. Comparar métodos si más de un operario realiza el mismo trabajo.	—
4. Proporcionar el asiento correcto para el operario.	—
5. Mejorar las plantillas o dispositivos agregando expulsores, sujetadores de acción rápida, etc.	—
6. Usar mecanismos operados con el pie.	—
7. Disponer para operar con las dos manos.	—
8. Disponer herramientas y partes dentro del área de trabajo normal.	—
9. Cambiar la distribución para eliminar regresos y permitir el acoplamiento de máquinas.	—
10. Utilizar todas las mejoras desarrolladas para otros trabajos.	—
8. CONDICIONES DE TRABAJO *En general son satisfactorias.* a) Otras condiciones	Luz bien Calefacción bien Ventilación, gases bien Bebederos bien Cuartos de aseo bien Aspectos de seguridad bien Diseño de partes bien Trabajo de oficina necesario (llenar tarjetas de tiempos, etc.) bien Probab. de retrasos bien Producción probable bien
9. MÉTODO (Anexe bosquejos o diagramas de procesos si es necesario) a) Antes del análisis y el estudio de movimientos  *Eje de la perilla de control diseñado como pieza torneada*	Distribución del área de trabajo Colocación de Herramientas Materiales Suministros Postura para trabajar ¿Sigue el método las leyes de economía de movimientos? ¿Se usan las clases inferiores de movimientos?

Figura 3–26 *(continuación)*

b) Después del análisis y el estudio de movimientos



Perilla de control rediseñada como pieza colada en matriz. La rosca en la extensión izquierda cubre sólo 50% del la periferia; asimismo, se fresa la extensión de la derecha sobre la mitad de la periferia, esto permite retirar la pieza de la matriz con facilidad.

Vea el informe complementario bajo el título de

Eje de control colado en matriz.

Fecha

Observador *R. Guild* APROBADO POR *R. Hussey*

Figura 3–26 *(continuación)*

PREGUNTAS

1. Explique cómo se puede aplicar la simplificación del diseño al proceso de manufactura.
2. ¿Cómo se relacionan el análisis de la operación con la ingeniería de métodos?
3. ¿Cómo surgen las operaciones innecesarias en la industria?
4. ¿Cuál ha sido el impacto de la computadora en relación con la documentación?
5. ¿Cuáles son los cuatro aspectos que el analista no debe olvidar para mejorar el diseño?
6. ¿Qué significa tolerancia estrecha?
7. Explique por qué puede ser deseable "cerrar" las tolerancias y especificaciones?
8. ¿Qué significa inspección lote por lote?
9. ¿Cuándo no se justifica un procedimiento de control de calidad elaborado?
10. ¿Cuáles son los seis puntos que deben considerarse al intentar reducir el costo de materiales?
11. ¿En qué afecta una situación cambiante de mano de obra y equipo al costo de las componentes compradas?
12. Explique cómo pueden obtenerse ahorros al rearreglar las operaciones.
13. En general, ¿qué proceso se considera el más rápido para las operaciones de formado y ajuste al tamaño?
14. ¿Cómo debe investigar el analista la preparación y las herramientas para desarrollar mejores métodos?
15. Enumere algunas aplicaciones del código de barras para mejorar la productividad.
16. ¿Cuándo recomendaría el uso de motores eficientes en el consumo de energía?
17. ¿Cuáles son los dos tipos generales de distribución de planta? Explique en detalle.
18. ¿Cuál es la mejor manera de probar la distribución de planta propuesta?
19. ¿Qué preguntas debe hacer el analista al estudiar el trabajo realizado en un centro de trabajo específico?
20. Explique las ventajas de usar una lista de verificación.

21. Respecto a los vehículos de guía automatizada, ¿por qué los costos varían poco con la distancia?
22. ¿De qué depende la cantidad de herramental?
23. ¿Cómo puede afectar la planeación y control de la producción a los tiempos de preparación?
24. ¿Cuál es la mejor manera de manejar los materiales?
25. ¿En qué se relaciona la gráfica de recorrido con el PSD de Muther?
26. ¿Por qué la gráfica de recorrido tiene aplicaciones más importantes en la distribución del proceso que en la distribución de producto?
27. Explique el propósito fundamental de la tecnología de grupos.
28. Explique por qué la conservación de las barras de soldadura puede dar como resultado ahorros de 20% en materiales.
29. Identifique varias componentes para automóvil que se hayan convertido de metal a plástico en los últimos años.
30. ¿En dónde se puede encontrar una aplicación para la mesa de elevador hidráulico?
31. ¿Cuál es la diferencia entre una plataforma y una tarima?
32. ¿Cuándo recomendaría el uso de modelos en tres dimensiones de la distribución de planta?

PROBLEMAS

1. ¿Cuánto más eficiente es un motor de consumo eficiente en energía de 5 HP que el motor estándar de 50 HP?
2. ¿La tolerancia de acabado del eje de la figura 3-4 se cambió de 0.004 pulgadas a 0.008 pulgadas. ¿Qué mejora en los costos se obtuvo con este cambio?
3. ¿Qué tolerancia global se aplicaría a tres componentes que dan la dimensión total si: la componente 1 tiene una tolerancia de 0.002 pulg; la componente 2, 0.004 pulg, y la componente 3, 0.005 pulg?
4. Se considera un material de cerámica como material posible para moldeo junto con el moldeo en matriz de latón de 60-40. Se usó un cilindro de material de 8 pulg de diámetro y 10 pulg de largo para obtener una relación fuerza-tensión en la compresión. El material falló con una carga de 265 000 libras y una tensión total de 0.012 pulg. ¿Cuál fue la fuerza de ruptura del material, el porcentaje de contracción a la ruptura y el módulo de resistencia?
5. La compañía Dorben desarrolla el diseño de una parte cuya fuerza T se conoce como una función del contenido de carbón C, donde $T = 2C^2 + 3/4\ C - C^3 + k$. ¿Qué contenido de carbón debe especificarse para maximizar la fuerza?
6. Para que una parte dada fuera intercambiable, fue necesario reducir la tolerancia del diámetro externo de ±0.010 a ±0.005 con un incremento en el costo de 50% de la operación de torneado. Ésta representa 20% del costo total. Hacer la parte intercambiable significa que el volumen de ésta se puede aumentar 30%. El incremento en volumen permite una producción de 90% del costo anterior. ¿Debe el ingeniero de métodos proceder con el cambio en la tolerancia? Explique.
7. El analista de la compañía Dorben estudia la posibilidad de sustituir cinco motores de 50 HP por cinco motores de consumo eficiente de 50 HP (Suponga 3% de mejora en la eficiencia). Éstos operarán siete días de la semana tres turnos por día, a 85% de la carga completa. Si el costo total de la energía eléctrica es $0.06 por KWH, ¿cuánto puede pagar la compañía por los cinco motores de consumo eficiente?

8. El analista de métodos de la compañía Dorben examina la instalación de un sistema electrónico de estado sólido con tecnología de punta para la conservación de la energía, capaz de sintonizar y equilibrar todo el sistema de luz fluorescente de la planta, que incluye lámparas, balastras y suministros. El sistema de conservación de energía regulará el voltaje y la corriente en forma continua, para establecer y mantener el sistema fluorescente con un desempeño óptimo, y lo protegerá con circuitos de seguridad especiales. Con base en las estimaciones proporcionadas por el proveedor, el nuevo sistema de conservación de energía ahorrará 30% del costo de energía, 50% del reemplazo de lámparas y todo el costo actual por reemplazo de balastras. Si el costo del sistema instalado es de $15 000, ¿cuántos meses pasarán para que se autorecupere la inversión, según los siguientes datos:

Costos de energía eléctrica:
Número de elementos — 445
KWH promedio por elemento — 0.187
Costo por KWH — $0.085
Horas de operación anual — 4 440.

Costo por reemplazo de lámparas:
Número de elementos — 445
Lámparas promedio por elemento — 2.25
Vida promedio de la lámpara — 2.5 años
Costo de la lámpara instalada — $6.50

Costo del reemplazo de balastras:
Número de elementos — 445
Balastras promedio por elemento — 1.1
Vida promedio por balastra — 4.5 años
Costo de la balastra instalada — $40.00

9. Las oficinas del grupo Dorben consisten en cinco cuartos, con las áreas y relaciones que se muestran en la figura 3-27. Obtenga una distribución óptima usando la PSD de Muther y SPIRAL. Compare las distribuciones obtenidas.

Actividad	Área (pies cuadrados)
A	160
B	160
C	240
D	160
E	80

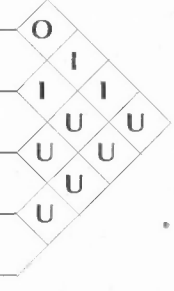


Figura 3-27 Información para el problema 3.9

10. Use la gráfica de recorrido con el número de unidades que se manejan de un área a otra por hora y el tamaño deseado de cada área (en pies cuadrados), para desarrollar una distribución óptima con el método PSD de Muther. Observe que necesitará desarrollar un esquema de relaciones para los flujos dados. Además, * significa una relación indeseable.

Tamaño	Área	A	B	C	D	E
150	A	—	1	20	8	1
50	B	0	—	30	0	8
90	C	20	5	—	40	20
90	D	0	1	2	—	*
40	E	0	0	11	0	—

REFERENCIAS

Bralla, James G., *Handbook of Product Design for Manufacturing*, Nueva York, McGraw-Hill, 1986.

Buffa, Elwood S., *Modern Production Operations Management*, 6a. ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1980.

Chang, Ning San, "Pattern Recognition and Bar Code Technology", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992.

Chang, Tien-Chien, Richard A. Wysk y Wang Hsu-Pin, *Computer Aided Manufacturing*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1991.

DeMarle , David J. y M. Larry Shillito, "Value Engineering", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992.

Drury, Collin G., "Inspection Performance", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992.

Francis, Richard L. y John A. White, *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1974

Goetschalckx, M., "An Interactive Layout Heuristic Based on Hexagonal Adjacency Graphs", *European Journal of Operations Research*, 63, núm 2 (diciembre de 1992), pp. 304-321.

Konz, Stephen, *Facility Design*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1985.

Material Handling Institute, *The Ten Principles of Material Handling*, Charlotte, NC, 1998.

Muther, R., *Systematic Layout Planning*, 2a. ed, Nueva York, Van Nostrand Reinhold, 1973.

Niebel, Benjamin W. y C. Richard Liu, "Designing for Manufacturing", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992.

Nof, Shimon Y., "Industrial Robotics", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992.

Shingo, S., *Study of Toyota Production System*, Tokio, Japón, Japan Management Association, (1981), pp. 167-182.

Sims, Ralph E. "Material Handling Systems", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992.

Spur, Gunter, "Numerical Control Machines", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992.

Taguchi, Genichi, *Introduction to Quality Engineering*, Tokio, Japón, Asian Productivity Organization, 1986.

Tompkins, J., "Plant Layout", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992, pp.1777—1813.

Wemmerlov, Urban y Nancy Lea Hyer, "Group Technology", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1992.
Wick, Charles y Raymond F. Veilleux, *Quality Control and Assembly, 4*, Detroit, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1987.

SOFTWARE SELECCIONADO

ALDEP, IBM Corporation, orden del programa núm. 360D-15.0.004.
CORRELAP, Engineering Management Associates, Boston, MA.
CRAFT, biblioteca compartida de IBM núm. SDA 3391.
Design Tools, (incluido en el libro), Nueva York, McGraw-Hill, 2002.
FactoryPLAN, FactoryFLOW y FactoryCAD, (vol. 3) EDS PLM Solutions, 2321 North Loop Dr., Iowa State University Research Park, Ames, IA, 50010, 2001. (http://www.eds.com/)
SPIRAL, *User's Manual*, 4031 Bradbury Dr., Marietta, GA, 30062, 1994.

VIDEOCINTAS SELECCIONADAS

Automated Inspection/Non-Destructive Testing. Manufacturing Insights Videotape Series. 1/29 VHS VT281-1368 & 3/49 U-Matic VT281U-1368. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1988.
Automated Material Handling. Manufacturing Insights Videotape Series. 1/29 VHS: VT251-1368 y 3/49 U.Matic: VT251U-1368. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1986.
Cutting Tools. Manufacturing Insights Videotape Series. 1/29 VHS VT249-1368 & 3/49 U-Matic VT249U-1368. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1986.
Design for Manufacturing. Manufacturing Insights Videotape Series. 1/29 VHS VT396-1368 & 3/49 U-Matic VT396U-1368. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1990.
Flexible Small Lot Production for Just-In-Time. Manufacturing Insights Videotape Series. 1/29 VHS VT415-1368 & 3/49 U-Matic VT415U-1368. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1991.
Layout Improvement for Just-In-Time. Manufacturing Insights Videotape Series. 1/29 VHS VT393-1368 & 3/49 U-Matic VT393U-1368. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1990.
Programable Controllers. Manufacturing Insights Videotape Series. 1/29 VHS: VT254-1368 & 3/49 U-Matic VT254U-1368. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1987.
Setup Reduction for Just-In-Time. Manufacturing Insights Videotape Series. 1/29 VHS VT392-1368 & 3/49 U-Matic VT392U-1368. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1990.
Total Quality Management. Manufacturing Insights Videotape Series. 1/29 VHS: VT395-1368 & 3/49 U-Matic VT395U-1368. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1987.

CAPÍTULO 4



Diseño del trabajo manual

PUNTOS CLAVE:

- Diseñar el trabajo de acuerdo con las capacidades y limitaciones humanas.
- Para tareas manuales:
  - Usar movimientos dinámicos en lugar de sujeciones estáticas.
  - Mantener los requerimientos de fuerza 15% abajo del máximo.
  - Evitar rangos extremos de movimiento.
  - Usar los músculos más pequeños si se necesita rapidez y precisión.
  - Usar los músculos más grandes si se requiere fuerza.
- Para levantamientos y otros trabajos manuales pesados:
  - Mantener las cargas de trabajo abajo de un tercio de la capacidad máxima.
  - Minimizar las distancias de carga horizontal.
  - Evitar giros.
  - Usar ciclos cortos y frecuentes de trabajo/descanso.

Los Gilbreth introdujeron el diseño del trabajo manual a través del estudio de movimientos y los principios de la economía de movimientos; más tarde, Barnes (1980) profundizó en él. Por tradición, los principios se clasifican en tres grupos básicos: 1) uso del cuerpo humano; 2) arreglo y condiciones del lugar de trabajo; y 3) diseño de herramientas y equipo. Lo más importante, aunque su desarrollo ha sido empírico, es que los principios se basan en factores anatómicos, biomecánicos y fisiológicos del cuerpo humano. Éstos constituyen la base científica de la ergonomía y el diseño del tra-

bajo. De acuerdo con esto, se presentarán algunos antecedentes teóricos de los principios de economía de movimientos para su comprensión y no sólo la aceptación y memorización de las reglas. Más aún los principios tradicionales de economía del movimiento se han ampliado y ahora se le conoce como principios y guía para el diseño del trabajo. Este capítulo expone los principios relacionados con el cuerpo humano y la guía para el diseño de trabajo que se relaciona con la actividad física. El capítulo 5 estudia los principios relacionados con el diseño de estaciones de trabajo, herramientas y equipo. El capítulo 6 presenta la guía para el diseño del ambiente de trabajo. El capítulo 7 considera el diseño del trabajo cognitivo. Aunque no suele incluirse como parte de la ingeniería de métodos, se trata de un aspecto cada vez más importante del diseño del trabajo.

SISTEMA ÓSEOMUSCULAR

El cuerpo humano es capaz de producir movimientos debido a un sistema complejo de músculos y huesos, llamado *sistema óseomuscular*. Los músculos están adheridos a los huesos a ambos lados de una coyuntura (vea la figura 4–1), de manera que uno o varios músculos, conocidos como *agonistas*, actúan como los activadores primarios del movimiento. Otros músculos, llamados *antagonistas* actúan en respuesta y oposición a ese movimiento. Para una *flexión* del codo, que es una disminución del ángulo interno de la coyuntura, el bíceps o braquiorradial forma el agonista, mientras que el tríceps forma el antagonista. Sin embargo, en la *extensión* del codo, que es el incremento del ángulo de la coyuntura, el tríceps se convierte en el agonista y el bíceps en el antagonista.

Existen tres tipos de músculos en el cuerpo humano: músculos óseos o estriados, adheridos al hueso; músculo cardiaco, que se encuentra en el corazón, y músculo suave, como el de los órganos internos y las paredes de los vasos capilares. Sólo los músculos óseos (que son aproximadamente 500 en el cuerpo humano) conciernen a esta presentación, por su relevancia en el movimiento.

Cada músculo está formado por un gran número de fibras musculosas, de alrededor de 0.004 pulg (0.1 mm) de diámetro y con longitudes de 0.2 a 5.5 pulg (5-140 mm), se-

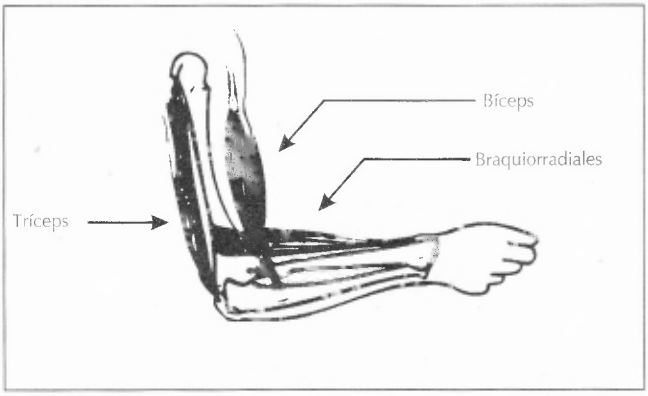


Figura 4–1 Sistema óseomuscular del brazo.

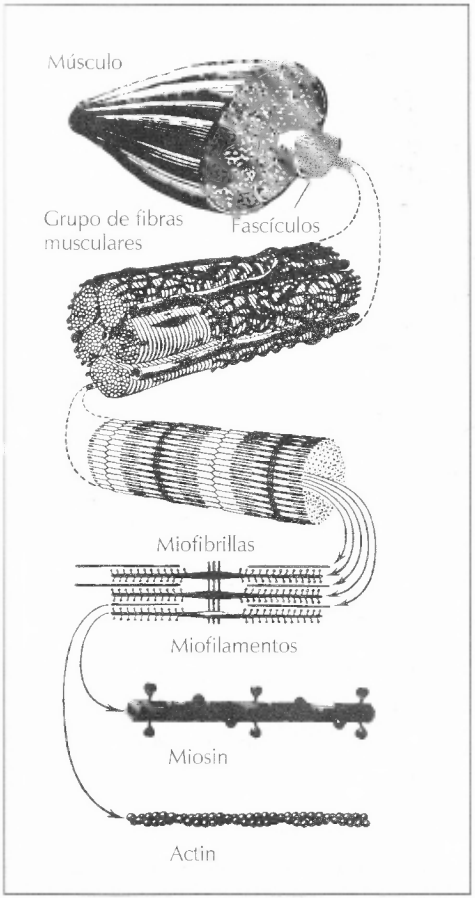


Figura 4–2 Estructura del músculo. (*Tomado de* Gray's Anatomy, 1973, con permiso de W. B. Saunders Co., Londres.)

gún el tamaño del músculo. Estas fibras están unidas en un haz por tejido conectivo, que se extiende hasta el final del músculo y ayuda a mantener el músculo y las fibras musculosas adheridos al hueso (figura 4–2). Pequeños vasos capilares penetran estos haces para llevar oxígeno y nutrientes a las fibras musculosas, lo mismo que pequeñas terminaciones nerviosas que llevan impulsos eléctricos de la columna vertebral y el cerebro.

Cada fibra muscular se subdivide en *miofibrillas* más pequeñas y, en última instancia, en filamentos proteínicos que proporcionan el mecanismo de contracción. Existen dos tipos de *filamentos: gruesos*, formados por proteínas largas con cabezas moleculares, llamados miosin, y *filamentos delgados* de proteínas globulares, llamados actin. Los dos tipos de filamentos están ligados, dando lugar a la apariencia estriada con otro nombre que se muestra en la figura 4–2. Esto permite al músculo contraerse cuado los filamentos se deslizan uno sobre otro, lo que ocurre cuando se forman puentes o uniones moleculares, quebradas y reformadas entre las cabezas de miosin y los glóbulos de actin. La *teoría de filamento deslizante* explica cómo puede cambiar la longitud del músculo, de cerca de 50% de su *longitud de reposo* (la longitud neutral no contraída

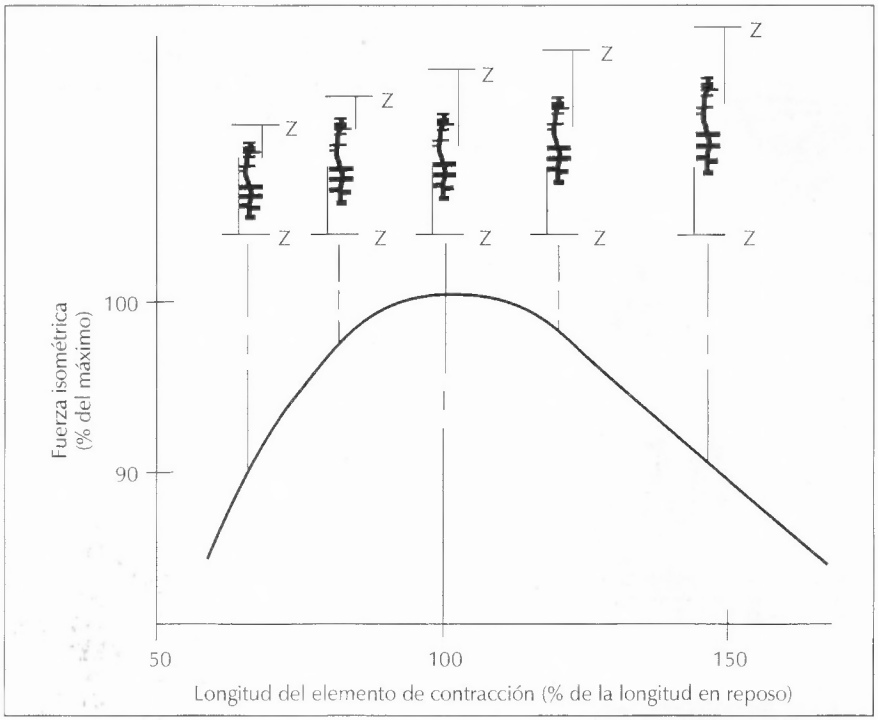


Figura 4–3 Relación fuerza-longitud del sistema óseomuscular. (*Tomado de:* Winter, 1979, p. 114. Reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

aproximadamente en el punto medio del rango normal de movimiento) en la contracción completa a 180% de su longitud de reposo totalmente extendido (vea la figura 4–3).

PRINCIPIOS DE DISEÑO DEL TRABAJO: CAPACIDADES HUMANAS Y ECONOMÍA DE MOVIMIENTOS

LOGRO DE LA MÁXIMA FUERZA MUSCULAR EN EL RANGO MEDIO DE MOVIMIENTO

El primer principio de capacidades humanas se deriva de la propiedad en forma de U invertida de la contracción del músculo mostrada en la figura 4–3. Los filamentos delgados y gruesos se unen en la longitud de reposo. En el estado estirado, existe un traslape o unión mínima entre ellos, que da como resultado una disminución considerable (a casi cero) de la fuerza del músculo. De manera similar, en el estado de contracción completa, hay interferencia entre los filamentos delgados opuestos, de nuevo, evitando la unión óptima y disminuyendo la fuerza del músculo. Esta propiedad del músculo se conoce como la *relación fuerza-longitud*. Por lo tanto, una tarea que requiere una fuerza considerable debe realizarse en una posición óptima. Por ejemplo, la posición neutral o

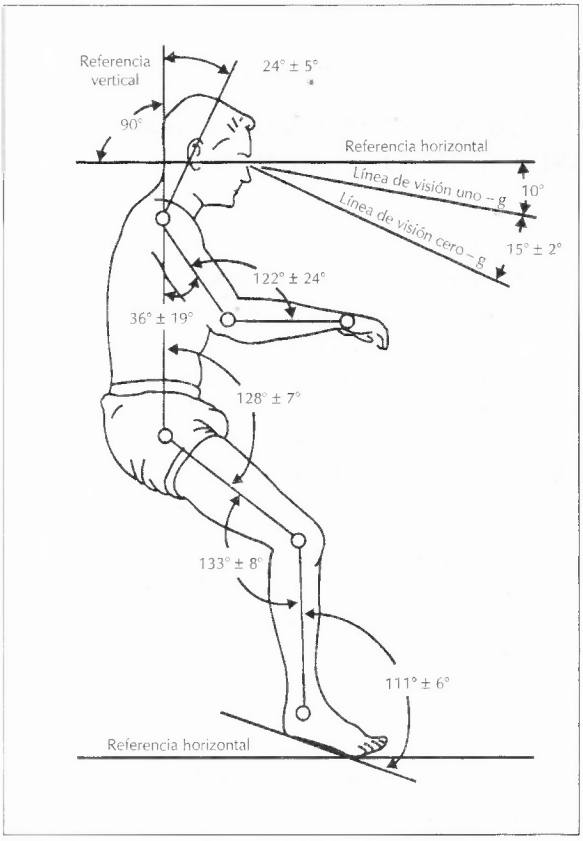


Figura 4–4 Postura relajada característica de las personas en condiciones sin gravedad. (*Tomado de:* Thornton, 1978, fig. 16.)

Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

recta proporciona el agarre más fuerte para los movimientos de la muñeca. En la flexión del codo, la mejor posición sería con el codo doblado a un poco más de 90°. En la flexión de las plantas (como al oprimir un pedal), otra vez la posición óptima es a un poco más de 90°. Una regla general para encontrar el intervalo medio del movimiento es considerar la postura que toma un astronauta en ausencia de gravedad, cuando se encuentran más relajados los músculos agonistas y antagonistas que rodean a la coyuntura y los brazos adquieren una posición neutral (figura 4–4).

LOGRO DE LA MÁXIMA FUERZA MUSCULAR CON MOVIMIENTOS LENTOS

El segundo principio de capacidades humanas se basa en otra propiedad de la teoría del filamento deslizante y la contracción del músculo. Cuanto más rápido se forme, rompa y reforme la unión molecular, menos efectiva es la unión y menos fuerza muscular se produce. Este es un efecto no lineal pronunciado (figura 4–5) con la máxima fuerza muscular producida sin acortamiento externo medible (por ejemplo, velocidad cero o contracción estática), y mínima fuerza muscular producida a la velocidad máxima de acortamiento del músculo. La fuerza es suficiente sólo para mover la masa de un seg-

mento del cuerpo. Esta propiedad muscular se conoce como *relación fuerza-velocidad* y es en especial importante cuando se trata de trabajo manual pesado.

USO DEL MOMENTO PARA AYUDAR AL TRABAJADOR SIEMPRE QUE SEA POSIBLE; MINIMIZARLO SI HAY OPOSICIÓN DEL ESFUERZO MUSCULAR

Existe un trueque entre el segundo y tercer principio. Los movimientos rápidos producen momentos altos y fuerzas de impacto altas en el caso de golpes. Los movimientos hacia abajo son más efectivos que hacia arriba, debido a la ayuda de la gravedad. Para aprovechar por completo el momento contenido, las estaciones de trabajo deben permitir que los operadores dejen la pieza en el área de entrega mientras sus manos están en movimiento para tomar otra componente o herramienta e iniciar un nuevo ciclo.

DISEÑAR TAREAS PARA OPTIMIZAR LA CAPACIDAD DE LA FUERZA HUMANA

La capacidad de la fuerza humana depende de tres factores importantes: 1) el tipo de fuerza; 2) el músculo o coyuntura de movimiento que se utiliza; y 3) la postura. Existen tres tipos de esfuerzo muscular, definidos primordialmente por la manera en que se miden. Los esfuerzos musculares que redundan en movimientos del cuerpo son el resultado de una fuerza dinámica. En ocasiones, esta fuerza se llama contracción *isotónica* porque la carga y los segmentos del cuerpo que se levantan mantienen un fuerza externa constante sobre el músculo. (Sin embargo, la fuerza interna producida por el músculo varía debido a la geometría del momento efectivo de los brazos.) Dado que son muchas las variables involucradas en tales contracciones, algunas necesitan restringirse para obtener una fuerza medible. Así, las mediciones de la fuerza dinámica, por lo general, se han hecho usando dinamómetros de velocidad constante (*isocinéticos*), como los Cybex o el Mini-Gym (Freivalds y Fotouhi, 1987). En el caso en que el movimiento del

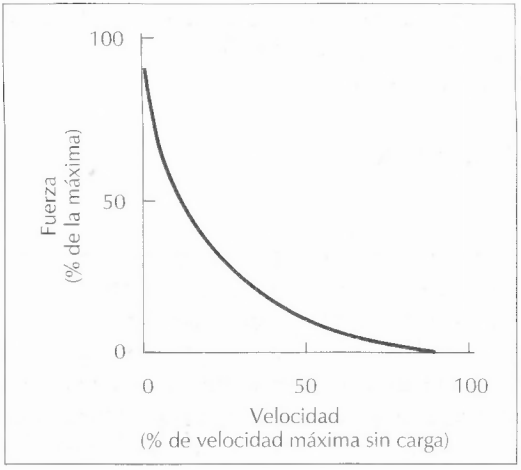


Figura 4–5 Relación fuerza-velocidad del sistema óseomuscular.

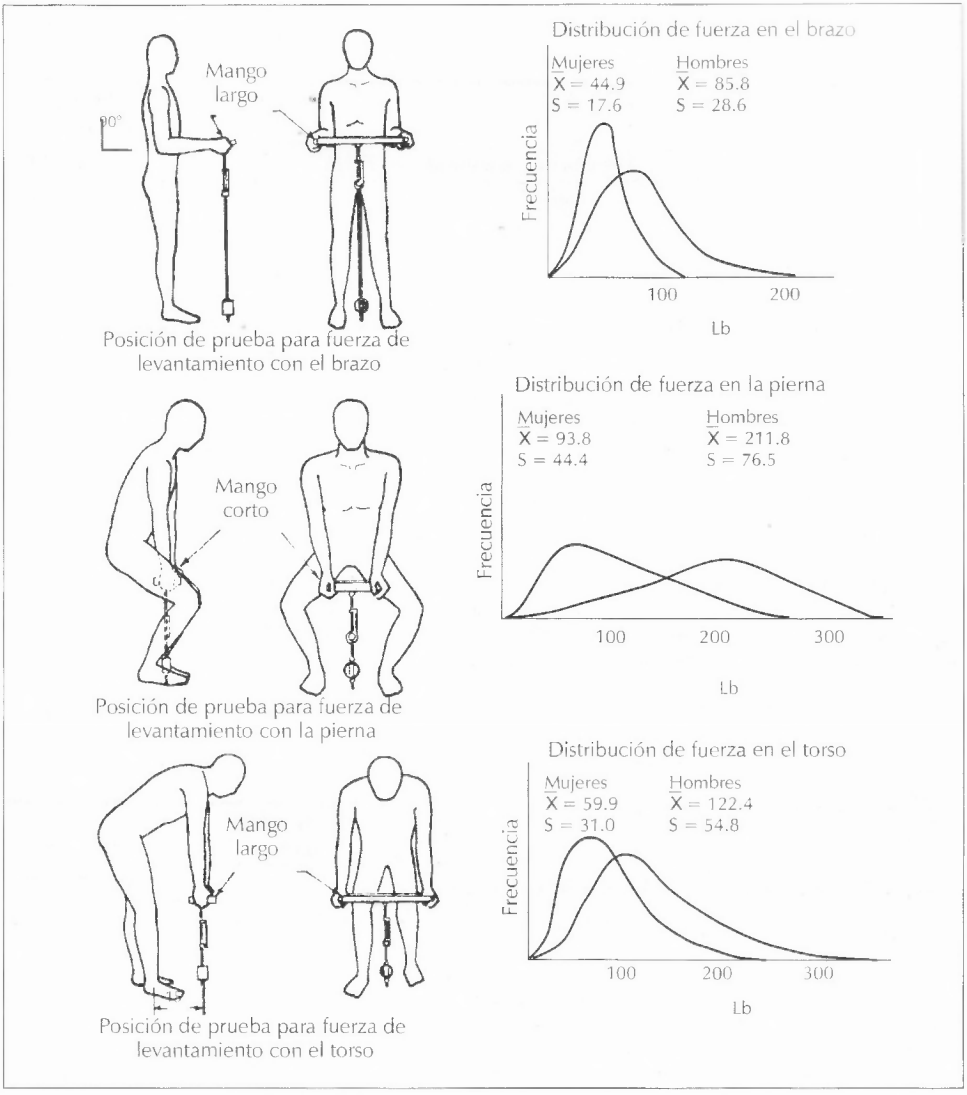


Figura 4–6 Posiciones de fuerza estática y resultados para 443 hombres y 108 mujeres. (Caffin *et al.*, 1977.)

cuerpo está restringido se obtiene una fuerza *isométrica* o estática. Como se muestra en la figura 4–5, una fuerza isométrica necesariamente es mayor que una fuerza dinámica, debido a la unión más eficiente en los filamentos de los músculos deslizantes lentos. La tabla 4–1 contiene algunas fuerzas musculares isométricas representativas para varias posturas y la figura 4–6 muestra fuerzas de levantamiento representativas para 551 trabajadores industriales en distintas posturas.

La mayor parte de las tareas industriales involucran algún movimiento; por lo tanto, las contracciones isométricas por completo son raras. Es más común que el rango de

Tabla 4–1 A. Datos del momento de fuerza estática del músculo (pie-lb) para 25 hombres y 22 mujeres que realizan trabajos manuales en la industria

		Hombre (percentil)			Mujer (percentil)		
Función del músculo	**Ángulos de coyunturas**	**5**	**50**	**95**	**5**	**50**	**95**
Flexión de codo	90° incluido el brazo (de lado)	31	57	82	12	30	41
Extensión de codo	70° incluido el brazo (de lado)	23	34	49	7	20	28
Rotación de humeral medio (hombro)	90° hombro vertical (contraído)	21	38	61	7	15	24
Rotación de humeral lateral (hombro)	5° hombro vertical (al lado)	17	24	38	10	14	21
Flexión horizontal de hombro	90° hombro vertical (contraído)	32	68	89	9	30	44
Extensión horizontal de hombro	90° hombro vertical (contraído)	32	49	76	14	24	42
Contracción vertical de hombro	90° hombro vertical (contraído)	26	49	85	10	22	40
Contracción vertical de hombro	90° hombro vertical (contraído)	32	52	75	11	27	42
Extensión de tobillo (flexión plantar)	90° incluida la espinilla	51	93	175	29	60	97
Extensión de rodilla	120° incluido el muslo (sentado)	62	124	235	38	78	162
Flexión de rodilla	135° incluido el muslo (sentado)	43	74	116	16	46	77
Extensión de cadera	100° incluido el torso (sentado)	69	140	309	28	72	133
Flexión de cadera	110° incluido el torso (sentado)	87	137	252	42	93	131
Extensión de torso	100° incluido el muslo (sentado)	121	173	371	52	136	257
Flexión de torso	100° incluido el muslo (sentado)	66	106	159	36	55	119
Flexión lateral de torso	Sentado derecho	70	117	193	37	69	120

B. Datos del momento de fuerza estática del músculo (Nm) para 25 hombres y 22 mujeres que realizan trabajos manuales en la industria

		Hombre (percentil)			Mujer (percentil)		
Función del músculo	**Ángulos de coyunturas**	**5**	**50**	**95**	**5**	**50**	**95**
Flexión de codo	90° incluido el brazo (brazo de lado)	42	77	111	16	41	55
Extensión de codo	70° incluido el brazo (brazo de lado)	31	46	67	9	27	39
Rotación de humeral medio (hombro)	90° hombro vertical (contraído)	28	52	83	9	21	33
Rotación de humeral lateral (hombro)	5° hombro vertical (al lado)	23	33	51	13	19	28
Flexión horizontal de hombro	90° hombro vertical (contraído)	44	92	119	12	40	60
Extensión horizontal de hombro	90° hombro vertical (contraído)	43	67	103	19	33	57
Contracción vertical de hombro	90° hombro vertical (contraído)	35	67	115	13	30	54
Contracción vertical de hombro	90° hombro vertical (contraído)	43	71	101	15	37	57
Extensión de tobillo (flexión plantar)	90° incluida la espinilla	69	126	237	31	81	131
Extensión de rodilla	120° incluido el muslo (sentado)	84	168	318	52	106	219
Flexión de rodilla	135° incluido el muslo (sentado)	58	100	157	22	62	104
Extensión de cadera	100° incluido el torso (sentado)	94	190	419	38	97	180
Flexión de cadera	110° incluido el torso (sentado)	118	185	342	57	126	177
Extensión de torso	100° incluido el muslo (sentado)	164	234	503	71	184	348
Flexión de torso	100° incluido el muslo (sentado)	89	143	216	49	75	161
Flexión lateral de torso	Sentado derecho	95	159	261	50	94	162

(Tomado de: Chaffin y Anderson, 1991). (Reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc).

Tabla 4–2 Peso máximo (en lb y kg) aceptable para hombres y mujeres promedio levantando cajas compactas [14 pulg (34 cm) de ancho] con agarraderas

	1 levantamiento /0.5 min				1 levantamiento /1 min				1 levantamiento /30 min			
	Hombres		Mujeres		Hombres		Mujeres		Hombres		Mujeres	
Tarea	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg
Del suelo a altura de nudillos	42	19	26	12	66	30	31	14	84	38	37	17
De nudillos a altura de hombro	42	19	20	9	55	25	29	13	64	29	33	15
De hombro a alcance de brazo	37	17	18	8	51	23	24	11	59	27	29	13

Nota: Para bajar, los valores aumentan 6%. Para cajas sin manijas, los valores disminuyen 15%
Al aumentar el tamaño de la caja (hacia afuera del cuerpo) hasta 30 pulg (75 cm), los valores disminuyen 16%.
Fuente: Adaptado de Snook y Ciriello, 1991.

movimiento sea limitado, y la contracción dinámica no sea una contracción isocinética verdadera, sino un conjunto de contracciones cuasiestáticas. Así, las fuerzas dinámicas en realidad dependen de las tareas y condiciones, y hay pocos datos publicados respecto a la fuerza dinámica.

Por último, se ha definido un tercer tipo de capacidad de fuerza muscular, la *psicofísica*, para situaciones en las que se requiere una demanda de fuerza durante un tiempo prolongado. Una capacidad de fuerza estática no siempre es representativa de lo que se puede realizar de manera repetida durante un turno de 8 horas. En general, la carga máxima aceptable (determinada con ajustes en la carga levantada o el esfuerzo hasta que el sujeto siente que serían aceptables en forma repetida durante el periodo dado) es 40% a 50% menor que el esfuerzo estático de una sola vez. Se han compilado tablas extensas de fuerza psicofísica para varias frecuencias y posturas (Snook y Ciriello, 1991). Las tablas 4–2, 4–3 y 4–4 presentan un resumen de estos valores.

USO DE MÚSCULOS GRANDES PARA TAREAS QUE REQUIEREN FUERZA

La fuerza en los músculos es directamente proporcional al tamaño del músculo, según lo define el área de la sección transversal (en particular, 87 psi [60N/cm^2] tanto para hombres como para mujeres) (Ikai y Fukunaga, 1968). Por ejemplo, en levantamientos pesados deben usarse los músculos de piernas y tronco, y no músculos más débiles. El factor de postura, confuso por los cambios geométricos en el momento del músculo o la palanca del brazo, se relaciona con la longitud en reposo de las fibras del músculo cuando está cerca de la mitad del movimiento para la mayoría de las coyunturas, como se estableció en el primer principio de economía de movimientos.

PERMANECER 15% ABAJO DE LA MÁXIMA FUERZA VOLUNTARIA

La fatiga muscular es un criterio muy importante, pero muy poco usado en el diseño adecuado de tareas para el operario humano. El cuerpo humano y el tejido muscular se apoyan en dos tipos primordiales de fuentes de energía, *aeróbica* y *anaeróbica* (vea la siguiente sección sobre trabajo manual). Como el metabolismo anaeróbico puede sumi-

Tabla 4-3 Fuerza de empuje (en lb y kg) a la altura de la cintura aceptable para hombres y mujeres promedio (I = inicial, S= sostenido)

Distancia empujada en pies (metros)	1 levantamiento/min								1 levantamiento/30 min							
	Hombres				Mujeres				Hombres				Mujeres			
	I		S		I		S		I		S		I		S	
	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg
150 (45)	51	23	26	12	40	18	22	10	66	30	42	19	51	23	26	12
50 (15)	77	35	42	19	44	20	29	13	84	38	51	23	53	24	33	15
7 (2)	95	43	62	28	55	25	40	18	99	45	75	34	66	30	46	21

Nota: Para las fuerzas de empuje a la altura del hombro o de los nudillos/rodillas, los valores disminuyen 11%.
Fuente: Adaptado de Snook y Ciriello, 1991.

Tabla 4–4 Fuerza al jalar (en lb y kg) a la altura de la cintura aceptable para hombres y mujeres promedio (I = inicial, S= sostenido)

Distancia jalada en pies (metros)	1 levantamiento/min								1 levantamiento/30 min							
	Hombres				Mujeres				Hombres				Mujeres			
	I		S		I		S		I		S		I		S	
	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg
150 (45)	37	17	26	12	40	18	24	11	48	22	42	19	48	22	26	12
50 (15)	57	26	42	19	42	19	26	12	62	28	51	23	51	23	33	15
7 (2)	68	31	57	26	55	25	35	16	73	33	70	32	66	30	44	20

Nota: Para las fuerzas al jalar a la altura de nudillos/rodilla, los valores se incrementan 75%. Para las fuerzas al jalar a la altura del hombro, los valores disminuyen 15%.
Fuente: Adaptado de Snook y Ciriello, 1991.

nistrar energía sólo durante un periodo corto, el oxígeno que llega a las fibras musculares vía el flujo de sangre periférica, se vuelve crítico para determinar cuánto durarán las contracciones del músculo. Por desgracia, mientras más fuerte es la contracción de las fibras musculares, más se comprimen las arteriolas y los capilares relacionados (figura 4–2), más se restringe el flujo de sangre y el suministro de oxígeno, y el músculo se fatiga más rápido. El resultado es la curva de resistencia de la figura 4–7. La relación es no lineal y va de un tiempo muy corto de resistencia de alrededor de seis segundos a una contracción máxima, punto en el que la fuerza del músculo cae con rapidez, a un tiempo de resistencia más o menos indefinido, cerca de 15% de la contracción máxima.

Esta relación se puede modelar por:

$$T = 1.2/(f - 0.15)^{0.618} - 1.21$$

donde: T = tiempo de resistencia (min),
f = fuerza requerida, expresada como fracción de la fuerza isométrica máxima.

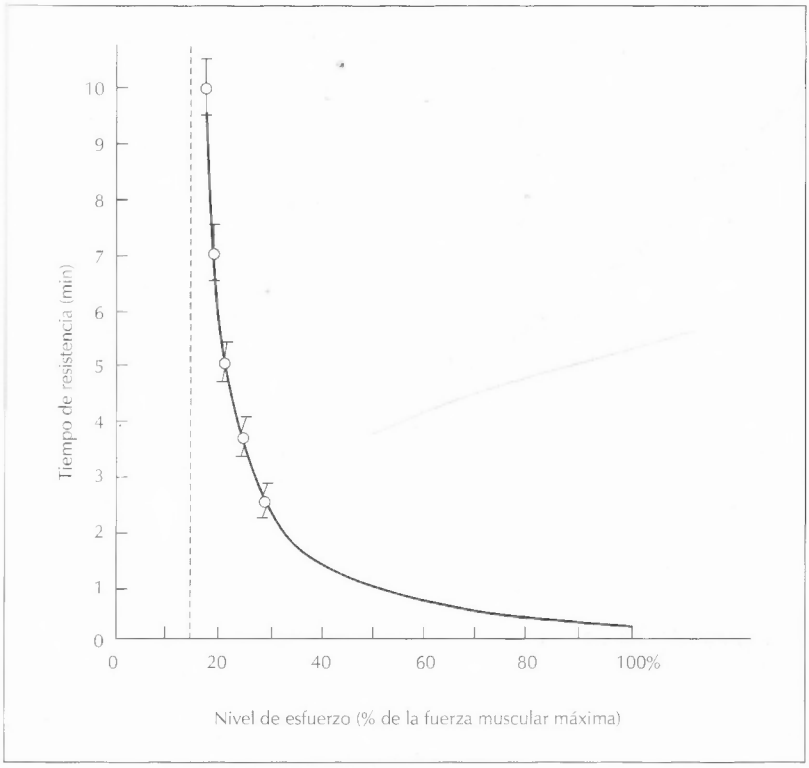


Figura 4–7 Relación del nivel de resistencia-esfuerzo del músculo estático con intervalos de ±1 DS. (*Tomado de:* Chaffin y Anderson, 1991, reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

Por ejemplo, un trabajador será capaz de resistir un nivel de fuerza de 50% de la máxima fuerza por sólo alrededor de un minuto:

$$T = 1.2/(0.5 - 0.15)^{0.618} - 1.21 = 1.09 \text{ min}$$

La asíntota indefinida se debe a que los primeros investigadores detenían sus experimentos sin llegar a la fatiga muscular completa. Más tarde, los investigadores sugirieron reducir este nivel de fuerza estática aceptable de 15% a 10% abajo, quizá hasta 5% (Jonsson, 1978). La cantidad de reposo necesario para recuperarse de un sostenimiento estático se presentará como un conjunto de holguras de relajamiento que dependen del esfuerzo y el tiempo (vea el capítulo 11).

USO DE CICLOS DE TRABAJO-REPOSO INTERMITENTES, FRECUENTES Y CORTOS

Ya sea que se realicen contracciones estáticas repetidas (como sostener una carga con codo flexionado) o una serie de elementos de trabajo dinámicos (como mover una pa-

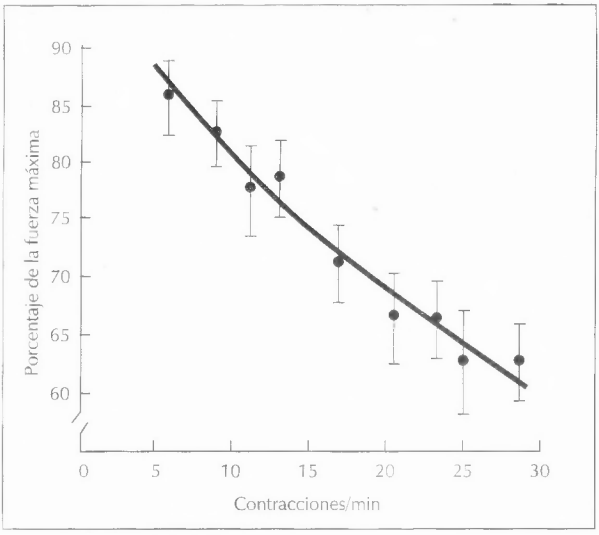


Figura 4–8 Porcentaje máximo de fuerza isométrica que se puede mantener en un estado estable durante contracciones rítmicas.
Los puntos son promedios para los músculos de dedos, manos, brazos y piernas combinados. Las líneas verticales denotan ± error estándar.
(*Tomado de:* Åstrand y Rodahl, 1986.)

lanca con brazos o piernas), ha de asignarse trabajo y recuperación en ciclos cortos y frecuentes. Esto se debe, en primer lugar, a un periodo rápido de recuperación inicial, que después tiende a nivelarse. Así, la mayor parte del beneficio se obtiene en un periodo relativamente corto. Se puede mantener un porcentaje más alto de la fuerza máxima si la fuerza se ejerce como una serie de contracciones repetitivas en lugar de una contracción estática sostenida (figura 4–8). No obstante, si la persona llega a la fatiga muscular completa (o de todo el cuerpo), la recuperación completa necesitará un tiempo más largo, quizá varias horas.

DISEÑO DE TAREAS PARA QUE LA MAYORÍA DE LOS TRABAJADORES PUEDAN REALIZARLAS

Como se puede ver en la figura 4–6, para un grupo dado de músculos, existe un intervalo considerable de fuerza en la población adulta, sana y normal, donde el más fuerte es de cinco a ocho veces más fuerte que el más débil. Estos grandes intervalos se deben a factores individuales que afectan el desempeño de la fuerza: sexo, edad, derecho o zurdo y condición física. El sexo es responsable de la mayor variación, con la fuerza muscular promedio de la mujer de 35% a 85% de la fuerza del hombre, con un efecto promedio de 66% (figura 4–9). La diferencia es mayor para la fuerza en las extremidades superiores y menor en las inferiores. Sin embargo, la causa primordial de este efecto es el tamaño del cuerpo (es decir, la masa muscular total) y no sólo el sexo; la mujer promedio es considerablemente más pequeña y ligera que el hombre promedio. Todavía más, con la amplia distribución para la fuerza de un músculo dado, existen numerosas mujeres más fuertes que muchos hombres.

En términos de edad, la fuerza muscular parece tener un pico alrededor de los 25 años y después decrece linealmente de 20% a 25% para los 60 años (vea la figura 4–9).

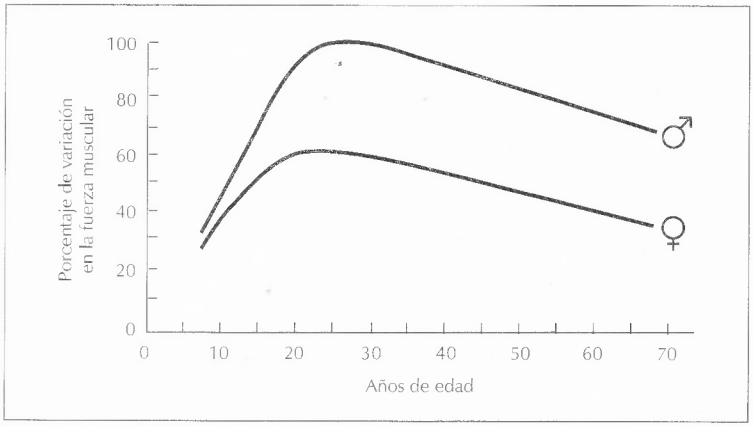


Figura 4–9 Cambios en la fuerza isométrica máxima con la edad en mujeres y hombres. (*Tomado de:* Åstrand y Rodahl, 1986.)

La disminución de la fuerza se debe a la reducción de masa muscular y la pérdida de fibras musculares. Sin embargo, no se sabe si la razón de esta pérdida es el cambio por la edad o sólo una reducción gradual de los niveles de actividad. Se ha demostrado de manera definitiva que con un programa de entrenamiento físico, una persona puede incrementar su fuerza 30% en algunas semanas, con un aumento máximo cercano a 100% (Åstrand y Rodahl, 1986). En términos de ser derecho o zurdo, en general, la mano no dominante produce cerca de 90% de la fuerza de agarre que tiene la mano dominante, con un efecto menos pronunciado en los zurdos, quizá porque se han visto forzados a adaptarse a un mundo derecho (Miller y Frievalds, 1987). En cualquier caso, es mejor diseñar herramientas y máquinas que puedan usarse con cualquier mano, para evitar que los individuos tengan desventaja de fuerza.

USO DE POCA FUERZA PARA MOVIMIENTOS PRECISOS O CONTROL MOTRIZ FINO

Las contracciones de los músculos se inician por una innervación neuronal desde el cerebro y columna vertebral, que juntos forman el sistema nervioso central. Una neurona motora o célula nerviosa típica que llega al músculo desde el sistema nervioso central puede tener conexión con varios cientos de fibras musculares. La tasa de innervación del número de fibras por neurona va de menos de 10 en los músculos pequeños del ojo a más de 1 000 en los músculos grandes y puede variar de manera considerable aun dentro de los mismos músculos. Este arreglo funcional se llama *unidad motora* y tiene implicaciones importantes en el control del movimiento. Una vez que se estimula una neurona, el potencial eléctrico se transfiere al mismo tiempo a todas las fibras musculares innervadas por esa neurona y la unidad motora actúa como una unidad de control motor o de contracción. Además, el sistema nervioso central tiende a seleccionar estas unidades motoras aumentando el tamaño cuando se necesitan fuerzas musculares ma-

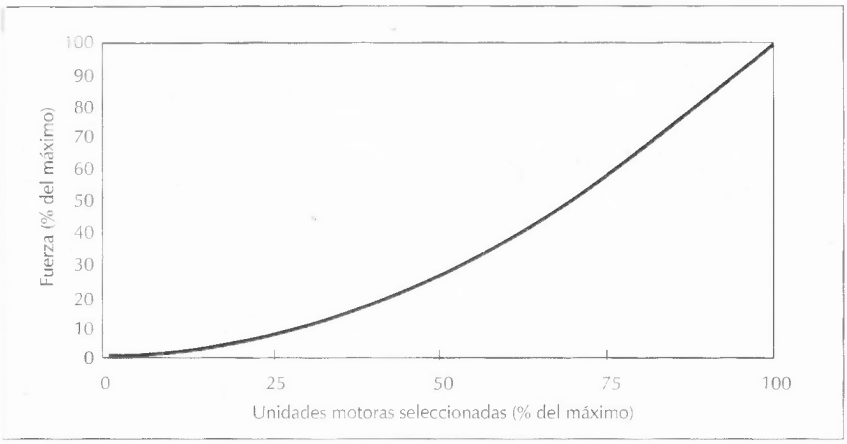


Figura 4–10 Selección de músculos que demuestran el principio de tamaño.

yores (figura 4–10). Las unidades motoras iniciales elegidas son pequeñas, con pocas fibras musculares y baja fuerza producida. No obstante, como son pequeñas y de baja tensión, el cambio en la producción de fuerza de una a dos unidades motoras seleccionadas es gradual y se puede producir una precisión fina en el control motor. Cerca del final de la selección de unidades motoras, la fuerza muscular total es alta y cada unidad motora adicional seleccionada se convierte en un gran incremento en la fuerza, con poca sensibilidad en términos de precisión o control. Se hace referencia a esta propiedad de los músculos como *principio de tamaño*.

La actividad eléctrica de los músculos, llamada *electromiograma* (EMG), es una medida útil de la actividad muscular local. Esta actividad se mide con electrodos de registro colocados en la piel que cubre el músculo de interés, luego se procesan y modifican hasta la amplitud y frecuencia de la señal. Para un análisis de amplitud, la señal casi siempre se rectifica y suaviza (con un circuito resistor-capacitor). El resultado tiene una relación razonablemente lineal con la fuerza ejercida por el músculo (Bouisset, 1973). El enfoque de frecuencia incluye digitalizar la señal y realizar un análisis rápido de transformada de Fourier para obtener un espectro de frecuencia. Cuando el músculo comienza a fatigarse, su actividad cambia de alta frecuencia (>60 Hz) a bajas frecuencias (<60 Hz) (Chaffin, 1969). Además, la amplitud EMG tiende a aumentar con la fatiga, para un nivel dado de esfuerzo.

NO DEBEN INTENTARSE MOVIMIENTOS PRECISOS O DE CONTROL FINO JUSTO DESPUÉS DEL TRABAJO PESADO

Éste es un corolario del principio anterior de capacidades humanas. Las unidades motoras pequeñas tienden a usarse en forma continua durante el movimiento normal y aunque son más resistentes a la fatiga que las unidades motoras grandes, también se cansan. Un ejemplo típico de violación de este principio ocurre cuando los operarios cargan sus estaciones de trabajo antes de su turno o reabastecen partes durante el mismo. Levantar contenedores con partes pesadas requiere seleccionar las unidades

motoras pequeñas, al igual que las grandes para generar las fuerzas musculares necesarias. Durante el levantamiento y reabastecimiento, algunas unidades motoras se fatigan y se seleccionan otras para compensar. Cuando el operario termina de reabastecer los contenedores y regresa al trabajo preciso de ensamble, algunas unidades motoras, que incluyen las de precisión pequeñas, no están disponibles. Las unidades motoras grandes seleccionadas para sustituir a las fatigadas proporcionarán incrementos de fuerza mayores y un control motor menos preciso. Después de varios minutos, las unidades motoras se recuperarán y estarán disponibles, pero mientras tanto, quizá se sacrifique la calidad y velocidad del trabajo de ensamble. Una solución es asignar a trabajadores menos calificados al reabastecimiento de contenedores.

EL USO DE MOVIMIENTOS BALÍSTICOS DE VELOCIDAD

La innervación cruzada de agonistas y antagonistas siempre ocurre a través de reflejos espinales. Esto minimiza conflictos innecesarios entre los músculos, lo mismo que el gasto excesivo de energía consecuente. En general, en un movimiento voluntario, burdo y corto (menos de 200 ms), se activa el agonista y se inhibe el antagonista (esto se llama *inhibición recíproca*), para reducir la contracción de músculos contraproducente. Por otro lado, en movimientos precisos se usa un control de retroalimentación de ambos conjuntos de músculos, aumentando el tiempo de movimiento. Esto se denomina *trueque de velocidad-exactitud.*

INICIO Y TERMINACIÓN DE MOVIMIENTOS CON AMBAS MANOS AL MISMO TIEMPO

Cuando la mano derecha trabaja en su área normal a la derecha del cuerpo y la izquierda en la suya, a la izquierda del cuerpo, el sentimiento de balance tiende a inducir un ritmo en el desempeño del operario, que lo lleva a la máxima productividad. La mano izquierda en personas derechas puede ser tan efectiva como la derecha y debe usarse. Un boxeador derecho aprende a golpear con la mano izquierda con la misma efectividad que con la derecha. Una mecanógrafa rápida es tan eficiente con una mano como con la otra. En numerosos ejemplos, las estaciones de trabajo se pueden diseñar para "hacer dos a la vez". Si se usan dispositivos duales que sostengan dos componentes, ambas manos pueden trabajar al mismo tiempo, con movimientos simétricos en direcciones opuestas (vea la figura 4-11). Un corolario de este principio es que no deben estar ociosas ambas manos simultáneas, excepto durante los periodos de descanso. (Este principio fue el seguido por Frank Gilbreth al rasurarse con ambas manos al mismo tiempo.)

MOVIMIENTOS SIMÉTRICOS Y SIMULTÁNEOS DE AMBAS MANOS DESDE Y HACIA EL CENTRO DEL CUERPO

Es natural que ambas manos se muevan en patrones simétricos. Las desviaciones de la simetría en una estación de trabajo a dos manos conducen a movimientos incómodos del operario. Muchas personas están familiarizadas con la dificultad de dar pequeños golpes al estómago con la mano izquierda y sobar la parte superior de la cabeza con la



Figura 4–11 Estación de trabajo y dispositivos diseñados para permitir el trabajo productivo con ambas manos. (General Electric Co.)

derecha. Otro experimento que ilustra la dificultad de realizar operaciones no simétricas es intentar dibujar un círculo con la mano izquierda y un cuadrado con la derecha. La figura 4–12 muestra una estación de trabajo ideal que permite al operario ensamblar dos productos mediante una serie de movimientos simétricos, simultáneos desde y hacia el centro del cuerpo.

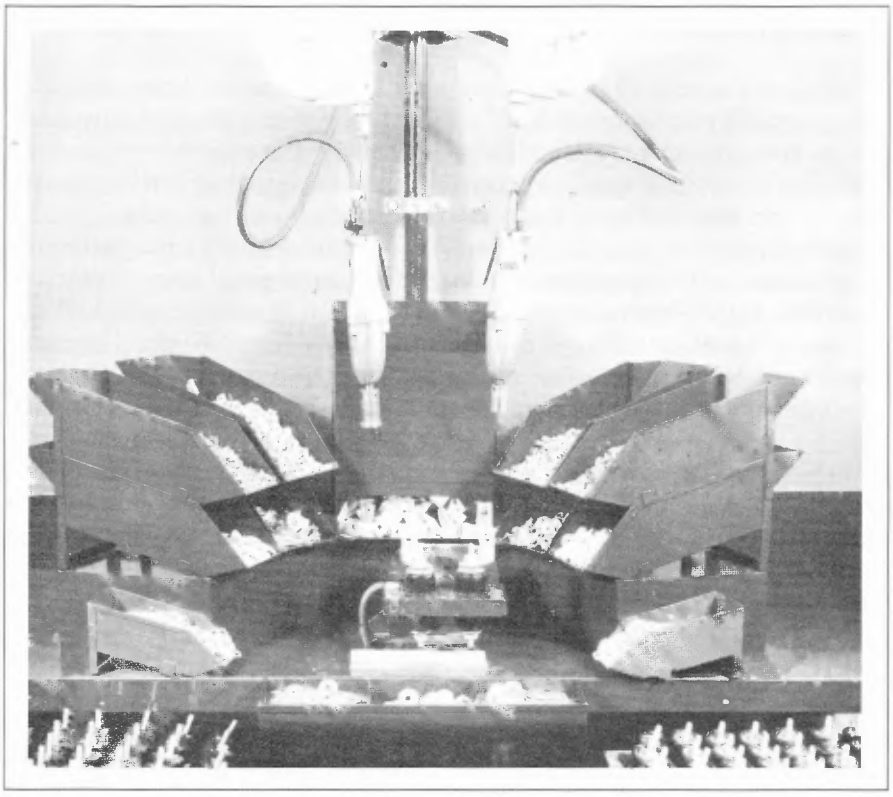


Figura 4–12 Una estación de trabajo ideal que permite al operador ensamblar dos productos realizando una serie de movimientos simétricos simultáneos desde y hacia el centro del cuerpo. (General Electric Co.)

USO DEL RITMO NATURAL DEL CUERPO

Los reflejos de la espina que excitan o inhiben músculos, también llevan a ritmos naturales en el movimiento de los segmentos del cuerpo que se pueden comparar con los sistemas de masa-resorte-amortiguador de segundo orden, donde los segmentos del cuerpo proporcionan la masa y el músculo tiene resistencia y amortiguamiento internos. La frecuencia natural del sistema dependerá de los tres parámetros, pero la masa del segmento tendrá el mayor efecto. Esta frecuencia natural es esencial para el desempeño suave y automático de una tarea. Drillis (1963) estudió una variedad de tareas manuales muy comunes y sugirió tiempos de trabajo óptimos, de la siguiente manera:

Limado de metal	60-78 pasadas por minuto
Cortes	60 pasadas por minuto
Palanca con la mano	35 revoluciones por minuto
Palanca con la pierna	60-72 revoluciones por minuto
Palear	14-17 paleadas por minuto

USO DE MOVIMIENTOS CURVOS CONTINUOS

Debido a la naturaleza de los ligamentos que unen los segmentos del cuerpo (que se aproximan a juntas de pasador), es más sencillo para las personas producir movimientos curvos, es decir, pivotear alrededor de una coyuntura. Los movimientos en línea recta que involucran cambios agudos y repentinos en su dirección requieren más tiempo y son menos precisos. Esta ley se demuestra con facilidad al mover cualquiera de las dos manos con un patrón rectangular, y después con uno circular de magnitudes aproximadas. Es evidente que se requiere mayor cantidad de tiempo para hacer el cambio de dirección abrupto de 90°. Para hacer un cambio de dirección, la mano debe desacelerar, cambiar dirección y acelerar hasta que tiene que desacelerar de nuevo para el siguiente cambio de dirección. Los movimientos curvos continuos no requieren desaceleración y, en consecuencia, se realizan más rápido por unidad de distancia. Esto se ilustra bien en la figura 4-13, con sujetos que realizaron movimientos de posicionamiento con la mano derecha en ocho direcciones con un plano horizontal desde un punto central inicial. El movimiento de la parte inferior izquierda a la parte superior derecha (con pivoteo alrededor del codo) requirió 20% menos tiempo que el movimiento perpendicular de la parte inferior derecha a la parte superior izquierda (con movimiento adicional incómodo del hombro y el brazo).

USO DE LA CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS PRÁCTICA MÁS BAJA

Es importante comprender las clasificaciones de los movimientos para usar esta ley fundamental de economía de movimientos en forma adecuada en el estudio de métodos. Las clasificaciones son las siguientes:

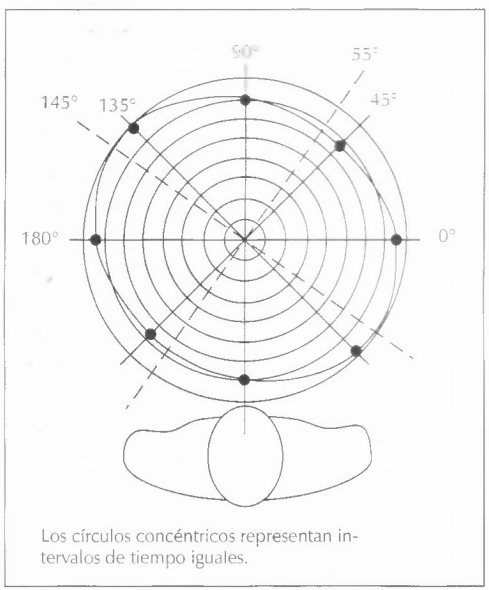


Figura 4–13 El movimiento del antebrazo es mejor cuando se pivotea alrededor del codo.
(*Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993. Reproducido con permiso de McGraw-Hill Companies.)

1. Los movimientos de los dedos, o movimientos de primera clase, son los más rápidos de los cinco tipos y se reconocen con facilidad porque se realizan moviendo el o los dedos mientras el resto del brazo permanece inmóvil. Los movimientos típicos de los dedos son enroscar una tuerca en un tornillo, presionar las teclas de una máquina de escribir o tomar una parte pequeña. Por lo común, existe una diferencia significativa en el tiempo que se requiere para realizar movimientos de los dedos con los distintos dedos. En la mayor parte de los casos, el índice se mueve mucho más rápido que los demás.

   Observe que los movimientos repetitivos de los dedos pueden conducir a la fatiga y a desórdenes óseomusculares relacionados con el trabajo, como desórdenes por trauma acumulado (vea el capítulo 5). Entonces, las fuerzas de los dedos se deben mantener en un nivel bajo con interruptores de barra en lugar de disparo y con el diseño de tareas que involucren un alto esfuerzo manual con clasificaciones más altas de movimiento.
2. Los movimientos de dedos y muñecas se hacen mientras el brazo y antebrazo están quietos, y se conocen como movimientos de clase dos. En la mayor parte de los casos, estos movimientos consumen más tiempo que los que involucran sólo a los dedos. Los movimientos típicos de dedos y muñecas ocurren al colocar una parte en un dispositivo o al ensamblar partes.
3. Los movimientos de dedos, muñecas y parte baja del brazo se conocen como *movimientos del antebrazo* o de clase tres, e incluyen aquellos realizados por el brazo abajo del codo cuando la parte superior no se mueve. Como el antebrazo incluye un músculo fuerte, esos movimientos no se consideran eficientes porque no son fatigantes. Sin embargo, el trabajo repetitivo con fuerza de los brazos extendidos puede inducir hinchazón, que se alivia diseñando la estación de trabajo de manera que los codos estén a 90° al realizar la tarea. El tiempo que requiere un operario dado para hacer movimientos de antebrazo depende de la distancia recorrida y la resistencia que deba vencer durante el movimiento. Las estaciones de trabajo deben diseñarse para usar estos movimientos de clase tres y no los de clase cuatro al realizar movimientos de transporte, para minimizar los tiempos de ciclo.
4. Los movimientos de dedos, muñeca, parte baja y parte alta del brazo se conocen como *movimientos de clase cuatro o de hombro*, y quizá se usen más que los de cualquier otra clase. Este movimiento, para una distancia dada, toma mucho más tiempo que los movimientos de las tres clases anteriores. Se requiere para realizar movimientos de transporte de partes que no es posible alcanzar sin extender el brazo. El tiempo requerido para éstos depende en primer lugar de la distancia y la resistencia del movimiento. Para reducir la carga estática de los movimientos de hombros, deben diseñarse herramientas para que el codo no se eleve al realizar el trabajo. Por ejemplo, al usar matraca con dados en lugar de una llave inglesa, el operario puede alcanzar la tuerca desde un ángulo sin tener que levantar el codo.
5. Los movimientos de clase cinco incluyen movimientos del cuerpo, que son los más tardados. Los movimientos del cuerpo incluyen tobillo, rodilla y muslo, al igual que el tronco.

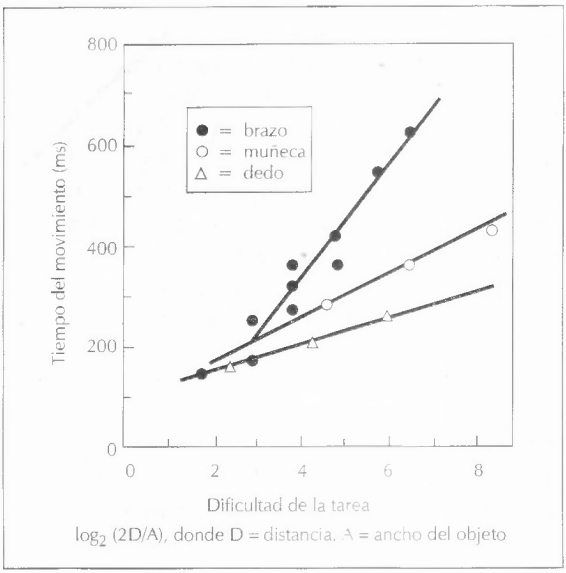


Figura 4–14 Clasificación de movimientos. (*Fuente:* Datos de Langolf, et al., 1976. Reproducido con permiso de the McGraw-Hill Companies.)

Los movimientos de clase uno requieren el menor esfuerzo y tiempo, mientras que los de clase cinco se consideran los menos eficientes. Así, siempre debe utilizarse el movimiento de clasificación menor para realizar un trabajo adecuado. Esto implica un examen cuidadoso de la localización de herramientas y materiales, de manera que puedan incluirse patrones de movimiento ideales.

Los primeros en mostrar esta clasificación de movimientos fueron Langolf, Chaffin y Foulke (1976), en una serie de movimientos de posicionamiento hacia y desde las correderas, conocidas como "tareas de enrosque" de Fitts (1954), que se estudian con detalle en el capítulo 7. El tiempo del movimiento aumenta con la dificultad de la tarea (figura 4–14), pero también aumenta con los niveles más altos de clasificación; es decir, la pendiente para el brazo (105 ms) es más pronunciada que para la muñeca (45 ms), que a su vez es mayor que para el dedo (26 ms). El efecto se debe sencillamente al mayor tiempo que requiere el sistema nervioso central para procesar las coyunturas, las unidades motoras y los receptores adicionales.

TRABAJO CON MANOS Y PIES AL MISMO TIEMPO

Como la mayor parte de los ciclos de trabajo se realizan con las manos, es bueno relevarlas del trabajo que puedan hacer los pies, pero sólo si este trabajo se hace mientras las manos están ocupadas. Dado que las manos son más hábiles que los pies, no sería inteligente hacer que los pies trabajaran mientras las manos están quietas. Con frecuencia se pueden arreglar dispositivos como pedales que permitan sujeciones, expulsiones o alimentaciones, y liberar las manos para otros trabajos más útiles y, en consecuencia, disminuir el tiempo de ciclo (figura 4–15). Cuando las manos se mueven, los pies no deben hacerlo, ya que es difícil el movimiento simultáneo de manos y pies; pero los pies

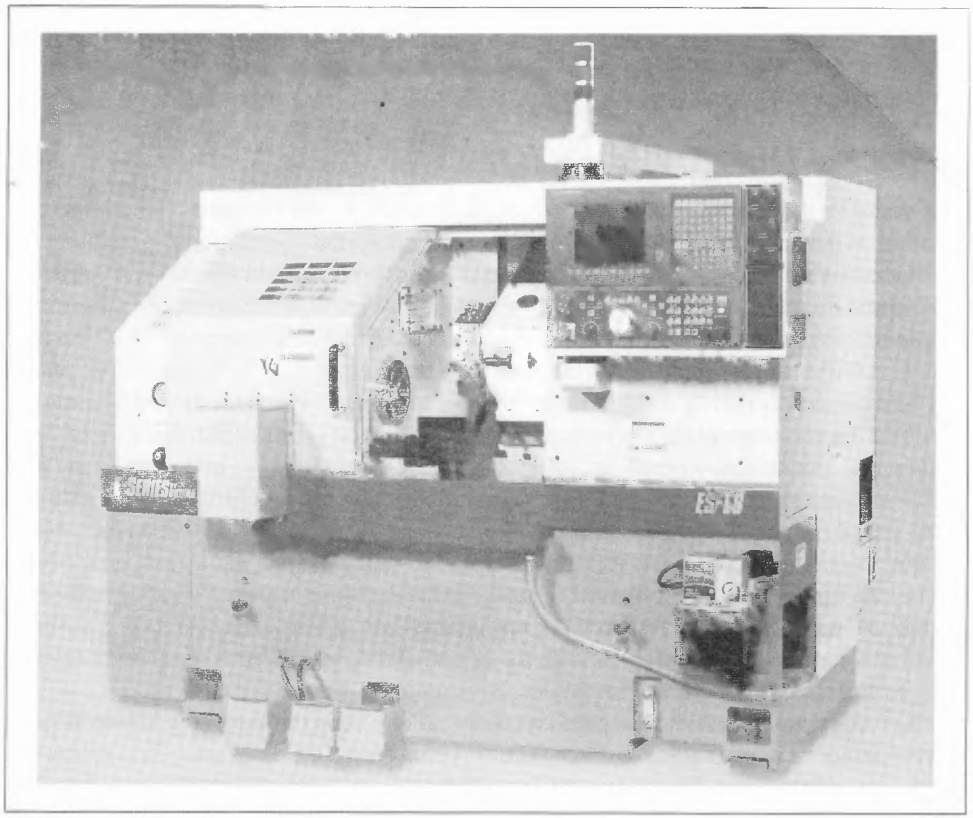


Figura 4–15 Máquina herramienta operada con el pie. (Cortesía de Okuma.)

pueden estar aplicando presión sobre algo como un pedal. Además, el operario debe estar sentado, pues no es sencillo operar un pedal de pie, y aguantar todo el peso del cuerpo en el otro pie.

MINIMIZACIÓN DE LA VISTA FIJA

Aunque fijar la vista o los movimientos de los ojos no se puede eliminar en la mayor parte de los trabajos, debe optimizarse la localización de la meta visual principal respecto al operario humano. La línea normal de la vista está cerca de los 15° abajo de la horizontal, y el campo visual primario se define como un cono de ±15° en un arco centrado en la línea de la vista. La consecuencia es que dentro de esta área se necesita un mínimo de movimientos de los ojos y la fatiga del ojo se minimiza.

RESUMEN

Los principios de capacidades humanas y la economía de movimientos se basan en una comprensión elemental de la fisiología humana y deben ser muy útiles al aplicarlos al análisis de métodos, teniendo en cuenta al operario humano. Sin embargo, el analista no tiene que ser experto en anatomía y fisiología humana para aplicarlos. De hecho,

para los fines de análisis de tareas, quizá sea suficiente usar la lista de verificación de economía de movimientos, que resume casi todos los principios en un cuestionario (figura 4-16).

ESTUDIO DE MOVIMIENTOS

El *estudio de movimientos* es el análisis cuidadoso de los movimientos del cuerpo empleados al hacer un trabajo. El propósito de su estudio es eliminar o reducir los movimientos no efectivos, y facilitar y acelerar los movimientos efectivos. Por medio del estudio de movimientos, en conjunto con los principios de economía de movimientos, se rediseña el trabajo para lograr mayor efectividad y una tasa de producción más alta. Los Gilbreth fueron pioneros en el estudio de movimientos y desarrollaron las leyes básicas de economía de movimientos que todavía se consideran fundamentales. También fueron responsables del desarrollo detallado de estudios filmados de los movimientos, conocidos como *estudios de micromovimientos*, que han resultado invaluables en el estudio de operaciones manuales altamente repetitivas. Dicho estudio, en el sentido amplio, cubre tanto el estudio realizado por simple análisis visual, como los que usan equipo más costoso. Por tradición, se usaban cámaras de cine, pero hoy la cámara de video tiene la exclusividad por su habilidad para regresar y ver de nuevo las secciones, congelar la imagen en videograbadores con cuatro cabezas (VCR), y eliminar el revelado de la película. En vista de su alto costo, los micromovimientos se usan sólo en trabajos muy activos con alta repetitividad.

Los dos tipos de estudios se pueden comparar con ver a través de una lupa contra un microscopio. El detalle adicional que revela el microscopio sólo es necesario en los trabajos más productivos. Por costumbre los estudios de micromovimientos se registraban en un *diagrama de movimiento simultáneo (simo)*, y los estudios de movimientos en un *diagrama de proceso bimanual*. Un diagrama simo casi no se usa en la actualidad, pero en ocasiones se aplica el término al diagrama de proceso bimanual.

MOVIMIENTOS BÁSICOS

Como parte del análisis del movimiento, los Gilbreth concluyeron que todo trabajo, productivo o no, se realiza usando una combinación de 17 movimientos básicos que llamaron *therbligs* (Gilbreth escrito al revés). Los therbligs pueden ser efectivos o inefectivos. Los therbligs efectivos son un avance en el progreso del trabajo. Muchas veces se pueden acortar, pero lo común es que no se puedan eliminar por completo. Los therbligs inefectivos no avanzan el progreso del trabajo y deben eliminarse mediante la aplicación de los principios de economía de movimientos. Los 17 therbligs junto con sus símbolos y definiciones se muestran en la tabla 4-5.

DIAGRAMA DE PROCESO BIMANUAL

El *diagrama de proceso bimanual*, también llamado diagrama de proceso del operario es una herramienta del estudio de movimientos. Este diagrama muestra todos los movimientos y retrasos realizados por las manos, derecha e izquierda, y las relaciones entre las divisiones básicas de los logros desempeñados por las manos. El propósito del

Suboperaciones	Sí	No
1. ¿Es posible eliminar una suboperación?	❑	❑
a. como innecesaria	❑	❑
b. con un cambio en el orden del trabajo	❑	❑
c. con un cambio de herramientas o equipo	❑	❑
d. con un cambio en la distribución de la estación de trabajo	❑	❑
e. con la combinación de herramientas	❑	❑
f. con un cambio ligero en el material	❑	❑
g. con un cambio ligero en el producto	❑	❑
h. con un sujetador de acción rápida en los dispositivos	❑	❑
2. ¿Es posible facilitar una operación?	❑	❑
a. con mejores herramientas	❑	❑
b. con un cambio en las palancas	❑	❑
c. con cambios de posición de los controles o herramientas	❑	❑
d. con mejores contenedores de material	❑	❑
e. con el uso de la inercia donde sea posible	❑	❑
f. con la disminución de los requerimientos visuales	❑	❑
g. con mejores alturas en la estación de trabajo	❑	❑
Movimientos	**Sí**	**No**
1. ¿Es posible eliminar un movimiento?	❑	❑
a. como innecesario	❑	❑
b. con un cambio en el orden del trabajo	❑	❑
c. combinando herramientas	❑	❑
d. con un cambio de herramientas o equipo	❑	❑
e. con una resbaladilla para dejar caer el desperdicio o el material terminado	❑	❑
2. ¿Es posible facilitar un movimiento?	❑	❑
a. con un cambio en la distribución para acortar distancias	❑	❑
b. con cambios en la dirección de los movimientos	❑	❑
c. usando otros músculos	❑	❑
Uso del primer grupo de músculos con la fuerza suficientes para la tarea:	❑	❑
1) dedos	❑	❑
2) muñeca	❑	❑
3) antebrazo	❑	❑
4) parte superior del brazo	❑	❑
5) tronco	❑	❑
d. con movimientos continuos en lugar de desordenados	❑	❑
Sujeciones	**Sí**	**No**
1. ¿Puede eliminarse una sujeción? (sujetar es en extremo fatigante)	❑	❑
a. como innecesaria	❑	❑
b. con un dispositivo sencillo de sujeción	❑	❑
2. ¿Puede facilitarse una sujeción?	❑	❑
a. acortando su duración	❑	❑
b. usando un grupo de músculos más fuertes, como piernas o dispositivos operados con el pie	❑	❑
Retrasos	**Sí**	**No**
1. ¿Es posible eliminar o acortar un retraso?	❑	❑
a. como innecesario	❑	❑
b. con un cambio en el trabajo que realiza cada miembro del cuerpo	❑	❑
c. balanceando el trabajo entre los miembros del cuerpo	❑	❑
d. trabajando en dos artículos al mismo tiempo	❑	❑
e. alternando el trabajo (las manos hacen el mismo trabajo pero desfasado)	❑	❑
Ciclos	**Sí**	**No**
1. ¿Se puede reorganizar el ciclo para lograr más trabajo manual durante ese tiempo?	❑	❑
a. con alimentación automática	❑	❑
b. con suministro de materiales automático	❑	❑
c. con cambios en la relación de fase hombre-máquina	❑	❑
d. con un corte de energía automático al finalizar el corte o en caso de falla de material o herramienta	❑	❑
Tiempo de máquina	**Sí**	**No**
1. ¿Puede acortarse el tiempo de máquina?	❑	❑
a. con mejores herramientas	❑	❑
b. con herramientas combinadas	❑	❑
c. con alimentaciones o velocidades mayores	❑	❑

Figura 4–16 Lista de verificación de economía de movimientos

Tabla 4–5 Therbligs de los Gilbreth

Therbligs efectivos (Implica un avance directo en el progreso del trabajo. Pueden acortarse, pero es difícil eliminarlos.)		
Therblig	**Símbolo**	**Descripción**
Alcanzar	AL	Movimiento con la mano vacía desde y hacia el objeto; el tiempo depende de la distancia; en general precede a soltar y va seguido de tomar.
Mover	M	Movimiento con la mano llena; el tiempo depende de la distancia, el peso y el tipo de movimiento; en general precedida por tomar y seguida de soltar o posicionar.
Tomar	T	Cerrar los dedos alrededor de un objeto; inicia cuando los dedos hacen contacto con el objeto y termina cuando se logra el control; depende del tipo de tomar; en general precedido por alcanzar y seguido por mover.
Soltar	S	Dejar el control de un objeto; por lo común es el therblig más corto.
Preposicionar	PP	Posicionar un objeto en un lugar predeterminado para su uso posterior; casi siempre ocurre junto con mover, como al orientar una pluma para escribir.
Usar	U	Manipular una herramienta al usarla para lo que fue hecha; se detecta con facilidad al hacer que avance el trabajo.
Ensamblar	E	Unir dos partes que van juntas; suele ir precedido por posicionar o mover, y seguido por soltar.
Desensamblar	DE	Opuesto al ensamble, separación de partes que están juntas; en general precedido de posicionar o mover; seguido de soltar.

Therbligs no efectivos (No avanzan el progreso del trabajo. Deben eliminarse cuando sea posible)		
Therblig	**Símbolo**	**Descripción**
Buscar	B	Ojos o manos que deben encontrar un objeto; inicia cuando los ojos se mueven para localizar un objeto.
Seleccionar	SE	Elegir un artículo entre varios; por lo común sigue a buscar.
Posicionar	P	Orientar un objeto durante el trabajo; en general precedido de mover y seguido de soltar (en contraste a *durante* para preposicionar).
Inspeccionar	I	Comparar un objeto con un estándar, casi siempre con la vista, pero también puede ser con otros sentidos.
Planear	PL	Hacer una pausa para determinar la siguiente acción; en general se detecta como una duda antes del movimiento.
Retraso inevitable	RI	Más allá del control del operario debido a la naturaleza de la operación, por ejemplo, la mano izquierda espera mientras la derecha termina un alcance más lejano.
Retraso evitable	RE	Sólo el operario es responsable del tiempo ocioso, como al toser.
Descanso para contrarrestar la fatiga	D	Aparece en forma periódica, no en todos los ciclos, depende de la carga de trabajo físico.
Sostener	SO	Una mano detiene un objeto mientras la otra realiza un trabajo provechoso.

diagrama de proceso bimanual es presentar una operación dada con suficiente detalle para analizar y mejorar la operación. En general, no es práctico hacer un estudio detallado del proceso bimanual a menos que se trate de una operación manual muy repetitiva. Por medio de este análisis es posible identificar los patrones de movimiento ineficientes y se pueden observar con facilidad las violaciones de los principios de economía de movimientos. Este diagrama facilita cambiar un método de manera que se logre una operación con dos manos balanceada y que los movimientos ineficientes se reduzcan o eliminen. El resultado es un ciclo más suave, con más ritmo que mantiene al mínimo tanto los retrasos como la fatiga del operario.

Como siempre, el analista da un nombre al "diagrama de proceso bimanual" y agrega toda la información necesaria, como número de parte, número de dibujo, descripción de la operación o el proceso, método actual o propuesto, fecha y el nombre de la persona que realiza el diagrama. Justo abajo de la información de identificación, el analista hace un bosquejo de la estación de trabajo, con un dibujo a escala. El bosquejo es una ayuda para presentar el método que se estudia. La figura 4–17 muestra un diagrama de proceso bimanual típico para un ensamble de abrazaderas de cable con los tiempos para cada therblig obtenidos con un cronómetro.

Después de identificar la operación por completo y hacer un bosquejo de la estación de trabajo con las relaciones dimensionales, el analista inicia la construcción del diagrama de proceso bimanual. Este diagrama también se dibuja a escala. El analista observa la duración del ciclo para determinar el tiempo que debe representar cada centímetro de espacio vertical en el diagrama. Por ejemplo, si la operación tiene un tiempo de ciclo de 0.70 minutos y hay 14 cm verticales de espacio en el diagrama, cada 1/2 cm será igual a 0.025 minutos.

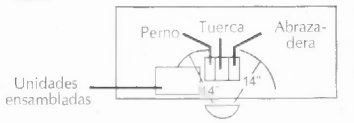
En general, es menos confuso graficar todas las actividades de una mano y después las divisiones básicas de logro realizado por la otra mano. Aunque no existe una regla respecto a qué parte del ciclo usar como punto inicial, casi siempre es mejor comenzar la gráfica justo después de soltar la parte terminada. Si este soltar se hace con la mano derecha, el siguiente movimiento que por lo común se lleva a cabo es el primer movimiento mostrado en el diagrama de proceso bimanual. Para la mano derecha, éste tal vez sea "alcanzar la nueva parte". Si el analista observa que el elemento "alcanzar" toma cerca de 0.025 minutos, esta duración se indica con una línea horizontal dibujada en el lado de la mano derecha del diagrama a 0.5 centímetro de la parte superior. En la columna de "símbolos" se escribe "AL" (de "alcanzar") para indicar que se ha realizado un movimiento efectivo. A la derecha del símbolo se registra una descripción breve del evento, como "alcanza una tuerca de 1/2 pulg a 20 cm". Abajo de esto, se muestra la siguiente división básica, y así sucesivamente hasta completar el ciclo. El analista procede a graficar las actividades de la mano izquierda durante el ciclo. Al hacerlo, verifica que los puntos finales de los therbligs ocurran al mismo tiempo; ésta es una verificación general de errores al graficar.

Todos los elementos deben durar suficiente tiempo para poder medirlos, ya que en la mayoría de los casos no es posible medir cada therblig individual. Por ejemplo, en la figura 4–17 el primer elemento realizado por la mano izquierda fue "traer un tornillo U". Este elemento comprende los therbligs "alcanzar" y "tomar". No hubiera sido posible tomar el tiempo de cada therblig individual. Sólo mediante el uso de una cámara de

Diagrama de proceso bimanual Página 1 de 1

Operación: ensamble de abrazaderas de cable	Parte: SK-112	Resumen	Mano izq.	Mano der.
Nombre y número de operador: J.B. #1157		Tiempo efectivo:	3.20	13.40
Analista: G. Theuring	Fecha: 6-11-98	Tiempo inefectivo:	11.20	1.00
Método (marque con un círculo): (Actual) Propuesto		Tiempo de ciclo:	14.40 s	

Dibujo:



Nota: Canaletas de alimentación por gravedad para partes ensambladas

Descripción de mano izquierda	Símb.	Tiempo	Tiempo	Símb.	Descripción de mano derecha
Tomar perno en U (10")	AL T	1.00	1.00	AL T	Tomar abrazadera de cable (10")
Colocar perno(10")	M P	1.20	1.20	M P S	Colocar abrazadera (10")
			1.00	AL T	Tomar primera tuerca (9")
			1.20	M P	Colocar primera tuerca (9")
			3.40	U S	Correr primera tuerca
Sostener perno	SO	11.20			
			1.00	AL T	Tomar segunda tuerca (9")
			1.20	M P	Colocar segunda tuerca (9")
			3.40	U S	Correr, segunda tuerca
Botar el ensamble	M S	1.00	1.00	RI	Esperar (retraso inevitable)

Figura 4–17 Diagrama de proceso bimanual para el ensamble de abrazaderas de cable.

película o de video se pueden medir tiempos tan cortos como estos. El observador en la figura 4–17 usó un cronómetro con décimas de minuto y aproximó los tiempos individuales de los therbligs dividiendo el tiempo en intervalos iguales, excepto para S, que es cercano a cero.

Una vez registradas las actividades de ambas manos, el analista crea un resumen en la esquina inferior derecha de la hoja, que indica el tiempo de ciclo, la piezas por ciclo y el tiempo por pieza. Al terminar el diagrama de proceso bimanual para un método existente, puede determinar qué mejoras introducir. En este punto deben aplicarse varios corolarios importantes de los principios de economía del movimiento que incluyen:

1. Establecer las mejores secuencias de therbligs.
2. Investigar cualquier variación sustancial en el tiempo requerido para un therblig dado y determinar la causa.
3. Examinar y analizar dudas para determinar sus causas y eliminarlas.
4. Como meta, intentar que los ciclos y porciones de ciclos terminen en el menor tiempo posible. Estudiar las desviaciones de estos tiempos mínimos para determinar las causas.

En el ejemplo, "esperar" y "sostener" son un buen lugar para comenzar. Por ejemplo, en la figura 4–17, la mano izquierda actúa como dispositivo para sostener durante casi todo el ciclo. Esto sugiere el desarrollo de un dispositivo para sujetar el perno. Un examen más minucioso para lograr movimientos balanceados de ambas manos sugiere que cuando un dispositivo sujete los pernos, las manos derecha e izquierda podrían ensamblar una abrazadera de cable completa cada una. Si se estudia el diagrama un poco más, puede surgir la idea de introducir un expulsor automático y una canaleta de gravedad para eliminar el elemento final "botar el ensamble". También puede ayudar en el análisis el uso de la lista de verificación del análisis de therbligs (figura 4–18).

En resumen, los diagramas de proceso bimanuales son una herramienta efectiva para:

1. Balancear los movimientos de ambas manos y reducir la fatiga.
2. Reducir o eliminar los movimientos no productivos.
3. Disminuir la duración de los movimientos productivos.
4. Capacitar a nuevos operarios en el método ideal.
5. Vender el método propuesto.

TRABAJO MANUAL Y GUÍA DE DISEÑO

Aunque la automatización ha reducido en forma significativa las demandas de fuerza de las personas en el entorno industrial moderno, la fuerza muscular aún forma una parte esencial de muchas ocupaciones, en particular aquellas que involucran manejo manual de materiales (MMM) o trabajo manual. En estas actividades, el esfuerzo excesivo al mover cargas pesadas puede tensionar el sistema óseomuscular, y es la tercera causa de lesiones ocupacionales. La parte baja de la espalda se incluye en casi la cuarta parte de estas lesiones y es responsable de la cuarta parte de los costos anuales de compensación a trabajadores (National Safety Concil, 1997). Las lesiones en la espalda son en particular perjudiciales porque con frecuencia causan desórdenes permanentes, con incomodidades y limitaciones considerables para el empleado y altos gastos para el empleador (los costos directos de un caso promedio que necesita cirugía pueden exceder 60 000 dólares).

Alcanzar y mover	Sí	No
1. ¿Es posible eliminar alguno de los therbligs?	❑	❑
2. ¿Pueden acortarse las distancias con alguna ventaja?	❑	❑
3. ¿Se usan los mejores medios (bandas transportadoras, tenazas, pinzas)?	❑	❑
4. ¿Se usa el miembro del cuerpo correcto (dedos, muñecas, antebrazo, brazo, hombro)?	❑	❑
5. ¿Se puede emplear una canaleta por gravedad?	❑	❑
6. ¿Es posible efectuar los transportes con dispositivos mecánicos y operados por el pie?	❑	❑
7. ¿Se reducirá el tiempo si se transportan unidades más grandes?	❑	❑
8. ¿Aumenta el tiempo debido a la naturaleza del material que se mueve o a la posición delicada subsecuente?	❑	❑
9. ¿Pueden eliminarse cambios abruptos de dirección?	❑	❑
Tomar	**Sí**	**No**
1. ¿Es aconsejable que el operario tome más de una parte u objeto a la vez?	❑	❑
2. ¿Se puede usar un "tomar de contacto" en lugar de un "tomar de agarre"?	❑	❑
3. En otras palabras, ¿puede deslizarse el objeto en lugar de moverlo tomándolo?	❑	❑
4. Un reborde o abertura al frente de los contenedores ¿ayudaría a tomar partes pequeñas?	❑	❑
5. ¿Se pueden preposicionar las partes o herramientas para tomarlas con facilidad?	❑	❑
6. ¿Una aspiradora, un imán, un dedo de hule u otro dispositivo facilitaría el trabajo?	❑	❑
7. ¿Se puede usar un transportador?	❑	❑
8. ¿Se ha diseñado el dispositivo para que los operadores tomen la parte con facilidad al quitarla?	❑	❑
9. ¿Puede el operario anterior preposicionar la herramienta o el trabajo, para simplificar que el siguiente operario la tome?	❑	❑
10. ¿Es posible preposicionar las herramientas en una ménsula de giro?	❑	❑
11. ¿Puede cubrirse la superficie de la mesa con una capa de material de esponja para que los dedos puedan tomar partes pequeñas con mayor facilidad?	❑	❑
Soltar	**Sí**	**No**
1. ¿Puede soltarse la pieza en tránsito?	❑	❑
2. ¿Es posible utilizar un expulsor mecánico?	❑	❑
3. Los contenedores de partes ¿son del tamaño y diseño adecuado?	❑	❑
4. Al final del therblig soltar, ¿están las manos en la posición más ventajosa para el siguiente therblig?	❑	❑
5. ¿Pueden soltarse varias unidades a la vez?	❑	❑
Preposicionar	**Sí**	**No**
1. ¿Puede un dispositivo de sujeción en la estación de trabajo mantener las herramientas en la posición adecuada y las manijas hacia arriba?	❑	❑
2. ¿Es posible tener las herramientas suspendidas?	❑	❑
3. ¿Puede usarse una guía?	❑	❑
4. ¿Puede usarse un carrusel?	❑	❑
5. ¿Puede usarse un dispositivo de almacenamiento?	❑	❑
6. ¿Puede usarse un dispositivo giratorio?	❑	❑
Usar	**Sí**	**No**
1. ¿Puede usarse un dispositivo?	❑	❑
2. ¿La actividad justifica el uso de equipo mecanizado o automático?	❑	❑
3. ¿Sería práctico hacer el ensamble en unidades múltiples?	❑	❑
4. ¿Puede usarse una herramienta más eficiente?	❑	❑
5. ¿Pueden usarse retenes?	❑	❑
6. ¿Se opera la herramienta a la velocidad y alimentación más adecuadas?	❑	❑
7. ¿Debe emplearse una herramienta eléctrica?	❑	❑

Figura 4–18 Lista de verificación de therbligs.

GASTO DE ENERGÍA Y GUÍA DE CARGAS DE TRABAJO

El proceso de contracción muscular requiere energía. La molécula llamada *trifosfato de adenosina* (ATP) es la fuente de energía inmediata, que interactúa físicamente con el puente cruzado de proteínas cuando se rompe uno de los enlaces de fosfatos ATP de alta energía. Esta fuente es muy limitada, dura sólo unos segundos y el ATP debe reabaste-

Buscar	Sí	No
1. ¿Están bien identificados los artículos?	❑	❑
2. ¿Se pueden usar etiquetas o colores?	❑	❑
3. ¿Es posible usar contenedores transparentes?	❑	❑
4. ¿Una mejor distribución de la estación de trabajo eliminaría buscar?	❑	❑
5. ¿Se usa la iluminación adecuada?	❑	❑
6. ¿Pueden preposicionarse las partes y herramientas?	❑	❑
Seleccionar	Sí	No
1. ¿Son intercambiables las partes comunes?	❑	❑
2. ¿Pueden estadarizarse las herramientas?	❑	❑
3. ¿Se almacenan partes y materiales en el mismo contenedor?	❑	❑
4. ¿Es posible preposicionar las partes en una rejilla o bandeja	❑	❑
Posicionar	Sí	No
1. ¿Pueden usarse dispositivos como guías, embudos, canaletas, retenes, ménsulas giratorias, espigas, rebajes, cuñas o chaflanes?	❑	❑
2. ¿Es posible cambiar las tolerancias?	❑	❑
3. ¿Puede ensancharse o abocardarse el agujero?	❑	❑
4. ¿Puede usarse una plantilla?	❑	❑
5. ¿Las arandelas aumentan el problema de posicionamiento?		
6. ¿Puede el artículo ser puntiagudo para que actúe como espiga?		
Inspeccionar	Sí	No
1. ¿Puede eliminarse la inspección o combinarse con otra operación o therblig?	❑	❑
2. ¿Pueden usarse calibradores o pruebas múltiples?	❑	❑
3. ¿Se reduciría el tiempo de inspección con más iluminación?	❑	❑
4. ¿Están los artículos inspeccionados a la distancia correcta del ojo del trabajador?	❑	❑
5. ¿Una luz directa acentuaría los defectos y facilitaría la inspección?	❑	❑
6. ¿Sería útil un sensor eléctrico?	❑	❑
7. ¿Justifica el volumen una inspección electrónica automática?	❑	❑
8. ¿Facilitaría una lupa la inspección de partes pequeñas?	❑	❑
9. ¿Se usa el mejor método de inspección?	❑	❑
10. ¿Se han considerado luz polarizada, plantillas, pruebas de sonido, pruebas de desempeño, etcétera?	❑	❑
Descanso para contrarrestar fatiga	Sí	No
1. ¿Se usa la mejor clasificación del orden de los músculos?	❑	❑
2. ¿Son satisfactorios temperatura, humedad, ventilación, ruido y otras condiciones de trabajo?	❑	❑
3. ¿Los bancos tienen la altura apropiada?	❑	❑
4. ¿Puede el operario alternar entre estar de pie y sentado mientras realiza el trabajo?	❑	❑
5. ¿Tiene el operario una silla adecuada de la altura correcta?	❑	❑
6. ¿Se usan medios mecánicos para mover las cargas pesadas?	❑	❑
7. ¿Está consciente el operario de sus requerimientos calóricos promedio diarios?	❑	❑
Sostener	Sí	No
1. ¿Puede usarse un dispositivo mecánico como prensa de tornillo, espiga, gancho, rejilla, abrazadera o aspiradora?	❑	❑
2. ¿Se puede usar fricción?	❑	❑
3. ¿Es posible usar un dispositivo magnético?	❑	❑
4. ¿Debe emplearse un dispositivo de sujeción doble?	❑	❑

Figura 4–18 (continuación)

cerse de inmediato a partir de otra molécula de *fosfato de creatina* (CP). La fuente de CP también es limitada, con duración menor a un minuto (vea la figura 4-19), y, en última instancia, de regenerarse al metabolizar los alimentos básicos ingeridos: carbohidratos, grasas y proteínas. Este metabolismo puede ocurrir en dos modos diferentes: *aeróbico*, que requiere oxígeno y *anaeróbico*, que no usa oxígeno. El metabolismo ae-

róbico es mucho más eficiente, ya que genera 38 ATP por cada molécula de *glucosa* (unidad básica de los carbohidratos), pero es relativamente lento. El metabolismo anaeróbico es muy ineficiente, pues produce sólo 2 ATP por cada molécula de glucosa, pero es mucho más rápido. Además sólo ocurre una separación parcial de la molécula de glucosa en dos moléculas de lactato que, en el entorno acuoso del cuerpo, forman *ácido láctico*, un correlativo directo de la fatiga. Así, durante los primeros minutos de trabajo pesado, las fuentes de energía ATP y CP se agotan muy rápido y el metabolismo anaeróbico debe regenerar las existencias de ATP. Con el tiempo, cuando el trabajador alcanza un estado estable, el metabolismo aeróbico se nivela y mantiene la producción de energía, mientras que el metabolismo anaeróbico se hace más lento. Si hace un calentamiento e inicia el trabajo pesado despacio, el trabajador puede minimizar la cantidad de metabolismo anaeróbico y la producción consecuente de ácido láctico asociado con la sensación de cansancio. Este retraso del metabolismo aeróbico completo se conoce como *déficit de oxígeno* y debe compensarse en algún momento por *la deuda de oxígeno* de un periodo de enfriamiento, que siempre es mayor que el déficit de oxígeno.

La energía gastada en la tarea se puede estimar si se supone que la mayor parte se produce por medio del metabolismo aeróbico y se mide con la cantidad de oxígeno que se consume. La cantidad de aire inhalado se determina con un medidor de flujo y la suposición de que contiene 21% de oxígeno. Sin embargo, el cuerpo no lo utiliza todo; por lo tanto, el oxígeno expirado también debe medirse. Por lo común, el volumen de aire inspirado y expirado es el mismo y sólo debe encontrarse el porcentaje expirado con un medidor de oxígeno. Se incluye un factor de conversión para una dieta típica en la que

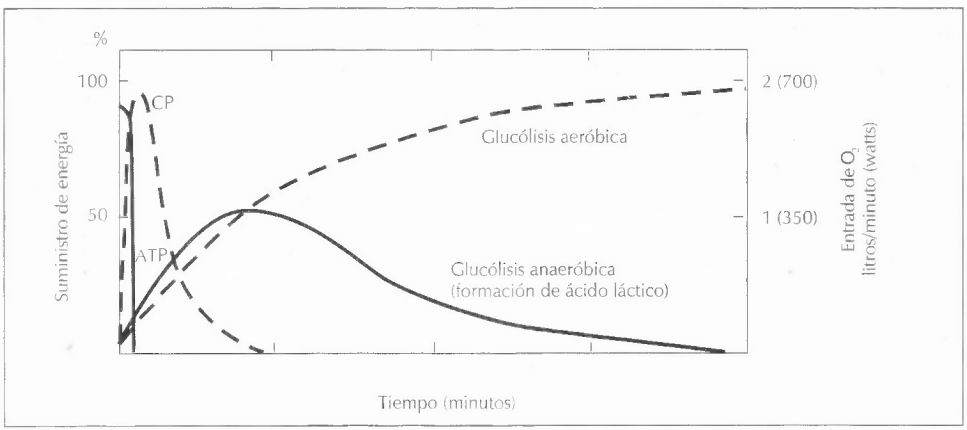


Figura 4–19 Fuentes de energía durante los primeros minutos de trabajo pesado moderado. *Las existencias de fosfatos altamente energéticos (ATP y CP) proporcionan la mayor parte de la energía durante los primeros segundos de trabajo. La glucólisis anaeróbica proporciona cada vez menos cantidad de la energía requerida al aumentar la duración del trabajo, y el metabolismo aeróbico lo suple.* (*Tomado de:* Sander y McCormick, 1993. Reproducido con permiso de The McGraw-Hill Companies.)

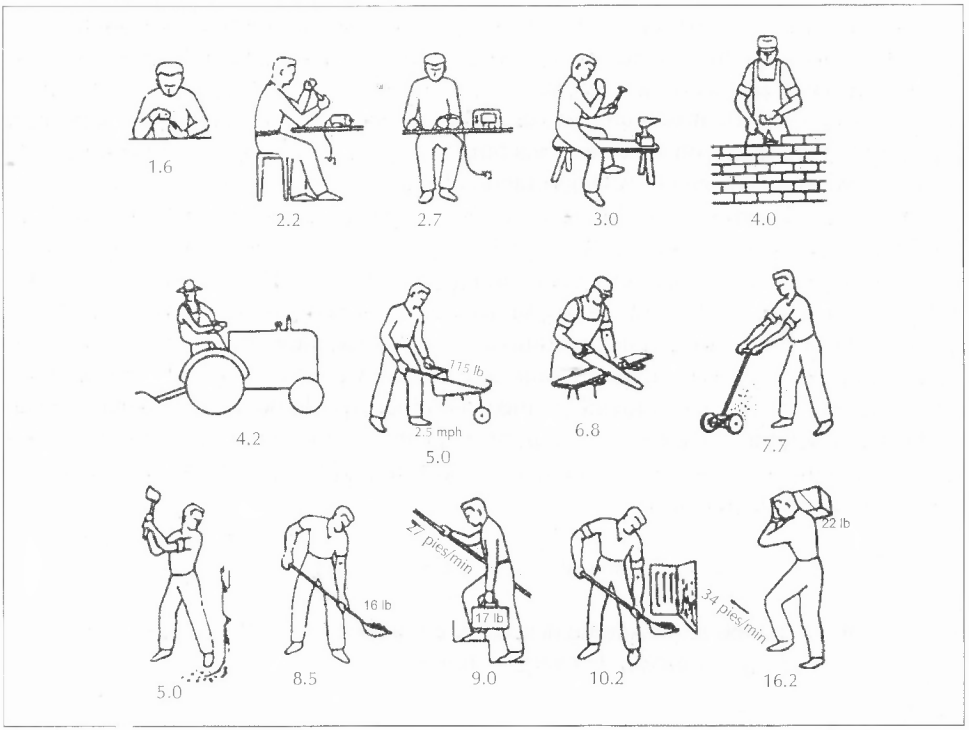


Figura 4–20 Ejemplos de costos de energía de varios tipos de actividad humana. Los costos de energía están dados en kilocalorías por minuto. (*Tomado de:* Sanders & McCormick, 1993. Reproducido con permiso de The McGraw-Hill Companies.)

se producen de 4.9 kcal (19.6 BTU) de energía por cada litro de oxígeno usado en el metabolismo.

$$\dot{E}(\text{kcal} / \text{min}) = 4.9 * V(0.21 - E_{O_2})$$

donde: $\dot{E}$ = gasto de energía (kcal/min),
V = volumen de aire inspirado (litros/min),
E_{O_2} = fracción de oxígeno (O_2) en el aire expirado (en general, 0.16-0.18).

La energía gastada en una tarea varía según el tipo de tarea que se realiza, la postura mantenida durante la misma y el tipo de carga. Se han recolectado datos de gasto de energía en varios cientos de tipos diferentes de tareas; la figura 4–20 resume las más comunes. En el caso del manejo de materiales, la forma en que se lleva la carga es lo más crítico, donde los costos de energía más bajos se obtienen con cargas balanceadas sostenidas cerca del centro de gravedad del cuerpo que tiene el grupo de músculos más grandes. Por ejemplo, una mochila de espalda soportada por los músculos del tronco es

menos demandante que sostener el mismo peso en dos maletas, una en cada brazo. Aunque balanceada, esta última situación coloca el peso lejos del centro de gravedad y en los músculos más pequeños de los brazos. La postura también es muy importante, cuando cuentan con soporte tienen un gasto de energía mucho menor. Entonces, una postura con el tronco inclinado sin soporte de los brazos gastará el doble de energía que una de rodillas con las manos en el piso soportando el tronco.

Blink (1962) propuso un límite aceptable de gasto de energía de 5.33 kcal/min (21.3 BTU/min) para un día de trabajo de 8 horas. Este número corresponde a *un tercio del gasto máximo de energía* del hombre promedio en Estados Unidos [para mujeres sería ⅓ 12 = 4 kcal/min (16 BTU/min)]. Si la carga completa es demasiado alta (esto es, si excede los límites recomendados), quizá no sea suficiente el metabolismo aeróbico para proporcionar todos los requerimientos de energía y es posible que el trabajador necesite mayores cantidades de metabolismo anaeróbico, que lo llevará a la generación de ácido láctico y fatiga. Después deberá permitirse una recuperación suficiente al cuerpo para que elimine el cansancio y recicle el ácido láctico. Murrell (1965) desarrolló una guía de holguras de descanso:

$$R = (W - 5.33)/(W - 1.33)$$

donde: R = tiempo requerido de descanso, como porcentaje del tiempo total,
W = gasto promedio de energía durante el trabajo (kcal/min).

El valor de 1.33 kcal/min (5.3 BTU/min) es el gasto de energía durante el reposo. Considere una tarea extenuante de palear carbón a una tolva que tiene un gasto de energía de 9.33 kcal/min (37.3 BTU/min). Al sustituir W = 9.33 en la ecuación, se obtiene R = 0.5. Así, para proporcionar un tiempo adecuado de recuperación de la fatiga, el trabajador necesita la mitad de un turno de 8 horas o 4 horas de descanso.

La manera en que se asigna el descanso también es importante. No tiene sentido que un trabajador realice tareas durante 4 horas seguidas a una tasa de 9.33 kcal/min (37.3 BTU/min), llegue a la fatiga extrema y después descanse 4 horas. En general, la duración del ciclo de trabajo es el determinante principal de la fatiga acumulada. En el trabajo pesado, el flujo de sangre tiende a obstruirse, lo que acelera aún más el uso de la trayectoria anaeróbica. Además, el proceso de recuperación tiende a ser exponencial, donde los últimos periodos proporcionan beneficios incrementales mínimos. Por tanto, los periodos cortos (alrededor de ½ – 1 minuto) de trabajo pesado alternados con periodos cortos de descanso proporcionan el máximo beneficio. Durante periodos de ½ – 1 minuto, las fuentes de energía inmediatas de ATP y CP se agotan, pero también se reabastecen con rapidez. Una vez acumulado el ácido láctico en periodos más largos, es más difícil eliminarlo. Las micropausas de 1-3 segundos también son útiles para purgar cualquier oclusión en vasos sanguíneos, y los descansos activos, cuando el trabajador usa las manos u otros músculos , sirven para aliviar los músculos fatigados. Por otro lado, es mejor que los trabajadores decidan cuándo descansar, siempre que sientan que necesitan el descanso (paso individual), en lugar de los prescritos (paso de la máquina). En resumen, se recomienda altamente el uso de ciclos de trabajo/descanso cortos y frecuentes.

GUÍA DE LA FRECUENCIA CARDIACA

Por desgracia, la medición del consumo de oxígeno y el cálculo del gasto de energía son costosos y problemáticos en una situación de trabajo industrial. El equipo cuesta varios cientos de miles de dólares e interfiere con el trabajador para realizar su trabajo. Una medida indirecta alternativa del gasto de energía es el nivel de la frecuencia cardiaca. Como el corazón bombea la sangre que lleva oxígeno a los músculos que trabajan, cuanto más alto sea el gasto de energía, mayor será la frecuencia cardiaca correspondiente (figura 4–21). El instrumental necesario para medir la frecuencia cardiaca es de bajo costo (menos de 100 dólares con lectura visual, varios cientos de dólares con interfaz a la computadora) e interfiere poco (los atletas lo usan para supervisar su desempeño). Por otro lado, el analista debe tener cuidado ya que la medición de la frecuencia cardiaca es más apropiada para trabajo dinámico que involucra a los músculos grandes a niveles relativamente altos (40% del máximo) y puede variar mucho entre individuos, según su condición física y edad. Además, la frecuencia cardiaca se puede confundir con otras causas de estrés que incluyen calor, humedad, nivel emocional y tensión mental. Si se limitan estas influencias externas se obtendrán mejores estimaciones de la carga de trabajo físico. Sin embargo, si la meta es obtener el estrés global del trabajador en el trabajo, esto tal vez no sea necesario.

Una metodología para interpretar la frecuencia cardiaca fue propuesta por varios investigadores alemanes (citados en Grandjean, 1988). La frecuencia cardiaca promedio en el trabajo se compara con la frecuencia cardiaca en descanso, donde se propone que un incremento aceptable es 40 pulsaciones/minuto. Éste coincide con los límites de gasto de energía recomendados. El incremento promedio en la frecuencia cardiaca por aumento en gasto de energía para trabajo dinámico (es decir, la pendiente en la figura 4–21) es 10 pulsaciones/min por 1 kcal/min. Así, una carga de trabajo de 5.33 kcal/min (4 kcal/min más alta que el nivel de 1.33 kcal/min) produce un aumento a 40 pulsacio-

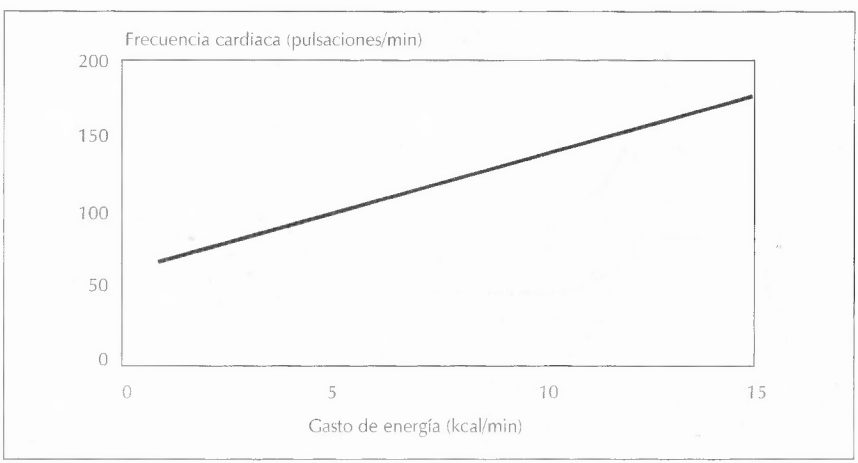


Figura 4–21 Incremento lineal en la frecuencia cardiaca con la carga de trabajo físico, medida por el gasto de energía.

nes/min en la frecuencia cardiaca, que es el límite para una carga de trabajo aceptable. Este valor es cercano al índice de recuperación presentado por Brouha (1967).

La frecuencia cardiaca promedio se mide en dos periodos durante la recuperación al dejar de trabajar (figura 4–22): 1) entre ½ y 1 minuto después de dejar de trabajar y 2) entre 2 ½ y 3 minutos después. La tasa de recuperación de la frecuencia cardiaca (y por lo tanto la carga de trabajo aceptable) ocurre si la primera lectura no excede 110 pulsaciones/min y la diferencia entre las dos lecturas es mayor o igual a 20 pulsaciones. Dada una frecuencia cardiaca típica de 72 pulsaciones/min, un incremento aceptable de 40 pulsaciones/min lleva a una frecuencia en el trabajo de 112 pulsaciones/min, que es muy cercana al primer criterio de Brouha.

Como nota final sobre frecuencia cardiaca, es muy importante observar el curso de las pulsaciones durante las horas de trabajo. Un incremento en la frecuencia cardiaca durante el estado estable del trabajo (figura 4–22), llamado *frecuencia cardiaca pico*, indica la acumulación de fatiga y una recuperación insuficiente durante el descanso (Brouha, 1967). Es muy probable que esta fatiga se deba a la carga de trabajo físico, pero también puede ocasionarla el calor o la tensión mental, y una mayor proporción de trabajo estático que dinámico. De cualquier manera, debe evitarse proporcionando descanso adicional.

EVALUACIÓN SUBJETIVA DEL ESFUERZO PERCIBIDO

Un enfoque mucho más sencillo para estimar la carga de trabajo y el estrés en el trabajador es la *evaluación subjetiva del esfuerzo percibido*. Esto puede sustituir el equipo costoso y problemático requerido para la medición física con la sencillez de una evaluación verbal. Borg (1967) desarrolló la escala más conocida para calificar el esfuerzo percibido durante las actividades dinámicas de todo el cuerpo —llamada *escala de evaluación del esfuerzo percibido de Borg (EEP)*—. La escala se construye de forma que las calificaciones de 6 a 20 están en correspondencia directa con la frecuencia cardiaca

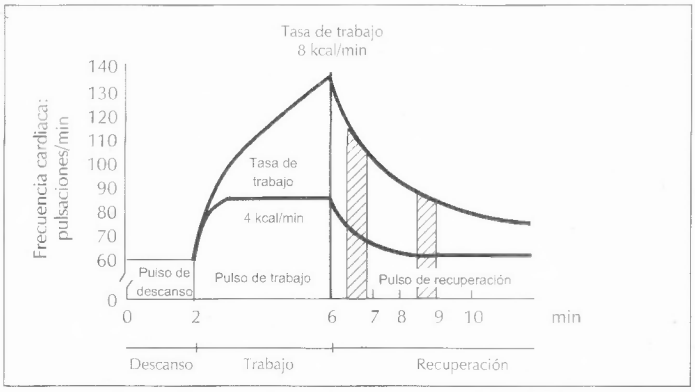


Figura 4–22 Frecuencia cardiaca para dos cargas de trabajo distintas. *La tasa de trabajo de 8 kcal/min muestra la frecuencia cardiaca pico. Los dos periodos marcados se usan en el criterio de Brouha.*

Tabla 4–6 Escala EEP de Borg con palabras clave

Calificación	Palabra clave
6	Ningún esfuerzo
7	Extremadamente ligero
8	
9	Muy ligero
10	
11	Ligero
12	
13	Un poco fuerte
14	
15	Fuerte
16	
17	Muy fuerte
18	
19	Extremadamente fuerte
20	Esfuerzo máximo

esperada (dividida entre 10) para el nivel de esfuerzo (tabla 4–6). Se proporcionan palabras clave que ayudan al trabajador en su evaluación. Entonces, para asegurar una tasa aceptable de recuperación de frecuencia cardiaca, basada en la guía anterior, la escala de Borg quizá no deba exceder una frecuencia de 11.

Observe que la evaluación, al ser subjetiva, puede estar afectada por la experiencia previa y el nivel de motivación del individuo. Por lo tanto, debe usarse con cuidado y tal vez deba normalizarse para cada evaluación máxima individual.

FUERZAS DE COMPRESIÓN EN LA ESPALDA BAJA

La espina de los humanos adultos, o columna vertebral, es un ensamble en forma de S de 25 huesos separados (*vértebras*) divididos en cuatro regiones principales: 7 vértebras *cervicales* en el cuello, 12 *torácicas* en la espalda alta, 5 *lumbares* en la espalda baja y la sacra en el área de la pelvis (figura 4–23). Los huesos tienen un cuerpo cilíndrico con varias protuberancias óseas que emanan de la parte de atrás y que sirven de sujetadores para los músculos posteriores, la *espina erectora*. Por el centro de cada vértebra se encuentra una abertura que contiene y protege la médula espinal que va del cerebro al final de la columna vertebral (figura 4–24). En varios puntos del camino, el nervio espinal se bifurca y se separa de la médula espinal para pasar entre las vértebras y llegar a las extremidades, el corazón, los órganos y otras partes del cuerpo.

Los huesos de la vértebras se separan por un tejido más suave, los *discos*. Éstos sirven como coyunturas que permiten un rango amplio de movimiento en la espina, aunque la mayor parte de la flexión del tronco ocurre en las dos coyunturas inferiores, la que está en el límite entre la vértebra lumbar y la sacra (llamado disco L_5/S_1, donde la numeración de las vértebras es de arriba hacia abajo por región), y la siguiente hacia arriba (disco L_4/L_5). Los discos también actúan como colchón entre los huesos de las

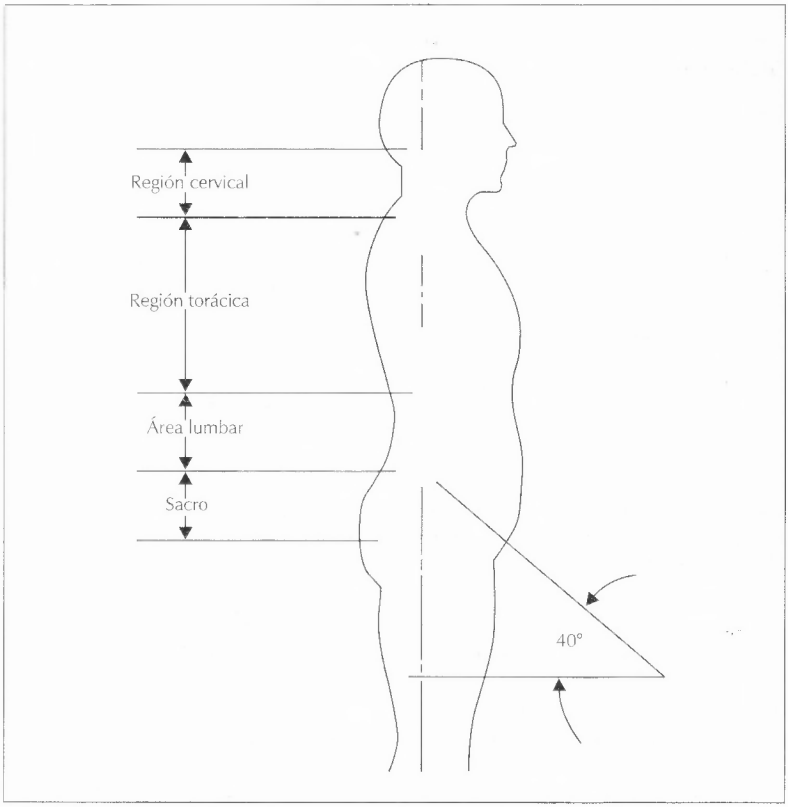


Figura 4–23 Anatomía de la espina humana.
(*Tomado de:* Rowe, 1983.)

vértebras y, junto con la espina en forma de S, ayudan a proteger la cabeza y el cerebro del impacto de caminar, correr brincar, etcétera. Los discos se componen de un centro gelatinoso rodeado por capas de fibras como una cebolla, separados del hueso por una placa final de cartílago. Ocurre un movimiento considerable de fluidos entre el centro y los tejidos que lo rodean, según la presión sobre el disco. En consecuencia, la longitud de la columna vertebral (medida por el cambio en la estatura global) puede cambiar de ½ a 1 pulgada (1.3-2.5 cm) en el curso del trabajo de un día y en ocasiones se usa como una medida independiente de la carga de trabajo física del individuo. (Es interesante saber que los astronautas en el espacio, sin los efectos de la gravedad pueden ser hasta dos pulgadas más altos.)

Por desgracia, debido a los efectos combinados de la edad y la exposición a trabajo pesado (es difícil separar estos efectos), los discos pueden debilitarse con el tiempo. Algunas fibras de la cubierta se desgastan o la placa final del cartílago sufre microfrac-

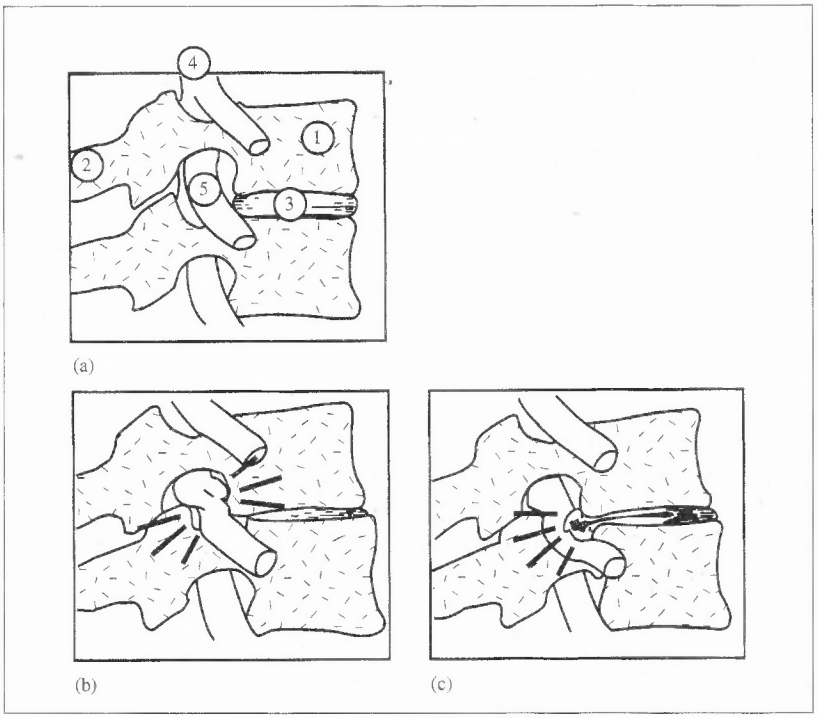


Figura 4–24 Anatomía de una vértebra y el proceso de degeneración de discos.
a) Estado normal: (1) cuerpo de la vértebra, (2) protuberancia de la espina, sirve como punto de sujeción del músculo, 3) disco intervertebral, (4) médula espinal, (5) raíz del nervio. b) El espacio del disco se hace más angosto y permite que se pellizque la raíz del nervio.c) Disco herniado, permite que se expulse material gelatinoso e impregne la raíz del nervio.
(*Adaptado de:* Rowe, 1983.)

turas, lo que deja salir parte del material gelatinoso, reduce las presiones internas y permite que el centro comience a secarse. En consecuencia, el espacio para los discos se reduce y las vértebras se acercan y eventualmente se tocan, lo que causa irritación y dolor. Peor aún, las raíces de los nervios quedan vulnerables y puede haber dolor e incapacidad motora y sensorial. Conforme las fibras pierden su integridad, los huesos de las vértebras pueden correrse y ocasionar presión desigual en los discos y más dolor. En casos extremos, conocidos como *discos herniados* o *discos desviados*, las cubiertas de fibra, se llegan a romper, permiten la extrusión de grandes cantidades de la sustancia gelatinosa y dañan aún más las raíces de los nervios (figura 4–24c).

Las causas de problemas en la espalda baja no siempre se identifican con facilidad. Igual que en muchas enfermedades ocupacionales, influyen factores de trabajo e individuales. Los últimos incluyen predisposiciones genéticas a tejidos, discos o ligamentos

débiles, y condiciones personales de estilo de vida, como fumar y obesidad, sobre los cuales el ingeniero industrial no tiene control. Sólo puede hacer cambios en los factores de trabajo. Aunque es fácil confundir los datos epidemiológicos con los efectos sobre la población sobreviviente o los mecanismos compensatorios individuales, se ha demostrado con estadísticas que el trabajo pesado conduce a un incremento en los problemas de espalda baja. Este trabajo incluye más que el levantamiento frecuente de cargas grandes; también abarca posturas estáticas con el tronco inclinado durante periodos prolongados. Los periodos largos de inmovilidad, aún sentado, y las vibraciones de todo el cuerpo son factores que contribuyen. Así, los científicos han asociado la acumulación de presión en los discos altos con fallas eventuales de los mismos y han recurrido a cálculos o estimaciones de las fuerzas de compresión sobre los discos con medidas de presión intrabdominal o medidas directas internas en los discos, ninguna de las cuales es práctica para la industria.

Una analogía global pero útil (figura 4–25) considera un diagrama de cuerpo libre del disco L_5/S_1 (donde ocurre la mayor parte de las flexiones del tronco y los discos herniados) y modela las componentes como una palanca de clase uno, con el centro en el disco que actúa como fulcro (o cuña). La carga que actúa a través de un brazo determinada por la distancia del centro de las manos al centro del disco crea un momento en el sentido de las manecillas de reloj, mientras que el músculo erector de la espina se modela como una fuerza que actúa hacia abajo a través de un brazo muy pequeño [cerca de 2 pulg (5 cm)], y crea un momento en el sentido contrario a las manecillas del reloj, apenas suficiente para mantener el equilibrio. Entonces, los dos momentos deben ser iguales, y se puede calcular la fuerza interna sobre el músculo erector de la espina:

$$2 \times F_M = 30 \times 50$$

donde: F_M = fuerza del músculo.

Entonces F_M es igual a 1500/2 o 750 lbs (341 kg). Al despejar la fuerza total de compresión (F_{COMP}) ejercida sobre el disco se obtiene:

$$F_{COMP} = F_M + 50 = 800$$

La fuerza de compresión de los discos de 800 lbs (364 kg) es una carga considerable que puede ocasionar lesiones a ciertos individuos.

Observe que esta sencilla analogía no toma en cuenta la desviación de los discos, el peso de los segmentos del cuerpo, los puntos de acción múltiples de las componentes de la espina erectora y otros factores, y quizá la predicción de las fuerzas en extremo altas que se ejercen en la espalda baja se quede corta. En la figura 4–26 se presentan valores más exactos de varias cargas y las distancias horizontales. Debido a la gran variación individual en los niveles de fuerza que causan fallas en los discos, NIOSH (1981) recomienda que una fuerza de 770 lbs (350 kg) se considere peligrosa.

Los cálculos manuales de las fuerzas de compresión por medio de modelado biomédico son tardados y han llevado al desarrollo de varios modelos computarizados. Los más conocidos son los "modelos de predicción de fuerza estática 3-D" (3-D Static Strength Prediction Models) y el sistema Vision 3000, que además permite al analista

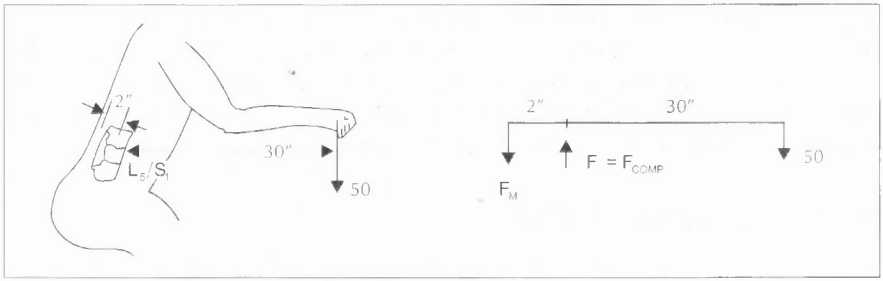


Figura 4–25 Fuerzas de compresión en la espalda modeladas como una palanca de clase uno. (*Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993.)

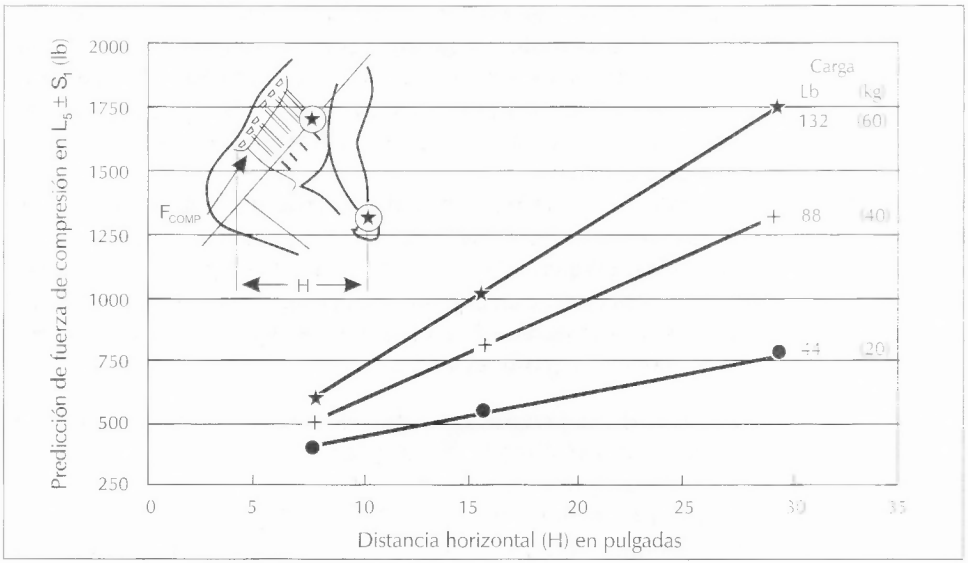


Figura 4–26 Efecto del peso de la carga y la distancia horizontal entre el centro de gravedad de la carga y el disco L_5/S_1 sobre la fuerza de compresión en ese disco. (*Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993.)

captar posturas de interés en un videocasete. Los datos de las coyunturas se ligan en forma directa con el modelo de predicción 3-D para un análisis más profundo. Es interesante observar que este sistema puede compararse con las olvidadas técnicas cronocicloográficas de los Gilbreth (vea el capítulo 1), que dan al analista la oportunidad de estudiar con más detalle patrones de movimiento. Esta característica es útil para determinar la frecuencia y amplitud de movimiento para actividades repetitivas, a fin de evaluar el riesgo de desórdenes óseomusculares relacionados con el trabajo (vea el capítulo 5).

Observe que aunque tal vez los discos herniados sean las lesiones de espalda más severas, existen otros problemas, como lesiones de tejidos suaves que incluyan ligamentos, músculos y tendones. Éstas quizá sean más comunes, manifestadas por el dolor

de espalda que muchos asocian con el trabajo manual. Es posible que este dolor, aunque incómodo, desaparezca en varios días con un descanso moderado. Los médicos ahora recomiendan actividad diaria moderada para acelerar la recuperación, en lugar del tradicional reposo completo. Además, los investigadores comienzan a incorporar las componentes de tejido suave en los modelos de creciente complejidad.

GUÍA DE LEVANTAMIENTO NIOSH

Al reconocer e intentar controlar el creciente problema de lesiones en la espalda relacionadas con el trabajo, el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) emite lo que se conoce como *guía de levantamiento NIOSH* (NIOSH, 1981). La guía fue desarrollada por un grupo de científicos e ingenieros que tomaron en cuenta factores biomecánicos, fisiológicos, psicofísicos y epidemiológicos para lesiones por esfuerzo excesivo debidas a demandas de trabajo que exceden la capacidad del trabajador. La comunidad científica ha aceptado la guía de levantamiento NIOSH, recomendada por el Consejo Nacional de Seguridad y OSHA que utiliza en sus inspecciones del lugar de trabajo. Aunque sólo es una guía, OSHA emite citatorios basados en ella a través de la cláusula de deberes generales.

La guía se actualizó hace poco con los últimos datos epidemiológicos y características adicionales para incrementar su versatilidad. Con esto se publicó la *ecuación revisada de levantamiento NIOSH* (Waters *et al.*, 1994) y el límite de peso recomendado (LPR). El LPR se basa en el concepto de un peso óptimo, con ajustes por varios factores relacionados con las variables de las tareas. El LPR se estableció de tal manera que casi todas las personas deben poder manejarlo, es decir:

1. La mayoría de los trabajadores jóvenes sanos pueden tolerar la fuerza de compresión de 770 lb (350 kg) sobre el disco L_5/S_1 creada por el LPR.
2. Más de 75% de las mujeres y más de 99% de los hombres tienen la capacidad de fuerza para levantar una carga descrita por el LPR.
3. El gasto máximo de energía resultante de 4.7 kcal/min (18.8 BTU/min) no excede los límites recomendados.

Una vez que se excede el LPR, aumentan de manera considerable las tasas de lesiones óseomusculares y su severidad. La formulación del LPR se basa en una carga máxima que se maneja en una postura óptima. Si ésta se desvía de la óptima, los ajustes en los distintos factores de las tareas, en forma de multiplicadores, disminuyen la carga aceptable.

$$LPR = CC * MH * MV * MD * MA * MF * MC$$

donde: CC = constante de carga = 51 lbs,
MH = multiplicador horizontal = 10/H,
MV = multiplicador vertical = $1 - 0.0075|V - 30|$,
MD = multiplicador de distancia = $0.82 + 1.8/D$,
MA = multiplicador de asimetría = $1 - 0.0032*A$,
MF = multiplicador de frecuencia de la tabla 4–7,

MC = multiplicador de acoplamiento de la tabla 4-8,
H = localización horizontal de la carga cg hacia adelante del punto medio entre los tobillos, $10 \leq H \leq 25$ pulgadas,
V = localización vertical de la carga cg, $0 \leq V \leq 70$ pulgadas,
D = Distancia vertical recorrida entre el origen y el destino del levantamiento, $10 \leq D \leq 70$ pulgadas,
A = ángulo de asimetría entre manos y pies (grados), $0° \leq A \leq 135°$.

De manera más sencilla:

$$LPR\ (lb) = 51\ (10/H)\ (1 - 0.0075|V - 30|)\ (0.82 + 1.8/D)\ (1 - 0.0032A) \times MF \times MC$$

Observe que estos multiplicadores van de un valor mínimo de cero para posturas extremas a un máximo de 1 para la postura con condición óptima. La tabla 4–7 proporciona los multiplicadores de frecuencia para tres duraciones de trabajo diferentes y para frecuencias que varían de 0.2/min a 15/min. La duración del trabajo se divide en tres categorías:

1. Duración corta. Una hora o menos seguida de un tiempo de recuperación igual a 0.2 veces el tiempo de trabajo. (Así, aunque un individuo trabaje tres periodos de

Tabla 4–7 Tabla de multiplicadores de frecuencia (MF)

Frecuencia levantamientos/ min (F)‡	Duración del trabajo					
	≤ 1 hora		> 1 pero ≤ 2 horas		> 2 pero ≤ 8 horas	
	V < 30†	V ≥ 30	V < 30	V ≥ 30	V < 30	V ≥ 30
≤ 0.2	1.00	1.00	0.95	0.95	0.85	0.85
0.5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.81	0.81
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	*0.91*	*0.91*	*0.84*	*0.84*	*0.65*	*0.65*
3	*0.88*	*0.88*	*0.79*	*0.79*	*0.55*	*0.55*
4	*0.84*	*0.84*	*0.72*	*0.72*	*0.45*	*0.45*
5	0.80	0.80	0.60	0.60	0.35	0.35
6	0.75	0.75	0.50	0.50	0.27	0.27
7	0.70	0.70	0.42	0.42	0.22	0.22
8	0.60	0.60	0.35	0.35	0.18	0.18
9	0.52	0.52	0.30	0.30	0.00	0.15
10	0.45	0.45	0.26	0.26	0.00	0.13
11	0.41	0.41	0.00	0.23	0.00	0.00
12	0.37	0.37	0.00	0.21	0.00	0.00
13	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
> 15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

†Los valores de V están en pulgadas
‡Para levantamientos menos frecuentes que una vez cada 5 minutos, F = 0.2 levantamientos/min

Tabla 4-8 Multiplicadores de acoplamiento

Tipo de acoplamiento	Multiplicador de acoplamiento	
	V < 30 pulgadas (75 cm)	V ≥ 30 pulgadas (75 cm)
Bueno	1.00	1.00
Regular	0.95	1.00
Malo	0.90	0.90

1 hora, siempre que se alternen con periodos de recuperación de 1.2 horas, el trabajo total se considera de duración corta.

2. Duración moderada. Entre 1 y 2 horas de trabajo seguidos de periodos de recuperación de al menos 0.3 veces el tiempo de trabajo.
3. Duración larga. Cualquiera mayor que 2 horas pero menor que 8.

Los multiplicadores de acoplamiento dependen de la naturaleza de la interacción mano-objeto. En general, una buena interacción o sujeción reducirá las fuerzas máximas de agarre requeridas y aumentará el peso aceptable para el levantamiento. Por otro lado, una interacción mala requiere grandes fuerzas de agarre para sujetar y disminuye el peso aceptable. En la guía de NIOSH se usan tres clases de acoplamiento: bueno, regular y malo.

Un buen acoplamiento se logra si el contenedor tiene un diseño óptimo, como cajas y contenedores con manijas adecuadas o cortes para sostener. Un contenedor óptimo tiene una textura suave, que no se resbala, es < 16 pulgadas (40 cm) en dirección horizontal y < 12 pulgadas (30 cm) de alto. Una manija óptima es cilíndrica, con superficie suave no resbalosa, de 0.75-1.5 pulgadas (1.9-3.8 cm) de diámetro, > 4.5 pulgadas (11.3 cm) de largo y con 2 pulgadas (5 cm) de hueco. Si se trata de partes sueltas u objetos irregulares que no están en contenedores, un buen acoplamiento consiste en un agarre cómodo en el que la mano envuelve el objeto de manera confortable sin grandes desviaciones de las muñecas (como en el caso de partes pequeñas en *tomar fuerte*).

Un acoplamiento regular resulta en una interacción menor que la óptima debida a manijas o cortes no óptimos. Con contenedores de diseño óptimo sin manijas o cortes, o con partes sueltas, se obtiene un acoplamiento regular si la mano no puede envolver todo y se flexiona sólo a 90°. Esto ocurre en la mayor parte de las cajas de empaques industriales.

Un acoplamiento malo es el resultado de contenedores con diseño que no es óptimo sin manijas ni cortes, o de piezas sueltas voluminosas o de difícil manejo. Cualquier contenedor con superficies ásperas o resbalosas, orillas filosas, centro de gravedad asimétrico o contenido inestable, o uno que requiera guantes, por definición, dará como resultado un acoplamiento malo. El árbol de decisión mostrado en la figura 4–27 puede ser útil para ayudar en la clasificación de los acoplamientos.

Los multiplicadores de cada variable actúan como herramientas de diseño sencillas para un rediseño del trabajo bastante directo. Por ejemplo, si MH = 0.4, se pierde 60%

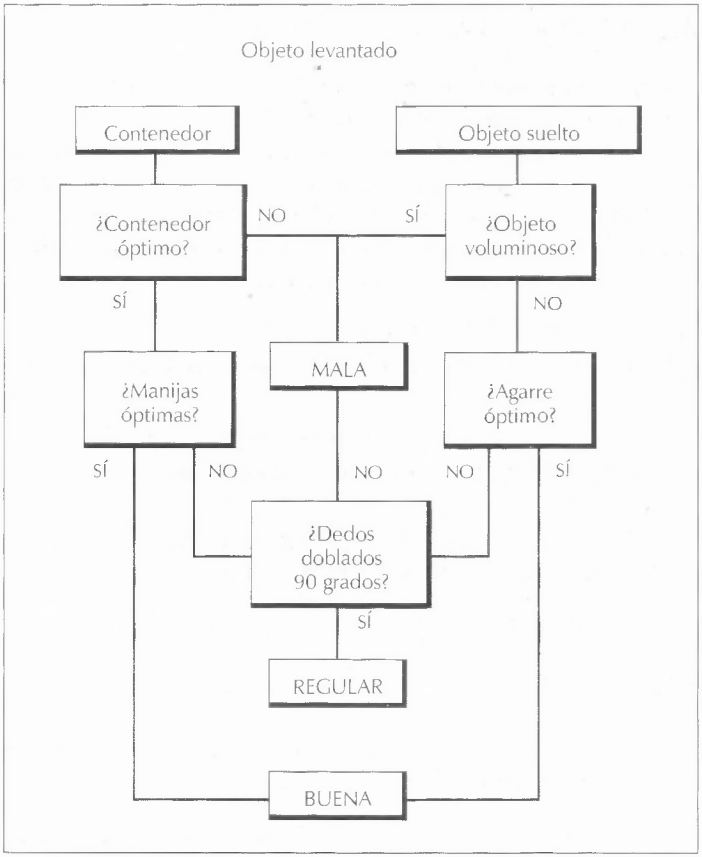


Figura 4–27 Árbol de decisión para la calidad del acoplamiento.

de la capacidad potencial de levantamiento por una distancia horizontal grande. Por lo tanto, debe reducirse esa distancia horizontal todo lo que sea posible.

NIOSH también desarrolló un índice de levantamiento (IL) para proporcionar una estimación sencilla del nivel de peligro al levantar una carga dada, con valores que exceden 1.0 considerados como peligrosos. Además, el IL es útil para asignar prioridades a los trabajos en el rediseño ergonómico.

$$IL = \text{Peso de la carga} / LPR$$

En términos de controlar el peligro, NIOSH recomienda controles de ingeniería, cambios físicos o un rediseño del trabajo y del lugar de trabajo en vez de controles administrativos que consisten en la selección y capacitación especializada de trabajadores. Los controles más comunes incluyen: evitar colocaciones altas y bajas con el uso de mesas elevador con giro e inclinación, usar manijas o contenedores especializados para manejar las cargas y reducir la distancia horizontal disminuyendo la superficie de trabajo y acercando la carga al cuerpo.

GUÍAS DE LEVANTAMIENTO CON TAREAS MÚLTIPLES

En trabajos con varas tareas de levantamiento, la carga global física/metabólica aumenta comparada con la tarea de un solo levantamiento. Esto se refleja en una disminución del LPR y un aumento de IL, y existe un procedimiento especial para manejar estas situaciones. El concepto es un índice de levantamiento compuesto (ILC), que representa las demandas colectivas del trabajo. El ILC es igual al índice de levantamiento de una sola tarea (ILST) más grande, y aumenta de manera incremental el ILC para cada tarea subsecuente. El procedimiento de tareas múltiples es el siguiente:

1. Calcular el LPR de una sola tarea (LPRST) para cada tarea.
2. Calcular el LPR independiente de la frecuencia (LPRIF) para cada tarea estableciendo FM = 1.
3. Calcular el IL de una sola tarea (ILST) dividiendo la carga entre LPTST.
4. Calcular IL independiente de la frecuencia (ILIF) dividiendo la carga entre LPRIF.
5. Calcular el ILC para el trabajo global ordenando las tareas según el estrés físico decreciente, es decir, según el ILST para cada tarea. El ILC es entonces:

$$ILC = ILST_1 + \sum \Delta IL$$

donde: $\sum \Delta IL = ILIF_2 (1/MF_{1,2} - 1/MF_1) + ILIF_3 (1/MF_{1,2,3} - 1/MF_{1,2}) + \text{etc.}$

Considere el trabajo de levantamiento con tres tareas presentado en la tabla 4-9. El análisis del levantamiento de tareas múltiples es el siguiente:

1. La tarea con el índice de levantamiento más grande es la nueva tarea #1 (antes tarea #2) con ILST = 1.6.
2. La suma de las frecuencias para las nuevas tareas #1 y #2 es 1 + 2 = 3.
3. La suma de las frecuencias para las nuevas tareas #1, #2 y #3 es 1 + 2 + 4 = 7.
4. De la tabla 4-7, los nuevos multiplicadores de frecuencia son: $MF_1 = 0.94$, $MF_{1,2} = 0.88$ y $MF_{1,2,3} = 0.70$

Tabla 4–9 Características de una muestra de trabajo de levantamiento con tres tareas

Número de tarea	1	2	3
Peso de la carga (L)	20	30	10
Frecuencia de la tarea (F)	2	1	4
LPRIF	20	20	15
MF	0.91	0.94	0.84
LPRST	18.2	18.8	12.6
ILIF	1.0	1.5	0.67
ILST	1.1	1.6	0.8
Número de la nueva tarea	2	1	3

5. El índice de levantamiento compuesto es por lo tanto:

$$ILC = 1.6 + 1(1/0.88 - 1/0.94) + 0.67(1/0.7 - 1/0.88) = 1.60 + 0.07 + 0.20 = 1.90$$

EJEMPLO 4-1 Análisis de NIOSH del levantamiento de una caja para colocarla dentro de la cajuela de un automóvil

Antes de los cambios recientes en el diseño automotriz era común tener que inclinarse hacia adelante y extender los brazos para colocar objetos dentro de las cajuelas (figura 4-28). Suponga que el ocupante levanta una caja de 30 lb desde el suelo hasta una cajuela. Si es perezoso, el ocupante sólo gira 90 grados para levantar la caja del nivel del suelo (V = 0) a una distancia horizontal corta (H ~ 10 pulg). La distancia vertical recorrida es la diferencia entre la localización vertical de la caja en su destino (suponga que la base de la cajuela está a 25 pulgadas del suelo) y la localización vertical de la caja en su origen (V = 0), esto da D = 25. Suponga que este es un levantamiento de una sola vez; por lo tanto, MF = 1. Además, suponga que la caja es bastante pequeña y compacta, pero sin manijas. Entonces, el acoplamiento es regular con MC = 0.95. Esto lleva a los siguientes cálculos para el origen:

$$\begin{aligned} LPR_{ORG} &= 51(10/10)(1-0.0075|0-30|)(0.82+1.8/25) \\ &\quad (1-0.0032*90)(1)(0.95) \\ &= 51(1)(0.775)(0.892)(0.712)(1)(0.95) = 23.8 \end{aligned}$$

Si se supone un alcance más grande (H = 25 pulgadas) del tronco debido a la defensa y altura del borde de la cajuela, sin giro, con la distancia recorrida igual y el acoplamiento regular, los cálculos hasta el destino son:

$$\begin{aligned} LPR_{DEST} &= 51(10/25)(1-0.0075|25-30|)(0.82+1.8/25) \\ &\quad (1-0.0032*0)(1)(0.95) \\ &= 51(0.4)(0.963)(0.892)(1)(1)(0.95) = 16.6 \end{aligned}$$

e

$$IL = 30/16.6 = 1.8$$



Figura 4–28 Postura para el ejemplo de cargar la cajuela.

EJEMPLO 4.1 (continuación)

Entonces, si se piensa en el peor caso, la mayoría de los individuos sólo pueden levantar 16.6 lb con seguridad y la caja de 30 lb crea un peligro casi del doble del nivel aceptado. La mayor reducción en la capacidad es la distancia horizontal hasta el destino, debido al diseño del tronco. Al disminuir la distancia horizontal a 10 pulgadas, aumenta el factor H a 10/10 = 1 y el LPR es igual a 33.4 lb. En los automóviles modernos los fabricantes han logrado esto abriendo la entrada de la cajuela de manera que una vez levantada la carga hasta el borde, la distáncia horizontal necesaria es mínima; la carga puede entonces empujarse hacia adelante. Sin embargo, la limitante ahora es el origen, que puede mejorarse si se mueven los pies y se elimina el giro; esto aumenta el LPR a 33.4 lb. Observe que se requiere un análisis en dos pasos si el ocupante levanta la carga desde el suelo hasta el borde de la cajuela y después la baja a la base. Este levantamiento también mejora en los nuevos modelos con la disminución de la altura vertical del borde, que disminuye la distancia del levantamiento.

La hoja de trabajo para el análisis de tareas múltiples de NIOSH (figura 4–29) facilita este procedimiento. Sin embargo, si son más de tres o cuatro tareas, los cálculos a mano del ILC son tardados. Ahora se dispone de un gran número de paquetes de software para ayudar al usuario en este esfuerzo. Uno de los más conocidos fue desarrollado por Garg (1994), quien formó parte del grupo de desarrollo de la guía de levantamiento de NIOSH original. Por supuesto, la mejor solución general es evitar el manejo de materiales manual y usar dispositivos mecánicos de ayuda o sistemas completamente automáticos de manejo de materiales (vea el capítulo 3).

GUÍAS GENERALES: LEVANTAMIENTO MANUAL

Aunque no existe una técnica óptima de levantamiento adecuada para todos los individuos o todas las condiciones de las tareas, algunos puntos son apropiados en general (figura 4–30). Primero se planea el levantamiento según el tamaño y forma de la carga, se determina si se necesita ayuda y se observa qué condiciones del lugar de trabajo pueden interferir. Segundo, se determina la mejor técnica de levantamiento. En general, un levantamiento en cuclillas con la espalda relativamente derecha y levantando con las rodillas dobladas es el más seguro en términos de fuerzas de compresión en la espalda baja. Sin embargo, las cargas voluminosas pueden interferir con las rodillas y tal vez se requiera un levantamiento encorvado, en el que el individuo se inclina y extiende la espalda. Tercero, se separan los pies, hacia los lados y al frente, para mantener un buen equilibrio y una postura estable. Cuarto, se asegura una buena sujeción de la carga. Estos últimos dos puntos son importantes en especial para evitar giros repentinos y movimientos torcidos, los cuales son peligrosos para la espalda baja. Quinto, se sostiene la carga cerca del cuerpo para minimizar el momento de la palanca horizontal creada por la carga y el momento resultante en la espalada baja.

Es crítico evitar giros y movimientos torcidos. Los primeros producen una orientación asimétrica de los discos, que conduce a mayor presión sobre los mismos; los segundos generan fuerzas de aceleración adicionales en la espalda. Un método no intuitivo para desanimar a los trabajadores a realizar giros es, de hecho, aumentar la

HOJA DE TRABAJO PARA EL ANÁLISIS DE TAREAS MÚLTIPLES

Departamento _____ Descripción del trabajo

Título de trabajo _____ _____

Nombre analista _____ _____

Fecha _____ _____

PASO 1. Medir y registrar datos de la variable de tarea

Tarea Núm.	Peso del objeto (lb)		Localización de la mano (in)				Distancia vertical (in)	Ángulo de asimetría (grados)		Tasa de frecuencia	Duración	Acoplamiento
			Origen		Destino			Origen	Destino			
	(Prom)	(Máx)	H	V	H	V	D	A	A	F	Horas	C

PASO 2. Calcular multiplicadores LPRIF, LPRST, ILIF y ILST para cada tarea

Tarea Núm.	CC x MH x MV x MD x MA x MC						LPRIF x MF		LPRSTI	LIF = ΣLPRST	ILST = ΣLPRST	Núm. nueva tarea	F
	51												
	51												
	51												
	51												
	51												

PASO 3. Calcular el índice de levantamiento compuesto para el trabajo (después de renumerar las tareas)

ILC =	$ILST_1$ +	$\Delta ILIF_2$ +	$\Delta ILIF_3$ +	$\Delta ILIF_4$ +	$\Delta ILIF_5$
		$ILIF_2(1/MF_{1,2} - 1/MF_1)$	$ILIF_3(1/MF_{1,2,3} - 1/MF_{1,2})$	$ILIF_4(1/MF_{1,2,3,4} - 1/MF_{1,2,3})$	$ILIF_5(1/MF_{1,2,3,4,5} \bullet 1/MF_{1,2,3,4})$
ILC =					

Figura 4–29 Hoja de trabajo para el análisis de tareas múltiples.

distancia horizontal entre el origen y el destino. Esto fuerza al trabajador a dar un paso, y al hacerlo, voltear el cuerpo completo en lugar de torcer el tronco. Levantar cargas desiguales en los brazos o toda una carga con un solo brazo, genera orientaciones de similares asimétricas en los discos y debe evitarse.

La lista de verificación para la evaluación de tareas y postura general (figura 4–31) es útil, pues recuerda al analista los principios básicos de un buen trabajo de diseño.

CINTURONES DE ESPALDA

Aquí se da una nota de advertencia sobre los cinturones de espalda. Aunque muchos trabajadores los usan y algunas compañías los prescriben de manera automática, no son una panacea y deben usarse con precaución. Estos cinturones tienen su origen en los primeros estudios de levantamientos y muestran que en caso de cargas extremas, alivian de 15% a 30% de las fuerzas de compresión en la espalda baja, según las estimaciones con electromiogramas de la espalda (Morris *et al.*, 1961). Sin embargo, estos estudios se realizaron con levantadores de pesas profesionales que levantaban cargas mucho más grandes en un plano centrado. Los trabajadores industriales levantan pesos menores que producen un efecto mucho más bajo. Torcer la espalda con los músculos mal alineados, tal vez reduzca aún más este efecto. También existen datos anecdóticos

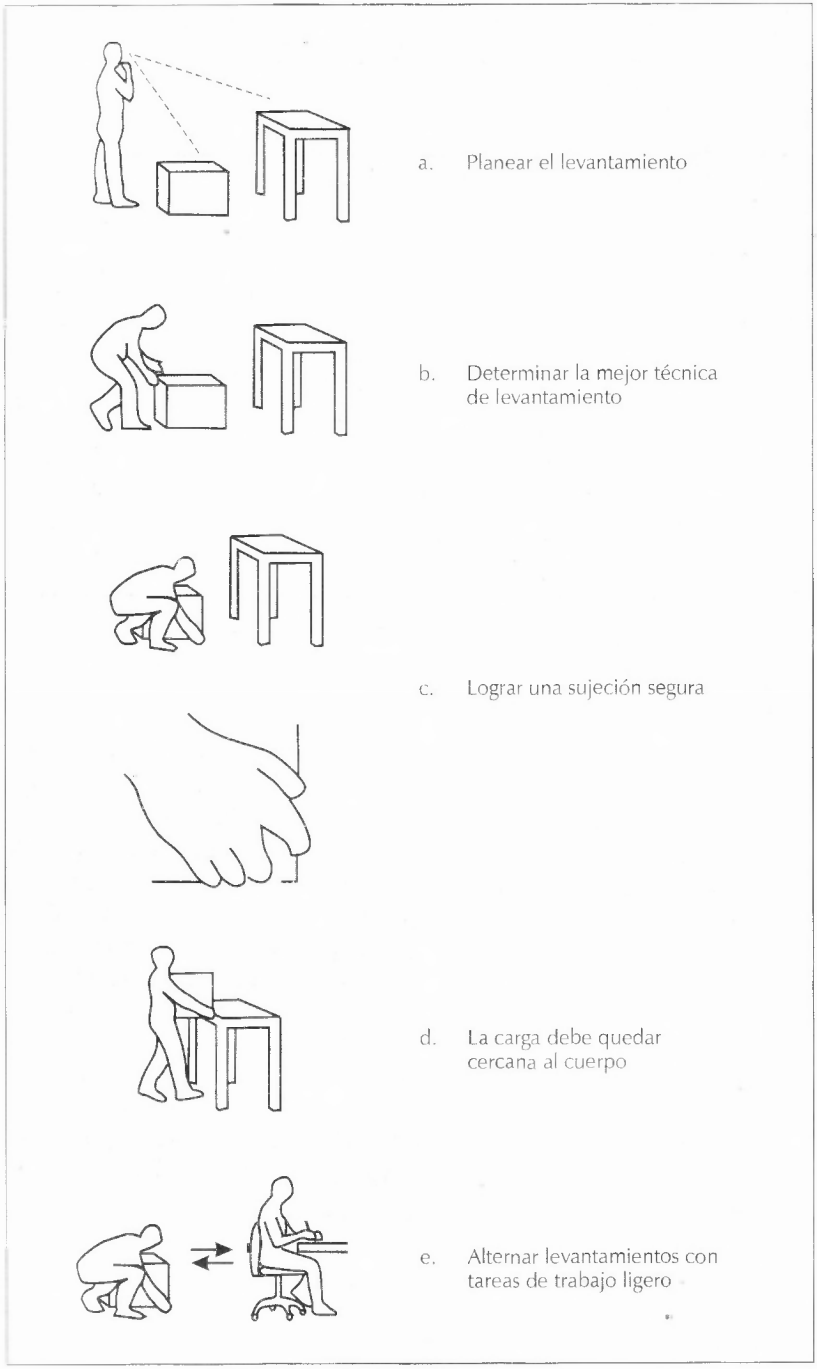


Figura 4–30 Procedimiento de seguridad para levantamientos. (*Disponible a través de* S. H. Rogers, Ph.D. P.O.Box 23446, Rochester, N.Y. 14692.)

Evaluación de postura general	Sí	No
1. ¿Se mantienen las coyunturas en posición neutral (la mayoría derechas, codos a 90°)?	❑	❑
2. ¿Se sostiene la carga o trabajo cerca del cuerpo?	❑	❑
3. ¿Se evitan posturas inclinadas hacia adelante?	❑	❑
4. ¿Se evitan posturas con el tronco torcido?	❑	❑
5. ¿Se evitan movimientos repentinos o tirones?	❑	❑
6. ¿Se evitan las posturas estáticas?, es decir, ¿hay cambios de postura?	❑	❑
7. ¿Se evitan los alcances excesivos?	❑	❑
8. ¿Se usan las manos enfrente del cuerpo?	❑	❑
Evaluación de tareas	**Sí**	**No**
1. ¿Se evitan los esfuerzos estáticos de los músculos?	❑	❑
a. ¿Se limita el esfuerzo repetitivo estático a < 15% de la fuerza máxima?	❑	❑
b. ¿Se limita la duración del esfuerzo estático a varios segundos?	❑	❑
2. ¿Se usan agarres de contracción sólo para tareas de precisión de poca fuerza?	❑	❑
3. ¿Se usan los grupos de músculos grandes y tenazas mecánicas para tareas que requieren fuerza?	❑	❑
4. ¿Se aprovecha el momento para ayudar al operario?	❑	❑
5. ¿Se usan las coyunturas de menor orden como pivote para los movimientos curvos?	❑	❑
6. ¿Se colocan los materiales y herramientas dentro del área normal de trabajo?	❑	❑
7. ¿Se usan canaletas por gravedad y entregas dejando caer?	❑	❑
8. ¿Se realizan las tareas abajo del nivel de los hombros y arriba de la altura de los nudillos?	❑	❑
9. ¿Se hacen los levantamientos despacio con las rodillas dobladas?	❑	❑
10. ¿Se cuenta con asistencia mecánica o ayuda adicional para cargas mayores que 50 libras?	❑	❑
11. ¿Es suficiente la carga de trabajo para que la frecuencia cardiaca sea estable y abajo de 110 latidos/min?	❑	❑
12. ¿Se proporcionan periodos de descanso frecuentes y cortos?	❑	❑

Figura 4–31 Lista de verificación para evaluación de tareas y postura general.

del efecto "superman" sobre trabajadores con cinturones que eligen cargas más pesadas que los demás, y algunos incidentes de coronarias por el incremento de 10 a 15 mm Hg en la presión de la sangre debido a la compresión abdominal del cinturón.

Por último, un estudio extenso de cargadores de equipaje en líneas aéreas (Ridell *et al.*, 1972) concluye que no hay una diferencia significativa en las lesiones de la espalda entre los trabajadores que usan cinturones y los trabajadores "controlados" sin ellos. Fue sorprendente que los trabajadores de un pequeño grupo, que por alguna razón (como incomodidad o calor) dejaron de usar el cinturón pero continuaron en el estudio, tuvieron un número significativo mayor de lesiones. Esto puede atribuirse a la atrofia de los músculos abdominales, que debe proporcionar de manera natural un cinturón de espalda interno que se habían debilitado debido a la tensión menor. Un enfoque positivo puede ser alentar a los trabajadores a fortalecer estos músculos abdominales a través de sentadillas modificadas, ejercicio constante y reducción de peso. Los cinturones de espalda sólo deben usarse con la capacitación adecuada y después de haber intentado los controles de ingeniería.

RESUMEN

El capítulo 4 introduce algunos conceptos teóricos de los sistemas óseomuscular y fisiológico como medio para proporcionar un panorama general que ayude a entender mejor los principios de la economía de movimientos y diseño del trabajo. Estos princi-

pios se presentan como un conjunto de reglas a utilizar en el rediseño del trabajo de ensamble manual como parte de un estudio de movimientos. Se espera que con una mayor comprensión del funcionamiento del cuerpo humano, el analista apreciará que estas reglas son menos arbitrarias. Se profundizará en estos conceptos en el capítulo 5, en el análisis y diseño del lugar de trabajo, las herramientas y el equipo.

PREGUNTAS

1. ¿Qué componentes estructurales se encuentran en los músculos? ¿Qué tienen que ver estas componentes con el desempeño de los músculos?
2. Explique los elementos del desempeño estático y dinámico de los músculos por medio de la teoría de los filamentos deslizantes.
3. Describa los distintos tipos de fibras musculares y relacione sus propiedades con el desempeño muscular.
4. ¿Por qué un cambio en el número de unidades motoras activas no da como resultado un cambio en la tensión muscular?
5. ¿Qué mide el electromiograma (EMG)? ¿Cómo se interpreta el EMG?
6. Explique por qué los diseñadores del lugar de trabajo deben tratar que los operarios realicen su trabajo sin levantar los codos?
7. ¿Qué distancia visual recomendaría para un operario sentado que trabaja en una terminal de computadora?
8. Defina y proporcione ejemplos de los 17 movimientos fundamentales o therbligs.
9. ¿Cómo se puede eliminar el movimiento básico "buscar" del ciclo de trabajo?
10. ¿Qué movimiento básico precede, en general, a "alcanzar"?
11. ¿Cuáles son las tres variables que afectan el tiempo del movimiento básico "mover"?
12. ¿Cómo determina el analista que el operario realiza el elemento "inspeccionar"?
13. Explique la diferencia entre retrasos evitables y retrasos inevitables.
14. ¿Cuáles de los 17 therbligs se clasifican como efectivos y lo usual es que no se puedan eliminar del ciclo de trabajo?
15. ¿Por qué deben proporcionarse lugares fijos en la estación de trabajo para todas las herramientas y materiales?
16. ¿Cuáles de las cinco clases de movimientos usan más los trabajadores industriales?
17. ¿Por qué es deseable que los pies trabajen sólo cuando las manos están ocupadas?
18. En un estudio de movimientos, ¿por qué no se recomienda analizar las dos manos al mismo tiempo?
19. ¿Qué factores de la tarea aumentan el índice o dificultad en una tarea de enrosque de Fitts?
20. ¿Qué factores afectan las fuerzas de compresión en la espalda durante el levantamiento?
21. ¿Qué factores influyen en la medición de la fuerza muscular isométrica?
22. ¿Por qué difieren las capacidades fuerza psicofísica, dinámica y estática?
23. ¿Qué métodos se pueden usar para estimar los requerimientos de energía de una tarea?
24. ¿Qué factores cambian el gasto de energía para un trabajo dado?
25. ¿Cómo varía la capacidad de trabajo con el sexo y la edad?
26. ¿Qué limita la resistencia en una tarea manual de todo el cuerpo?

PROBLEMAS

1. ¿Cuál será el área de la superficie visual efectiva (en pulgadas cuadradas) de un empleado promedio cuya estación de trabajo está centrada a 26 pulgadas del punto medio entre sus ojos?

2. En el departamento de empaque, un trabajador está parado al lado de una banda transportadora entre el final de la banda y una tarima. La superficie del transportador está a 40 pulg del suelo y la tarima a 6 pulg. Mientras una caja se mueve hacia el final del transportador, el trabajador gira 90° para recogerla, después gira 180° en dirección opuesta y coloca la caja en la tarima. Cada caja es de 12 pulg por lado y pesa 25 lb. Suponga que mueve 5 cajas por minuto durante un turno de 8 horas a una distancia de 12 pulg. Use la ecuación de levantamiento de NIOSH para calcular LPR e IL. Rediseñe la tarea de manera que mejore. ¿Qué valor tienen LPR e IL ahora?

3. En el problema 2 calcule las fuerzas de compresión que ocurren al desempeñar el trabajo, utilice el modelo de predicción de la fuerza estática en tres dimensiones de Michigan.

4. Un hombre en el percentil de 95% sujeta una carga de 20 libras con el brazo extendido a 90°. ¿Cuál es la reacción de torque en el hombro?

5. Un trabajador palea arena a una tasa de 8 kcal/min. ¿Cuánto descanso necesita durante un turno de 8 horas? ¿Cómo debe asignarse el descanso?

6. Un problema actual en el ejército de Estados Unidos es la fatiga en el cuello/hombro que experimentan los pilotos de helicóptero. Al volar en sus misiones nocturnas, los pilotos usan lentes para ver en la oscuridad, que se sujetan al frente del casco. Por desgracia, son bastante pesados y causan un torque hacia abajo en la cabeza. Este torque debe contrarrestarse con los músculos del cuello que se cansan. Para aliviar este problema, muchos pilotos han colocado pesos de plomo al azar en la parte de atrás de sus cascos. Encuentre el peso adecuado que da el mejor equilibrio a la cabeza y minimiza la fatiga del cuello. Suposiciones: a) la cg de los lentes es 8 pulgadas al frente del punto pivote del cuello; b) el peso de los lentes es 2 libras; c) el torque máximo voluntario del cuello es 480 libras; d) la cg de los pesos de plomo es 5 pulgadas hacia atrás del punto pivote del cuello, e) el casco sólo pesa 4 libras y f) la cg del casco es 0.5 pulgadas al frente del punto pivote del cuello.

7. El obrero de una operación de paleado se queja de fatiga y falta de descanso. Al medir su frecuencia cardiaca se ve que es de 130 pulsaciones/min y que aumenta lentamente durante el trabajo. Cuando se sienta, la frecuencia baja a 125 pulsaciones/min al final del primer minuto y a 120 pulsaciones/min al final del tercer minuto. ¿Qué puede concluir?

8. El sindicato de Dorben Co. ha puesto una queja respecto a la estación de inspección final, en la que el operario debe levantar un poco un ensamble de 20 libras, examinar los lados y, si es aceptable, colocarlo en un transportador que lo lleva a la estación de empaque. En promedio, el inspector examina cinco ensambles por minuto con un gasto de energía de 6 kcal/min. El transportador está a 40 pulgadas del piso y el ensamble está a una distancia aproximada de 20 pulgadas del inspector mientras hace su trabajo. Evalúe el trabajo según la guía de levantamiento NIOSH y el gasto de energía metabólica. Indique si el trabajo excede los límites permitidos. Si es así, calcule cuántos ensambles por minuto debe inspeccionar el inspector sin exceder los límites aceptables.

9. Un trabajador con mala condición física tiene una frecuencia cardiaca en reposo de 80 pulsaciones/min cuando inicia su trabajo de cargar cajas en una tarima. En su primer descanso el ingeniero mide de inmediato su frecuencia cardiaca y encuentra un valor pico de 110 pulsaciones/min, un minuto después de dejar de trabajar mide 105 pulsaciones/min y tres minutos después, 95 pulsaciones/min. ¿Qué puede concluir acerca de la carga de trabajo de este empleado?

REFERENCIAS

Åstrand, P. O. y K. Rodahl, *Textbook of Work Physiology*, Nueva York, McGraw-Hill, 1986.

Barnes, Ralph M., *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*, 7a. ed. Nueva York, John Wiley & Sons, 1980.

Bink, B., "The Physical Working Capacity in Relation to Working Time and Age", *Ergonomics*, 5, núm. 1 (enero, 1962), pp. 25-28.

Borg. G. y H. Linderholm, "Perceived Exertion and Pulse Rate During Graded Exercise in Various Age Groups", *Acta Medica Scandinavica*, Supl. 472, (1967), pp. 194-206.

Bouisset, S., "EMG and Muscle Force in Normal Motor Activities", en *New Developments in EMG and Clinical Neurophysiology*, Ed. J. E. Desmedt. Basel, Suiza, S. Karger, 1973.

Brouha, L., *Physiology in Industry*, Nueva York, Pergamon Press, 1967.

Chaffin, D. B., "Electromyography —A Method of Measuring Local Muscle Fatigue", *The Journal of Methods-Time Measurement*, 14, (1969), pp. 29-36.

Chaffin, D. B. y G. B. J. Andersson, *Occupational Biomechanics*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1991.

Chaffin, D. B., G. D. Herrin, W. M. Keyserling y J. A. Foulke,.*Preemployment Strength Testing*, NIOSH Publication 77-163, Cincinnati, OH, National Institute for Occupational Safety and Health, 1977.

Clark, Daniel O. y Guy C. Close, "Motion Study", en *Handbook of Industrial Engineering*, Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York, John Wiley & Sons, 1982.

Drillis, R., "Folk Norms and Biomechanics", Human Factors, 5 (octubre, 1963), pp. 427–441.

Dul, J. y B. Weerdmeester, *Ergonomics for Beginners*, Londres, Taylor & Francis, 1993.

Eastman Kodak Co., Human Factors Section, *Ergonomic Design for People at Work*, Nueva York, Van Nostrand Reinhold, 1983.

Fitts, P., "The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement", *Journal of Experimental Psychology*, 47, núm. 6 (junio, 1954), pp. 381-391.

Freivalds, A. y D. M. Fotouhi, "Comparison of Dynamic Strength as Measured by the Cybex and Mini-Gym Isokinetic Dynamometers", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1, núm. 3 (mayo, 1987), pp. 189–208.

Grandjean, E., *Fitting the Task to the Man*, Nueva York, Taylor & Francis, 1988.

Gray, H., *Gray's Anatomy*, ed. 35, Ed. R. Warrick y P. Williams, Filadelfia, W. B. Saunders, 1973.

Ikai, M. y T. Fukunaga, "Calculation of Muscle Strength per Unit Cross-Sectional Area of Human Muscle by Means of Ultrasonic Measurement", *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie*, 26, (1968), pp. 26–32.

Jones, R., N. Morgan, E. Campbell, R. Edwards y D. Robertson, *Clinical Exercise Testing*, Filadelfia, W. B. Saunders, 1975, p. 17.

Jonsson, B., "Kinesiology", en *Contemporary Clinical Neurophysiology (EEG Sup. 34)*, Nueva York, Elsevier-North-Holland, 1978.

Konz, S. y S. Johnson, *Work Design*, 5a. ed., Scottsdale, AZ, Holcomb Hathaway, Inc., 2000.

Langolf, G., D. G. Chaffin y J. A. Foulke, "An Investigation of Fitt's Law Using a Wide Range of Movement Amplitudes", *Journal of Motor Behavior*, 8, núm. 2 (junio, 1976), pp.113-128.

Miller, G. D. y A. Freivalds, "Gender and Handedness in Grip Strength—a Double Whammy for Females", *Proceedings of the Human Factors Society*, 31, (1987), pp. 906-910.

Morris, J. M., D. B. Lucas y B. Bressler, "Role of the Trunk in Stability of the Spine", *Journal of Bone and Joint Surgery*, 43-A, núm. 3 (abril, 1961), pp. 327-351.

Mundel, M. E. y D. L. Danner, *Motion and Time Study*, 7a. ed. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1994.

Murrell, K. F. H., *Human Performance in Industry*, Nueva York, Reinhold Publishing, 1965.

National Safety Council, *Accident Facts*, Chicago, IL, National Safety Council, 1997.

NIOSH, *Work Practices Guide For Manual Lifting*, pub. núm. TR 81-122, Cincinnati, OH, National Institute for Occupational Safety and Health, 1981.

Ridell, C. R., J. J. Congleton, R. D. Huchinson y J. T. Montgomery, "An Evaluation of a Weightlifting Belt and Back Injury Prevention Training Class for Airline Baggage Handlers", *Applied Ergonomics*, 23, núm. 5 (octubre, 1992), pp. 319-329.

Rodgers, S. H., *Working with Backache*, Fairport, NY, Perinton Press, 1983.

Rowe, M. L., *Backache at Work*, Fairport, NY, Perinton Press, 1983.

Sanders, M. S. y E. J. McCormick, *Human Factors in Engineering and Design*, Nueva York, McGraw-Hill, 1993.

Snook, S. H. y V. M. Ciriello, "The Design of Manual Handling Tasks: Revised Tables of Maximum Acceptable Weights and Forces", *Ergonomics*, 34, núm. 9 (septiembre, 1991), pp. 1197-1213.

Thorton, W., "Anthropometric Changes in Weightlessness", en *Anthropometric Source Book*, 1a. ed., Anthropology Research Project, Webb Associates, NASA RP1024, Houston, TX, National Aeronautics and Space Administration, 1978.

Waters, T. R., V. Putz-Anderson y A. Garg, *Revised NIOSH Lifting Equation*, pub. núm. 94-110, Cincinnati, OH, National Institute for Occupational Safety and Health, 1994.

Winter, D.A., *Biomechanics of Human Movement*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1979.

SOFTWARE SELECCIONADO

3D Static Strength Prediction Program, University of Michigan Software, 475 E. Jefferson, Room 2354, Ann Arbor, MI 48109.

Design Tools (incluido en el libro), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

Energy Expenditure Prediction Program, University of Michigan Software, 475 E. Jefferson, Room 2354, Ann Arbor, MI 48109.

Ergointelligence (Manual Material Handling), Nexgen Ergonomics, 3400 de Maisonneuve Blvd. West, Suite 1430, Montreal, Quebec, Canadá H3Z3B8. (http://www.nexgenergo.com/)

ErgoTRACK (NIOSH Lifting Equation), ErgoTrack.com, P.O. Box 787, Carrboro, NC 27510.

The Revised NIOSH Guide Program for Manual Lifting, A. Garg, 9159 Bethane Dr., Brown Deer, WI 53223.

Vision 3000, Vision Occupational Health Systems, Inc., P.O. Box 3792, Joliet, IL, 60434.

SITIOS EN INTERNET

Página de entrada NIOSH –http://www.cdc.gov/niosh/homepage.html

Guías de levantamiento NIOSH –http://www.cdc.gov/niosh/94-110.html

Calculadora NIOSH –http://www.industrialhygiene.com/calc/lift.html

Calculadora NIOSH –http://tis.eh.gov/others/ergoeaser/download.html

CAPÍTULO 5



Diseño del lugar de trabajo, equipo y herramientas

PUNTOS CLAVE:

- Adecuar el lugar de trabajo al operario.
- Proporcionar posibilidad de ajuste.
- Mantener posturas neutrales (articulaciones en posición natural).
- Minimizar las repeticiones.
- Usar sujetadores de potencia cuando se requiere fuerza.
- Emplear sujetadores con presión para precisión y no para fuerza.

El diseño del lugar de trabajo, las herramientas, el equipo y el entorno de manera que se ajusten al operario humano se llama *ergonomía*. En lugar de dedicar un gran espacio a los fundamentos teóricos de fisiología, capacidades y limitaciones del ser humano, este capítulo presenta los principios de diseño del trabajo y las listas de verificación adecuadas para facilitar su uso. Con cada principio de diseño se da una breve explicación de su origen o relación con el cuerpo humano. Este enfoque ayudará al analista de métodos en el diseño del lugar de trabajo, equipo y herramientas para lograr al mismo tiempo las metas de 1) mayor producción y eficiencia de la operación y 2) menores tasas de lesiones para los operarios.

ANTROPOMETRÍA Y DISEÑO

La guía primordial es diseñar el lugar de trabajo para que se ajuste a la mayoría de los individuos en cuanto al tamaño estructural del cuerpo humano. La ciencia de medir el cuerpo humano se conoce como *antropometría* y, por lo común, utiliza una variedad de

dispositivos tipo calibrador para determinar las dimensiones estructurales, como estatura, largo del antebrazo y otros. Sin embargo, en el sentido práctico, pocos ergonomistas o ingenieros recolectan sus propios datos, debido a la cantidad que ya se ha reunido y tabulado. Por ejemplo, el ejército de Estados Unidos ha reunido entre los soldados cerca de 1000 dimensiones diferentes del cuerpo para cerca de 100 tipos distintos de población. Existen investigaciones del National Health Examination Survey entre hombres y mujeres, civiles holandeses, ciudadanos japoneses, etcétera, disponibles en el *Anthropometric Source Book* (Webb Associates, 1978). En la tabla 5–1 se proporcionan dimensiones útiles que se aplican a las posturas específicas necesarias en el diseño del lugar de trabajo para hombres y mujeres estadounidenses. Algunos de estos datos se han incorporado a maniquíes que se pueden manipular o nomogramas que proporcionan dimensiones aceptables para el lugar de trabajo basadas en la estatura del operario (Diffrient *et al.*, 1978).

EJEMPLO 5-1 Distribuciones de probabilidad y percentiles

El *k-ésimo percentil*, o percentil k, se define como un valor tal que k % de los valores de los datos (graficados en orden ascendente) son iguales o menores que este valor y $(100 - k)$ % de los valores son iguales o mayores que este valor. Un histograma de la estatura de hombres adultos estadounidenses muestra una curva en forma de campana, llamada *distribución normal*, con valor de la mediana de 68.3 pulgadas (figura 5–1). Éste también es el valor del percentil 50, puesto que la mitad de los hombres son más bajos que 68.3 pulgadas y la otra mitad son más altos. El percentil 5 corresponde a sólo 63.7 pulgadas, mientras que el percentil 95 es una altura de 72.6 pulgadas. La demostración es la siguiente.

En un enfoque estadístico, es común que una curva con forma aproximada de campana se normalice mediante la siguiente transformación:

$$z = (x - \mu)/\sigma$$

donde: μ = media,
σ = desviación estándar (medida de dispersión)

que forma una distribución normal estándar (también llamada *distribución z*; figura 5–2).

Una vez normalizada, cualquier distribución de población con forma aproximada de campana tendrá las mismas propiedades estadísticas. Esto significa que el valor del percentil deseado con los valores adecuados de k y z, se calcula como sigue:

Percentil k	10 o 90	5 o 95	2.5 o 97.5	1 o 99
Valor z	± 1.28	± 1.645	± 1.96	± 2.33

$$\text{percentil } k = \mu \pm z\sigma$$

Dado que la estatura media de los hombres en Estados Unidos es 68.3 pulgadas (173.6 cm) y la desviación estándar es 2.71 pulgadas (6.9 cm) (Webb Associates, 1978), el percentil 95 para la estatura masculina se calcula como sigue:

$$68.3 + 1.645(2.71) = 72.66 \text{ pulgadas}$$

mientras que el percentil 5 de la estatura masculina se obtiene como:

$$68.3 - 1.645(2.71) = 63.84 \text{ pulgadas}$$

(continúa)

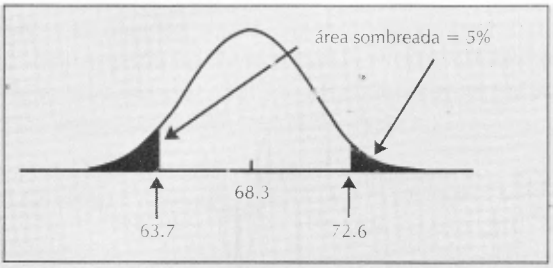


Figura 5–1 Distribución normal para la estatura de adultos hombres en Estados Unidos

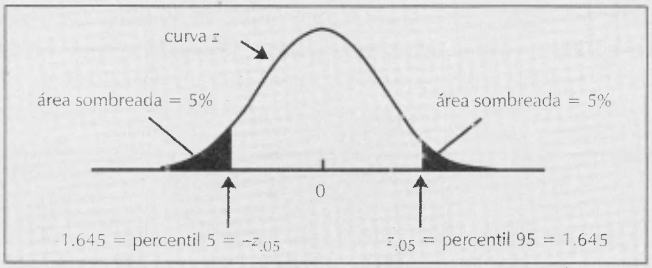


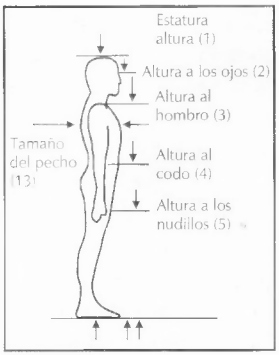
Figura 5–2 Distribución normal estándar para la estatura de adultos hombres

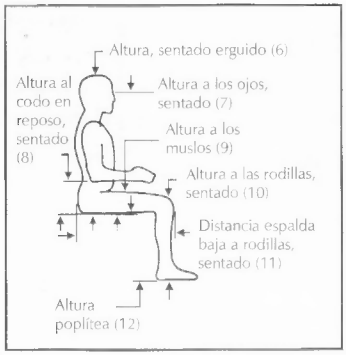
Observe que los valores calculados de 72.76 y 63.84 pulgadas no son exactamente iguales a los valores reales de 72.6 y 63.7 pulgadas. El motivo es que la distribución de la altura de los hombres estadounidenses no es totalmente normal.

Por último, para distribuciones asistidas por computadora, algunos modelos computarizados del cuerpo humano, como COMBIMAN, Jack y MannequinPro, disponen de ajustes sencillos al tamaño e incluso indican las limitaciones en la amplitud de movimientos o la visibilidad. El primero es más poderosos, pero requiere estaciones de trabajo del tipo SGI o RISC, mientras que los dos últimos funcionan en una computadora personal.

DISEÑO PARA EXTREMOS

Diseñar para la mayor parte de los individuos es un enfoque que implica el uso de uno de tres principios específicos de diseño, según lo determina el tipo de problema de diseño. El *diseño para extremos* implica que una característica específica es un factor limitante al determinar el valor máximo y mínimo de una variable de población que será ajustada. Por ejemplo, los claros, como una puerta o la entrada a un tanque de almacenamiento, deben diseñarse para el caso máximo, es decir, para la estatura o ancho de hombros correspondiente al percentil 95. De esta manera, 95% de los hombres y casi todas las mujeres podrán pasar por el claro. Es obvio que para las puertas, el espacio no es problema y se puede diseñar para que se ajuste a individuos aún más altos. Por otro lado, el espacio agregado a un avión o un submarino militar es costoso por lo que estas





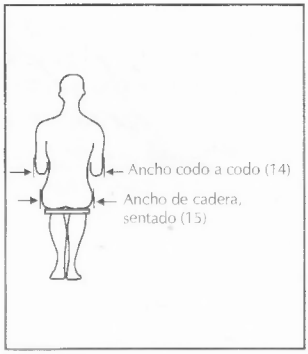


Tabla 5–1 Dimensiones del cuerpo y pesos de adultos civiles en Estados Unidos

		Dimensión, pulgadas (percentiles)			Dimensión, cm (percentiles)		
Dimensiones del cuerpo	Sexo	5	50	95	5	50	95
1.Estatura (altura)	Hombre	63.7	68.3	72.6	161.8	173.6	184.4
	Mujer	58.9	63.2	67.4	149.5	160.5	171.3
2.Altura a los ojos	Hombre	59.5	63.9	68.0	151.1	162.4	172.7
	Mujer	54.4	58.6	62.7	138.3	148.9	159.3
3.Altura al hombro	Hombre	52.1	56.2	60.0	132.3	142.8	152.4
	Mujer	47.7	51.6	55.9	121.1	131.1	141.9
4.Altura al codo	Hombre	39.4	43.3	46.9	100.0	109.9	119.0
	Mujer	36.9	39.8	42.8	93.6	101.2	108.8
5.Altura a los nudillos	Hombre	27.5	29.7	31.7	69.8	75.4	80.4
	Mujer	25.3	27.6	29.9	64.3	70.2	75.9
6.Altura, sentado	Hombre	33.1	35.7	38.1	84.2	90.6	96.7
	Mujer	30.9	33.5	35.7	78.6	85.0	90.7
7.Altura a los ojos, sentado	Hombre	28.6	30.9	33.2	72.6	78.6	84.4
	Mujer	26.6	28.9	30.9	67.5	73.3	78.5
8.Altura al codo en reposo, sentado	Hombre	7.5	9.6	11.6	19.0	24.3	29.4
	Mujer	7.1	9.2	11.1	18.1	23.3	28.1
9.Altura a los muslos	Hombre	4.5	5.7	7.0	11.4	14.4	17.7
	Mujer	4.2	5.4	6.9	10.6	13.7	17.5
10.Altura a las rodillas, sentado	Hombre	19.4	21.4	23.3	49.3	54.3	59.3
	Mujer	17.8	19.6	21.5	45.2	49.8	54.5
11.Distancia glúteos a rodillas, sentado	Hombre	21.3	23.4	25.3	54.0	59.4	64.2
	Mujer	20.4	22.4	24.6	51.8	56.9	62.5
12.Altura poplítea, sentado	Hombre	15.4	17.4	19.2	39.2	44.2	48.8
	Mujer	14.0	15.7	17.4	35.5	39.8	44.3
13.Tamaño del pecho	Hombre	8.4	9.5	10.9	21.4	24.2	27.6
	Mujer	8.4	9.5	11.7	21.4	24.2	29.7
14.Ancho codo a codo	Hombre	13.8	16.4	19.9	35.0	41.7	50.6
	Mujer	12.4	15.1	19.3	31.5	38.4	49.1
15.Ancho de cadera, sentado	Hombre	12.1	13.9	16.0	30.8	35.4	40.6
	Mujer	12.3	14.3	17.2	31.2	36.4	43.7
X. Peso (libras y kilogramos)	Hombre	123.6	162.8	213.6	56.2	74.0	97.1
	Mujer	101.6	134.4	197.8	46.2	61.1	89.9

Fuente: Sanders & McCornick, 1993). Reproducido con permiso de McGraw-Hill Companies.

áreas se diseñan según cierto intervalo (menor) de individuos. El alcance para cosas como un pedal de freno o una perilla de control se diseña para el individuo mínimo, es decir para piernas o brazos de mujeres en el percentil 5. Entonces 95% de las mujeres y casi todos los hombres tendrán un alcance mayor y podrán activar el pedal o el control.

DISEÑO PARA QUE SEA AJUSTABLE

Diseñar para que se ajuste se usa, en general, para equipo o instalaciones que deben adaptarse a una amplia variedad de individuos. Sillas, mesas, escritorios, asientos de vehículos, una palanca de velocidades y soportes de herramientas son dispositivos que se ajustan a una población de trabajadores entre el percentil 5 de las mujeres y el percentil 95 de los hombres. Es obvio que diseñar para que se ajuste es el método más conveniente de diseño, pero existe un trueque con el costo de implantación. (Los intervalos de ajuste específicos para el diseño de asientos se dan en la tabla 5–2).

DISEÑO PARA EL PROMEDIO

El *diseño para el promedio* es el enfoque menos costoso pero menos preferido. Aunque no existe un individuo con todas las dimensiones promedio, hay ciertas situaciones en las que sería impráctico o demasiado costoso incluir posibilidades de ajuste para todas las características. Por ejemplo, muchas máquinas herramienta son demasiado grandes y pesadas para incluir ajustes de altura para el operario. Diseñarlas para la altura de operación del percentil 50 para la altura del codo de las poblaciones de hombres y mujeres combinadas (en términos generales, el promedio de los valores del percentil 50 de hombres y mujeres), significa que la mayoría de los individuos no tendrán inconvenientes serios. Sin embargo, el hombre excepcionalmente alto o la mujer muy baja puede experimentar incomodidad en la postura.

Por último, el diseñador industrial también debe considerar la parte legal del diseño del trabajo. Debido a la aprobación del referendo de "estadounidenses con discapacidades" en 1990 (vea el capítulo 8), debe llevarse a cabo un esfuerzo razonable a fin de que sea adecuado para individuos con cualquier habilidad. La guía de accesibilidad especial (US Department of Justice, 1991) se emitió en relación con estacionamientos, accesos a edificios, áreas de ensamble, corredores, rampas, elevadores, puertas, bebederos, baños, instalaciones de cafeterías o restaurantes, alarmas y teléfonos.

También es útil, práctico y efectivo en costos, construir un modelo uno a uno del equipo o instalación que se diseña y hacer que los usuarios lo evalúen. Las medidas antropométricas suelen tomarse en posturas estandarizadas. En la vida real, las personas se recargan o asumen posiciones relajadas y cambian las dimensiones efectivas y el diseño final. Se han identificado muchos errores costosos durante la producción, debido a la falta de simulaciones para evaluación. En el ejemplo 5–2, el diseño final, de hecho, es adecuado para más de 95% de la población, por lo que la elevación es mayor de lo necesario. El diseño verdadero debió usar las dimensiones del cuerpo para una población combinada de hombres y mujeres. No obstante, casi nunca se dispone de esos datos; se pueden crear por medio de técnicas estadísticas, pero el enfoque de diseño general es suficiente para la mayoría de las aplicaciones industriales.

EJEMPLO 5–2 Diseño de asientos para un área de capacitación

El siguiente ejemplo muestra paso a paso los procedimientos utilizados en un problema de diseño típico: arreglo de las sillas en un salón de capacitación industrial de manera que los individuos vean al instructor y la pantalla sin obstrucciones (figura 5–3).

1. Determine las dimensiones críticas del cuerpo para el diseño; es decir, la altura sentado derecho y la altura del ojo, sentado.
2. Defina la población a la que se sirve: adultos en Estados Unidos, hombres y mujeres.
3. Seleccione un principio de diseño y el porcentaje de la población admitida: diseño para extremos y adecuado para 95% de la población. El principio clave es permitir que mujeres del percentil 5 sentadas atrás de un hombre del percentil 95 tengan una línea de visión libre.
4. Encuentre los valores antropométricos en la tabla 5–1. La altura del ojo de mujeres del percentil 5 es 26.5 pulg (67.5 cm), mientras que la altura de un hombre del percentil 95 sentado derecho es 38.1 pulg (96.7 cm). Así, para que la mujer baja vea por encima de un hombre alto, es necesario elevar 11.5 pulg (29.2 cm) cada fila, que es una elevación muy grande y quizá cause una pendiente pronunciada. Entonces, casi siempre se alternan los lugares para que la persona sentada atrás vea por encima de la cabeza de una persona sentada dos filas adelante, lo que disminuye a la mitad la elevación requerida.
5. Agregue holguras y pruebe. Muchas medidas antropométricas se han hecho en cuerpos humanos desnudos. Por lo tanto, tal vez sea necesario dar holguras por ropa gruesa o zapatos. Por ejemplo, si todos los capacitados llevan cascos, pueden necesitarse 2 o 3 pulgadas adicionales. Sería más práctico que se quitaran los cascos en el salón de capacitación.

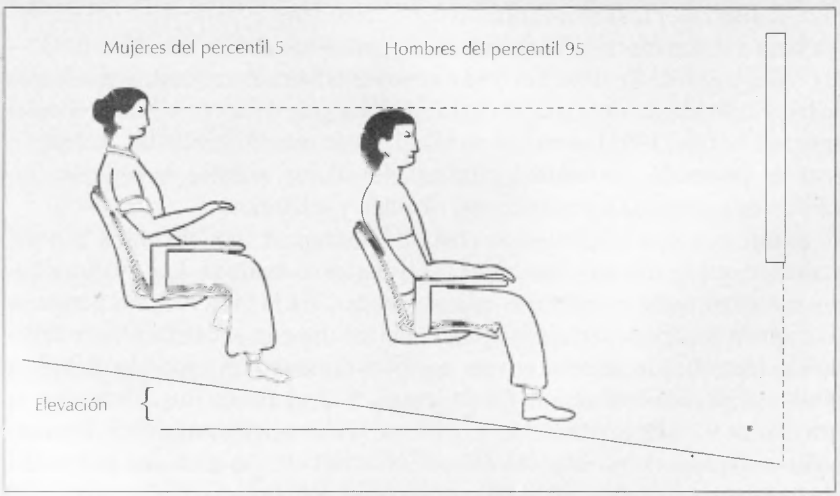


Figura 5–3 Diseño de asientos en un salón de capacitación grande.

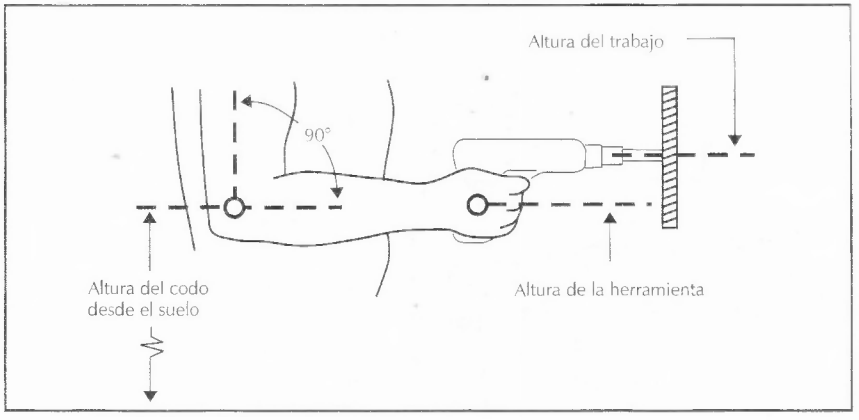


Figura 5–4 Ayuda gráfica para determinar la altura correcta de la superficie de trabajo. (*Tomado de:* Putz-Anderson, 1988.)

PRINCIPIOS DE DISEÑO DEL TRABAJO: EL LUGAR DE TRABAJO

DETERMINAR LA ALTURA DE LA SUPERFICIE DE TRABAJO SEGÚN LA ALTURA DEL CODO

La altura de la superficie de trabajo (con el trabajador ya sea sentado o parado) debe determinarse mediante una postura de trabajo cómoda para el operario. En general, esto significa que los antebrazos tienen la posición natural hacia abajo y los codos están flexionados a 90°, de manera que el brazo está paralelo al suelo (figura 5–4). La altura del codo se convierte en la altura adecuada de operación o de la superficie de trabajo. Si ésta es demasiado alta, los antebrazos se encogen y causan fatiga de los hombros. Si es demasiado baja, el cuello o la espalda se doblan y ocasionan fatiga en esta última.

AJUSTAR LA ALTURA DE LA SUPERFICIE DE TRABAJO SEGÚN LA TAREA QUE SE REALIZA

Existen excepciones a este primer principio. Para ensamble pesado con levantamiento de partes pesadas, es más ventajoso bajar la superficie de trabajo hasta 8 pulgadas (20 cm), para aprovechar los músculos más fuertes del tronco (figura 5–5). Para un ensamble fino que incluye detalles visuales pequeños, es más ventajoso elevar la superficie de trabajo 8 pulg (20 cm), para acercar los detalles a la línea de visión óptima de 15° (principio del capítulo 4). Otra alternativa, quizá es mejor inclinar la superficie alrededor de 15°; de esta manera se satisfacen ambos principios. Sin embargo, las partes redondeadas tienen una tendencia a rodar fuera de la superficie.

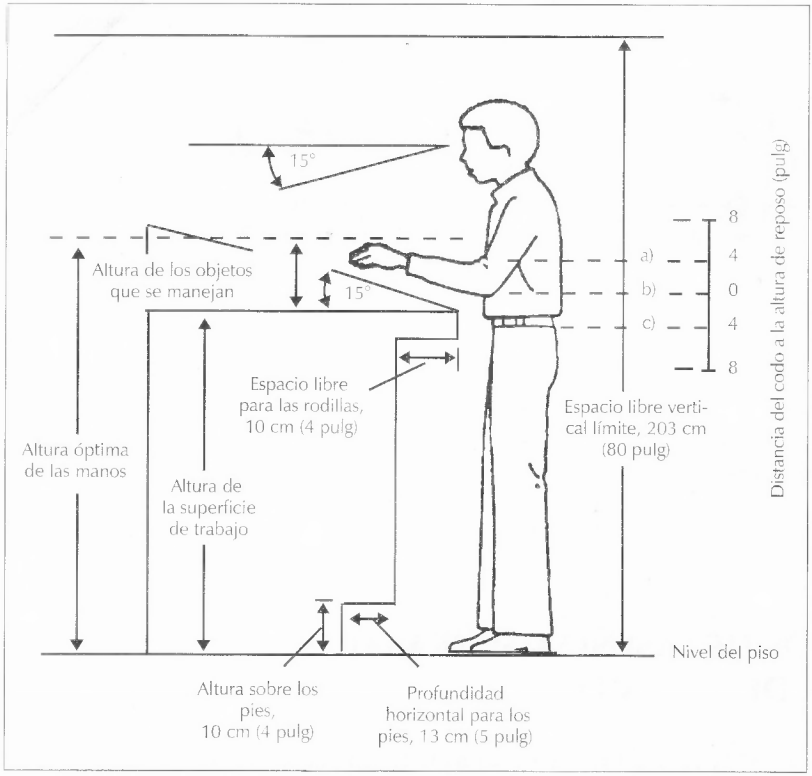


Figura 5–5 Dimensiones recomendadas para la estación de trabajo de pie. *a) Para trabajo de precisión con descanso para el brazo, b) para ensamble ligero, c) para trabajo pesado.*

Estos principios también se aplican a la estación donde se trabaja sentado. Una gran parte de las tareas, como escribir o los ensambles ligeros, se realizan mejor a la altura del codo en descanso. Si el trabajo requiere la percepción de detalle fino, puede ser necesario elevar el trabajo para que esté más cerca de los ojos. Las estaciones para trabajar sentado deben contar con sillas y descanso para los pies ajustables (vea la figura 5-6). De manera ideal, una vez que el operario está sentado cómodamente con ambos pies en el suelo, la superficie de trabajo se posiciona a la altura adecuada del codo para ajustar la operación. Así, la estación de trabajo también necesita ser ajustable. Los operarios de estatura baja, cuyos pies no alcanzan el suelo incluso después de ajustar el asiento, deben utilizar un descanso para pies que les proporcione el soporte apropiado.

PROPORCIONAR UNA SILLA CÓMODA PARA EL OPERARIO SENTADO

La postura sentado es importante desde el punto de vista de reducir tanto el estrés sobre los pies como el gasto global de energía. Debido a que la comodidad es una respuesta individual, es bastante difícil definir principios estrictos para sentarse bien. Más aún,

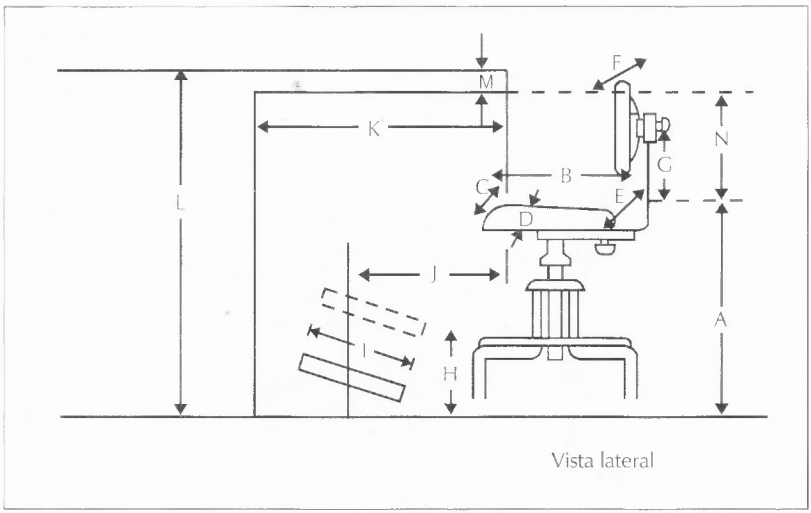


Figura 5–6 Silla ajustable (los valores específicos de parámetros para asientos se encuentran en la tabla 5–2).

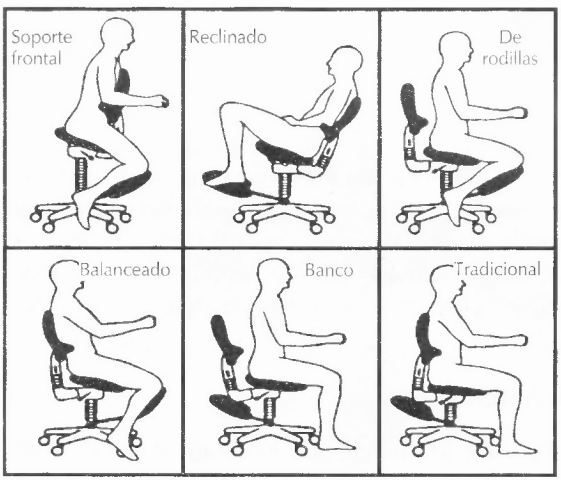


Figura 5–7 Seis posturas de sentado básicas (*Tomado de:* Serber, 1990. Reimpreso con permiso de la Human Factors and Ergonomics Society. Todos los derechos reservados.)

pocas sillas se adaptarán a la comodidad de muchas posturas posibles para estar sentado (vea la figura 5–7). Sin embargo, se cumplen varios principios generales para todos los asientos. Cuando se está de pie erguido, la porción lumbar de la espina (la parte baja de la espalda cerca del nivel del cinturón) se encorva hacia adentro de manera natural, lo que se conoce como *lordosis*. Pero al sentarse, la pelvis gira hacia atrás, esto aplana la curva lordótica y aumenta la presión en los discos de la columna vertebral (figura 5–8). Por lo tanto, es muy importante proporcionar *soporte lumbar* mediante una protuberancia en el respaldo de la silla o con un cojín lumbar colocado a la altura del cinturón.

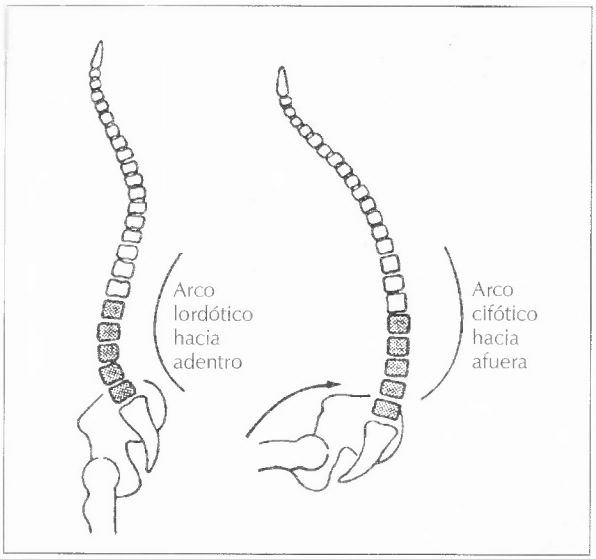


Figura 5–8 Postura de la espina de pie y sentado. Porción lumbar de la espina está a) lordótica al estar de pie y b) cifótica al estar sentado. Las vértebras sombreadas son la porción lumbar de la espina. (*Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993. Reproducido con permiso de The McGraw-Hill Companies.)

Otro enfoque para prevenir que se aplane la curva lordótica es reducir la rotación de la pelvis manteniendo un ángulo amplio entre el torso y los muslos, con un asiento inclinado hacia adelante (postura de rodillas de la figura 5–7). La teoría indica que esta es la forma que mantienen los astronautas en el ambiente sin gravedad en el espacio (figura 4.4). La desventaja de este tipo de asientos es que puede aplicar un peso adicional en las rodillas. Agregar un tope al asiento inclinado hacia adelante, con la forma de una silla de montar, quizá sea un mejor enfoque global ya que elimina la necesidad de los soportes para rodillas y de todas maneras proporciona el soporte a la espalda (figura 5–9).

PROPORCIONAR AJUSTE EN EL ASIENTO

Otra consideración es reducir la presión sobre los discos, que puede aumentar de manera significativa al doblar el tronco hacia adelante. Si se reclina el respaldo se obtiene un efecto importante en la reducción de presión en los discos (Andersson *et al.*, 1974). Por desgracia existe un trueque. Cuando los ángulos aumentan, es más difícil ver hacia abajo y realizar trabajo productivo.

Otro factor es la necesidad de proporcionar un ajuste sencillo para parámetros específicos del asiento. La altura es lo más crítico, donde la ideal se determina con la altura popliteal de la persona, definida en la figura que acompaña a la tabla 5–1. Un asiento demasiado alto comprimirá de manera incómoda la parte de abajo de los muslos, disminuirá el ángulo del tronco y, de nuevo, aumentará la presión en los discos. Las recomendaciones específicas para la altura y otros parámetros del asiento (mostrados en la figura 5–6) se dan en la tabla 5–2.



Universidad de Occidente • Biblioteca • Unidad Los Mochis

Figura 5–9 Asiento como silla de montar.
(*Cortesía de:* Neutral Postures Ergonomics, Inc., Bryan, TX.)

Además, se recomiendan coderas para dar apoyo a hombros, brazos y descansos para pies en el caso de individuos más bajos. Las carretillas ayudan al movimiento y facilitan la entrada/salida de la estación de trabajo. Sin embargo, pueden existir situaciones en las que sea mejor una silla estacionaria. En general, ésta debe tener un contorno suave, asiento acojinado y cubierto de una tela que deje pasar el aire para prevenir la humedad por sudor. Un asiento con cojín demasiado suave restringe la postura

Tabla 5–2 Intervalos recomendados para el ajuste de asientos

Parámetro del asiento	Valor de diseño [en pulgadas (cm) a menos que se especifique]	Comentarios
A – altura del asiento	16-20.5 (40-52)	Demasiado alto comprime muslos; demasiado bajo presiona discos
B – profundidad del asiento	15-17 (38-43)	Demasiado largo corta la región poplíteal; usar contorno de caída de agua
C – ancho del asiento	≥18.2 (≥46.2)	Se recomiendan asientos más anchos para individuos con sobrepeso
D – ángulo del asiento	-10° a +10°	La inclinación hacia abajo requiere más fricción en la tela
E – ángulo entre asiento y respaldo	>90°	Preferible >105°, pero requiere modificaciones a la estación de trabajo
F – ancho del respaldo	>12 (>30.5)	Medido en la región lumbar
G – soporte lumbar	6-9 (15-23)	Altura vertical del asiento al centro del soporte lumbar
H – altura de descansapies	1-9 (2.5-23)	
I – profundidad de descansapies	12 (30.5)	
J – distancia del descansapies	16.5 (42)	
K – claro para las piernas	26 (66)	
L – altura de superficie de trabajo	~32 (~81)	Determinado por la atura del codo en descanso
M – grueso de superficie de trabajo	<2 (<5)	Valor máximo
N – claro para muslos	>8 (>20)	Valor mínimo

[A – G de ANSI (1988); H – M de Eastman Kodak (1983)]

y puede restringir la circulación en las piernas. En la figura 5–10 se muestra un óptimo global para la posición y los lugares de trabajo.

ALENTAR LA FLEXIBILIDAD EN LA POSTURA

La altura de la estación de trabajo debe ajustarse de manera que sea posible trabajar en forma eficiente ya sea de pie o sentado. El cuerpo humano no está diseñado para estar sentado durante periodos prolongados. Los discos entre las vértebras no tienen irrigación de sangre por sí solos, dependen de los cambios de presión que resultan del movimiento para recibir nutrientes y eliminar desperdicios. La rigidez en la postura también reduce el flujo de sangre en los músculos e induce fatiga y calambres en los mismos. Una alternativa es proporcionar un banco para sentarse/pararse para que el operario pueda cambiar de postura con facilidad. Dos características clave de estos bancos son: ajuste de la altura y una base de apoyo ancha para evitar caídas, de preferencia con suficiente altura para que los pies puedan descansar y hacer contrapeso (figura 5–11).

PROPORCIONAR TAPETES ANTIFATIGA PARA OPERARIOS QUE TRABAJAN DE PIE

Es cansado estar de pie por periodos prolongados en un piso de cemento. Deben proporcionarse operarios tapetes elásticos antifatiga que permiten pequeñas contracciones de los músculos de las piernas, lo que fuerza a la sangre a moverse y evitar que se acumule en las extremidades inferiores.

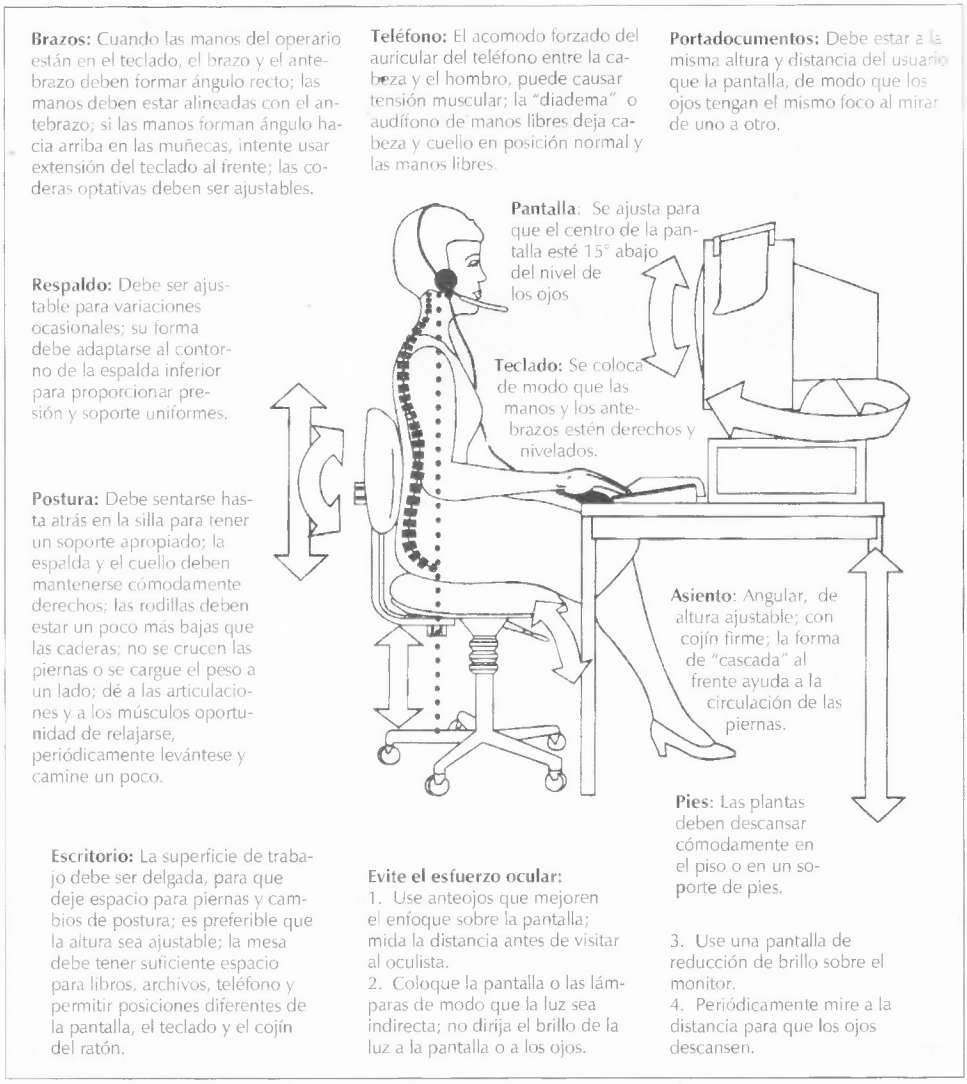


Figura 5–10 Estación de trabajo con los ajustes adecuados.

LOCALIZAR TODAS LAS HERRAMIENTAS Y MATERIALES DENTRO DEL ÁREA NORMAL DE TRABAJO

En cada movimiento interviene una distancia. Mientras más grande es la distancia, mayores son el esfuerzo muscular, el control y el tiempo. Por lo tanto, es importante minimizar las distancias. El área normal de trabajo de la mano derecha en el plano horizontal incluye el área circunscrita por el antebrazo al moverlo en forma de arco con pivote en el codo (figura 5–12). Esta área representa la zona más conveniente dentro de la cual la

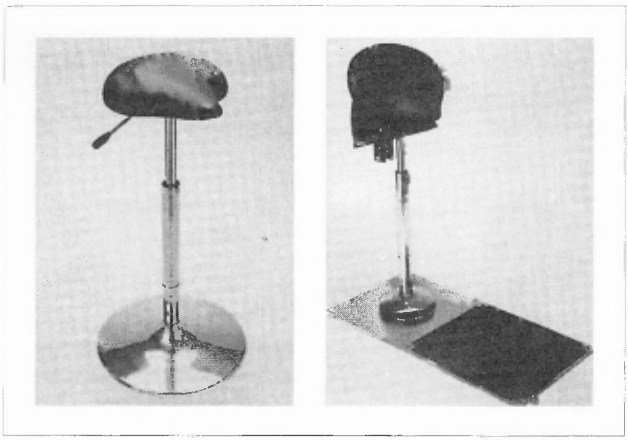


Figura 5–11 Bancos industriales para estar sentado/parado. (*Cortesía de:* Biofit, Waterville, OH.)

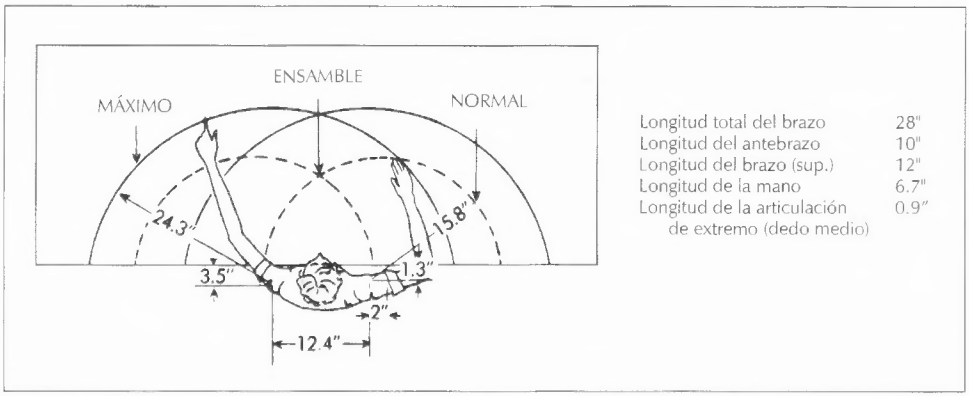


Figura 5–12 Áreas de trabajo normal y máxima en el plano horizontal para mujeres (en el caso de los hombres se multiplica por 1.09).

mano realiza movimientos con un gasto normal de energía. El área normal de la mano izquierda se establece de manera similar. Como los movimientos se hacen en tercera dimensión, al igual que en el plano horizontal, el área normal de trabajo se aplica también al piano vertical. El área normal relativa a la altura para la mano derecha incluye el área circunscrita por el antebrazo en posición hacia arriba con el codo como pivote y moviéndose en un arco. Existe un área normal similar en el plano vertical para el brazo extendido (figura 5–13).

LOCALIZACIONES FIJAS PARA TODAS LAS HERRAMIENTAS Y MATERIALES QUE PERMITAN LA MEJOR SECUENCIA

Al manejar un automóvil, todos estamos familiarizados con el poco tiempo que se requiere para aplicar el pie al freno. La razón es obvia: como el pedal del freno tiene una

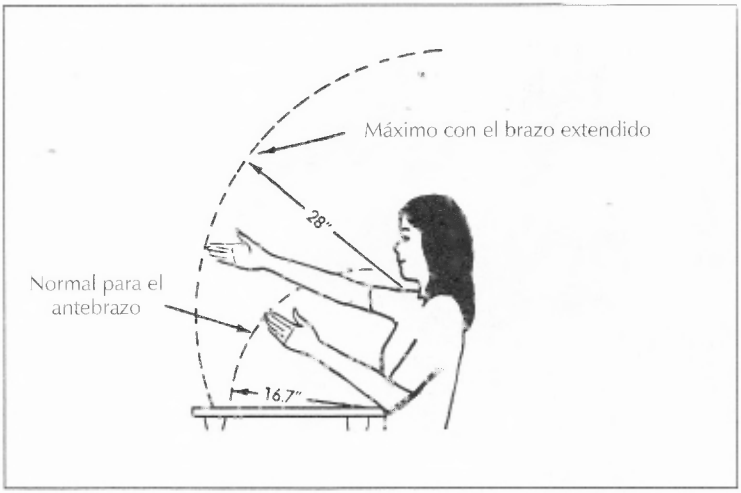


Figura 5–13 Áreas de trabajo normal y máxima en el plano vertical para mujeres (en el caso de los hombres se multiplica por 1.09)

una posición fija, no se necesita tiempo para decidir dónde se localiza. El cuerpo responde de manera instintiva y aplica presión al área en la que el conductor sabe que se encuentra el pedal del freno. Si su localización variara, el conductor necesitaría mucho más tiempo para detener el auto. De igual manera, proporcionar localizaciones fijas para todas las herramientas y materiales en la estación de trabajo elimina, o por lo menos minimiza, las pequeñas dudas requeridas para buscar y seleccionar los objetos necesarios para hacer el trabajo. Estos son los therbligs inefectivos de "buscar" y "seleccionar" presentados en el capítulo 4 (figura 5–14).

UTILIZAR CANALETAS POR GRAVEDAD Y ENTREGA DEJANDO CAER PARA REDUCIR LOS TIEMPOS DE ALCANZAR Y MOVER

El tiempo requerido para realizar los dos therbligs de transporte "alcanzar" y "mover" es directamente proporcional a la distancia que deben recorrer las manos al llevarlos a cabo. Si se usan dispositivos por gravedad, las componentes pueden traerse de manera continua al área de trabajo normal, lo que eliminaría los alcances largos para traer los suministros (figura 5–15). De la misma manera, las canaletas por gravedad permiten enviar las partes terminadas dentro del área normal y eliminar la necesidad de movimientos lejanos. Las canaletas por gravedad hacen posible un área de trabajo limpia, ya sea que el material terminado se manda fuera, en lugar de amontonarlo alrededor de ella. Un contenedor elevado respecto a la superficie de trabajo (de manera que la mano pueda deslizar material por abajo de él también disminuirá entre 10% y 15% el tiempo requerido para realizar esta tarea.



Figura 5–14 Balanceadores de herramientas que proporcionan lugares fijos para colocarlas. (*Cortesía de:* Packers Kromer.)

ARREGLO ÓPTIMO DE HERRAMIENTAS, CONTROLES Y OTRAS COMPONENTES PARA MINIMIZAR LOS MOVIMIENTOS

El arreglo óptimo depende de muchas características, tanto humanas (fuerza, alcance, sentidos) como de la tarea (cargas, repetición, orientación). Es obvio que no todos los factores se pueden optimizar. El diseñador debe establecer prioridades y hacer trueques en la distribución del área de trabajo. Sin embargo, deben seguirse ciertos principios básicos. Primero, debe considerar la localización general de las componentes respecto a otras componentes mediante los principios de *importancia* y *frecuencia de uso*. Lo más importante, según lo determinan las metas u objetivos globales, es que las componen-

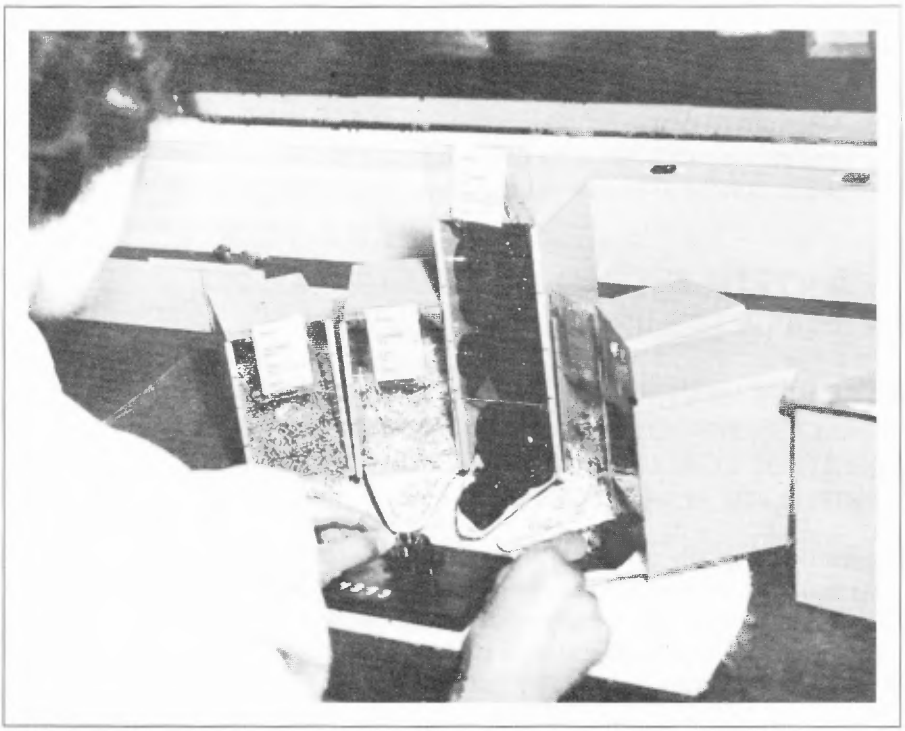


Figura 5–15 Estación de trabajo con dispositivos por gravedad y una banda transportadora para reducir los tiempos de alcanzar y mover
La banda en la parte de atrás lleva otras partes más allá de esta estación de trabajo. El operario alimenta la banda desde abajo de la plataforma sólo dejando caer las partes ensambladas en ella. (*Fuente:* Alden Systems, Co.)

tes usadas más a menudo deben colocarse en los sitios más convenientes. Por ejemplo, un botón de paro de emergencia debe estar en una posición visible, alcanzable y conveniente. De la misma manera, un botón de activación que se usa con frecuencia, o los sujetadores que más se usan, deben quedar al alcance del operario.

Una vez determinada la localización para un grupo de componentes, es decir, las partes usadas con más frecuencia para el ensamble, deben tomarse en cuenta los principios de *funcionalidad* y *secuencia de uso*. La funcionalidad se refiere al agrupamiento de componentes según la similitud de su función, por ejemplo, todos los sujetadores en un área, todos los empaques y componentes de hule en otra área. Como muchos productos se ensamblan en una secuencia estricta, ciclo tras ciclo, es muy importante colocar las componentes o subensambles en el orden en que se ensamblan, puesto que esto tendrá un gran efecto en la reducción de movimientos inútiles. El diseñador también debe considerar el uso de la planeación sistemática de la distribución de Muther (capítulo 3) u otros tipos de técnicas de diagramas de distribuciones adyacentes, para desarrollar una comparación cuantitativa o relativa de las distintas distribuciones de componentes en la superficie de trabajo. Las relaciones entre componentes se pueden modificar a

partir de los datos tradicionales sobre el flujo de un área a otra y deben incluir los enlaces visuales (movimientos del ojo), los enlaces de sonido (comunicación por voz o señales), y los movimientos por tacto y de control.

Estos principios de diseño del trabajo para las estaciones de trabajo se resumen en la lista de verificación para la evaluación de la estación de trabajo (figura 5–16). El analista apreciará su utilidad al evaluar las estaciones existentes o al implantar nuevas.

PRINCIPIOS DE DISEÑO DEL TRABAJO: MÁQUINAS Y EQUIPO

HACER CORTES MÚLTIPLES CUANDO SEA POSIBLE CON LA COMBINACIÓN DE DOS O MÁS HERRAMIENTAS EN UNA, O EL ARREGLO DE CORTES SIMULTÁNEOS DESDE DOS DISPOSITIVOS DE ALIMENTACIÓN

La planeación de la producción avanzada más eficiente para la manufactura incluye hacer cortes múltiples con la combinación de herramientas y cortes simultáneos con distintas herramientas. Por supuesto, el tipo de trabajo que se va a procesar y el número de partes que deben producirse determina si es deseable combinar los cortes, como en el caso de cortes con una torre cuadrada y una hexagonal.

USAR DISPOSITIVOS EN LUGAR DE SOSTENER CON LA MANO

Si se usa cualquier mano para sostener durante el procesamiento de una parte, entonces la mano no está realizando trabajo útil. Siempre se puede diseñar un dispositivo para sostener el trabajo de manera satisfactoria, y permitir que ambas manos realicen trabajo útil. Los dispositivos no sólo ahorran tiempo de proceso de las partes, sino permiten sostener el trabajo de forma más exacta y firme. Muchas veces, los mecanismos operados con el pie permiten que ambas manos realicen trabajo productivo.

Un ejemplo ayudará a aclarar el principio de uso de dispositivos en lugar de las manos, para sostener el trabajo. Una compañía que producía ventanas especiales necesitaba quitar una tira de 0.75 pulgadas de ancho de papel protector colocado alrededor de las cuatro orillas de los paneles Lexan. Un operario tomaba una hoja de Lexan y la traía al área de trabajo. Ahí, tomaba un lápiz y una escuadra y marcaba las cuatro esquinas del panel Lexan. Dejaba a un lado el lápiz y la escuadra y tomaba una plantilla con la que localizaba las marcas del lápiz. Después quitaba el papel protector de todo el perímetro de la hoja Lexan. El tiempo estándar desarrollado por MTM-1 era de 1.063 min por hoja.

Se desarrolló un dispositivo sencillo de madera para sostener tres hojas de Lexan mientras les quitaban la tira de 0.75 pulgadas del papel protector de las orillas. Con el método del dispositivo el trabajador tomaba las hojas de Lexan y las colocaba en el dispositivo (figura 5–7). Quitaba el papel protector, volteaba las hojas 180° y quitaba el papel de los otros dos lados. Este método mejorado dio un estándar de 0.46 minutos por hoja, o un ahorro de 0.603 minutos de mano de obra directa por hoja.

Estación para trabajar sentado	Sí	No
1. ¿Es fácil ajustar la silla según las siguientes características?	❑	❑
a. la altura del asiento es ajustable entre 15 y 22 pulgadas	❑	❑
b. el ancho del asiento tiene un mínimo de 18 pulgadas	❑	❑
c. la profundidad del asiento tiene entre 15 y 16 pulgadas	❑	❑
d. el asiento puede inclinarse ±10° respecto a la horizontal	❑	❑
e. el respaldo tiene soporte lumbar	❑	❑
f. el tamaño mínimo del respaldo es 8 × 12 pulgadas	❑	❑
g. el respaldo puede moverse de 7 a 10 pulgadas sobre el asiento	❑	❑
h. el respaldo puede moverse de 12 a 17 pulgadas al frente del asiento	❑	❑
i. la silla tiene un soporte de cinco patas	❑	❑
j. tiene rodajas y pivote para tareas que requieren movimiento	❑	❑
k. la cubierta o tapiz de la silla deja pasar el aire	❑	❑
l. cuenta con descansapies (grande, estable y ajustable en su altura y pendiente)	❑	❑
2. ¿Se ha ajustado la silla de manera adecuada?	❑	❑
a. la altura de la silla se ajustó según la altura popliteal con los pies planos en el suelo	❑	❑
b. hay un ángulo aproximado de 90° entre el tronco y el muslo	❑	❑
c. el área lumbar del respaldo está en la parte baja de la espalda (línea del cinturón)	❑	❑
d. hay suficiente espacio para las piernas (por ejemplo, hacia atrás de la estación de trabajo)	❑	❑
3. ¿Es ajustable la superficie de trabajo?	❑	❑
a. la superficie de trabajo está más o menos a la altura del codo	❑	❑
b. la superficie se baja de 2 a 4 pulgadas para ensambles pesados	❑	❑
c. la superficie se eleva (o se inclina) de 2 a 4 pulgadas para ensambles detallados o tareas de trabajo visual intenso	❑	❑
d. hay suficiente espacio para los muslos (entre la mesa y la silla)	❑	❑
4. ¿Se alternan las posiciones sentado y de pie o caminar?	❑	❑

Estación de trabajo para computadora	Sí	No
1. ¿Se ajustó primero la silla, después el teclado y el ratón y por último el monitor?	❑	❑
2. ¿Está el teclado tan bajo como se puede sin tocar las piernas?	❑	❑
a. los hombros están relajados, los antebrazos cuelgan con comodidad y los brazos están abajo de la horizontal (es decir, el ángulo del codo es >90°)	❑	❑
b. se utiliza una repisa para teclado (más baja que la altura normal de 28 pulgadas para escribir)	❑	❑
c. el teclado tiene una pendiente para mantener una posición de muñecas neutral	❑	❑
d. el ratón está colocado al lado del tablero a la misma altura	❑	❑
e. la silla tiene coderas (ajustables en altura al menos 5 pulgadas)	❑	❑
f. si no hay coderas, se proporciona descanso para las muñecas	❑	❑
3. ¿Está el monitor entre 16 y 30 pulgadas (casi la longitud del brazo) de los ojos?	❑	❑
a. la parte superior de la pantalla está un poco abajo del nivel de los ojos	❑	❑
b. la parte inferior de la pantalla está más o menos 30° abajo del nivel horizontal de los ojos	❑	❑
c. la posición del monitor tiene un ángulo de 90° de las ventanas para minimizar el reflejo	❑	❑
d. las ventanas se pueden cubrir con cortinas o persianas para reducir la luz brillante	❑	❑
e. el monitor está inclinado para minimizar el reflejo de la luz del techo	❑	❑
f. si todavía hay reflejo, se usa una pantalla antirreflejante	❑	❑
g. se usa un sostén de documentos para la transferencia de datos	❑	❑
h. la tarea visual principal (monitor o documento) está ubicada directamente enfrente	❑	❑

Estaciones de trabajo de pie	Sí	No
1. ¿Es ajustable la superficie de trabajo?	❑	❑
a. la superficie de trabajo está más o menos a la altura del codo	❑	❑
b. la superficie se baja de 4 a 8 pulgadas para ensambles pesados	❑	❑
c. la superficie se eleva (o se inclina) de 4 a 8 pulgadas para ensambles detallados o de trabajo visual intenso	❑	❑
2. ¿Hay suficiente espacio para las piernas?	❑	❑
3. ¿Se proporciona un banco para sentarse/parase (con altura ajustable)?	❑	❑
4. ¿Se alternan las posiciones sentado y parado?	❑	❑

Figura 5–16 Lista de verificación para evaluar la estación de trabajo.

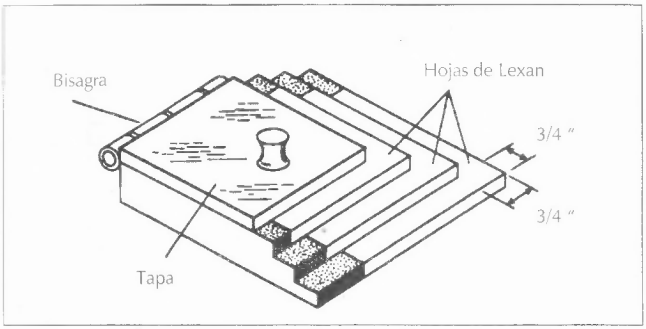


Figura 5–17 Dispositivo para quitar el papel protector de ¾" de ancho en las orillas de las hojas de Lexan

LOCALIZAR TODOS LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL CON LA MAYOR ACCESIBILIDAD Y CAPACIDAD DE FUERZA PARA EL OPERARIO

Muchas máquinas herramienta y otros dispositivos son perfectos en el sentido mecánico, pero no proporcionan una operación efectiva, porque el diseñador de la instalación no tomó en cuenta los diferentes factores humanos. Volantes, manivelas y palancas deben tener el tamaño y la posición adecuados para que el operario las manipule con habilidad máxima y fatiga mínima. Los controles que se usan a menudo deben colocarse entre las alturas del codo y el hombro. Los operarios sentados pueden aplicar una fuerza máxima a las palancas que están al nivel del codo; los operarios de pie, a las palancas que tienen la altura del hombro. El diámetro de los volantes y manubrios depende del torque que debe aplicarse y de la posición montado. Los diámetros máximos de las agarraderas dependen de las fuerzas que se ejercen. Por ejemplo, para una fuerza de 10 a 15 libras (4.6-6 kg), el diámetro debe ser por lo menos 0.25 pulgadas (0.6 cm) y de preferencia mayor; para 15 a 25 libras (6.8-11.4 kg) debe usarse un mínimo de 0.5 pulgadas (1.3 cm), y para 25 libras o más (11.4 kg), un mínimo de 0.75 pulgadas (1.9 cm). Sin embargo, los diámetros no deben exceder 1.5 pulgadas (3.8 cm) y la longitud para el agarre debe ser al menos 4 pulgadas (10 cm), para poder colocar toda la mano.

Las guías para los radios de manivelas y volantes son: cargas ligeras, radios de 3 a 5 pulgadas (7.6-12.7 cm); cargas medianas a pesadas, radios de 4 a 7 pulgadas (10.2-17.8 cm); cargas muy pesadas, radios de más de 8 pulgadas (20 cm) pero no más de 20 pulgadas (51 cm). En general, los diámetros de perillas de 0.5 a 2 pulgadas (1.3-5.1cm) son satisfactorios. Estos diámetros deben aumentar si se necesitan torques mayores.

USAR CÓDIGOS DE FORMA, TEXTURA Y TAMAÑO PARA LOS CONTROLES

Los códigos de forma, con configuraciones geométricas de dos o tres dimensiones, permiten la identificación tanto por tacto como visual. Es útil, en especial en condiciones de poca luz, o en situaciones en donde se desea redundancia o calidad duplicada en la identificación, para ayudar a minimizar los errores. Los códigos de forma adoptan un número relativamente grande de formas distinguibles. En la figura 5–18 se muestra un conjunto muy útil de formas y texturas conocidas que pocas veces se confunden. Las

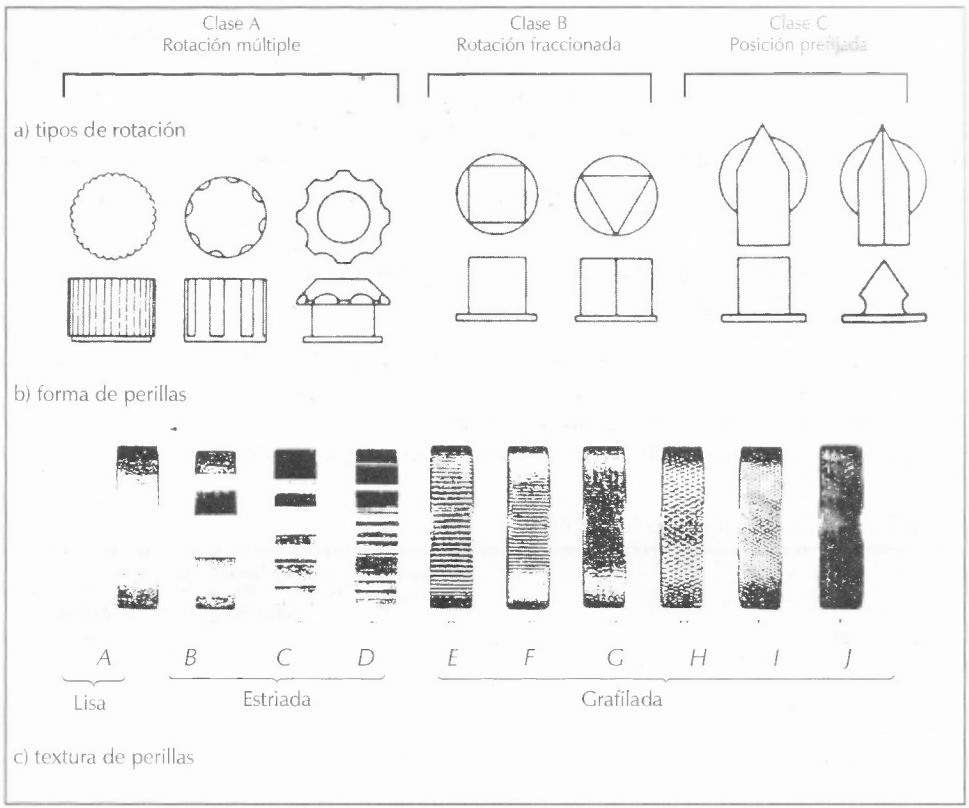


Figura 5–18 Ejemplos de diseños de perillas de tres tipos de uso que pocas veces se confunden al tacto.
El diámetro o longitud de estos controles debe estar entre 0.5 y 4.0 pulg (1.3 a 10 cm), excepto para la clase C, donde 0.75 pulg (1.9 cm) es el mínimo sugerido. La altura debe estar entre 0.5 y 1 pulg (1.3 a 2.5 cm).
(*Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993. Reproducido con permiso de McGraw-Hill Co.)

perillas de rotación múltiple se usan para controles continuos en los que el intervalo de ajuste es mayor que una vuelta completa. Las perillas de rotación fraccionaria se usan para controles continuos con intervalos menores que una vuelta, en tanto las perillas de posicionamiento se usan en ajustes discretos. Además de la forma, la textura de la superficie proporciona una manera para discriminar por tacto. Existen tres texturas que rara vez se confunden: lisa, estriada y grafilada. Sin embargo, conforme aumenta el número de formas, la discriminación se dificulta y es más lenta cuando el operario debe identificar los controles sin verlos. Si está obligado a usar guantes, entonces el código de forma sólo es deseable para la distinción visual, se puede usar para discriminar con el tacto si sólo son de dos a cuatro formas.

El código de tamaño, análogo al de forma, permite la identificación de controles tanto visual como con el tacto. Se usa más que nada donde el operario no puede ver los

controles. Por supuesto, igual que con el código de forma, el código de tamaño permite la redundancia, ya que los controles pueden diferenciarse con el tacto y con la vista. En general, debe intentarse limitar las categorías a tres o cuatro, con una diferencia de al menos 0.5 pulgadas en el tamaño de los controles. La codificación para la operación que requiere un movimiento único (como poner en reversa la palanca de velocidades) es en especial útil para controles críticos que no deben activarse por descuido.

USAR EL TAMAÑO, DESPLAZAMIENTO Y RESISTENCIA DEL CONTROL ADECUADOS

En sus asignaciones de trabajo, los operarios usan todo el tiempo varios tipos de control y diseños de controles. Los tres parámetros que tienen un gran impacto en el desempeño son: tamaño del control, razón control-respuesta y resistencia del control al operarlo. Un control muy pequeño o bien demasiado grande no puede activarse con eficiencia.

Tabla 5–3 Criterios de tamaño del control

			Tamaño del control	
Control		Dimensión	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Botón para oprimir	Dedo	Diámetro	13	*
	Pulgar/palma	Diámetro	19	*
	Pie	Diámetro	8	*
Interruptor de lengüeta		Diámetro de la punta	3	25
		Palanca de brazo largo	13	50
Selector rotatorio		Largo	25	*
		Ancho	*	25
		Profundidad	16	*
Perilla de ajuste continuo	Dedo/pulgar	Profundidad	13	25
		Diámetro	10	100
	Mano/palma	Profundidad	19	*
		Diámetro	38	75
Manivelas	Para tasar	Radio	13	113
	Para fuerza	Radio	13	500
Volante para manos		Diámetro	175	525
		Espesor del aro	19	50
Volante para pulgar		Diámetro	38	*
		Ancho	*	*
		Relieve	3	*
Manija de palanca	Dedos	Diámetro	13	75
	Mano	Diámetro	38	75
Manija de manivela		Área de agarre	75	*
Pedal		Largo	88	†
		Ancho	25	†
Manija de válvula		Diámetro 75 pulg por pulgada de tamaño de válvula		

*No hay límite establecido por el desempeño del operario
†Depende del espacio disponible

Tabla 5–4 Criterios de desplazamiento del control

Control	Condición	Desplazamiento Mínimo	Desplazamiento Máximo
Botón para oprimir	Operación pulgar/dedo	3 mm	25 mm
	Pie Normal	13 mm	—
	Bota pesada	25 mm	—
	Sólo flexión del tobillo	—	63 mm
	Movimiento de la pierna	—	100 mm
Interruptor de lengüeta .	Entre posiciones adyacentes	30°	—
	Total	—	120°
Selector rotatorio	Entre detenciones adyacentes: visual	15°	—
	no visual	30°	—
	Para facilitar el desempeño	—	40°
	Cuando se requiere ingeniería especial	—	90°
Perilla de ajuste continuo	Determinada por la razón de control/pantalla deseada (mm de movimiento de control por cada mm de movimiento de la pantalla)		
Manivela	Determinada por la razón de control/pantalla deseada		
Volante para manos	Determinada por la razón control/pantalla deseada		90°-120°†
Volante para pulgar	Determinada por el número de posiciones		
Manija de palanca.	Movimiento del brazo	*	350 mm
	Movimiento lateral	*	950 mm
Pedales	Normal	13 mm	—
	Bota pesada	25 mm	—
	Flexión del tobillo (levantando)	—	63 mm
	Movimiento de la pierna	—	175 mm

*Ninguna establecida
†Siempre que la razón control/pantalla óptima no quede en desventaja

Las tablas 5–3, 5–4 y 5–5 proporcionan información útil para los diseños sobre las dimensiones mínimas y máximas para los diferentes mecanismos de control.

La *razón control-respuesta* (*C/R*) se define como la cantidad de movimiento en un control dividido entre la cantidad de movimiento en la respuesta (figura 5–19). Una razón C/R baja indica alta sensibilidad, como en el ajuste grueso de un micrómetro. Una razón C/R alta significa baja sensibilidad, como el ajuste fino del micrómetro. El movimiento global de control depende de la combinación del tiempo de viaje primario para alcanzar la meta aproximada y el tiempo de ajuste secundario para lograr la posición meta exacta con precisión. La razón C/R óptima que minimiza este movimiento total depende del tipo de control y de las condiciones de la tarea (figura 5–20). Observe que también existe un *efecto de intervalo*, que es la tendencia a pasarse de las distancias cortas y no llegar cuando las distancias son grandes.

La resistencia del control es importante en términos de proporcionar retroalimentación al operario. De manera ideal, puede ser de dos tipos: desplazamiento puro sin resis-

Tabla 5–5 Criterios de resistencia del control

Control	Condición	Resistencia Mínimo (kg)	Resistencia Máximo (kg)
Botón para oprimir	Yema del dedo	0.17	1.14
	Pie: Descanso fuera del control	1.82	9.10
	Descanso sobre el control	4.55	9.10
Interruptor de lengüeta	Operación con los dedos	0.17	1.14
Selector rotatorio	Torque	1 cm-kg	7 cm-kg
Perilla de ajuste continuo	Torque: Yema del dedo <1 pulg diámetro	*	0.3 cm-kg
	Yema del dedo >1 pulg diámetro	*	0.4 cm-kg
Manivela	Vuelta rápida y firme: <3 pulg radio	0.91	2.28
	5-8 pulg radio	2.28	4.55
	Movimientos precisos	1.14	3.64
Volante para manos†	Precisión en operación: <3 pulg radio	*	*
	5-8 pulg radio	1.14	3.64
	Resistencia: una mano	2.28	13.64
	dos manos	2.28	22.73
Volante para pulgar	Torque	1 cm-kg	3 cm-kg
	Agarre con los dedos	0.34	1.14
	Agarre con la mano: una mano	0.91	—
	dos manos	1.82	—
Manija de palanca	Brazo: a lo largo del plano medio		
	una mano: 10 pulg adelante PRA§	—	13.64
	16-24 pulg adelante PRA	—	22.73
	dos manos: 10-19 pulg adelante PRA	—	45
	Lateral:		
	una mano: 10-19 pulg adelante PRA	—	9.09
	dos manos: 10-19 pulg adelante PRA	—	22.73
Pedal	Pie: descanso fuera del control	1.82	—
	descanso sobre el control	4.55	—
	Sólo flexión del tobillo	—	4.55
	Movimiento de la pierna	—	80

*No establecido
†Para manijas/volantes de válvula: 25 ± cm-kg de torque/cm de tamaño de válvula (8 cm-kg de torque/cm de diámetro de manija).
§PRA: Punto de referencia del asiento

tencia, o fuerza pura sin desplazamiento. La primera tiene la ventaja de causar menos fatiga, mientras que la segunda tiene las características de *punto muerto*, es decir, el control regresa a cero al soltarlo. Los controles en la vida real, por lo común, tienen un resorte que incorpora las características de los dos tipos. Los aspectos de fallas de un control incluyen: alta fricción estática inicial, exceso de amortiguamiento y *espacio muerto*, esto es, movimientos del control sin respuesta. Los tres causan un mal desempeño respecto al movimiento y el uso. Pero en ocasiones, los primeros dos se incorporan a propósito para prevenir la activación inadvertida del control (Sanders y McCormick, 1993).

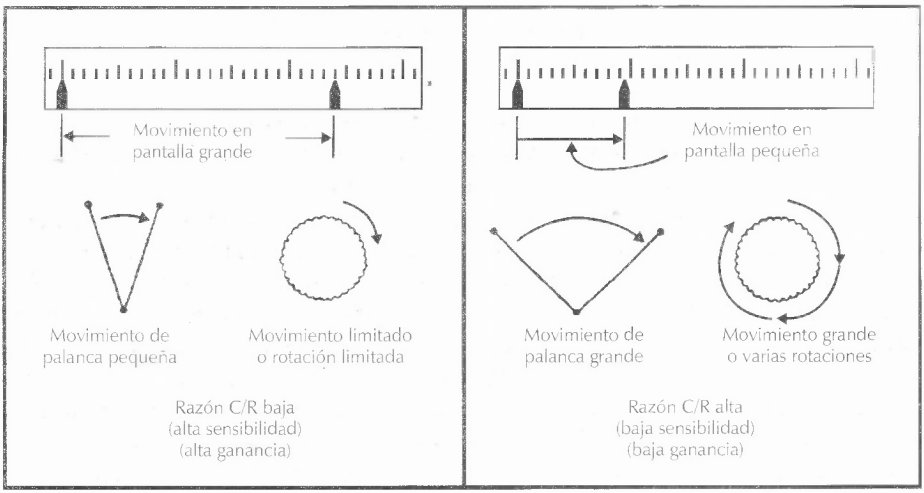


Figura 5–19 Ilustraciones generalizadas de la razón control-respuesta baja y alta (razón C/R) para palancas y controles rotatorios. La razón C/R es una función del enlace entre el control y la pantalla. (*Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993) (Reproducido con permiso de McGraw-Hill Companies.)

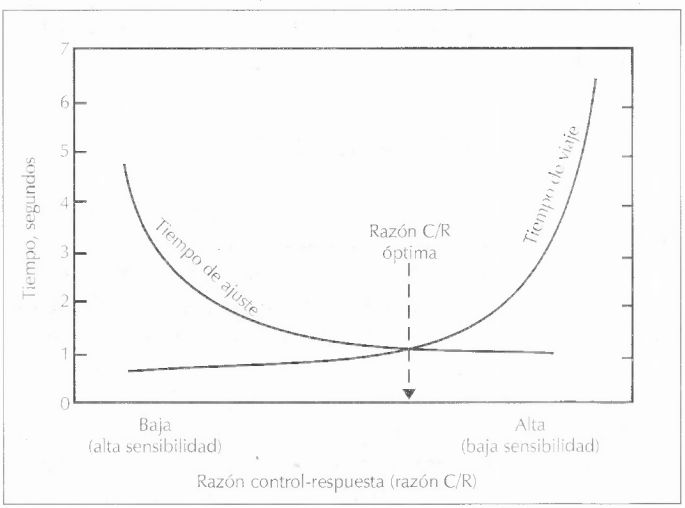


Figura 5–20 Relaciones entre la razón C/R y el tiempo de movimiento (tiempo de viaje y ajuste).
Las razones específicas C/R no son significativas fuera de su contexto original y se omiten aquí. Sin embargo, estos datos tipifican la naturaleza de las relaciones, en especial para perillas de control. (*Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993. Reproducido con permiso de McGraw-Hill Companies.)

ASEGURAR LA COMPATIBILIDAD ADECUADA ENTRE CONTROLES Y PANTALLAS

La *compatibilidad* se define como la relación entre los controles y las pantallas que es consistente con las expectativas humanas. Los principios básicos incluyen: *rendimiento* (la propiedad percibida da como resultado la acción deseada), *mapeo y retroalimentación*, de manera que el operario sabe que la función se ha conseguido. Por ejemplo, un buen rendimiento es una puerta con manija que abre al jalarla o una puerta con una placa que abre al empujar. El mapeo del espacio se observa en estufas bien diseñadas. La compatibilidad de movimiento se suministra con la acción directa, la lectura de escalas que aumentan de izquierda a derecha y los movimientos en el sentido de las manecillas del reloj que aumentan el ajuste. Para las pantallas circulares, la mejor compatibilidad se logra con una escala fija y señaladores o agujas que se mueven (capítulo 7). En pantallas horizontales o verticales se usa el *principio de Warrick* que dice que los señaladores más cercanos en la pantalla y el movimiento de control en la misma dirección proporcionan la mejor compatibilidad (figura 5–19). Para controles y pantallas en diferentes planos, un movimiento en el sentido de las manecillas del reloj para incrementos y la regla del tornillo derecho (la pantalla avanza en la dirección del movimiento de un tornillo o control derecho) son los más compatibles. Para los controles de poste con movimiento directo, el mejor enfoque es que la activación hacia arriba dé un movimiento hacia arriba. (Sanders y McCormick, 1993).

Los principios de diseño del trabajo para maquinaria y equipo se resumen en la lista de evaluación de maquinaria (figura 5–21). El analista puede encontrar que es útil al evaluar y diseñar máquinas o equipos.

DESÓRDENES POR TRAUMA ACUMULADO

El costo de los desórdenes óseomusculares relacionados con el trabajo como los desórdenes por trauma acumulado (DTA) en la industria estadounidense, aunque no todos se deban a un diseño del trabajo inadecuado, es bastante alto. Algunos datos proporcionados por el National Safety Council (1997) sugieren que de 15% a 20% de los trabajadores en industria clave (empaque de carne, procesamiento de aves, ensamble de autos y la industria del vestido) tienen riesgos potenciales de DTA, y 61% de las lesiones ocupacionales se asocian con movimientos repetitivos. La peor industria es la de manufactura, mientras que el peor título ocupacional es carnicero, con 222 quejas de DTA por cada 100 000 trabajadores. Con tasas tan altas y costos médicos promedio de 30 000 dólares por caso, uno de los objetivos principales de NIOSH y OSHA es la reducción de las tasas de incidentes con desórdenes óseomusculares relacionados con el trabajo.

Los *desórdenes por trauma acumulado* (en ocasiones llamados *lesiones por movimientos repetitivos*, o desórdenes relacionados con el trabajo) son lesiones del sistema óseomuscular cuyo desarrollo es gradual como resultado de microtrauma repetido debido a un mal diseño y uso excesivo de herramientas y otros equipos. Por la lentitud con que se establece y la naturaleza de molestia ligera de trauma, suele ignorarse el daño hasta que los síntomas se convierten en crónicos y ocurren lesiones más severas. Estas dificultades son una colección de una variedad de problemas que incluyen desórdenes

Eficiencia y seguridad de la máquina	Sí	No
1. Es posible realizar cortes múltiples o simultáneos.	❑	❑
2. Las manijas, volantes y palancas están accesibles.	❑	❑
3. Las manijas, volantes y palancas están diseñados para el mejor aprovechamiento mecánico	❑	❑
a. Las perillas miden de 0.5-2 pulgadas de diámetro, o más para torques mayores.	❑	❑
b. Las manivelas y volantes tienen 3-5 pulgadas de diámetro para cargas ligeras.	❑	❑
c. Las manivelas y volantes tienen más de 8 pulgadas de diámetro para cargas pesadas.	❑	❑
4. Se usan dispositivos para evitar sostener con la mano.	❑	❑
5. Se cuenta con guardias o cerraduras para evitar la entrada no autorizada.	❑	❑

Diseño de controles generales	Sí	No
1. Se usan diferentes colores para los controles.	❑	❑
2. Los controles están claramente identificados.	❑	❑
3. Se usa un código de forma y textura para la identificación por tacto.	❑	❑
a. Se usan siete códigos únicos o menos.	❑	❑
4. Se usan códigos de tamaño para la identificación por tacto.	❑	❑
a. Se usan tres o menos códigos únicos o movimientos de acción dual.	❑	❑
b. Las diferencias en tamaño son mayores de 0.5 pulgada.	❑	❑

Diseño de controles de emergencia	Sí	No
1. El diseño de los controles de encendido está planeado para evitar la activación accidental.	❑	❑
2. Los controles de activación requieren un movimiento único o de acción dual.	❑	❑
3. Los botones de encendido son cóncavos.	❑	❑
4. Los controles de activación son de color verde.	❑	❑
5. Se usan controles de interrupción automática para controles continuos.	❑	❑
6. Los controles de emergencia están diseñados para una activación rápida.	❑	❑
7. Los botones de paro o apagado sobresalen.	❑	❑
8. Los controles de emergencia son grandes y es fácil activarlos.	❑	❑
9. Los controles de emergencia están al alcance.	❑	❑
10. Los controles de emergencia están visibles y son rojos.	❑	❑
11. Los controles de emergencia están separados de los controles de uso normal.	❑	❑

Colocación de controles	Sí	No
1. Los controles principales están colocados enfrente del operario a la altura del codo.	❑	❑
a. Se usan los principios de importancia y frecuencia de uso para identificar los controles primarios.	❑	❑
2. Los controles secundarios están colocados al lado de los primarios, pero al alcance.	❑	❑
3. Se evitan los giros con torsión para alcanzar los controles.	❑	❑
4. Los controles están colocados en la secuencia adecuada de operación.	❑	❑
5. Los controles relacionados entre sí están agrupados.	❑	❑
6. Los controles operados con las manos están separados al menos 2 pulgadas.	❑	❑
7. Se utilizan tres pedales o menos.	❑	❑
8. Los pedales están localizados a nivel del suelo para evitar levantar la pierna.	❑	❑
9. Se proporciona un banco para estar de pie/sentado para la operación extendida del pedal.	❑	❑

Diseño de pantalla	Sí	No
1. Las pantallas se localizan dentro del cono visual de los ojos (de la horizontal a 30° hacia abajo).	❑	❑
2. Se cuenta con luces indicadoras para llamar la atención del operario.	❑	❑
3. Se usan señales sonoras para advertencias críticas.	❑	❑
4. Se usan señaladores móviles para indicar las tendencias.	❑	❑
5. Hay contadores para lecturas precisas.	❑	❑
6. Las pantallas están agrupadas para acentuar una lectura anormal.	❑	❑
7. Las pantallas relacionadas entre sí están agrupadas.	❑	❑

(continúa)

Figura 5–21 Lista de evaluación de máquinas

Compatibilidad control-pantalla	Sí	No
1. La propiedad percibida da como resultado la acción deseada.	❑	❑
2. Se usa la retroalimentación para indicar la terminación de la acción.	❑	❑
3. El control y la pantalla tienen una relación directa.	❑	❑
4. Las lecturas de la pantalla aumentan de izquierda a derecha.	❑	❑
5. Los movimientos en el sentido de las manecillas del reloj aumentan las lecturas.	❑	❑
6. Los movimientos en el sentido de las manecillas del reloj cierran las válvulas.	❑	❑
7. En controles de palanca, el movimiento hacia arriba o hacia atrás produce movimiento hacia arriba.	❑	❑
8. En controles fuera del plano se aplica la regla de la mano derecha.	❑	❑
Diseño de etiquetas	**Sí**	**No**
1. Las palabras que se usan son claras y concisas.	❑	❑
2. Las letras delimitan al menos 12 arco-minutos del ángulo visual.	❑	❑
3. Se usan letras negras sobre fondo blanco.	❑	❑
4. Se usan letras mayúsculas en pocas palabras.	❑	❑
5. Los símbolos (de preferencia sencillos) se usan sólo cuando se entienden con claridad.	❑	❑

Figura 5–21 *(continuación)*

por movimientos repetitivos, el síndrome del túnel de carpo, tendinitis, ganglionitis, tenosinovitis y bursitis donde estos términos se usan de manera indistinta.

Cuatro factores importantes relacionados con el trabajo parecen conducir al desarrollo de DTA: 1) el uso excesivo de la fuerza; 2) movimientos raros o extremos de las coyunturas; 3) alta repetición, y 4) la duración del trabajo. Los síntomas más comunes asociados con los DTA son: dolor, restricción del movimiento en la coyuntura e inflamación de tejido suave. Es posible que en las primeras etapas haya signos visibles, pero si se afectan los nervios, pueden dañarse las respuestas sensoriales y el control motriz. Si se deja sin tratamiento, el DTA puede causar una discapacidad permanente.

La mano del hombre es una estructura compleja de huesos, arterias, nervios, ligamentos y tendones. Los dedos están controlados por los músculos extensor y flexor de carpo en el antebrazo. Los músculos están conectados a los dedos por tendones que pasan por un canal en la muñeca, formado por los huesos del dorso de la mano por un lado y el ligamento transverso de carpo por el otro. En este canal, llamado túnel o canal de carpo, también pasan varias arterias y nervios (vea la figura 5-22). Los huesos de la muñeca se conectan con dos huesos grandes en el antebrazo, el cúbito o ulna y el radio. El radio está conectado por la muñeca por el lado del pulgar y el cúbito se conecta con ella por el lado del dedo meñique. La orientación de la coyuntura de la muñeca permite movimientos en dos planos, a 90° entre sí (vea la figura 5-23). El primero facilita la *flexión palmar* y la *dorsiflexión* (o *extensión*). El segundo plano permite la *desviación cubital* y *radial*. Además, al rotar el antebrazo se obtiene la *pronación* con la palma hacia abajo o la *supinación* con la palma hacia arriba.

La *tenosinovitis*, uno de los DTA más comunes, es la inflamación del tendón debida al uso excesivo o desacostumbrado de herramientas mal diseñadas. Si la inflamación se extiende a los tendones se convierte en *tendinitis*. A menudo la experimentan personas en capacitación que están expuestos a desviaciones cubitales prolongadas, junto con la supinación de la muñeca. Los movimientos repetitivos y los impactos por choque pueden agravar más el problema. El *síndrome del túnel de carpo* es un desorden de la

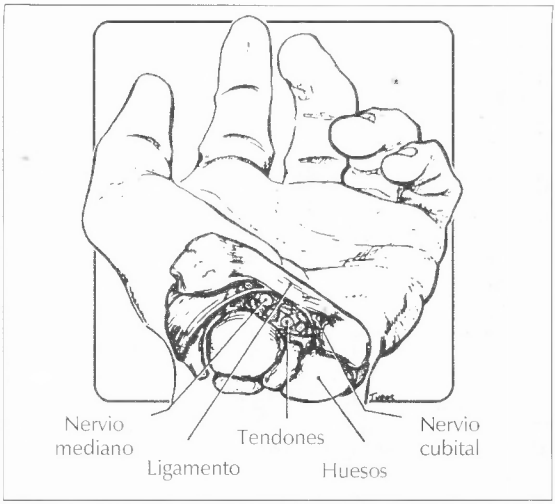


Figura 5–22 Panorama visual del túnel de carpo. (*Tomado de:* Putz-Anderson, 1988)

la mano causado por daños al nervio mediano dentro de la muñeca. La flexión o extensión repetitivas de la muñeca bajo tensión puede inflamar las cubiertas del tendón. Estas cubiertas al sentir el aumento en la fricción, segregan más fluidos para lubricarlas y facilitar el movimiento del tendón. El exceso de fluido que se acumula en el túnel o canal de carpo aumenta la presión, que a su vez comprime el nervio mediano. Los síntomas incluyen una función nerviosa perdida o irregular en los primeros 3 ½ dedos, que se manifiesta como la sensación de entumecimiento, cosquilleo, dolor y pérdida de la destreza. De nuevo, el diseño adecuado de las herramientas es muy importante para evitar estas posiciones extremas de la muñeca. Su desviación radial extrema causa presión entre la cabeza del radio y la unión con el húmero, lo que da como resultado el codo de tenis, una forma de tendinitis. De manera similar, la extensión simultánea de la muñeca y una pronación completa causa la misma tensión sobre el codo.

El *dedo de disparo* es una forma de tendinitis por una situación de trabajo en la que la falange distal del dedo índice debe doblarse y flexionarse para vencer una resistencia antes de flexionar las falanges más próximas. Las fuerzas isométricas excesivas imprimen una muesca en el hueso o causan alargamiento del tendón por inflamación. Cuando el tendón se mueve dentro de su cubierta, puede dar un tirón con un pequeño chasquido audible. El *dedo pálido* es el resultado de la vibración excesiva de las herramientas de potencia, que induce la constricción de las arteriolas dentro de los dedos. Debido a la falta de flujo de sangre se ve la piel blanquecina con la pérdida de control motriz correspondiente. Un efecto similar ocurre por la exposición al frío y se conoce como *síndrome de Raynaud*. En Putz-Anderson (1988) se puede encontrar una buena presentación de estos y otros DTA.

No todas las incidencias son traumáticas. Se ha demostrado que la fatiga a corto plazo y la incomodidad también se deben al mal manejo y orientación del trabajo en el uso de martillos, a una forma inadecuada de herramientas, y alturas equivocadas al usar

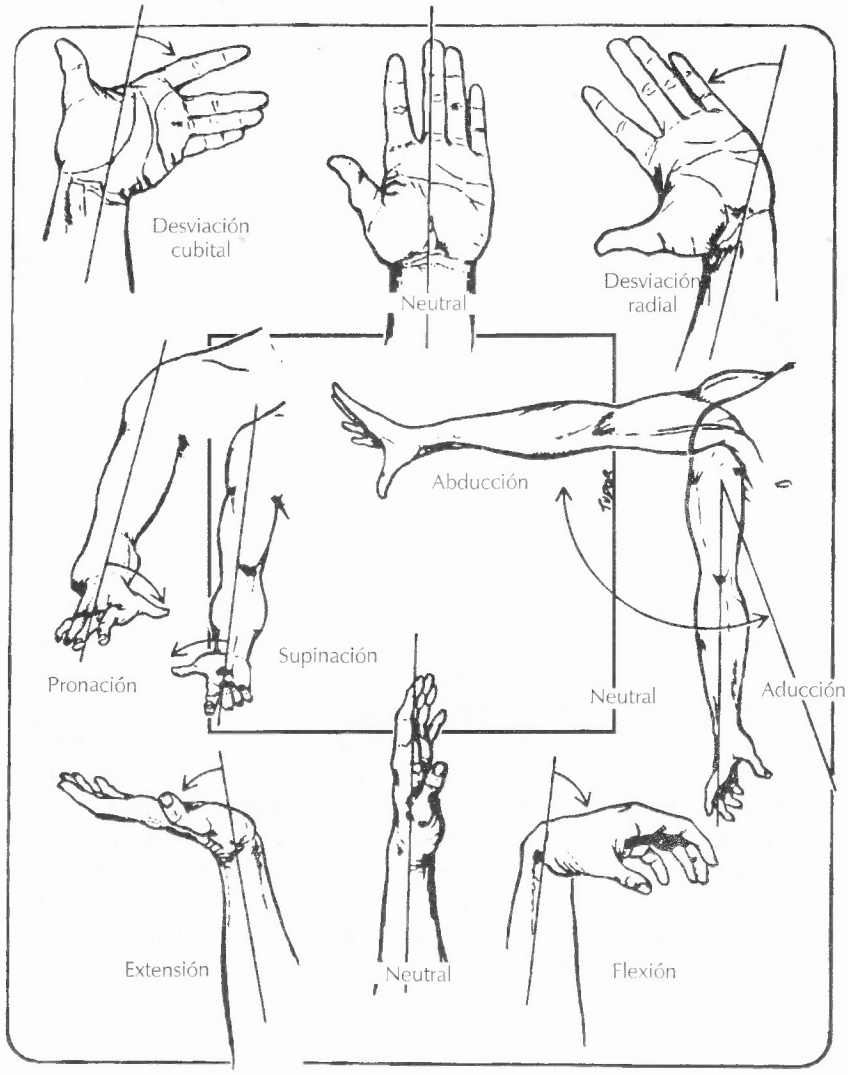


Figura 5–23 Posiciones de la mano y el brazo. (Tomado de: Putz-Anderson, 1988.)

desarmadores. En general, un mal diseño en la agarradera de la herramienta conduce al empleo de fuerzas mayores de agarre y a desviaciones extremas de la muñeca, que son causas de fatiga (Freivalds, 1996).

Para evaluar el nivel de problemas de DTA en una planta, el analista de métodos o el ergonomista suelen comenzar por encuestar a los trabajadores para determinar su salud o la incomodidad en el trabajo. Una técnica común utilizada con este fin es el *mapa de incomodidad del cuerpo* (Corlett y Bishop, 1970; figura 5–24) en donde el trabajador clasifica el nivel de dolor o incomodidad de distintas partes del cuerpo, en una

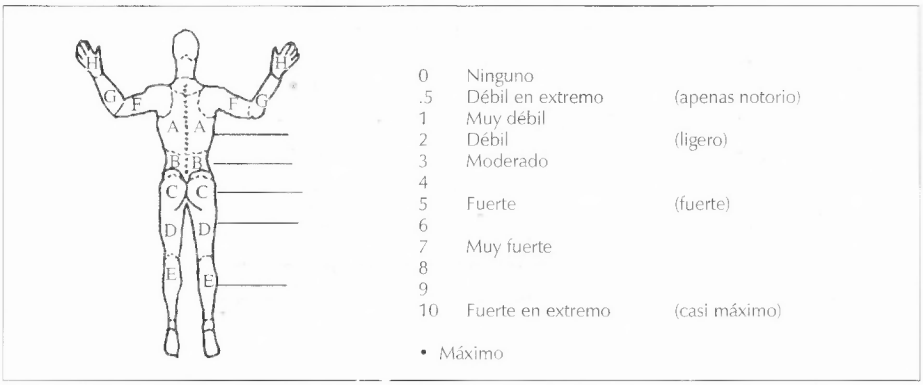


Figura 5–24 Gráfica de incomodidad del cuerpo.
(*Adaptado de:* Corlett y Bishop, 1970.)

escala de 0 (ninguno) a 10 (casi máximo). La clasificación se basa en la *escala proporcional de categorías (CR-10)* de Borg (1990) con las palabras clave de la figura 5–24.

Un enfoque más cuantitativo es el novedoso procedimiento de análisis de riesgo de DTA que suma los valores de riesgo de los tres principales factores causales en una calificación de riesgo (figura 5–25; Seth, Weston y Frievalds, 1988). Se determina un factor de frecuencia mediante un número de movimientos dañinos de la muñeca y después se clasifica con un valor límite de 10 000. Se determina un factor de postura a partir del grado de desviación de la postura neutral para los movimientos de las extremidades superiores. Se determina un factor de fuerza con el porcentaje relativo de tensión máxima del músculo requerida para la tarea y después se escala por 15%, el máximo permitido para contracciones estáticas extendidas (vea el capítulo 4). Un factor combinado final incorpora una variedad de situaciones que pueden tener influencia en las causas de los DTA, como vibración, temperatura, y otros. Se ponderan de manera apropiada y después se suman para obtener el índice de riesgo DTA final. En condiciones de relativa seguridad, el índice debe ser menor que uno (similar al índice de levantamiento de NIOSH, presentado en el capítulo 4).

Un ejemplo (figura 5–25) analiza la tensión de DTA en la que se incurre en una operación altamente repetitiva de corte descrita con mayor detalle en el ejemplo 8–1 del capítulo 8. Tanto el factor de frecuencia de 1.55 como el factor de fuerza igual a 2.00 exceden el límite de seguridad de 1.0, lo que lleva a un valor de riesgo total de 1.34, que también es mayor que 1.0. Entonces, el enfoque con mayor eficiencia en costos es disminuir la frecuencia eliminando o combinando los movimientos innecesarios (que puede ser posible o no) y disminuir la componente de fuerza con la modificación del agarre utilizado (que es la base del cambio de método # 5 en el ejemplo 8–1 del capítulo 8).

El índice DTA ha tenido éxito en la identificación de trabajos que pueden causar daño, pero trabaja mucho mejor si se toma como relativo y no absoluto, por ejemplo, al clasificar y ordenar los trabajos críticos. Observe que el índice de riesgo DTA también sirve como una lista de verificación para identificar malas posturas, y como herramienta de diseño para seleccionar las condiciones clave que deben rediseñarse.

Índice de riesgos DTA

Título trabajo: CORTE	Contador VCR: 2371	Fecha: 1-26-
Descripción trabajo: CORTE CON CUCHILLA	Departamento: CORTE	Analista: AF

Tiempo de ciclo (segundos; obtener de video)		① 5
# ciclos/día = $\frac{(480 - almuerzo - descanso)\times 60}{tiempo\ del\ ciclo} = \frac{(480-30-20)\times 60}{5}$	②a 5160	③ El mayor de ②a y ②b: 5160
# partes/día (si se conoce) —	②b —	
# movimientos de mano/ciclo		④ 3
# movimientos de mano/día (③ × ④)		⑤ 15 480
		Factor de frecuencia (⑤ entre 10 000) = 1.55

(Circule la situación apropiada)	Puntos 0	1	2	3
Postura al trabajar	Sentado	De pie		
Postura mano 1: contracción completa	No	Sí		
Postura mano 2: contracción lateral	No	Sí		
Postura mano 3: contracción palma	No	Sí		
Postura mano 4: presión dedos	No	Sí		
Postura mano 5: agarre con fuerza	Sí	No		
Tipo de alcance	Horizontal	Arriba/abajo		
Desviación mano 1: Flexión	No	Sí		
Desviación mano 2: Extensión	No	Sí		
Desviación mano 3: Desv. radial	No	Sí		
Desviación mano 4: Desv. cubital	No	Sí		
Rotación antebrazo	Neutra	Adentro/afuera		
Ángulo del codo	= 90°	≠ 90°		
Abducción del hombro	0	< 45°	< 90°	> 90°
Flexión del hombro	0	< 90°	< 180°	> 180°
Ángulo de espalda	0	< 45°	< 90°	> 90°
Balance	Sí	No		
		Puntos totales para las situaciones en círculos		⑥ 9
				Factor de postura (⑥ entre 10) = .90

Fuerza de agarre o contracción usada en el trabajo	⑦ 30 lbs	⑨ (⑦ entre ⑧) .30
Desviación mano 4: Desv. cubital	⑧ 100 lbs	
		Factor de postura (⑨ entre .15) = 2.00

(Circule la situación apropiada)	Puntos 0	1	2	3
Orilla filosa	No	Sí		
Guante	No	Sí		
Vibración	No	Sí		
Tipo de acción	Dinámica	Intermitente	Estática	
Temperatura	Tibio	Fría		
		Puntos totales para las situaciones en círculos		⑩ 1
				Factor combinado (⑩ entre 3) = .33

Índice de riesgo DTA = .3 x (frecuencia + postura + factor de fuerza) + .1 x (factor combinado)

Índice de riesgo DTA = .3 × (1.55 + .90 + 2.00) + .1 × (.33) = 1.37

Figura 5–25 Índice de riesgo DTA

PRINCIPIOS DE DISEÑO DEL TRABAJO: HERRAMIENTAS

USAR AGARRE CON FUERZA EN TAREAS QUE REQUIEREN FUERZA Y AGARRE CON CONTRACCIÓN EN TAREAS QUE REQUIEREN PRECISIÓN

El agarre de la mano se puede definir en forma básica como variaciones de agarre entre dos extremos: agarre con fuerza y agarre con contracción. En el *agarre con fuerza*, la

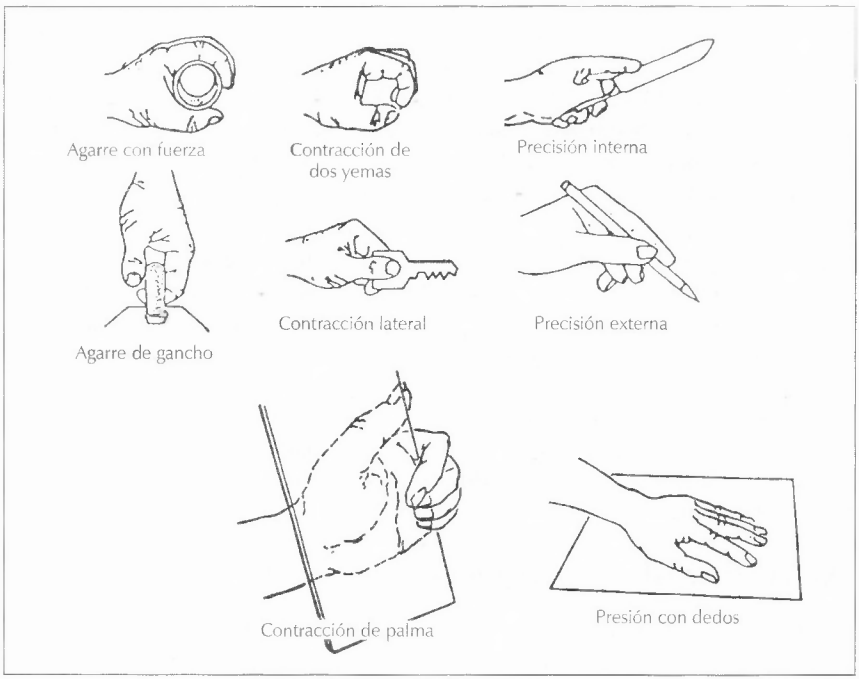


Figura 5-26 Tipos de agarre

manija cilíndrica de una herramienta, cuyo eje es más o menos perpendicular al antebrazo, se toma en la forma de abrazadera flexionando en parte los dedos y la palma. Se aplica una presión opuesta con el pulgar, que se traslapa un poco con el dedo cordial (figura 5–26). La línea de acción de la fuerza varía con: 1) la fuerza paralela del antebrazo, como al serruchar; 2) la fuerza a un ángulo con el antebrazo, como al martillar, y 3) la fuerza que actúa sobre el momento del antebrazo, como al atornillar. Como su nombre lo indica, el agarre con fuerza se usa para mover o sostener objetos pesados. Sin embargo, cuanto más se desvían los dedos o el pulgar del agarre cilíndrico, se produce menos fuerza y se puede proporcionar mayor precisión. Por ejemplo, al sostener un martillo ligero para clavar, el pulgar puede desviarse de la posición opuesta a los dedos y alinearse con el mango. Si el dedo índice también se desvía hacia el eje de la herramienta, como al sostener un cuchillo para hacer un corte preciso, entonces se tiene un agarre con contracción, del cuchillo entre el índice y el pulgar. Este agarre suele llamarse agarre de precisión (Konz Johnson, 2000). Un agarre de gancho, usado al sostener una caja o manija, es un agarre con fuerza incompleto en el que la fuerza opuesta del pulgar no se aplica, y esto reduce en forma considerable la fuerza de agarre disponible.

El *agarre con contracción* se usa para control o precisión. En la contracción el artículo se sostiene entre las yemas de uno o más dedos y el pulgar opuesto (en ocasiones el pulgar se omite). La posición relativa del pulgar y los dedos determina cuánta fuerza se puede aplicar y proporciona una superficie sensible para recibir la retroalimentación necesaria para dar la precisión adecuada. Existen cuatro tipos básicos de agarres de

contracción, con muchas variaciones (figura 5–26): 1) contracción lateral, con el pulgar opuesto al dedo índice; 2) contracciones con dos y tres puntas (o yemas), en las que la punta (o lado palmar) del pulgar se opone a las puntas (o yemas) de uno o más dedos (para tomar un objeto cilíndrico relativamente pequeño, los tres dedos actúan como un mandril y se obtiene un agarre de mandril); 3) contracción de la palma, donde los dedos están opuestos a la palma de la mano sin que participe el pulgar, como al manejar vidrios de ventanas, y 4) presión de los dedos, en el que el pulgar y los dedos presionan contra una superficie, como cuando los trabajadores de la industria del vestido guían la tela a través de una máquina de coser. Un agarre especializado es un agarre de precisión externa o de escritura, que es la combinación de una contracción lateral con el dedo cordial y una contracción con dos yemas para sostener el implemento de escritura (Konx, 1995).

La graduación completa y los nombres de los agarres se pueden encontrar en Kroemer (1986). Observe la disminución significativa en la capacidad de fuerza de los distintos agarres con contracción al compararlos con los agarres con fuerza (tabla 5–6). Nunca deben aplicarse grandes fuerzas en las contracciones.

EVITAR CARGA MUSCULAR ESTÁTICA PROLONGADA

Cuando se usan herramientas en situaciones donde deben elevarse los brazos o deben sostenerse herramientas durante periodos largos, los músculos de hombros, brazos y manos pueden tener una carga estática, motivo de fatiga, reducción en la capacidad de trabajo e inflamación. La abducción de un hombro, con la elevación correspondiente del codo, ocurre si el trabajo se realiza con una herramienta con agarre de pistola en un lugar de trabajo horizontal. Una herramienta alineada o derecha reduce la necesidad de subir el brazo y además permite que la muñeca esté en la postura normal. El trabajo prolongado con los brazos extendidos, como en las tareas de ensamble con aplicación de fuerza, pueden producir inflamación en el antebrazo. Si se rearregla el lugar de trabajo de manera que los brazos se mantengan a 90° se elimina la mayor parte del problema (figura 5–5). También, al sostener en forma continua un interruptor de activación, el resultado tal vez sea fatiga de los dedos y reducción de la flexibilidad.

REALIZAR LOS MOVIMIENTOS DE GIRO CON LOS CODOS DOBLADOS

Cuando se extiende el codo, los tendones y músculos del brazo es estiran y tienen una capacidad de fuerza baja. Si se dobla el codo a 90° o menos, el músculo bíceps braquial adquiere una ventaja mecánica y puede contribuir a la rotación del antebrazo.

Tabla 5–6 Fuerza relativa para distintos tipos de agarre

Agarre	Hombre		Mujer		% promedio de agarre con fuerza
	lb	kg	lb	kg	
Fuerza	89.9	40.9	51.2	23.3	100
Contracción de puntas	14.6	6.6	10.1	4.6	17.5
Contracción de yemas	13.7	6.2	9.7	4.4	16.6
Contracción lateral	24.5	11.1	17.1	7.8	29.5

Fuente: Adaptado de An et al., 1986.

MANTENER LA MUÑECA DERECHA

Al mover la muñeca de su posición neutral ocurre una pérdida en la fuerza de agarre. Si se inicia con la muñeca en posición neutral, la pronación decrece la fuerza de agarre 12%, la flexión/extensión 25% y la desviación radial/cubital 15% (vea la figura 5-27). Más aún, el resultado de posiciones desconcertantes de la mano puede ser inflamación de la muñeca, pérdida de agarre y, si se sostiene por periodos prolongados, la ocurrencia del síndrome del túnel de carpo. Para reducir este problema, debe rediseñarse el lugar de trabajo o la herramienta para que permitan tener la muñeca derecha, por ejemplo, bajar la superficie de trabajo y las orillas de los contenedores e inclinar los dispositivos hacia el usuario. De la misma manera, la agarradera de la herramienta debe reflejar el eje de agarre, que está a cerca de 78° de la horizontal, y debe orientarse para que el eje esté alineado con el dedo índice; los ejemplos incluyen manijas de tenazas dobladas y cuchillos de agarre de pistola (vea la figura 5-28).

EVITAR COMPRESIÓN DE TEJIDOS

Con frecuencia, en la operación de las herramientas manuales, la mano aplica una fuerza considerable. Esas acciones pueden concentrar una gran fuerza de compresión sobre la palma de la mano o los dedos y dar como resultado isquemia, que es la obstrucción

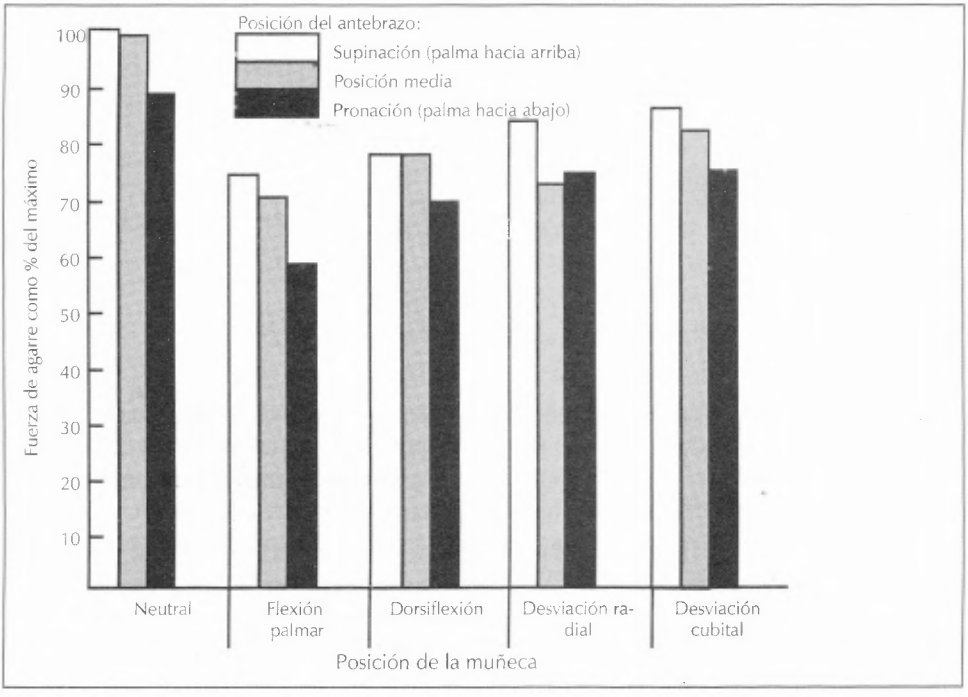


Figura 5–27 Fuerza de agarre como función de la posición de la muñeca y el antebrazo. (*Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993. Reproducido con permiso de The McGraw-Hill Companies.)

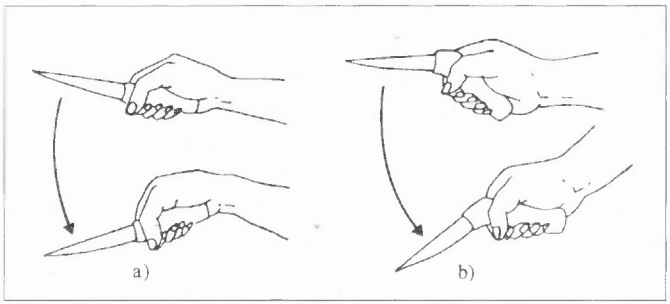


Figura 5-28
a) Cuchillo convencional con agarre en línea, b) Cuchillo modificado con agarre de pistola. (*Tomado de:* Putz-Anderson, 1988.)

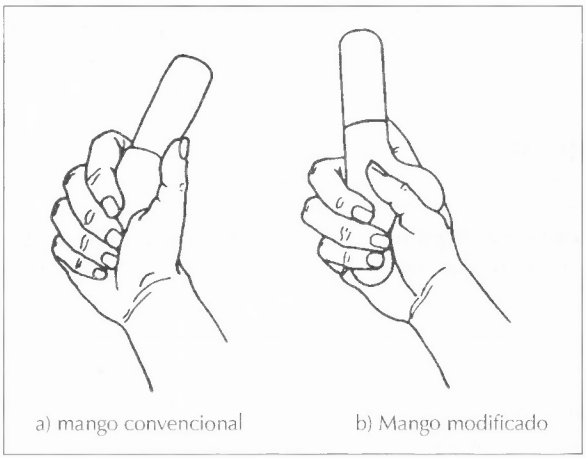


Figura 5–29 Diseño del mango. a) espátula para raspar pintura que presiona la arteria cubital y b) mango modificado que se apoya en los tejidos más fuertes entre el pulgar y el índice para evitar la presión en áreas críticas de la mano. Observe que el mango se extiende más allá de la base de la palma. (*Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993. Reproducido con permiso de The McGraw-Hill Companies.)

del flujo de sangre a los tejidos, y el adormecimiento y cosquilleo eventual en los dedos. Las agarraderas deben diseñarse con grandes superficies de contacto para distribuir la fuerza en un área grande (figura 5–29) o para dirigirla a áreas menos sensibles, como el tejido entre el pulgar y el índice. De igual manera, deben evitarse los canales o relieves para los dedos, ya que el tamaño de las manos varía en forma considerable y los canales sólo se ajustan a una fracción de la población.

DISEÑAR HERRAMIENTAS PARA USAR CON CUALQUIER MANO Y POR LA MAYORÍA DE LOS INDIVIDUOS

Alternar las manos significa reducir la fatiga muscular local. Sin embargo, en muchas situaciones esto no es posible, pues la herramienta usada es para una mano. Aún más, si

la herramienta está diseñada para la mano preferida del usuario, que para 90% de la población es la mano derecha, entonces no se toma en cuenta a 10% de los individuos. Algunos ejemplos de herramientas para diestros que no pueden usar las personas zurdas incluyen un taladro eléctrico con mango sólo en el lado izquierdo, una sierra circular y cuchillo con sierra en un lado. Por lo común, un hombre diestro tiene una disminución de 12% en la fuerza de la mano izquierda, mientras que en las mujeres diestras la disminución es de 7%. Es sorprendente que tanto las mujeres como los hombres zurdos muestran una fuerza casi igual en ambas manos. Una conclusión es que los sujetos zurdos se ven forzados a adaptarse al mundo de los diestros (Miller y Frievalds, 1976).

La fuerza de agarre en la mujer va de 50% a 67% de la del hombre (Pheasant y Scriven, 1983), por ejemplo, se puede esperar que el hombre promedio ejerza una fuerza aproximada de 110 libras (50 kg), en tanto que se espera que esta fuerza para la mujer sea 60 libras (27.3 kg). Las mujeres tienen una doble desventaja: una menor fuerza de agarre promedio y una menor extensión de agarre promedio. La mejor solución es proporcionar una variedad de tamaños de herramientas.

EVITAR ACCIONES REPETITIVAS DE LOS DEDOS

Si se usa en exceso el dedo índice para operar gatillos, se desarrollan los síntomas de dedo de gatillo. Las fuerzas para disparar deben mantenerse pequeñas, de preferencia en menos de 2 libras (0.9 kg) (Eastman Kodak, 1983), para reducir la carga sobre el índice. Son mejores los controles que se pueden operar con dos dedos (figura 5–30), y todavía son mejores los controles en una placa para los dedos o las barras de agarre porque requieren el uso de más dedos y más fuertes. En la tabla 5–7 se muestran las fuerzas absolutas de flexión de los dedos y sus contribuciones relativas.

En las herramientas que se manejan con dos manos, un resorte de retorno ahorra a los dedos el trabajo de poner la herramienta de nuevo en la posición inicial. Además, el número de repeticiones alto debe reducirse. Aunque no se conocen los niveles críticos de repetición, NIOSH (1989) encontró altas tasas de desórdenes de músculo-tendón en los trabajadores que excedían 10 000 movimientos por día.

USAR LOS DEDOS MÁS FUERTES PARA EL TRABAJO: CORDIAL Y PULGAR

Aunque en general el índice es el dedo más capaz para moverse rápido, no es el más fuerte (vea la tabla 5–7). Si se trata de una carga relativamente pesada, entonces es más eficiente usar el dedo cordial, o una combinación del cordial y el índice.

DISEÑAR DIÁMETROS DE AGARRADERAS PARA AGARRES CON FUERZA DE 1.5 PULGADAS

El agarre con fuerza alrededor de un objeto cilíndrico debe rodear por completo la circunferencia del cilindro, de forma que los dedos y el pulgar apenas se toquen. Para la mayoría de los individuos, esto implica un diámetro de agarradera aproximado de 1.5 pulgadas (3.8 cm), con una actividad EMG mínima, un deterioro mínimo de resistencia en el agarre y un máximo en la fuerza de empuje. En general, el límite superior del

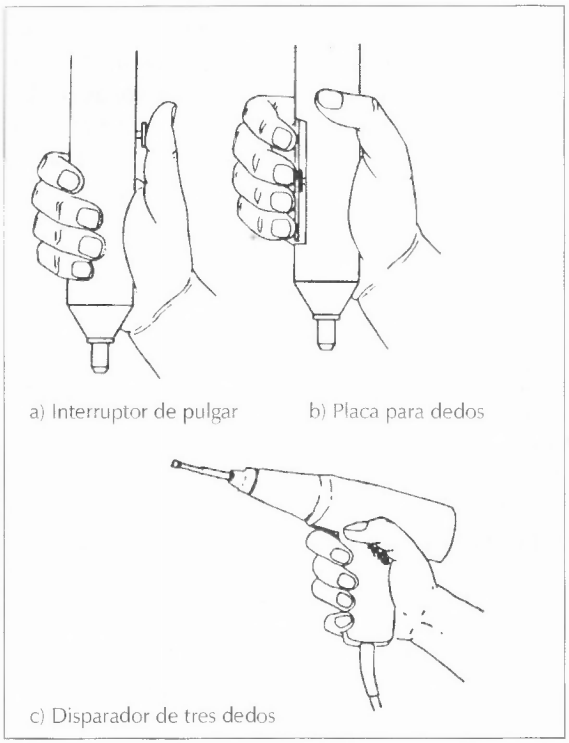


Figura 5–30 Herramientas neumáticas operadas con el pulgar y con una placa para los dedos. a) *La operación del pulgar da como resultado sobreuso del mismo.* b, c) *La placa de control para los dedos permite que todos compartan la carga y que el pulgar agarre y guíe la herramienta. (Adaptado de Sanders y McCormick, 1993. Reproducido con permiso de The McGraw-Hill Companies.*

Tabla 5–7 Fuerza estática máxima de flexión de los dedos

Dedo	Fuerza máxima		% fuerza (pulgar)	% contribución al agarre con fuerza
	lb	kg		
Pulgar	16	7.3	100	—
Índice	13	5.9	81	29
Cordial	14	6.4	88	31
Anular	11	5.0	69	24
Meñique	7	3.2	44	16

Fuente: Adaptado de Hertzberg, 1973.

intervalo es mejor para obtener un torque máximo y el inferior para destreza y velocidad. El diámetro para agarre de precisión debe ser cercano a 0.5 pulgadas (1.3 cm) (Freivalds, 1996).

DISEÑAR AGARRADERAS CON LONGITUD MÍNIMA DE 4 PULGADAS

Tanto en las agarraderas como en los cortes debe haber suficiente espacio para los cuatro dedos. La amplitud del metacarpio va de 2.8 pulgadas (7.1 cm) para el percentil 5 de

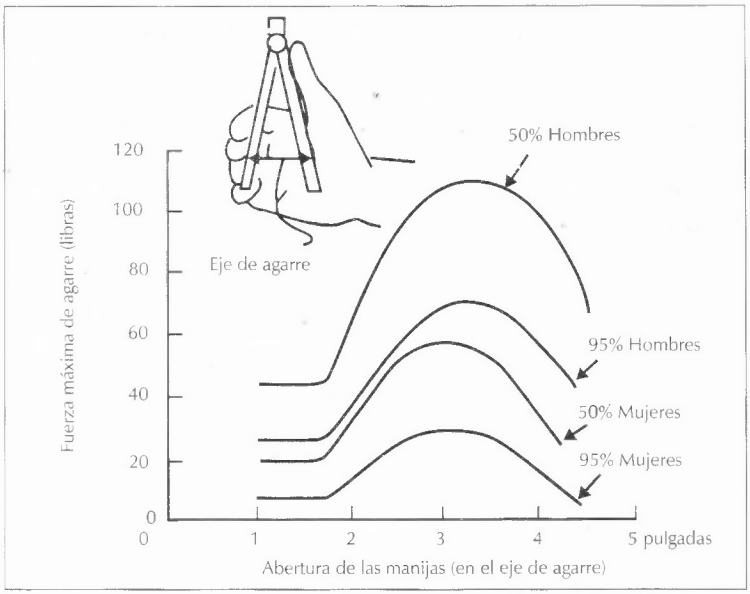


Figura 5–31 Capacidad de fuerza de agarre para distintas distribuciones como función del espacio de agarre.
(*Tomado de:* Greenberg y Chaffin, 1976.)

mujeres a 3.8 pulgadas (9.7 cm) para el percentil 95 de hombres (Garrett, 1971). Entonces, quizá sea razonable un mínimo de 4 pulgadas (10 cm), pero 5 pulgadas (12.5 cm) puede ser más cómodo. Si las manijas de agarre están cubiertas, o si se usan guantes, se recomiendan aberturas más grandes. Para un agarre externo de precisión, el espacio en la herramienta debe tener un largo suficiente para que el primer dedo o el pulgar la sostengan desde la base. Si se quiere un agarre interno de precisión, la herramienta debe extenderse más allá de la palma de la mano, pero no tanto que pegue en la muñeca (Konz, 1995).

DISEÑAR UN ESPACIO DE AGARRE DE 3 PULGADAS EN HERRAMIENTAS PARA DOS MANOS

La fuerza de agarre y la tensión resultante en los tendones flexores de los dedos varía con el tamaño del objeto que se toma. En un dinamómetro con mangos a un ángulo hacia adentro, el agarre de fuerza máxima se logra con alrededor de 3-3.2 pulgadas (7.6-8.1 cm) (Chaffin y Andersson, 1991). A distancias distintas del óptimo, el porcentaje de fuerza de agarre disminuye (figura 5–31) según la fórmula:

$$\% \text{ fuerza de agarre } = 100 - 0.28*S - 65.8*S^2$$

donde S es el espacio de agarre dado menos el espacio de agarre óptimo (3 pulgadas para mujeres y 3.2 pulgadas para hombres). Para los dinamómetros con lados paralelos, este espacio óptimo disminuye a 1.8-2 pulgadas (4.5-5 cm) (Pheasant y Scriven, 1983).

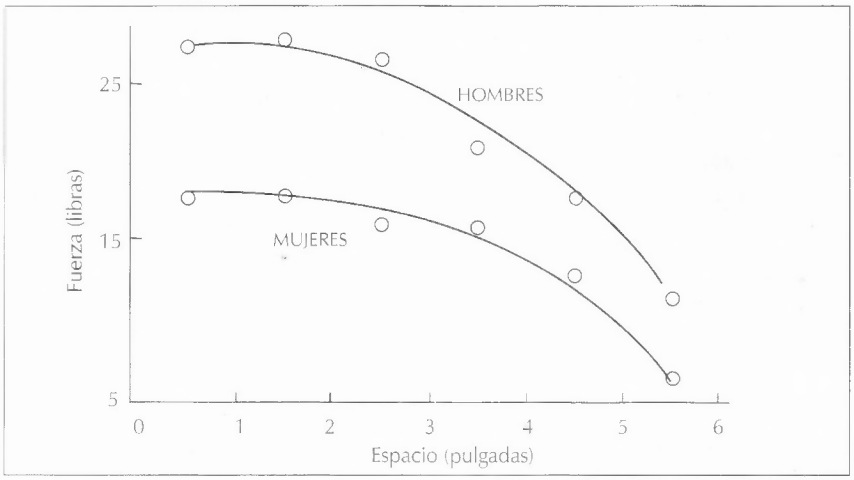


Figura 5–32 Capacidad de fuerza de contracción con las yemas de los dedos para varios espacios. (Tomado de Heffernan y Freivalds, 2000.)

Debido a la gran variación en la capacidad de fuerza de los individuos y la necesidad de ajustarse a la mayoría de la población productiva (por ejemplo, el percentil 5 de mujeres), los requerimientos de agarre máximo deben limitarse a menos de 20 libras. Un efecto similar se encuentra para el agarre con contracción (vea la figura 5-32). Sin embargo, la fuerza de contracción global está a un nivel mucho más bajo (cerca de 20% de la fuerza de agarre) y el espacio óptimo para la contracción (para una contracción con la yema de los dedos de 4 puntos) va de 0.5 a 2 pulgadas (1.3-5.1 cm) y después baja muy rápido para espacios más grandes (Heffernan y Freivalds, 2000).

DISEÑAR DE MANERA ADECUADA LAS FORMAS DE LOS MANGOS

En agarres con fuerza, se diseña para obtener una superficie de contacto máxima, con el objeto de minimizar la presión unitaria de la mano. Por lo común, se piensa que una sección circular da el torque mayor. Sin embargo, la forma puede depender del tipo de tarea y de los movimientos involucrados (Cochran y Riley, 1986). Por ejemplo, la fuerza de jalar máxima y las mejores acciones para empujar, en realidad se obtienen con una sección triangular. Para el tipo de manipulación de girar, la forma triangular es la más lenta. Parece que una forma rectangular (con las esquinas redondeadas) con razones de ancho a alto de 1:1.25 a 1:1.5 son una buena opción. Una ventaja más de la sección rectangular es que la herramienta no se rueda al colocarla en la mesa. Además los mangos no deben tener la forma exacta de un cilindro, excepto para el agarre de gancho. Para herramientas tipo desarmador, el final del mango debe estar redondeado para evitar una presión indebida en la palma; en las herramientas tipo martillo el mango puede tener la forma de curva aplanada para indicar el fin del mango.

Al alejarse de las manijas en forma circular o cilíndrica, Bullinger y Solf (1979) propusieron un diseño más radical que usar secciones hexagonales con la forma de dos conos truncados unidos por sus lados más grandes. Esta forma da el mejor ajuste a

los contornos de la palma y el pulgar tanto en agarres de precisión como de fuerza, y ha proporcionado los mayores torques en comparación con los mangos más convencionales. Una forma similar doble y truncada se desarrolló para manijas de archiveros. En este caso, se encontró que la sección con forma cuadrada y esquinas muy redondeadas tenía una superioridad marcada contra las formas más convencionales.

Una observación final acerca de las formas es que los mangos T para desarmadores dan un torque mucho mayor (hasta 50% más) que los mangos rectos. Su inclinación genera torques aún mayores al permitir que la muñeca permanezca derecha (Saran, 1973).

DISEÑAR SUPERFICIES DE AGARRE COMPRESIBLES Y NO CONDUCTORAS

Durante siglos, la madera ha sido el material elegido para las agarraderas de las herramientas. La madera está disponible y es fácil trabajarla. Tiene una buena resistencia a los golpes y a la conductividad eléctrica y térmica, además tiene cualidades aceptables de fricción aún mojada. Como los mangos de madera se pueden romper y manchar con grasa y aceite, ha habido un cambio reciente a plástico e incluso a metal. Sin embargo, el metal debe cubrirse con hule o piel para reducir el impacto y la conductividad eléctrica y aumentar la fricción (Fraser, 1980). Estos materiales comprimibles también amortiguan la vibración y permiten una mejor distribución de la presión que reduce la fatiga y evita que se debiliten las manos (Fellows y Freivalds, 1991). Pero el material de agarre no debe ser demasiado suave, pues los objetos filosos como virutas de metal podrían incrustarse en él y dificultar su uso. El área de la superficie de agarre debe maximizarse para asegurar la distribución de la presión en un área tan grande como sea posible. La presión excesiva en un punto puede causar suficiente dolor para interrumpir el trabajo.

Las características de fricción de la superficie de la herramienta varían con la presión ejercida por la mano, la suavidad y la porosidad de la superficie y con el tipo de contaminación (Bobjer *et al.*, 1993). El sudor aumenta el coeficiente de fricción, mientras que el aceite y la grasa lo reducen. La cinta adhesiva y la gamuza proporcionan buena fricción cuando hay humedad. El tipo de patrón de la superficie, según se define por la razón del área de bordes a área de ranuras, muestra algunas características interesantes. Cuando la mano está limpia o sudada, se obtienen las fricciones máximas con razones altas (que maximizan el área de contacto mano-superficie); cuando la mano está contaminada, las fricciones máximas se obtienen con razones bajas (que maximizan la capacidad de canalizar los contaminantes a otro lado).

MANTENER EL PESO DE LA HERRAMIENTA MENOR QUE 5 LIBRAS

El peso de la herramienta de mano determinará cuánto tiempo se puede sostener o usar y con qué precisión se puede manipular. Para las herramientas para una mano con el codo a 90° durante periodos prolongados, Greenberg y Chaffin (1976) recomiendan cargas no mayores que 5 libras (2.3 kg). Además, la herramienta debe estar balanceada, con el centro de gravedad tan cercano como sea posible al centro de gravedad de la mano (a menos que el propósito de la herramienta sea transferir la fuerza, como en el martillo). De esta manera, los músculos de la mano o el brazo no necesitan oponerse al desarrollo de un torque debido a una herramienta desbalanceada. Las herramientas pe-

sadas que se usan para absorber el impacto o la vibración deben montarse en brazos telescópicos o balanceadores para reducir el esfuerzo requerido por operador. Para las operaciones de precisión, no se recomiendan pesos mayores que 1 libra en las herramientas, a menos que se use un sistema para compensarlos.

USO RAZONABLE DE GUANTES

Con frecuencia los guantes se usan con las herramientas manuales por seguridad y comodidad. Los guantes de seguridad rara vez son gruesos, pero los que se usan en climas fríos pueden ser pesados e interferir con la habilidad de agarrar. El uso de guantes de piel o lana añade 0.2 pulgadas (0.5 cm) al grueso de la mano y 0.3 pulgadas (0.8 cm) al ancho de la mano en el pulgar mientras que para guantes pesados se añade 1 pulgada (2.5 cm) y 1.6 pulgadas (4.0 cm), respectivamente (Damon *et al.*, 1966). Más importante es que los guantes reducen la fuerza de agarre entre 10% y 20% (Hertzberg, 1973), la producción de torque y los tiempos de desempeño por la destreza manual. Los tiempos de desempeño con guantes de neopreno son 12.5% más lentos que con las manos, con la pana 36%, la piel 45% y el PVC 64% (Weidman, 1974). Debe considerarse un trueque entre mayor seguridad y menor desempeño con los guantes.

USAR HERRAMIENTAS DE POTENCIA COMO DESARMADORES EN LUGAR DE HERRAMIENTAS MANUALES

Las herramientas de potencia no sólo realizan el trabajo más rápido que las manuales sino lo hacen con mucho menos fatiga del operario. Se puede esperar mayor uniformidad del producto al usarlas. Por ejemplo, un desarmador eléctrico para apretar tuercas puede apretar de manera consistente hasta un punto predeterminado en libras-pulgada, mientras que con el desarmador manual no es posible esperar que se mantenga una presión de apriete constante debido a la fatiga del operario.

No obstante, existe un trueque. Las herramientas eléctricas producen una vibración, que puede inducir la palidez en los dedos, primer síntoma de la reducción en el flujo de sangre a los dedos y la mano por la *vasoconstricción* sanguínea. El resultado es una pérdida de retroalimentación sensitiva y una disminución en el desempeño, y la situación puede contribuir al desarrollo del síndrome del túnel de carpo, en especial en trabajo con una combinación de ejercicios repetitivos de fuerza. En general se recomienda evitar vibraciones en el intervalo crítico de 40-130 Hz o un intervalo un poco mayor (pero más seguro) de 2-200 Hz (Lundstrom y Johansson, 1986). La exposición a vibraciones se puede minimizar a través de la reducción en la fuerza de empuje, el uso de manijas o agarraderas con diseño especial para amortiguar la vibración (Andersson, 1990) o guantes que absorben las vibraciones, y dar un mejor mantenimiento para disminuir el desbalance o la mala alineación de los ejes.

USAR LA CONFIGURACIÓN Y ORIENTACIÓN ADECUADA PARA LAS HERRAMIENTAS DE POTENCIA

Con un taladro eléctrico y otras herramientas de potencia, la función principal del operador es sostener, estabilizar y supervisar la herramienta contra un lugar de trabajo,

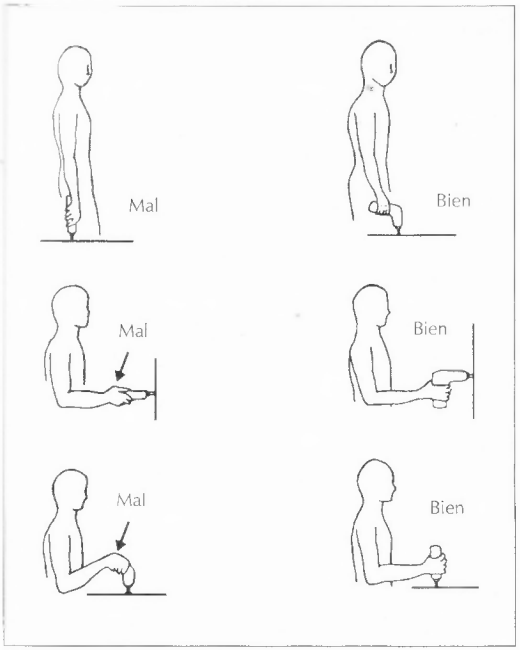


Figura 5–33 Orientación adecuada de las herramientas de potencia en el lugar de trabajo.
(*Tomado de:* Armstrong, 1993.)

mientras que ésta realiza el esfuerzo esencial. Aunque el operario suele tener que cambiar u orientar la herramienta, su función primordial es tomarla y sostenerla de manera efectiva. Un taladro de mano consta de cabeza cuerpo y mango, e idealmente las tres partes están alineadas. La línea de acción es la línea del dedo índice, lo que significa que el taladro ideal tiene la cabeza fuera de centro respecto al eje central del cuerpo.

También la configuración del mango es importante; las opciones son agarre de pistola, en línea o en ángulo recto. Según la regla, en línea y en ángulo recto son mejores para taladrar hacia abajo en una superficie horizontal y el agarre de pistola es mejor para los trabajos en una superficie vertical, con la intención de obtener una posición de pie con la espalda derecha, los brazos hacia abajo y la muñeca sin doblar (figura 5–33). El agarre de pistola, tiene el mango a un ángulo aproximado de 78° con la horizontal (Fraser, 1980).

Otro factor importante es el centro de gravedad. Si está demasiado alejado en el cuerpo de la herramienta, se crea un momento de giro que deben contrarrestar los músculos de la mano y el antebrazo. Esto requiere un esfuerzo muscular adicional al necesario para sostener, posicionar y empujar el taladro en la pieza de trabajo. El mango principal se coloca justo abajo del centro de gravedad para que el cuerpo salga tanto por atrás y como por enfrente. En taladros pesados puede ser necesario un mango de apoyo adicional, ya sea hacia uno de los lados o de preferencia hacia abajo de la herramienta, de forma que el brazo de apoyo se puede oprimir contra el cuerpo en lugar de quedar en el aire.

ELEGIR LA HERRAMIENTA DE POTENCIA CON LAS CARACTERÍSTICAS ADECUADAS

Las herramientas de potencia, como el taladro usado para apretar tuercas, tienen disponibilidad comercial con varias configuraciones de mangos, diámetros de giro, velocidades, pesos, mecanismos de apagado y torque producido. El torque se transfiere del motor al huso mediante varios mecanismos para que la energía (con frecuencia aire comprimido) pueda apagarse con rapidez una vez que la tuerca o sujetador está apretada. El mecanismo más sencillo y menos costoso es el de dirección directa, que está bajo el control del operario, pero, por el tiempo que toma soltar el disparador cuando la tuerca está apretada, transfiere una fuerte reacción de torsión al brazo del operario. El embrague de fricción mecánica permite que el giro se resbale y reduce parte de esta reacción de torsión. Un mecanismo mejor para reducir la reacción de torque es el apagado por flujo de aire, que detecta enseguida cuándo cortar el suministro de aire en el momento en que la tuerca se aprieta. Otro mecanismo todavía más rápido es un embrague mecánico automático de apagado. El mecanismo más reciente incluye el sistema de pulso hidráulico en el que la energía de rotación del motor se transfiere a una unidad de pulso que contiene un colchón de aceite (para filtrar los pulsos de alta frecuencia y el ruido) y un sistema de pulso eléctrico similar; ambos reducen la reacción de torsión en un alto grado (Frievalds y Eklund, 1993).

Las variaciones del torque entregado a la tuerca dependen de varias condiciones, entre ellas: las propiedades de la herramienta; el operario; las propiedades de la articulación, como la combinación del sujetador y el material que se sujeta (desde suave en materiales con propiedades elásticas, como paneles, hasta duro con dos superficies firmes, como en el caso de cigüeñales o poleas), y la estabilidad del suministro de aire. La torsión que experimenta el usuario (reacción de torque) depende de estos factores además del torque del sistema de apagado. En general, con el uso de herramientas eléctricas de potencia a niveles de rpm abajo del normal o de herramientas neumáticas de bajo poder, se obtienen reacciones de torsión y tasas de tensión mayores. Las herramientas tipo pulso producen la menor reacción de torque quizá porque los pulsos cortos la "dividen". Otros problemas potenciales incluyen: ruido del mecanismo neumático que alcanza niveles de 95 dB(A); vibraciones con niveles que exceden 132 dB(V), y emanaciones de polvo o combustible (Freivalds y Eklund, 1993).

USO DE BARRAS DE REACCIÓN Y BALANCEADORES DE HERRAMIENTAS EN LAS HERRAMIENTAS DE POTENCIA

Deben proporcionarse barras de reacción de torque si la torsión excede: 53 lb-pulg (6 Nm) para herramientas en línea usadas para acciones hacia abajo; 106 lb-pulg (12 Nm) para herramientas con agarre de pistola, con uso horizontal, y 444 lb-pulg (50 Nm) para herramientas en ángulo recto usadas en movimientos de abajo hacia arriba (Mital y Kilbom, 1992).

Esta información se resume en una lista de verificación para herramientas (figura 5–34). Si la herramienta no cumple con las recomendaciones y características deseadas, debe rediseñarse o reemplazarse.

Principios básicos	Sí	No
1. La herramienta desempeña la función deseada con efectividad.	❑	❑
2. La herramienta es compatible con el tamaño y fuerza del operario.	❑	❑
3. La herramienta puede usarse sin que cause fatiga indebida.	❑	❑
4. La herramienta proporciona retroalimentación sensorial.	❑	❑
5. Los costos de capital y de mantenimiento de la herramienta son razonables.	❑	❑
Preocupaciones anatómicas	**Sí**	**No**
1. Si se requiere fuerza, la herramienta puede sujetarse con fuerza (como al saludar).	❑	❑
2. La herramienta puede usarse sin abducción del hombro.	❑	❑
3. La herramienta puede usarse con el codo a 90° (con el antebrazo horizontal).	❑	❑
4. La herramienta puede usarse con la muñeca derecha.	❑	❑
5. La agarradera tiene una superficie de contacto amplia para distribuir las fuerzas.	❑	❑
6. El uso de la herramienta es cómodo para el percentil 5 de mujeres operarias.	❑	❑
7. La herramienta se puede usar con cualquier mano.	❑	❑
Manijas y agarres	**Sí**	**No**
1. Para tareas de fuerza, el diámetro de agarre está entre 1.5 y 2 pulgadas.	❑	❑
a. El mango se puede tomar con el pulgar y los dedos apenas traslapados.	❑	❑
2. Para tareas de precisión, el diámetro del mango es de 5/16 - 5/8 pulgadas.	❑	❑
3. La sección de agarre es circular.	❑	❑
4. La longitud de agarre es al menos 4 pulgadas (5 pulg si se usan guantes).	❑	❑
5. La superficie de agarre tiene textura y se comprime un poco.	❑	❑
6. El mango es aislante y no se mancha.	❑	❑
7. Para usos de fuerza, la herramienta tiene un agarre de pistola a 78°.	❑	❑
8. Las herramientas con dos agarraderas pueden operar con fuerza de agarre < 20 lb.	❑	❑
9. El espacio de las agarraderas es de 2¼ - 3¼ pulgadas.	❑	❑
Consideraciones de las herramientas de potencia	**Sí**	**No**
1. La fuerza de activación del disparador es menor que 1 libra.	❑	❑
2. En el uso repetitivo, se cuenta con una placa para los dedos.	❑	❑
3. Se requieren menos de 10 000 acciones de activación por turno.	❑	❑
4. Se proporciona una barra de reacción para torques que exceden:	❑	❑
a. 50 lb-pulg para herramientas alineadas	❑	❑
b. 100 lb-pulg para herramientas con agarre de pistola	❑	❑
c. 400 lb-pulg para herramientas en ángulo recto.	❑	❑
5. La herramienta crea menos de 85 dB de exposición al ruido en un día completo.	❑	❑
6. La herramienta vibra.	❑	❑
a. Las vibraciones están fuera del intervalo de 2-200 Hz.	❑	❑
Consideraciones varias y generales	**Sí**	**No**
1. Para uso general, el peso de la herramienta es menor que 5 libras.	❑	❑
2. Para tareas de precisión, el peso de la herramienta es menor que 1 libra.	❑	❑
3. Para uso amplio, la herramienta está suspendida.	❑	❑
4. La herramienta está balanceada (es decir, el centro de gravedad está en el eje de agarre).	❑	❑
5. La herramienta se puede usar sin guantes.	❑	❑
6. La herramienta tiene topes para limitar que se cierre y evitar pellizcos.	❑	❑
7. La herramienta tiene bordes suaves y redondeados.	❑	❑

Figura 5-34 Lista de verificación de herramientas

RESUMEN

Muchos factores tienen un impacto significativo en la productividad y en el bienestar del operario en una estación de trabajo. La tecnología de ergonomía acertada se aplica tanto al equipo usado como a las condiciones generales que rodean al área de trabajo. Deben proporcionarse la flexibilidad adecuada en el equipo y el entorno de trabajo de manera que se tomen en cuenta las variaciones en altura, alcance, fuerza, tiempo de reflejos, etcétera, de los empleados. Un banco de trabajo con 32 pulgadas (81 cm) de altura puede estar bien para un trabajador que mide 75 pulgadas (191 cm), pero es en definitiva muy alto para un empleado con 66 pulgadas (167.6 cm) de altura. Es deseable tener estaciones de trabajo y sillas con altura ajustable para que todos los trabajadores estén cómodos, de acuerdo con dos desviaciones estándar a más o a menos de la norma. Cuanto más capaces seamos de proporcionar un centro de trabajo que se ajuste a toda la fuerza de trabajo, mejores serán los resultados de productividad y la satisfacción del trabajador.

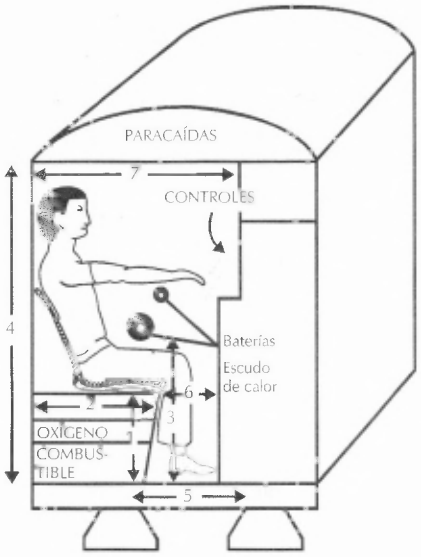
De la misma manera que hay variaciones significativas en la altura y tamaño de la fuerza de trabajo, existen variaciones iguales o mayores en la capacidad visual, auditiva, sensorial y en la destreza manual. La gran mayoría de las estaciones de trabajo se pueden mejorar. Al aplicar las consideraciones ergonómicas junto con la ingeniería de métodos se obtienen entornos más eficientes y competitivos que mejorarán el bienestar del trabajador, la calidad del producto, la rotación de personal en el negocio y el prestigio de la organización.

PREGUNTAS

1. ¿Cuáles son los principales objetivos del análisis de la operación y el estudio de movimientos?
2. ¿A que se refiere el principio de Warrick en el diseño de controles y pantallas?
3. ¿Cuáles son los tres factores de tareas más importantes que llevan a desórdenes de trauma acumulado?
4. ¿Cuál es el factor más importante que causa la palidez en los dedos?
5. ¿Qué es el dedo de disparo?
6. ¿Cuál es la línea de visión óptima?
7. Enumere tres principios para arreglar las componentes en un panel.
8. ¿Qué es el efecto del rango?
9. Enumere tres principios para la compatibilidad control-pantalla efectiva.
10. ¿Qué es la codificación operativa?
11. ¿Cuál es la desventaja principal de los controles por tacto?
12. ¿Cómo se conoce "controlar el movimiento sin respuesta del sistema"?
13. Si la razón C/R aumenta de 1.0 a 4.0, ¿qué pasa con el tiempo de viaje, el tiempo de ajuste y el tiempo total?
14. Describa el avance del estado de lesión para el síndrome del túnel de carpo.
15. ¿Qué es lordosis y cómo se relaciona con un cojín de apoyo lumbar?

PROBLEMAS

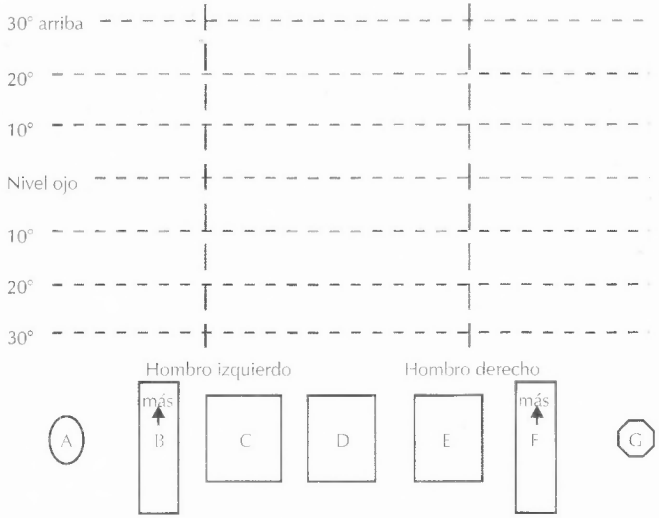
1. Debido al desastre del Challenger, la NASA decidió incluir una posibilidad de escape personal (es decir, una cabina de lanzamiento) para cada astronauta de las naves espaciales. Por lo reducido de las dimensiones, es crucial el diseño antropométrico adecuado. Además, por las restricciones de presupuesto, el diseño no puede ser ajustable, esto es, el mismo diseño debe servir para todos los astronautas, presentes y futuros, hombres y mujeres. Para cada cabina de lanzamiento, indique la característica del cuerpo usada en el diseño, el principio de diseño usado y el valor real (en pulgadas) que debe usarse en su construcción.



Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

Característica de la cabina de lanzamiento	Características del cuerpo	Principio de diseño	Valor real
1. Altura del asiento			
2. Profundidad del asiento			
3. Altura de la palanca de control			
4. Altura de la cabina			
5. Profundidad del área para pies			
6. Profundidad del área para piernas			
7. Profundidad de la cabina			
8. Ancho de la cabina			
9. Límite de peso			

2. Se le pide que diseñe un tablero de control/pantalla para el lanzamiento de escape de la NASA. Después del escape inicial, debe usarse propulsión para desacelerar contra el campo de gravedad de la tierra. El paracaídas sólo puede liberarse dentro de una altitud dada, en un intervalo corto. Arregle siete tableros de control/pantalla, usando las mismas escalas que se muestran en el siguiente panel. Explique la lógica de su distribución.



Control/pantalla	% de tiempo que se ve	Importancia	# veces usado
A Liberar lanzamiento	1	Crítico	1
B Nivel de combustible de propulsión	20	Muy importante	10
C Indicador de velocidad de aire	15	Importante	5
D Presión de oxígeno	1	Sin importancia	2
E Nivel de energía eléctrica	2	Importante	3
F Indicador de altitud	60	Crítico	50
G Liberar paracaídas	1	Crítico	1

3. La fundidora Dorben usa una grúa colgante con cabeza magnética para cargar el desperdicio de fierro en un alto horno. El conductor de la grúa usa varias palancas para controlar los tres grados de libertad necesarios para la cabeza magnética. Usa un control para activar/desactivar el imán de la cabeza. El conductor está en posición más alta que la operación y ve hacia abajo la mayor parte del tiempo. Los conductores se quejan con frecuencia de dolor de espalda. La siguiente tabla contiene información sobre los controles de palanca comerciales disponibles:

Palanca	Distancia de carrera (pulg)	Movimiento de grúa (pies)	Tiempo para el blanco (s)
A	20	20	1.2
B	20	10	2.2
C	20	80	1.8
D	20	40	1.2

a. Diseñe un sistema de control adecuado para el operador de la grúa. Indique el número de controles necesarios, su localización (en especial respecto a la línea de visión del operador), su dirección de movimiento y tipo de retroalimentación.

b. Indique una razón control-respuesta apropiada para estos controles.
c. ¿Qué otros factores pueden ser importantes al diseñar estos controles?

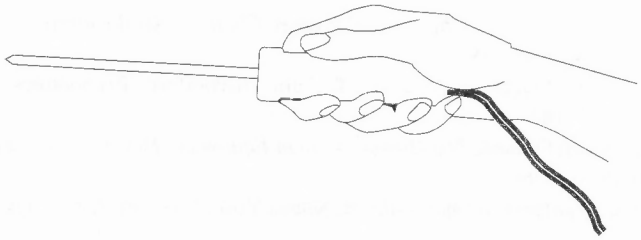
4. Los siguientes son datos de dos arreglos de control-respuesta diferentes. Según ellos, ¿cuál es la razón óptima C/R para cada arreglo? ¿Qué arreglo recomendaría como el mejor?

Arreglo	Razón C/R	Tiempo de viaje (s)	Tiempo de ajuste (s)
A	1	0.1	5
	5	1	2
	10	5	0.5
	20	10	0.1
B	2	1	6
	10	3	5
	15	5	4
	20	10	3

5. En una pequeña planta de manufactura, el cautín que se muestra se usa para soldar conexiones en un panel vertical grande. Se han reportado varias lesiones ósemusculares en este trabajo durante el año pasado y se han recibido muchas quejas de los operarios. En general, parece que:

a. Es difícil ver el punto de aplicación cuando se usa esta herramienta.
b. Los operarios agarran la herramienta con demasiada fuerza innecesaria.
c. El cable de corriente tiende a enredarse.
d. Los operarios se quejan de dolor en la muñeca.

Rediseñe el cautín para eliminar los problemas descritos. Señale las características ergonómicas o especiales que haya incorporado en su diseño.



6. Use el índice de riesgo de DTA para calcular el riesgo potencial de lesiones para la mano derecha en las siguientes tareas mostradas en el disco compacto.

a. Sellado de extrusiones (suponga una fuerza de agarre de 30% MVC)
b. Sellado de coples finales (suponga una fuerza de agarre de 15% MVC)
c. Ensamble de lámpara de mano (suponga una fuerza de agarre de 15% MVC)
d. Ensamble de unión (suponga una fuerza de agarre de 15% MVC)
e. Ensamble de riel de cama de hospital(suponga una fuerza de agarre de 30% MVC)
f. Costura de prendas (suponga una fuerza de agarre de 30% MVC)
g. Etiquetado de prendas (suponga una fuerza de agarre de 15% MVC)
h. Cortar e hilvanar prendas (suponga una fuerza de agarre de 30% MVC)

REFERENCIAS

An, K., L. Askew y E. Chao, "Biomechanics and Functional Assessment of Upper Extremities", en *Trends in Ergonomics/Human Factors III*, Ed. W. Karwowski, Amsterdam: Elsevier,1986, pp. 573–580.

Andersson, E. R., "Design and Testing of a Vibration Attenuating Handle", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 6, no. 2 (septiembre 1990), pp. 119–125.

Andersson, G. B. J., R. Örtengren, A. Nachemson y G. Elfström, "Lumbar Disc Pressure and Myoelectric Back Muscle Activity During Sitting", *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 6, no. 3 (1974), pp. 104–114.

ANSI (American National Standards Institute), *ANSI Standard for Human Factors Engineering of Visual Display Terminal Workstations*, ANSI/HFS 100-1988, Santa Monica, CA: Human Factors Society, 1988.

Armstrong, T. J., *Ergonomics Guide to Carpal Tunnel Syndrome*, Fairfax, VA: American Industrial Hygiene Association, 1983.

Bobjer, O., S. E. Johansson y S. Piguet, "Friction Between Hand and Handle. Effects of Oil and Lard on Textured and Non-textured Surfaces; Perception of Discomfort", *Applied Ergonomics*, 24, núm. 3 (junio 1993), pp. 190–202.

Borg, G., "Psychophysical Scaling with Applications in Physical Work and the Perception of Exertion", *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 16, suplemento 1 (1990), pp. 55–58.

Bullinger, H. J. y J. J. Solf, *Ergonomische Arbeitsmittel-gestaltung, II - Handgeführte Werkzeuge - Fallstudien*, Dortmund, Germany: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, 1979.

Chaffin, D. B. y G. Anderson, *Occupational Biomechanics*, Nueva York: John Wiley & Sons, 1991, pp. 355–368.

Cochran, D. J. y M. W. Riley, "An Evaluation of Knife Handle Guarding", *Human Factors*, 28, núm. 3 (junio 1986), pp. 295–301.

Congleton, J. J., *The Design and Evaluation of the Neutral Posture Chair*, (Tésis doctoral), Lubbock, TX: Texas Tech University, 1983.

Corlett, E. N. y R. A. Bishop, "A Technique for Assessing Postural Discomfort", Ergonomics, 19, núm. 2 (marzo 1976), pp. 175–182.

Damon, A., H. W. Stoudt y R. A. McFarland, *The Human Body in Equipment Design*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1966.

Diffrient, N., A. R. Tilley y J. C. Bardagjy, *Humanscale, H*, Nueva York: Dreyfuss Associates, 1978.

Eastman Kodak Co., *Ergonomic Design for People at Work*, Belmont, CA: Lifetime Learning Pub., 1983.

Fellows, G. L. y A. Freivalds, "Ergonomics Evaluation of a Foam Rubber Grip for Tool Handles", *Applied Ergonomics*, 22, núm. 4 (agosto 1991), pp. 225–230.

Fraser, T. M., *Ergonomic Principles in the Design of Hand Tools*, Geneva, Switzerland: International Labor Office, 1980.

Freivalds, A., "Tool Evaluation and Design", en *Occupational Ergonomics*, Ed. A. Bhattacharya y J. D. McGlothlin, Nueva York: Marcel Dekker, 1996, pp. 303–327.

Freivalds, A. y J. Eklund, "Reaction Torques and Operator Stress While Using Powered Nutrunners", *Applied Ergonomics*, 24, núm. 3 (junio 1993), pp. 158–164.

Garett, J., "The Adult Human Hand: Some Anthropometric and Biomechanical Considerations", *Human Factors*, 13, núm. 2 (abril 1971), pp. 117–131.

Greenberg. L. y D. B. Chaffin, *Workers and Their Tools*, Midland, MI: Pendell Press, 1976.

Hertzberg, H., "Engineering Anthropometry", en *Human Engineering Guide to Equipment Design*, Ed. H. Van Cott y R. Kincaid, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1973, pp. 467–584.

Konz, S., *Work Design*, Scottsdale, AZ: Holcomb Hathaway Publishers, 2000.

Kroemer, K. H. E., "Coupling the Hand with the Handle: an Improved Notation of Touch, Grip and Grasp", *Human Factors*, 28, núm. 3 (junio 1986), pp. 337–339.

Lundstrom, R. y R. S. Johansson, "Acute Impairment of the Sensitivity of Skin Mechanoreceptive Units Caused by Vibration Exposure of the Hand", *Ergonomics*, 29, núm. 5 (mayo 1986), pp. 687–698.

Miller, G. y A. Freivalds, "Gender and Handedness in Grip Strength", *Proceedings of the Human Factors Society 31st Annual Meeting*, Santa Monica, CA, 1987, pp. 906–909.

Mital, A. y Å. Kilbom, "Design, Selection and Use of Hand Tools to Alleviate Trauma of the Upper Extremities", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 10, núm. 1 (enero 1992), pp. 1–21.

National Safety Council, *Accident Facts*, Chicago, IL: National Safety Council, 1997.

NIOSH, *Health hazard evaluation-Eagle Convex Glass, Co.* HETA-89-137-2005, Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, 1989.

Osinski, C. y A. Freivalds, "Pinching Forces as a Function of Pinch Span", presentado a *Applied Ergonomics*, 1998.

Pheasant, S. T. y S. J. Scriven, "Sex Differences in Strength, Some Implications for the Design of Handtools", en *Proceedings of the Ergonomics Society*, Ed. K. Coombes, London: Taylor & Francis, 1983, pp. 9–13.

Putz-Anderson, V., *Cumulative Trauma Disorders*, London: Taylor & Francis, 1988.

Sanders, M. S. y E. J. McCormick, *Human Factors in Engineering and Design*, Nueva York: McGraw-Hill, 1993.

Saran, C., "Biomechanical Evaluation of T-handles for a Pronation Supination Task", *Journal of Occupational Medicine*, 15, núm. 9 (septiembre 1973), pp. 712–716.

Serber, H., "New Developments in the Science of Seating", *Human Factors Bulletin*, 33, núm. 2 (febrero 1990), pp. 1–3.

Seth, V., R. Weston y A. Freivalds, "Development of a Cummulative Trauma Disorder Risk Assessment Model", *International Joournal of Industrial Ergonomics*, 23, núm 4, (marzo, 1999), pp. 281–291.

Terrell, R. y J. Purswell, "The Influence of Forearm and Wrist Orientation on Static Grip Strength as a Design Criterion for Hand Tools", *Proceedings of the Human Factors Society 20th Annual Meeting*, Santa Monica, CA, 1976, pp. 28–32.

Tichauer, E. R., "Some Aspects of Stress on Forearm and Hand in Industry," *Journal of Occupational Medicine*, 8, núm. 2 (febrero 1966), pp. 63–71.

U.S. Department of Justice, *Americans with Disabilities Act Handbook*, EEOC-BK-19, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1991.

Webb Associates, *Anthropometric Source Book*, II, Pub. 1024, Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 1978.

Weidman, B., *Effect of Safety Gloves on Simulated Work Tasks*, AD 738981, Springfield, VA: National Technical Information Service, 1970.

SOFTWARE SELECCIONADO

COMBIMAN, *User's Guide for COMBIMAN, CSERIAC*, Dayton, OH: Wright-Patterson AFB. (http://dtica.dtic.mil/hsi/srch/hsi5.htlm)

Design Tools (incluido en el libro), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

Ergointelligence (Upper Extremity Analysis), 3400 de Maisonneuve Blvd. West, Suite 1430, Montreal, Quebec, Canadá H3Z 3B8.

Jack®, Engineering Animation, Inc., 2321 North Loop Dr., Anes IA 50010. (http://qqq.cai.com/)

Job Evaluation Toolbox™, ErgoWeb, Inc., P.O. Box 1089, 93 Main St., Midway, UT 84032.

MannequinPro, Nexgen Ergonomics, 3400 de Maisonneuve Blvd. West, Suite 1430, Montreal, Quebec, Canadá H3Z 3B8. (http://www.nexgenergo.com/)

Multimedia Video Task Analysis, Nexgen Ergonomics, 3400 de Maisonneuve Blvd. West, Suite 1430, Montreal, Quebec, Canadá H3Z 3B8.

Safework, Safework (200) Inc., 3400 de Maisonneuve Blvd. West, Suite 1430, Montreal, Quebec, Canadá H3Z 3B8.

SITIOS EN INTERNET

CTD News, http://ctdnews.com/

CTD Resource Network, http://www.ctdrn.org/

ErgoWeb, http://www.ergoweb.com/

Examples of bad ergonomics design, http://www.baddesigns.com/

CAPÍTULO 6



Diseño del entorno de trabajo

PUNTOS CLAVE:

- Proporcionar iluminación tanto general como para la tarea, evitar reflejos
- Controlar el ruido en su fuente
- Controlar la tensión por calor con pantallas antirradiación y ventilación
- Proporcionar movimiento general de aire y ventilación local en áreas calientes
- Amortiguar mangos de herramientas y asientos para reducir la vibración
- Evitar la exposición a la radiación
- Usar turnos rápidos con rotación hacia adelante si no se pueden evitar los turnos
- Promover limpieza y orden y la seguridad general
- Patrocinar un programa de ergonomía OSHA bien formulado

El análisis de métodos debe proporcionar condiciones de trabajo cómodas y seguras para el operario. La experiencia ha probado de manera contundente que las plantas con buenas condiciones de trabajo producen mucho más que aquellas con malas condiciones. Por lo común, el rendimiento económico de la inversión en un entorno de trabajo mejorado es significativo. Además de aumentar la producción, las condiciones ideales de trabajo mejoran la seguridad registrada, reducen al ausentismo, los retrasos y la rotación de personal, eleva el ánimo de los empleados y mejora las relaciones públicas. Si estas razones no son suficientes para convencer a una compañía de mejorar el entorno de trabajo para sus empleados, entonces queda siempre la amenaza de una inspección de OSHA y una posible multa. Los niveles aceptables de las condiciones de trabajo y las medidas de control recomendadas para las áreas problema se encuentran en el reglamento de OSHA y se presentan con detalle en este capítulo.

ILUMINACIÓN

TEORÍA

Muchos conceptos, términos y unidades se relacionan con la medición de la iluminación. La teoría básica se aplica a una fuente puntual de luz (como una vela) con una *intensidad luminosa* dada, medida en *candelas* (cd) (figura 6–1). La luz emana de manera esférica en todas las direcciones desde la fuente. La cantidad de luz que llega a una superficie, o a una sección de esta esfera se conoce como *iluminación* o *iluminancia* y se mide en *pies-candela* (fc). La cantidad de iluminación que llega a la superficie disminuye según el cuadrado de la distancia (d) en pies de la fuente a la superficie:

$$\text{iluminancia} = \text{intensidad}/d^2$$

Parte de la luz se absorbe y parte se refleja (con materiales traslúcidos, parte también se transmite), esto permite a las personas "ver" el objeto y les proporciona una percepción de brillo. La cantidad reflejada se llama *luminancia* y se mide en *pie-Lambert* (fL). Se determina por la propiedad de reflexión de la superficie, conocida como coeficiente de reflexión o *reflectancia*:

$$\text{luminancia} = \text{iluminancia} \times \text{reflectancia}$$

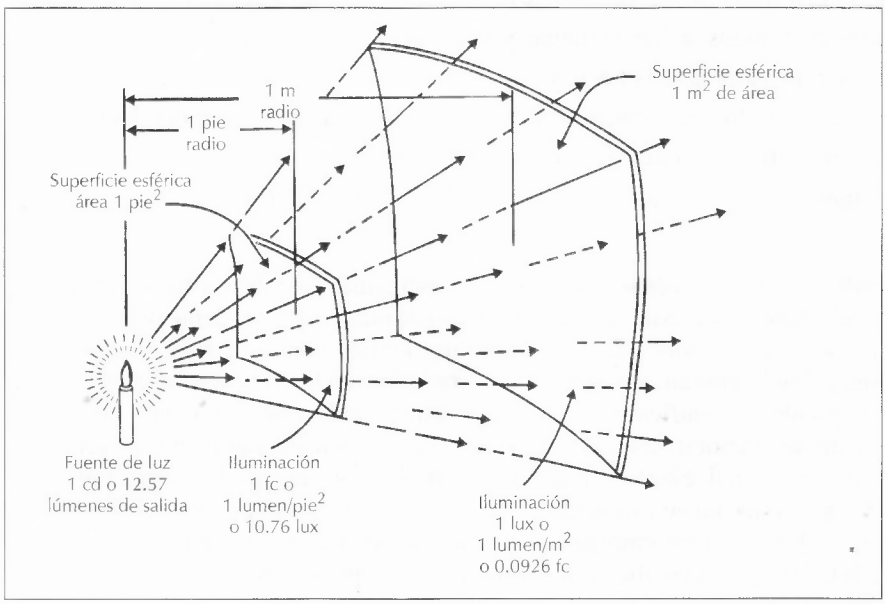


Figura 6–1 Ilustración de la distribución de la luz de una fuente siguiendo la ley del cuadrado del inverso. (*Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993. Reimpreso con permiso de The McGraw-Hill Companies.)

Tabla 6–1 Reflectancias de acabados comunes de pintura y madera

Color o acabado	Porcentaje de luz reflejada	Color o acabado	Porcentaje de luz reflejada
Blanco	85	Azul medio	35
Crema claro	75	Gris oscuro	30
Gris claro	75	Rojo oscuro	13
Amarillo claro	75	Café oscuro	10
Madera claro	70	Azul oscuro	8
Verde claro	65	Verde oscuro	7
Azul claro	55	Arce o maple	42
Amarillo medio	65	Madera satinada	34
Madera medio	63	Nogal	16
Gris medio	55	Caoba	12
Verde medio	52		

La reflectancia es una proporción sin unidades entre 0 y 100%. El papel de alta calidad tiene una reflectancia de alrededor de 90%, el periódico y el concreto casi 55%, el cartón 30% y la pintura negra mate 5%. En la tabla 6–1 se presentan las reflectancias para distintos colores de pintura.

VISIBILIDAD

En general, la claridad con la que las personas ven algo se conoce como *visibilidad*. Los tres factores críticos de visibilidad son: *ángulo visual*, *contraste* y el más importante, *iluminancia*. El ángulo visual es el ángulo subtendido al nivel de los ojos por el objeto y el contraste es la diferencia en luminancia entre un objeto o meta visual y su fondo. El ángulo visual se define en arcominutos (1/60 de grado) para objetos pequeños como:

$$\text{ángulo visual (arc min)} = 3438 \times h/d$$

donde h es la altura del objeto o detalle crítico (o ancho de trazo en caso de impresos) y d es la distancia del objeto al ojo (en las mismas unidades que h).

El contraste se define de varias maneras. Una forma común es:

$$\text{contraste} = (L_{máx} - L_{mín}) / L_{máx}$$

donde L es la luminancia. Entonces, el contraste se relaciona con la diferencia entre las luminancias máxima y mínima del objeto y el fondo. Observe que el contraste es adimensional.

Otros factores menos importantes para la visibilidad que no se incluirán aquí son: tiempo de exposición, movimiento del objeto, edad, localización conocida y capacitación.

Blackwell (1959) cuantificó la relación entre estos tres factores críticos en una serie de experimentos que llevaron al desarrollo de los estándares de iluminación de la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA, 1995). Aunque las curvas de Blackwell (figura 6–2) como tales no se usan en la actualidad, muestran el trueque entre el tamaño del objeto, la cantidad de iluminación (en este caso, medida como lumi-

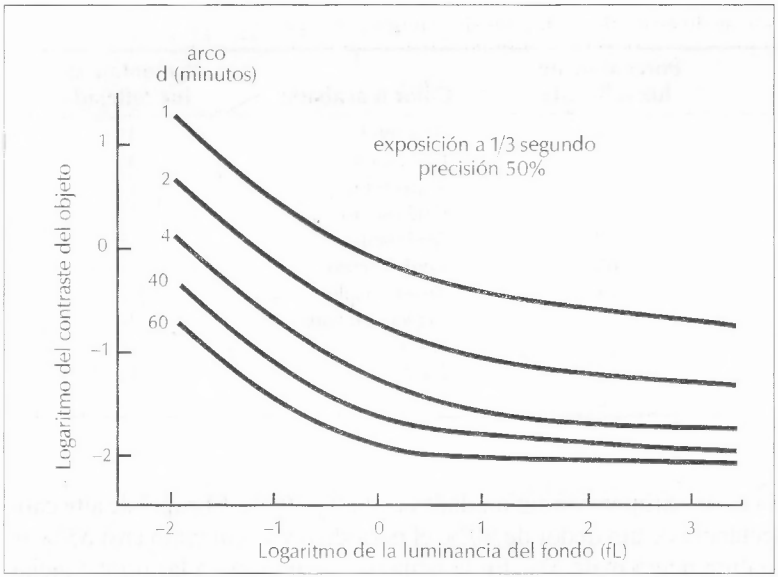


Figura 6–2 Curvas de contraste límite suavizadas para discos de diámetro d. (*Adaptado de:* Blackwell, 1959)

nancia reflejada desde el objeto) y el contraste entre el objeto y el fondo. Así, aunque aumentar la iluminación es el enfoque más sencillo para mejorar la visibilidad en la tarea, también se puede mejorar con el incremento de contraste o del tamaño del objeto.

ILUMINANCIA

Al reconocer la complejidad de extender la teoría de la fuente puntual a las fuentes de luz reales (que pueden ser cualquier cosa excepto una fuente puntual) y algunas incertidumbres y restricciones del diseño de laboratorio de Blackwell (1959), el IESNA adoptó un enfoque mucho más sencillo para determinar los niveles mínimos de iluminación (IESNA, 1995). El primer paso es identificar el tipo general de actividad a realizar y clasificarla en una de las nueve categorías, mostradas en la tabla 6–2. Una lista más extensa de las tareas específicas para este proceso se puede encontrar en IESNA (1995). Observe que las categorías A, B y C no involucran tareas visuales específicas. Para cada categoría existe un intervalo de iluminación (baja, media y alta). Se selecciona el valor adecuado con el cálculo de un factor de ponderación (−1, 0, '+1) basado en las tres características de tarea y trabajador que se muestran en la tabla 6–3. Estos pesos se suman para obtener el factor de ponderación total. Observe que como las categorías A, B y C no involucran tareas visuales, no se usa la característica de velocidad/exactitud para ellas, y las superficies de toda la habitación se usan en lugar del fondo de la tarea. Si la suma total de los dos o tres factores de ponderación es −2 o −3, se usa el valor bajo de las tres iluminancias usadas; si es −1, 0 o +1, se usa el valor medio, y si es +2 o +3, se usa el valor alto.

Tabla 6–2 Niveles de iluminación recomendados para uso en el diseño de iluminación interior

Categoría	Intervalo de iluminación (fc)	Tipo de actividad	Área de referencia
A	2-3-5	Áreas públicas con oscuridad alrededor.	Luz general en toda la habitación o área
B	5-7.5-10	Orientación sencilla para visitas cortas temporales.	
C	10-15-20	Espacios de trabajo donde en ocasiones se realizan tareas visuales.	
D	20-30-50	Realización de tareas visuales de alto contraste o gran tamaño, como lectura de material impreso, originales a máquina, escritos a mano con tinta y copias, trabajo burdo manual o con máquinas, inspección normal, ensamble grueso.	Iluminación sobre la tarea
E	50-75-100	Realización de tareas visuales de contraste medio o pequeñas, como lectura de escritos a mano con lápiz medio, material reproducido o impreso con defectos, trabajo medio manual o con máquinas, inspección difícil, ensamble medio.	
F	100-150-200	Realización de tareas visuales de bajo contraste o tamaño muy pequeño, como lectura de escritos a mano con lápiz duro o en papel de mala calidad y material de reproducción muy malo, inspección muy difícil.	
G	200-300-500	Realización de tareas visuales de bajo contraste y tamaño muy pequeño durante un periodo prolongado, como ensamble fino, inspección muy difícil, trabajo manual o con máquinas muy fino y ensamble extrafino.	Iluminación sobre la tarea mediante una combinación de luz general y suplementaria local
H	500-750-1000	Realización de tareas visuales exactas y prolongadas, como la inspección más difícil, trabajo manual y con máquinas extrafino y ensamble extra fino	
I	1000-1500-2000	Realización de tareas visuales muy especiales de contraste en extremo bajo y tamaño muy pequeño, como procedimientos quirúrgicos.	

Fuente: adaptado de IESNA, 1995.

En la práctica, la iluminación casi siempre se mide con medidor de luz (similar al que tienen las cámaras, pero en otras unidades), mientras que la iluminación se mide con un fotómetro (que por lo común es un aditamento separado del medidor de luz). La reflectancia se calcula como la razón entre la luminancia de la superficie del objeto y la luminancia de una superficie estándar de reflectancia conocida (por ejemplo, una tarjeta de prueba neutral Kodak con reflectancia = 0.9) colocada en la misma posición sobre la superficie del objeto. Entonces, la reflectancia del objeto es:

$$\text{reflectancia} = 0.9 \times L_{\text{objeto}} / L_{\text{estándar}}$$

Tabla 6–3 Factores de ponderación que deben considerarse al seleccionar niveles específicos de iluminación dentro de cada categoría de la tabla 6–2

	Ponderación o Peso		
Características de la tarea y el trabajador	–1	0	+1
Edad	< 40	40-55	> 55
Reflectancia del fondo de tarea/superficie	> 70%	30-70%	< 30%
Velocidad y exactitud (sólo para las categorías D a I)	No importante	Importante	Crítico

Fuente: Adaptado de IESNA, 1995.

FUENTES DE LUZ

Después de determinar los requerimientos de iluminación para el área en estudio, los analistas seleccionan las fuentes adecuadas de luz artificial. Dos parámetros importantes relacionados con la luz artificial son *eficiencia* (luz producida por unidad de energía; en general lumen/watt) y *rendimiento de color*. La eficiencia es en particular importante, pues se relaciona con el costo; las fuentes de luz eficientes reducen el consumo de energía. El rendimiento de color se relaciona con la cercanía con que los colores percibidos del objeto observado coinciden con los percibidos del mismo objeto iluminado con fuentes de luz estándar. Las fuentes de luz más eficientes (sodio a presión alta y baja) tienen características de rendimiento de color apenas regulares y malos; en consecuencia, quizá no sean adecuadas para ciertas operaciones de inspección donde sea necesaria la discriminación de color. La tabla 6–4 proporciona información sobre la eficiencia y los rendimientos de color para los principales tipos de luz artificial. Las fuentes más comunes de iluminación industrial, es decir, de luminarias, se muestran en la figura 6–3.

DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ

Las *luminarias* para la iluminación general se clasifican de acuerdo con el porcentaje de luz total emitida arriba y abajo de la horizontal (figura 6–4). La *luz indirecta* ilumina el techo, que a su vez refleja la luz hacia abajo. En este caso, los techos deben ser la superficie más brillante de la habitación (figura 6–5), con reflectancias mayores que 80%. Las otras áreas de la habitación reflejan porcentajes de luz cada vez menores al alejarse del techo hasta llegar al suelo, que debe reflejar no más de 20 a 40% de la luz, para que no haya reflejos. Para evitar una luminancia excesiva, las luminarias deben distribuirse de manera uniforme en todo el techo.

EJEMPLO 6–1 Cálculo de la iluminación requerida

Considere que trabajadores de todas las edades realizan un importante ensamble de dificultad media, en una estación de trabajo de metal opaco con una reflectancia de 35%. Las ponderaciones adecuadas son: edad = +1, reflectancia = 0 y exactitud = 0. La ponderación total de +1 implica que debe usarse el valor medio de la categoría E con una iluminación requerida de 75 fc.

Tabla 6–4 Fuentes de luz artificial

Tipo	Eficiencia (lm/W)	Rendimiento de color	Comentarios
Incandescente	17-23	Bueno	El alumbrado incandescente es el de uso más común, pero el menos eficiente. El costo de las lámparas es bajo. La vida útil de una lámpara es, en general, menos de un año.
Fluorescente	50-80	De aceptable a bueno	La eficiencia y el rendimiento de color varía considerablemente con el tipo de lámpara: blanco frío, blanco caliente, blanco frío de lujo. Con las nuevas lámparas y balastras de alta eficiencia es posible reducir significativamente el costo del consumo de energía. La vida de las lámparas es de 5 a 8 años.
De mercurio	50-55	De muy deficiente a aceptable	Las lámparas de mercurio tienen una vida útil larga (9 a 12 años) pero su eficiencia decrece de manera importante con el tiempo.
De haluro metálico	80-90	De aceptable a moderado	El rendimiento de color es adecuado en muchos casos. En general, la vida útil de la lámpara es de 1 a 3 años.
De sodio a alta presión	85-125	Aceptable	Fuente de luz muy eficiente . Su vida útil es de 3 a 6 años en promedio, con tasas de encendido de 12 horas por día.
De sodio a baja presión	100-180	Deficiente	La fuente de luz más eficiente. Su vida útil es de 4 a 5 años con un promedio de encendido de 12 horas al día. Se emplea para el alumbrado de carreteras y almacenes.

Fuente: cortesía de Human Factors Section, Eastman Kodak Co.
Nota: Se indican la eficiencia (columna 2) en lúmenes por watt (lm/W) y el rendimiento de color (columna 3) de seis fuentes de luz usadas con frecuencia (columna 1). La vida útil de las lámparas y otras características aparecen en la columna 4. El rendimiento de color es una medida de cómo se aprecia el color con cualquiera de estas fuentes de luz artificial, en comparación con su color en una fuente de luz natural. Los valores altos de eficiencia indican mayor conservación de energía

La *iluminación directa* quita la atención en la superficie del techo y coloca un mayor porcentaje de luz en la superficie de trabajo y el suelo. La iluminación *indirecta* hace justo lo contrario. La luz *directa-indirecta* es una combinación de ambas. La distribución de luz es importante, IESNA (1995) recomienda que la razón de luminancia de cualquier área adyacente en el campo visual no debe exceder 3/1. El propósito es evitar reflejos y problemas de adaptación.

REFLEJO

El *reflejo* es el brillo excesivo en el campo de visión. Esta luz excesiva se disipa en la córnea, los anteojos e incluso en los lentes de contacto (Frievalds, Harpster y Heckman, 1983), y disminuye la visibilidad, por lo que se requiere tiempo adicional para que los ojos se adapten cuando pasan de lugares iluminados a oscuros. Además, por desgracia,

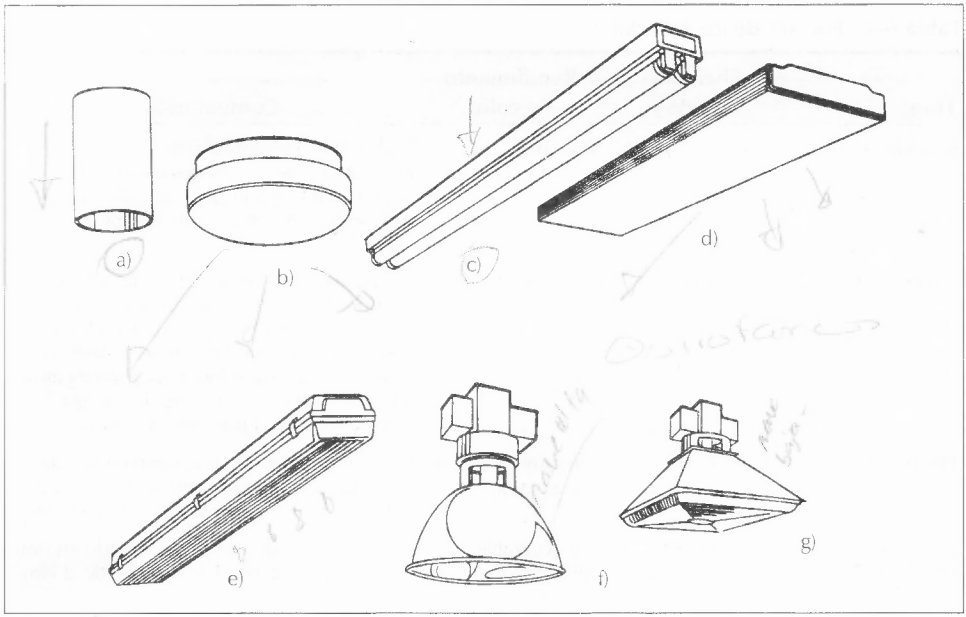


Figura 6–3 Tipos de luminarias industriales para montar en el techo. a) y c) luz hacia abajo, b) y d) difusa, e) lugares húmedos, f) nave alta, g) nave baja.

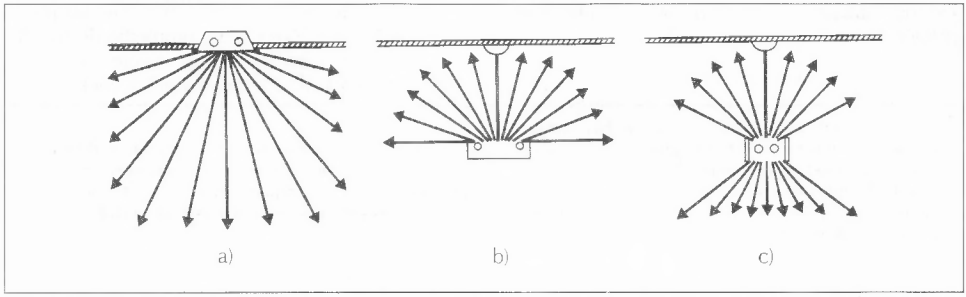


Figura 6–4 Las luminarias para iluminación general se clasifican según el porcentaje de luz total emitida arriba y abajo de la horizontal. Tres categorías son: a) luz directa, b) luz indirecta y c) luz directa-indirecta. (*Tomado de:* IESNA, 1995.)

los ojos tienden a dirigirse a la fuente de luz más brillante; esto se conoce como *fototropismo*. El reflejo puede ser directo, si lo causan fuentes de luz que se encuentran dentro del campo visual, o bien indirecto, si alguna superficie en el campo de visión refleja la luz. El reflejo directo se puede reducir colocando más luminarias de menor intensidad, con pantallas o difusores en las luminarias, con la superficie de trabajo perpendicular a la fuente de luz, y con el aumento de la luz global para disminuir el contraste.

Es posible reducir el reflejo de alguna superficie con el uso de superficies que no brillan o color mate y con una orientación diferente de la superficie de trabajo o tarea, además de las modificaciones recomendadas para el reflejo directo. También se pueden

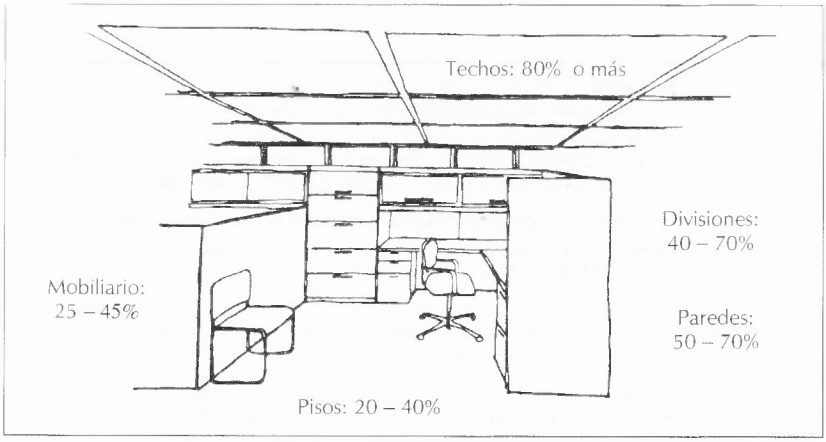


Figura 6–5 Reflectancia recomendada para superficies de habitaciones y muebles en oficinas. (*Tomado de:* IESNA, 1995.)

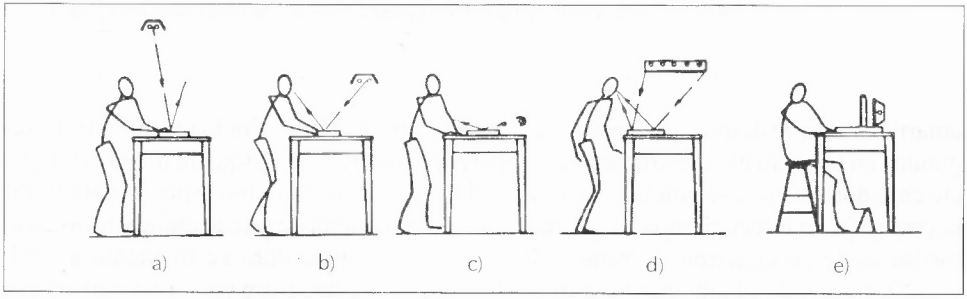


Figura 6–6 Ejemplos de colocación de luminarias suplementarias: a) luminaria para prevenir reflejos y reflexiones que velan la visión, la luz reflejada no coincide con el ángulo de visión; b) La luz reflejada coincide con el ángulo de visión; c) Luz de ángulo bajo (al ras) para resaltar las irregularidades de la superficie; d) la fuente y el patrón de la superficie se reflejan hacia el ojo; e) iluminación traslúcida desde una fuente difusa. (*Tomado de:* IESNA, 1995.)

usar filtros polarizados en la fuente de luz como parte de los anteojos que usan los operarios. Un problema especial es el efecto de estroboscopio causado por las reflexiones de partes que se mueven o por la maquinaria. Aquí, es importante evitar las superficies pulidas tipo espejo. Por ejemplo, la calidad tipo espejo de las pantallas de vidrio en los monitores de computadora es un problema en áreas de oficina. Reposicionar el monitor o usar pantallas de filtro ayuda. Por lo común, la mayoría de los trabajos requerirán una luz suplementaria para la tarea. Esto se puede proporcionar de muchas maneras, según la naturaleza de la tarea (figura 6–6).

COLOR

Tanto el color como la textura tienen efectos psicológicos en las personas. Por ejemplo, el amarillo es el color aceptado para la mantequilla; entonces, la margarina se fabrica

Tabla 6–5 Significancia emocional y psicológica de los principales colores

Color	Característica
Amarillo	Tiene la visibilidad más alta entre todos los colores en casi cualquier condición de iluminación. Tiende a infundir una sensación de frescura y sequedad. Puede dar la sensación de riqueza y poder o sugerir cobardía y enfermedad.
Naranja	Tiende a combinar la alta visibilidad del amarillo y la característica de vitalidad e intensidad del rojo. Atrae más atención que cualquier otro color en el espectro. Da una sensación acogedora y a menudo tiene un efecto estimulante y de alegría.
Rojo	Color de alta visibilidad con intensidad y vitalidad. Es el color físico asociado con la sangre. Sugiere calor, estímulo y acción.
Azul	Color de baja visibilidad. Tiende a dirigir la mente a la meditación. Su efecto tiende a ser calmante, aunque puede promover un ánimo depresivo.
Verde	Color de baja visibilidad. Inspira la sensación de tranquilidad, frescura y estabilidad.
Púrpura y violeta	Colores de baja visibilidad. Se asocian con el dolor, la pasión, el sufrimiento, el heroísmo, etc. Tienden a producir la sensación de fragilidad, flacidez y tristeza.

amarilla para que despierte el apetito. La carne es otro ejemplo. Cocinada durante 45 segundos en una parrilla electrónica, no le apetece a los clientes porque le falta la superficie café dorada "que se antoja". Tiene que diseñarse un aditamento especial para dorar la carne. En un tercer ejemplo, los empleados en una planta de aire acondicionado en el medio oeste se quejaron de sentir frío, aunque la temperatura se mantenía a 72°F (22.2°C). Cuando se pintaron las paredes blancas de la planta con un color coral acogedor, todas las quejas cesaron.

Tal vez el uso más importante del color es mejorar las condiciones ambientales de los trabajadores al proporcionar un bienestar visual. Los analistas usan los colores para reducir los contrastes fuertes, aumentar la reflectancia, resaltar los peligros y llamar la atención a ciertas características del entorno de trabajo.

Los colores también condicionan o afectan las ventas. Las personas reconocen los productos de una compañía al instante por el patrón de colores usado en los paquetes, marcas, logotipos, camiones y edificios. Una investigación indicó que las preferencias de color tienen influencia de la nacionalidad, localización y clima. Las ventas de un producto que se fabricaba en un solo color aumentaron al hacerlo de varios colores adecuados para las distintas demandas de los clientes. La tabla 6–5 ilustra los efectos emocionales y psicológicos significativos de los colores principales.

RUIDO

TEORÍA

Desde el punto de vista del analista, el ruido es un sonido no deseado. Las ondas de sonido se originan por la vibración de algún objeto, que a su vez establece una sucesión de

ondas de compresión y expansión a través del medio que las transporta (aire, agua y otros). Así, el sonido se puede transmitir no sólo por el aire y los líquidos, también a través de los sólidos, como las estructuras de las máquinas herramienta. Se sabe que la velocidad aproximada de las ondas de sonido en el aire es 1100 pies/s (340 m/s). En materiales viscoelásticos, como el plomo y el mastique, la energía del sonido se disipa con rapidez como fricción viscosa.

El sonido se puede definir en términos de las frecuencias que determinan su tono y calidad, junto con las amplitudes que determinan su intensidad. Las frecuencias aproximadas audibles para el oído humano van de 20 a 20 000 ciclos por segundo, que se conocen como Hertz y se abrevia Hz. La ecuación fundamental de propagación de ondas es:

$$c = f\lambda$$

donde: c = velocidad del sonido (1100 pies/s),
f = frecuencia en Hz,
λ = longitud de onda en pies.

Observe que al aumentar la longitud de onda, la frecuencia disminuye. Los analistas de métodos miden la intensidad del sonido con un medidor de ruido (decibelímetro); la unidad de la intensidad del sonido es el *decibel* (dB). Al crecer la amplitud de las ondas sonoras aumenta la presión del sonido medido en la escala de decibeles.

MEDICIÓN

Debido a la gran variedad de intensidades de los sonidos que se encuentran en el entorno humano normal, se ha elegido la escala de decibeles. De hecho, el nivel de decibeles es la razón logarítmica de la intensidad del sonido real entre la intensidad del sonido en el umbral de la capacidad auditiva de una persona joven. Entonces, el nivel de presión del sonido (L) en decibeles (dB) está dado por:

$$L = 20 \log_{10} P_{rms} / P_{ref}$$

donde: P_{rms} = *raíz media cuadrática de la presión del sonido en microbars (dinas/cm^2)*,
P_{ref} = presión del sonido en el límite de audición de una persona joven a 1000 Hz (0.0002 microbars).

Como los niveles de presión del sonido son cantidades logarítmicas, el efecto de la coexistencia de dos o más fuentes de sonido en cierto lugar requiere que se realice una suma logarítmica como sigue:

$$L_{TOT} = 10 \log_{10} (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \cdots)$$

donde: L_{TOT} es el ruido total,
L_1 y L_2 son las dos fuentes de sonido.

El nivel de sonido con ponderación A usado en la figura 6–7 es la medida del ruido ambiental más aceptada. Esta ponderación reconoce que desde los puntos de vista psicológicos y fisiológicos, las frecuencias bajas (50-500 Hz) son menos molestas y

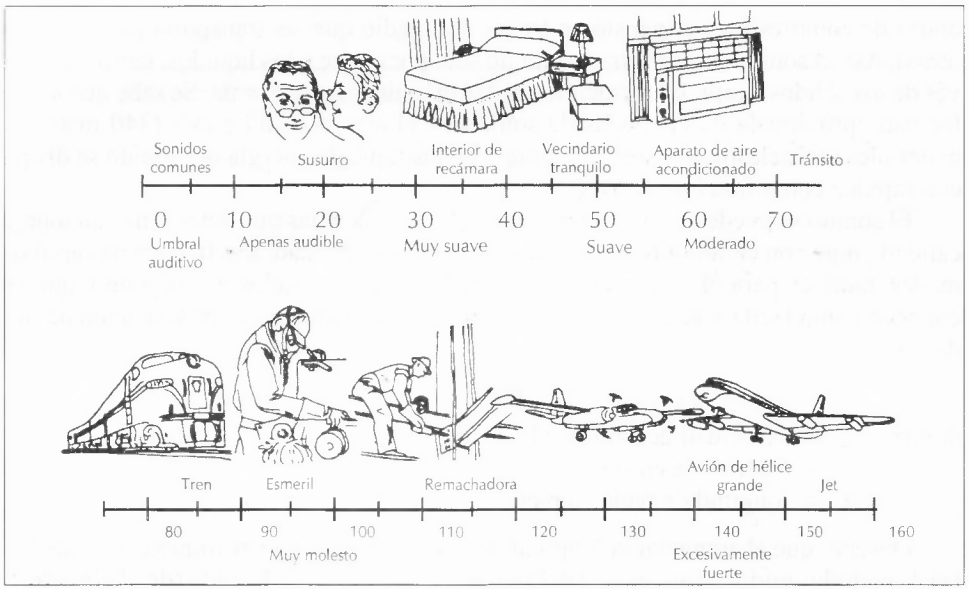


Figura 6–7 Valores en decibeles de sonidos comunes (dBA).

dañinas que los sonidos en los intervalos críticos de frecuencias de 1000-4000 Hz. Con frecuencias superiores a 10 000 Hz, la agudeza auditiva (y por ende los efectos del ruido) de nuevo disminuye (vea la figura 6–8). Los medidores de nivel de ruido deben construirse con los circuitos electrónicos adecuados para atenuar las frecuencias altas y bajas, y poder leer las unidades directas en dBA, para que correspondan al efecto en el oído humano promedio.

PÉRDIDA DE AUDICIÓN

La posibilidad de dañar el oído, cuyo resultado es sordera "conductiva", aumenta cuando la frecuencia se acerca al intervalo de 2400 a 4800 Hz. Esta pérdida auditiva es el resultado de una reducción en la flexibilidad de los receptores del oído interno, que dejan de transmitir las ondas sonoras al cerebro. Además, si el tiempo de exposición aumenta, en especial cuando se trata de intensidades altas, se producirá una lesión en el oído. La causa más común de la sordera conductiva es la exposición excesiva al ruido ocupacional. La susceptibilidad de los individuos a la sordera inducida por el ruido tiene una gran variación.

En general, el ruido se clasifica en ruido de banda ancha y significativo. El de banda ancha está compuesto de frecuencias que comprenden una parte importante del espectro de sonido. Este tipo de ruido puede ser continuo o intermitente. El significativo representa la información que distrae e impacta la eficiencia del trabajador. En situaciones a largo plazo, el ruido de banda ancha puede causar sordera; en la operación diaria puede reducir la eficiencia en el trabajo y ser la causa de comunicación no efectiva.

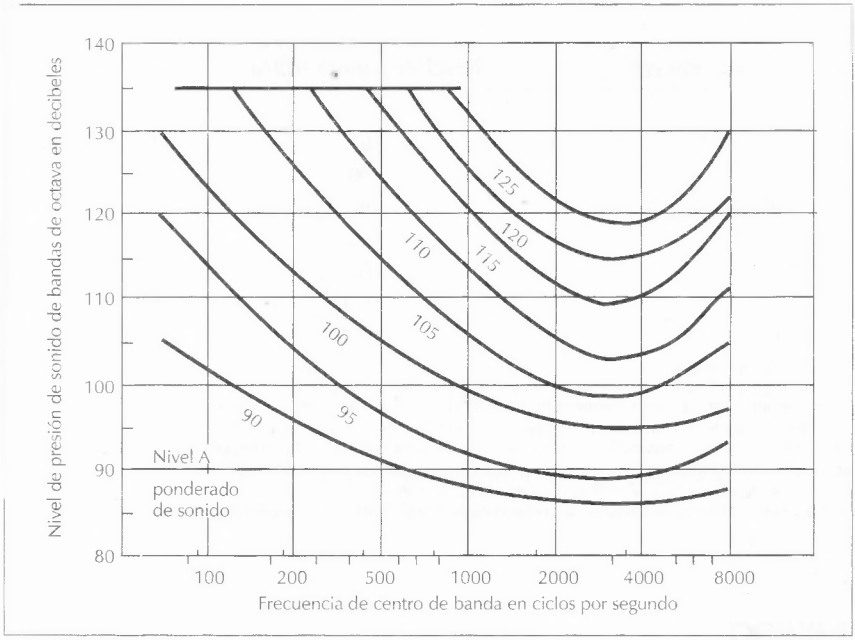


Figura 6–8 Curvas de nivel de sonido equivalente

El ruido de banda ancha continuo suele ser parte de industrias como la textil y de talleres con maquinaria como tornos automáticos, donde el nivel de ruido no varía de manera significativa durante el día de trabajo. El ruido de banda ancha intermitente es característico de una planta de forja de martinete o de un aserradero. Cuando una persona está expuesta a ruido que excede el nivel dañino, es posible que el efecto inicial sea la pérdida temporal de la audición de la que se recupera por completo en unas cuantas horas después de salir del entorno de trabajo. Si la exposición continúa por un periodo largo, el daño puede resultar irreversible. Los efectos del ruido excesivo dependen de la energía total que recibe el oído durante el periodo de trabajo. Así, al reducir el tiempo de exposición al ruido excesivo en el turno de trabajo se reduce la probabilidad de una lesión auditiva permanente.

Se ha demostrado que tanto el ruido de banda ancha como el significativo distraen y molestan; el resultado es una disminución en la productividad y un aumento en la fatiga del empleado. Sin embargo, la legislación federal se aprobó principalmente debido a la posibilidad del daño permanente al oído por exposición al ruido ocupacional. Los límites permitidos por la OSHA (1970) de exposición al ruido se presentan en la tabla 6–6.

Cuando se determinan los niveles de ruido mediante el *análisis de banda de octava* (un filtro agregado al medidor de sonido que descompone los sonidos en sus frecuencias), el nivel A ponderado de sonido equivalente se determina como sigue: se grafican los niveles de presión de sonido de banda de octava como en la gráfica de la figura 6–8 y se observa el nivel A ponderado de sonido que corresponde al punto de la penetración más alta en las curvas de nivel de sonido. Éste es el valor dBA que se usa en los cálculos.

Tabla 6-6 Exposiciones permisibles al ruido

Duración por día (horas)	Nivel de sonido (dBA)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0.5	110
0.25 o menos	115

Nota: cuando la exposición diaria al ruido comprende dos periodos, o más, de ruido a diferentes niveles, debe considerarse su efecto combinado en lugar de los efectos individuales. Si la suma de las fracciones C_1/T_1, C_2/T_2, . . . , C_n/T_n, excede la unidad, entonces debe considerarse que la exposición mixta excede el valor límite. C_n indica el tiempo total de exposición a un nivel de ruido específico y T_n es igual al tiempo total de exposición permitida durante el día de trabajo.

La exposición a ruido impulsivo o de impacto no debe exceder el nivel pico de presión de sonido de 140 dB.

DOSIS DE RUIDO

La OSHA usa el concepto de *dosis de ruido*, donde la exposición a cualquier nivel de sonido superior a 80 dBA causa una dosis parcial en quien lo escucha. Si la exposición total diaria consiste en varias exposiciones a diferentes niveles de ruido, entonces las dosis parciales se suman para obtener una exposición combinada:

$$D = 100 \times (C_1/T_1 + C_2/T_2 + \cdots + C_n/T_n) \leq 100$$

donde: D = dosis de sonido,
C = tiempo de exposición a niveles específicos de ruido (horas),
T = tiempo permitido a un nivel específico de ruido (horas) (tabla 6–6).

La exposición total a diferentes niveles de ruido no debe exceder el 100% de una dosis.

EJEMPLO 6–2 Cálculo de la dosis de ruido de OSHA

Un trabajador se expone a 95 dBA durante 3 horas y 90 dBA durante 5 horas. Aunque cada dosis parcial por separado está permitida, la dosis combinada no lo está:

$$D = 100 \times (\tfrac{3}{4} + \tfrac{5}{8}) = 137.5 > 100$$

Entonces, 90 dBA es el nivel máximo permisible para un día de 8 horas de trabajo, y cualquier nivel de sonido mayor que éste requiere algún tipo de protección. Todos los sonidos con niveles entre 80 y 130 dBA deben incluirse en los cálculos de la dosis de ruido (aunque los niveles continuos superiores a 115 dBA no están siquiera permitidos). Como la tabla 6–6 proporciona sólo ciertos tiempos clave, se puede usar una fórmula para el cálculo de los niveles de ruido intermedios:

$$T = 8/2^{(L-90)/5}$$

donde: L = nivel de ruido (dBA).

La dosis de ruido también se puede convertir a un *promedio ponderado de un tiempo de 8 horas* (PPT). Este es un nivel de sonido que produciría una dosis dada, si un trabajador estuviera expuesto a ese nivel de sonido continuo después de 8 horas de trabajo. El PPT está definido por:

$$\text{PPT} = 16.61 \times \log_{10}(D/100) + 90$$

Entonces, en él último ejemplo, 139.3% de la dosis daría un PPT de:

$$\text{PPT} = 16.61 \times \log_{10}(139.3/100) + 90 = 92.39 \text{ dB}$$

En la actualidad OSHA requiere, además, un programa obligatorio de conservación de la audición, que incluye supervisión, pruebas audiométricas y capacitación, para todos los empleados que se exponen a ruido ocupacional igual o mayor que un PPT de 85 dB. Aun cuando los niveles de ruido menores que 85 dB pueden no causar pérdida auditiva, contribuyen a la distracción y molestan, con el resultado de un mal desempeño del trabajador. Por ejemplo, los ruidos de oficina comunes, aunque no son altos, pueden hacer más difícil la concentración y ser causa de una disminución de la productividad en los trabajos de diseño y creativos. También, los niveles de ruido menores que 85 dB pueden dificultar de manera considerable la efectividad de la comunicación personal y telefónica.

EFECTOS EN EL DESEMPEÑO

En general, las reducciones en el desempeño se observan con más frecuencia en tareas difíciles que imponen grandes exigencias de percepción, procesamiento de información y capacidad de memoria a corto plazo. De forma sorprendente, el ruido puede no tener efecto, e incluso puede mejorar el desempeño de las tareas sencillas rutinarias. Sin la fuente de ruido, la atención de la persona puede divagar debido al aburrimiento.

EJEMPLO 6–3 Cálculo de la dosis de ruido de OSHA con exposición adicional

Un trabajador está expuesto una hora a 85 dBA, cuatro horas a 90 dBA y tres horas a 96 dBA. Se le permiten 32 de la primera exposición, 8 horas de la segunda y

$$T = 8/2^{(96-90)/5} = 3.48$$

horas de la tercera exposición. La dosis de ruido total se convierte en:

$$D = 100 \times (1/32 + 4/8 + 3/3.48) = 139.3$$

Entonces, para este trabajador, la dosis de exposición al ruido de 8 horas excede los requerimientos de OSHA y debe disminuirse o será necesario proporcionar al trabajador las holguras de descanso (capítulo 10) para cumplir con lo establecido por OSHA.

La molestia es más complicada y comprende muchos aspectos emocionales. Los factores acústicos, como intensidad, frecuencia, duración, fluctuación del nivel y composición del espectro tienen un papel importante, al igual que los factores no acústicos, como experiencias anteriores con el ruido, tipo de actividad, personalidad, lo predecible de la ocurrencia del ruido, tiempo del día y del año y tipo de local. Existen cerca de una docena de métodos diferentes para evaluar los aspectos de molestia (Sanders y McCormick, 1993). Sin embargo, gran parte de estas mediciones incluyen condiciones de tipos de comunidad con niveles de ruido de 60-70 dBA, que son inferiores a los que sería razonable aplicar en las situaciones industriales.

CONTROL DE RUIDO

La administración puede controlar el nivel de ruido de tres formas. La mejor, y casi siempre la más difícil, es reducir el nivel de ruido en su fuente. No obstante, implica una gran dificultad rediseñar equipos como martillos neumáticos, prensa de forja de vapor, martillo de golpe y cepillos y ensambladores de madera, de manera que se mantenga la eficiencia del equipo y el nivel de ruido quede dentro de los intervalos de tolerancia. Sin embargo, en algunos casos, se pueden sustituir instalaciones operativas menos ruidosas por las que producen un alto nivel de ruido. Por ejemplo, puede sustituirse un remachador hidráulico por uno neumático, un aparato operado con energía eléctrica por uno operado con vapor, y un elastómetro de barril alineado por uno no alineado. El ruido de baja frecuencia en la fuente se controla con efectividad si se colocan soportes de hule, y se da mejor mantenimiento y alineación al equipo.

Si no se puede controlar el ruido en su fuente, entonces los analistas deben investigar la posibilidad de aislar el equipo responsable del ruido; es decir, de controlar el ruido que emana de una máquina encerrando todo o una parte de la instalación con algún material aislante. Con frecuencia ésta ha sido la solución respecto a las prensas de potencia que tiene alimentadoras automáticas. Muchas veces, es posible reducir el ruido ambiental aislando la fuente de ruido del resto de la estructura; esto evita el efecto de repetición o eco del ruido y se puede lograr si se monta la instalación en algún tipo de elastómetro para amortiguar el ruido intermitente.

En situaciones en las que aislar la instalación no interfiere con la operación y accesibilidad, los siguientes pasos aseguran un diseño satisfactorio del aislamiento:

1. Establecer con claridad las metas del diseño y determinar el desempeño acústico requerido para aislar. Establecer los criterios por octavas de banda a 3 pies (1 m) de las superficies principales de la maquinaria.
2. Tomar mediciones reales de los niveles de ruido por octavas de banda del equipo que se va a aislar, en los lugares recomendados en el paso 1.
3. Determinar la acumulación de ruido y después el nivel de ruido neto cuando se usan instalaciones múltiples.
4. Determinar la atenuación de espectro de cada encierro. Esta es la diferencia entre el criterio de diseño determinado en el paso 1 y el nivel de ruido neto determinado en el paso 3.

Tabla 6–7 Reducción del ruido, en octavas de banda, con una sola capa de material de uso común para aislar

Frecuencia central en octava de banda	125	250	500	1000	2000	4000
Acero de calibre 16	15	23	31	31	35	41
Acero de 7 mm	25	38	41	45	41	48
Triplay (madera terciada) de 7 mm 0.32 kg/0.1 m^2	11	15	20	24	29	30
Triplay de 3/4 pulg 0.9 kg/0.1 m^2	19	24	27	30	33	35
Aplanado de yeso de 14 mm 1 kg/0.1 m^2	14	20	30	35	38	37
Fibra de vidrio de 7 mm 0.23 kg/0.1 m^2	5	15	23	24	32	33
Plomo de 0.2 mm 0.45 kg/0.1 m^2	19	19	24	28	33	39
Plomo de 0.4 mm 0.9 kg/0.1 m^2	23	24	29	33	40	43

5. Seleccionar los paneles acústicos y la configuración de las paredes para el aislamiento. La tabla 6–7 proporciona varios materiales de uso común para aislamientos relativamente pequeños. Debe aplicarse un material amortiguador viscoelástico si se usa cualquiera de estos materiales (excepto plomo). Esto puede proporcionar una atenuación adicional de 3 a 5 dB.

Si no se puede reducir el ruido en la fuente y si la fuente de ruido no se puede aislar en cuanto a la acústica, entonces tal vez la absorción de acústica proporcione resultados benéficos. El propósito de instalar materiales acústicos en las paredes, techos y pisos es reducir la reverberación. La figura 6–9 ilustra la cantidad de reducción de ruido que se puede lograr mediante este tratamiento.

Observe que algunos sonidos son deseables en ciertos entornos de trabajo. Por ejemplo, durante muchos años se ha usado en las fábricas la música de fondo para mejorar el ambiente de trabajo. La mayoría de los trabajadores de producción e indirectos (mantenimiento, envíos, recepción, etcétera) disfrutan la música mientras trabajan. Al introducirla al ambiente de trabajo, primero debe consultarse a los empleados para determinar qué tipo prefieren y la programación para hacerlo. Intervalos de 20 a 30 minutos con música y 20 a 30 minutos sin ella han funcionado bien.

PROTECCIÓN DEL OÍDO

El personal en el área puede usar protecciones para los oídos, aunque en la mayoría de los casos, OSHA acepta esto sólo como una solución temporal. El equipo de protección del personal puede incluir varios tipos de tapones para los oídos, algunos de ellos atenúan ruidos de todas las frecuencias hasta niveles de presión del sonido de 110 dB superiores a 600 Hz y hasta 115 dB abajo de esta frecuencia. La efectividad de los tapones de oídos se mide en forma cuantitativa por medio de una *tasa de reducción de ruido* (TRR), indicada en el empaque. La exposición al ruido equivalente para quien escucha

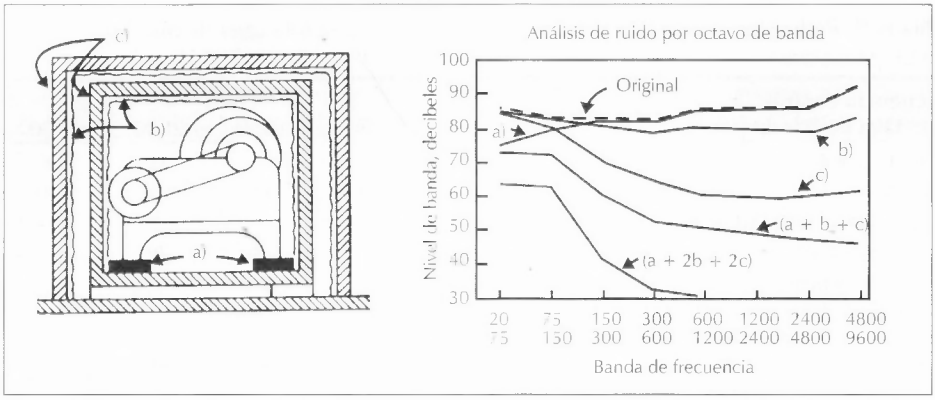


Figura 6–9 Ilustración de los efectos posibles de algunas medidas de control de ruido. *Las líneas de la gráfica muestran las reducciones posibles de ruido (a partir del nivel original) que pueden esperarse con a) aislante de vibración, b) aislamiento de material absorbente acústico, c) aislamiento rígido sellado, a) + b) + c) aislamiento sencillo combinado con aislante de vibración, a) + 2b) + c) aislamiento doble combinado con aislante de vibración. (Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993. Reproducido con permiso de The McGraw-Hill Companies.)

es igual a la PPT más 7 menos la TRR (NIOSH, 1998). En general, los dispositivos del tipo que se insertan (como el hule espuma expandible) proporcionan mayor protección que los de tipo orejera. Una combinación de los tapones que se insertan y orejeras puede dar hasta 30 en los valores de la TRR. Observe que éste es un valor de laboratorio obtenido en condiciones ideales. Por lo común, en las situaciones del mundo real, con cabello, barba, anteojos, y un ajuste inadecuado, el valor de la TRR será mucho menor, quizá hasta 10 menos (Sanders y McCormick, 1993).

TEMPERATURA

La mayor parte de los trabajadores están expuestos a calor excesivo en un momento u otro. En muchas situaciones, se crean ambientes con calor artificial debido a las demandas de cierta industria. Los mineros están sujetos a condiciones de trabajo calientes por el aumento en la temperatura con la profundidad y la falta de ventilación. Los trabajadores de la industria textil están sujetos a las condiciones de calor y humedad necesarias para tejer la tela. Quienes trabajan el acero, coque, aluminio y otros, están sujetos a altas cargas de radiación de los hornos abiertos y los refractarios. Estas condiciones, si bien están presentes una porción limitada del día, pueden exceder la tensión climática encontrada en las condiciones extremas que ocurren de manera natural por el clima.

TEORÍA

El ser humano se modela casi siempre como un cilindro con cubierta, que corresponde a la piel, los tejidos superficiales y las extremidades, con un núcleo correspondiente a los tejidos más profundos del tronco y la cabeza. Las temperaturas del núcleo presentan un

intervalo pequeño alrededor de un valor normal de 98.6 °F (37 °C). Para valores entre 100 y 102 °F (37.8-38.9 °C), el desempeño fisiológico decae en forma abrupta. Para temperaturas superiores a 105 °F (40.6 °C), el mecanismo de sudor puede fallar y causar una elevación rápida de la temperatura del núcleo y con el tiempo la muerte. Por otro lado, los tejidos del exterior del cuerpo pueden variar en intervalos de temperatura más amplios sin pérdida seria de la eficiencia, y actúan como amortiguador para proteger las temperaturas del núcleo. La ropa, si se usa, actúa como una segunda capa aislante para el núcleo.

El intercambio de calor entre el cuerpo y su entorno se puede representar por la siguiente ecuación de balance de calor:

$$S = M \pm C \pm R - E$$

donde: M = aumento de calor por el metabolismo,
C = aumento de calor (o pérdida) por convección,
R = aumento de calor (o pérdida) por radiación,
E = pérdida de calor a través de la evaporación del sudor,
S = almacenamiento de calor (o pérdida) del cuerpo.

Para llegar a la neutralidad térmica, S debe ser cero. Si la suma de varios intercambios de calor a través del cuerpo da como resultado una ganancia de calor, el calor resultante se almacenará en los tejidos del cuerpo, con un incremento consecuente en la temperatura del núcleo y el problema potencial de tensión por calor.

Una zona de comodidad térmica para áreas donde se realiza trabajo ligero, sedentario durante 8 horas, se define como el intervalo de temperaturas de 66 a 79 °F (18.9–26.1 °C), con humedad relativa de 20 a 80% (vea la figura 6-10). Por supuesto, la carga de trabajo, la ropa y la radiación de calor afectan el sentido individual de comodidad dentro de esta zona de comodidad.

Tensión por calor: TGBH

Se han hecho muchos intentos para combinar en un índice las manifestaciones fisiológicas de estos intercambios con mediciones ambientales. Estos intentos se han concentrado en el diseño de instrumentos que simulan el cuerpo humano, o en los desarrollos de fórmulas y modelos basados en datos teóricos o empíricos para estimar el estrés o las tensiones físicas que resultan. En su forma más sencilla, un índice consiste en un factor dominante, como la temperatura de bulbo seco que usan muchas personas en zonas de climas agradables.

Quizá el índice que se usa con más frecuencia en la industria actual establece los límites de exposición al calor y los ciclos de trabajo/descanso con base en la *temperatura global de bulbo húmedo o TGBH* (Yaglou y Minard, 1957) y la carga metabólica. En formas un poco diferentes la ACGIH (1985), NIOSH (1986) y ASHRAE (1991) hacen recomendaciones. Para exteriores con carga solar, la TGBH se define como:

$$\text{TGBH} = 0.7\,\text{BHN} + 0.2\,\text{TG} + 0.1\,\text{BS}$$

y para interiores o exteriores sin carga solar, la TGBM es:

$$\text{TGBH} = 0.7\,\text{BHN} + 0.3\,\text{TG}$$

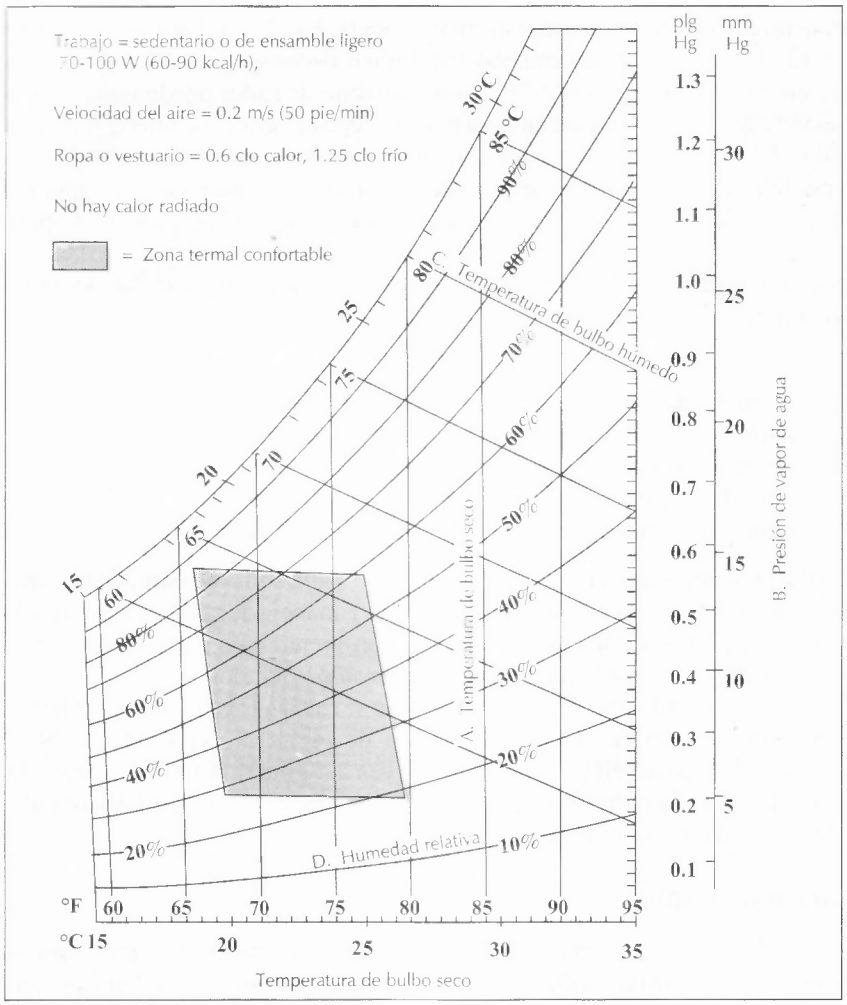


Figura 6–10 Zona de comodidad térmica. (*Cortesía de:* Eastman Kodam Co.)

donde: BHN = *temperatura de bulbo húmedo natural* (medida del enfriamiento por evaporación, usando un termómetro con una cuerda mojada y el movimiento de aire natural),

TG = *temperatura de globo* (medida con carga de radiación, en un termómetro dentro de una esfera de cobre negro de 6 pulg de diámetro),

BS = *temperatura de bulbo seco* (temperatura ambiente básica; termómetro –a la sombra– defendido de la radiación).

Observe que la temperatura BHN es diferente de la de bulbo húmedo psicométrico, que usa la velocidad máxima del aire en combinación con la BS para establecer la humedad relativa y las condiciones térmicas de las zonas de comodidad.

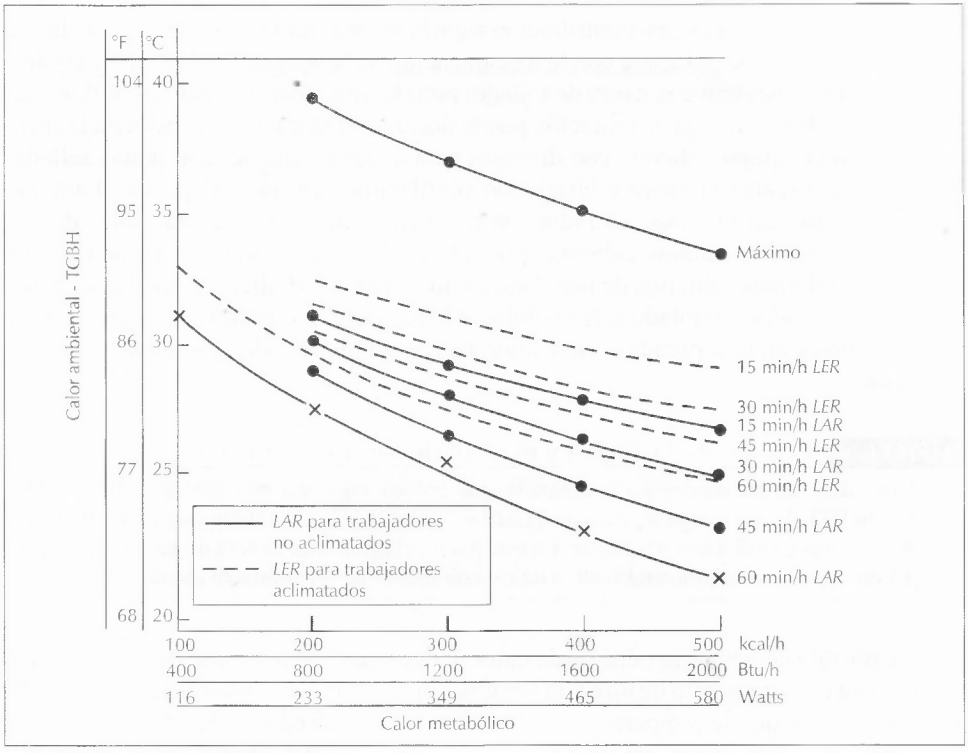


Figura 6–11 Niveles de estrés por calor, recomendados según calor metabólico (promedio ponderado de tiempo: 1h), ciclo para aclimatarse, trabajo/descanso.
Los límites de temperatura son TGBH = 1h tiempo promedio ponderado. LAR = límite de alerta recomendado para trabajadores no aclimatados. LER = límite de exposición recomendado para trabajadores aclimatados. (Tomado de: NIOSH, 1986, figuras 1 y 2).

Una vez medida la TGBH (los instrumentos comerciales disponibles proporcionan lecturas ponderadas instantáneas), se usa junto con la carga metabólica de los trabajadores para establecer el tiempo que debe permitirse trabajar a un operario no aclimatado y a uno aclimatado en ciertas condiciones (figura 6–11). Estos límites se basan en incrementos de temperatura de 1.8 °F (1 °C) del núcleo de los individuos, según se calcula con la ecuación de balance. El incremento de 1.8 °F fue establecido por NIOSH (1986) como límite superior aceptable para el almacenamiento de calor en el cuerpo. Se supone que el descanso adecuado tiene las mismas condiciones. Es evidente que si el trabajador descansa en áreas más confortables, será necesario menos tiempo descanso.

MÉTODOS DE CONTROL

La tensión por calor se puede reducir con la implantación de controles de ingeniería, es decir, con la modificación del ambiente, o mediante controles administrativos. La modificación del ambiente es una consecuencia directa de la ecuación de balance de calor.

Si la carga metabólica es una contribución significativa al almacenamiento de calor, la carga de trabajo debe reducirse con la mecanización de la operación. Trabajar más despacio también disminuye la carga de trabajo, pero tendrá efectos negativos al diminuir la productividad. La carga de radiación puede decrecer si se controla el calor en la fuente: aislando el equipo caliente, con drenajes para el agua caliente, con juntas selladas donde puede escapar el vapor e instalando ventilación local para dispersar el aire caliente que sube del proceso. La radiación también se puede interceptar antes de que llegue al operario, mediante cubiertas protectoras: hojas de material reflejante, como aluminio o tablones cubiertos de papel aluminio, cortinas metálicas, pantallas de malla de alambre, o vidrio templado si la visibilidad lo requiere. Las prendas reflejantes, ropa de protección e incluso prendas con mangas largas también ayudan a reducir la carga de radiación.

EJEMPLO 6–4 Cálculo de la TGBH y el nivel de tensión por calor

Considere un trabajador no aclimatado que coloca vigas en una tarima a 400 kcal/h (1600 BTU/h) con carga térmica de TGBH = 77 °F (25 °C). Este individuo podrá trabajar 45 minutos y tendrá que descansar. En este punto, el trabajador deberá descansar al menos 15 minutos en el mismo ambiente o un tiempo menor en un ambiente menos estresante.

Es posible aumentar la pérdida de calor por convección por parte del trabajador si se aumenta el movimiento de aire con ventilación, siempre que la temperatura de bulbo seco sea menor que la temperatura de la piel, es decir, alrededor de 95 °F (35 °C) en esos ambientes. La convección es más efectiva sobre la piel desnuda; sin embargo, ésta también absorbe más radiación. Entonces, existe un trueque entre la convección y la radiación. La pérdida de calor por evaporación puede mejorar de nuevo con el incremento del movimiento de aire y la disminución de la presión de vapor de agua, con el uso de deshumidificadores o aire acondicionado. Por desgracia, este último enfoque, aunque crea ambientes placenteros, es costoso y con frecuencia impráctico en las instalaciones de producción comunes.

Las medidas administrativas, aunque menos efectivas, incluyen: modificar la programación del trabajo para disminuir la carga metabólica mediante periodos de trabajo/descanso según la figura 6–11, aclimatar a los trabajadores (esto puede tomar cerca de dos semanas, y el efecto se pierde en un periodo similar), rotar a los trabajadores dentro y fuera del entorno caliente y usar chalecos de enfriamiento. Los chalecos menos costosos usan bolsitas de plástico congelado colocadas en bolsillos en todo el chaleco. (Kamon *et al.*,1986).

TENSIÓN POR FRÍO

El índice de tensión por frío de uso más común es el índice de *factor de viento*. Describe la tasa de pérdida de calor por radiación y convección como una función de la temperatura del ambiente y la velocidad del viento. (Siple y Passel, 1945). El uso del índice de factor de viento no es directo, sino que se convierte a una *temperatura equivalente con factor de viento*. Ésta es la temperatura del ambiente que, en condiciones de calma, produciría el mismo índice de factor de viento que la combinación real de la temperatura

Tabla 6–8 Temperaturas equivalentes con factor de viento (°F) de ambientes fríos en condiciones de calma

Velocidad del viento (mph)	Lectura real del termómetro (°F)							
	40	30	20	10	0	−10	−20	−30
5	36	25	13	1	−11	−22	−34	−46
10	34	21	9	−4	−16	−28	−41	−53
15	32	19	6	−7	−19	−32	−45	−58
20	30	17	4	−9	−22	−35	−48	−61
30	28	15	1	−12	−26	−39	−53	−67
40	27	13	−1	−15	−29	−43	−57	−71
	Poco peligro: La piel seca expuesta no se congela durante 5 horas.			**Peligro creciente:** La piel expuesta puede congelarse en 30 minutos.			**Mayor peligro:** La piel puede congelarse en 5 minutos.	

Fuente: National Weather Service, http://205.256.54.206/om/windchill/index.shtml.

del aire y la velocidad del viento (tabla 6–8). Para que el operario mantenga un balance térmico en esas condiciones de temperatura baja, debe haber una relación estrecha entre la actividad física del trabajador (producción de calor) y el aislamiento proporcionado por la ropa protectora (figura 6-12). En la figura, *clo* representa el aislamiento necesario para que una persona sentada esté cómoda cuando la humedad relativa es 50%, el movimiento del aire es 20 pies/minuto y la temperatura de bulbo seco es 70 °F (21.1 °C). Un traje ligero es un equivalente aproximado a un *clo* de aislamiento.

Tal vez los efectos más críticos para los trabajadores industriales expuestos a las condiciones al aire libre sean la disminución en la sensibilidad del tacto y la destreza manual debida a la vasodilatación y la disminución en el flujo de sangre a las manos. El desempeño manual disminuye hasta casi 50% cuando la temperatura de la piel de las manos baja de 65 °F a 45 °F (18.3 °C a 7.2 °C) (Lockhart, Kiess y Clegg, 1975). Los calentadores auxiliares y los calentadores y guantes para las manos son soluciones potenciales del problema. En el capítulo 5 se indica que los guantes pueden disminuir el desempeño manual y la fuerza de agarre. Un punto medio que protege las manos y afecta poco el desempeño son los guantes sin dedos (Riley y Cochran, 1984).

VENTILACIÓN

La gente, maquinaria o actividades en una habitación, deterioran el aire interior debido a la liberación de olores y calor, la formación de vapor de agua, la producción de dióxido de carbono y vapores tóxicos. Debe proporcionarse ventilación para diluir estos contaminantes, sacar el aire viciado y dejar entrar aire fresco. Esto se puede hacer con uno o varios de tres enfoques: general, local o puntual. La ventilación o desplazamiento general se entrega a un nivel de 8-12 pies (2.4-3.6 m) y desplaza el aire caliente que se eleva de equipo, luces y trabajadores. La guía recomendada de requerimientos de aire fresco, basada en volumen de habitación por persona, se muestra en la figura 6–13 (Yaglou *et al.*, 1936). Una regla burda es 300 pie^3 (8.5 m^3) de aire fresco por persona por hora.

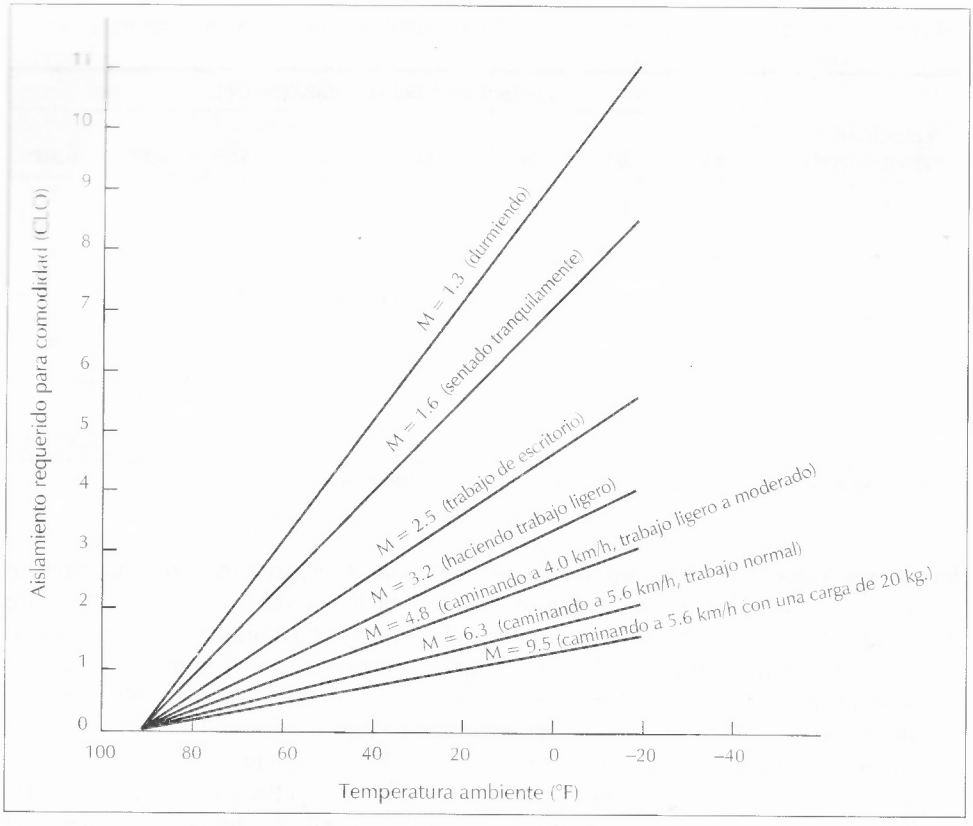


Figura 6-12 Predicción del aislamiento total requerido como una función de la temperatura ambiente para el percentil 50 (M = producción de calor en kcal/min). (*Tomado de:* Dibujado de nuevo de Belding, y Hatch, 1955.)

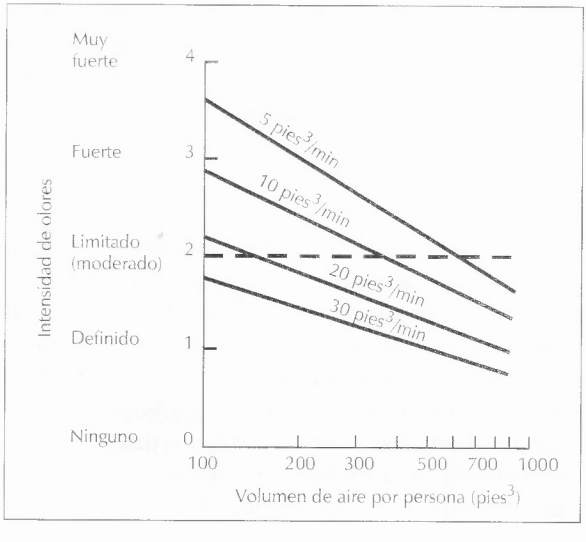


Figura 6-13 Guía de requerimientos de ventilación para trabajadores sedentarios según el volumen de aire disponible en la habitación. (*Adaptado de:* Yaglou *et al.*, 1936)

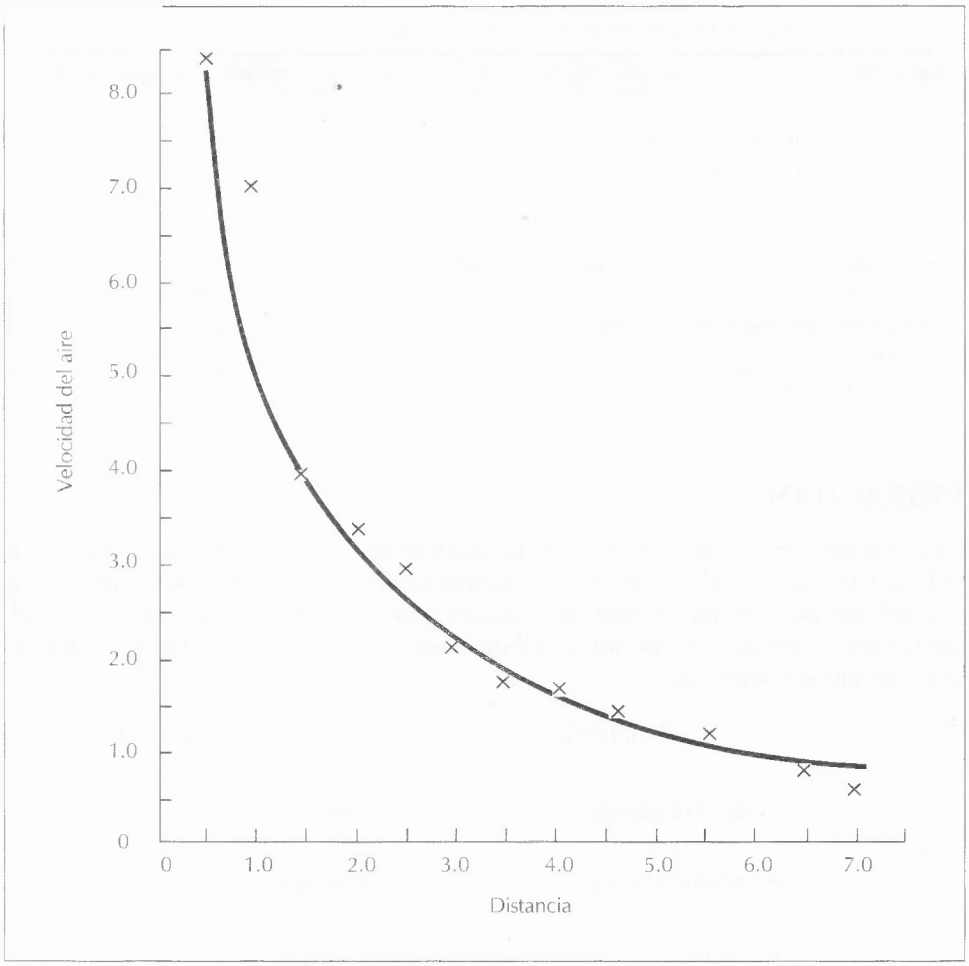


Figura 6–14 Velocidad del aire contra distancia al ventilador.
(*Tomado de:* Konz, 1995.)

En un edificio con sólo algunas áreas de trabajo, sería poco práctico ventilar todo el edificio. En ese caso, puede proporcionarse ventilación local a un nivel más bajo o quizá en un área cerrada, como una cabina de control ventilada o la cabina de una grúa. Observe que la velocidad de ventilación baja con rapidez al aumentar la distancia al ventilador (figura 6–14) y su direccionamiento es crítico. Las velocidades aceptables de aire para el trabajador se especifican en la tabla 6–9 (ASHRAE, 1991). Una regla corta es que a una distancia de 30 diámetros de ventilador, la velocidad del aire es cero (Konz, 1995). Por último, en áreas con fuentes de calor localizadas, como hornos refractarios, el enfriamiento puntual con una corriente de aire directa de alta velocidad hacia el trabajador aumenta la convección y el enfriamiento por evaporación.

Tabla 6–9 Movimiento del aire aceptable para el trabajador

Exposición	Velocidad del aire (pie/m)
Continua	
Espacio con aire acondicionado	50 a 75
Estaciones de trabajo fijas, ventilación general o puntual	
Sentado	75 a 125
Parado	100 a 200
Intermitente, enfriamiento puntual o estaciones de descanso	
Cargas de calor ligeras y actividad	1000 a 2000
Cargas de calor moderadas y actividad	2000 a 3000
Cargas de calor altas y actividad	3000 a 4000

Reimpreso con permiso de ASHRAE, 1991

VIBRACIÓN

La vibración puede causar efectos en el desempeño humano. Las vibraciones de amplitud alta y frecuencia baja tienen efectos en especial indeseables sobre los órganos y tejidos del cuerpo. Los parámetros de vibración son frecuencia, amplitud, velocidad, aceleración y sacudida. En el caso de vibraciones senoidales, la amplitud y sus derivadas respecto al tiempo son:

$$\text{Amplitud } (s) = \text{desplazamiento máximo desde la posición estática (pulg)}$$

$$\text{Velocidad máxima } \frac{ds}{dt} = 2\pi(s)(f) \text{ pulg/s}$$

$$\text{Aceleración máxima } \frac{d^2s}{dt^2} = 4\pi^2(s)(f^2) \text{ pulg/s}^2$$

$$\text{Sacudida máxima } \frac{d^3s}{dt^3} = 8\pi^3(s)(f^3) \text{ pulg/s}^3$$

donde: f = frecuencia,
s = amplitud de desplazamiento.

El desplazamiento y la aceleración máxima son los parámetros principales usados para caracterizar la intensidad de la vibración.

Existen tres categorías de exposición a la vibración:

1. Circunstancias en las que se afecta a toda o a una porción importante de la superficie del cuerpo; por ejemplo, cuando los sonidos de alta intensidad en el aire o el agua excitan la vibración.
2. Los casos en que las vibraciones se transmiten al cuerpo a través de un área de soporte; como a través de la espalda de una persona que maneja un camión o por los pies de una persona de pie junto a una instalación que vibra en una fundición.
3. Instancias en las que las vibraciones se aplican a una parte específica del área del cuerpo; por ejemplo a la mano que sostiene y opera una herramienta de potencia.

Tabla 6–10 Frecuencias de resonancia para distintas partes del cuerpo

Frecuencia (Hz)	Parte del cuerpo afectada
3-4	Vértebras cervicales
4	Vértebras lumbares (clave para operarios de montacargas y camiones)
5	Clavícula
20-30	Entre la cabeza y el hombro
>30	Dedos, manos y brazos (clave para operarios de herramientas de potencia)
60-90	Globos del ojo (clave para pilotos y astronautas)

Todo sistema mecánico se puede modelar usando una masa, un resorte y un amortiguador que combinados, dan un sistema con su propia *frecuencia natural*. Cuanto más cercana sea la vibración a esta frecuencia, mayor es el efecto en el sistema. De hecho, si las vibraciones forzadas inducen vibraciones de amplitud más amplia en el sistema, entonces se dice que el sistema está en *resonancia*. Esto puede tener efectos drásticos como en el caso de los vientos fuertes que causaron la oscilación del puente Tacoma Narrows en Washington y con el tiempo se desplomó, o el paso firme de los soldados al cruzar los puentes. En la tabla 6–10 se presentan las frecuencias de resonancia críticas para una persona sentada.

Por otro lado, las oscilaciones en el cuerpo, o en cualquier sistema, tienden a amortiguarse. Así, en posición de pie, los músculos de las piernas amortiguan mucho las vibraciones. En especial amortiguan las frecuencias superiores a 35 Hz. Las amplitudes de las oscilaciones en los dedos se reducen 50% en la mano, 66% en el codo y 90% en el hombro.

La tolerancia humana a la vibración disminuye al aumentar el tiempo de exposición. Entonces, el nivel de aceleración tolerable aumenta si el tiempo de exposición disminuye. Tanto la International Standards Organization (ISO) como el American National Standards Institute (ANSI) (ASA, 1980) han desarrollado límites para la vibración en todo el cuerpo para transporte y aplicaciones industriales. Los estándares especifican los límites en términos de desaceleración, frecuencia y duración (figura 6–15). Las líneas de la gráfica muestran los límites de fatiga/desempeño. Para los límites de comodidad, los valores de la aceleración se dividen entre 3.15; para límites de seguridad, los valores se multiplican por 2. Por desgracia, no se han desarrollado límites para las manos y las extremidades superiores.

Las vibraciones de frecuencia baja (0.2-0.7 Hz) y amplitud alta son las causas principales del mareo por movimiento al viajar por mar o por aire. Los trabajadores experimentan fatiga con mayor rapidez cuando están expuestos a vibraciones en el intervalo de 1 a 250 Hz. Los primeros síntomas de la fatiga por vibración son dolor de cabeza, problemas de visión, pérdida del apetito y falta de interés. Los problemas posteriores incluyen deterioro del control motriz, degeneración de los discos, atrofia en los huesos y artritis. Las vibraciones experimentadas en este intervalo a menudo son características de la industria del transporte. Las vibraciones verticales de muchos camiones con llantas de hule al viajar a velocidades normales en carreteras comunes, van de 3 a cerca de 7 Hz, que es justo el intervalo crítico para la resonancia en el tronco humano.

Las herramientas de potencia con frecuencias entre 40 y 300 Hz tienden a ocluir el flujo de sangre y afectar los nervios; el resultado es el *síndrome de dedos pálidos*. El

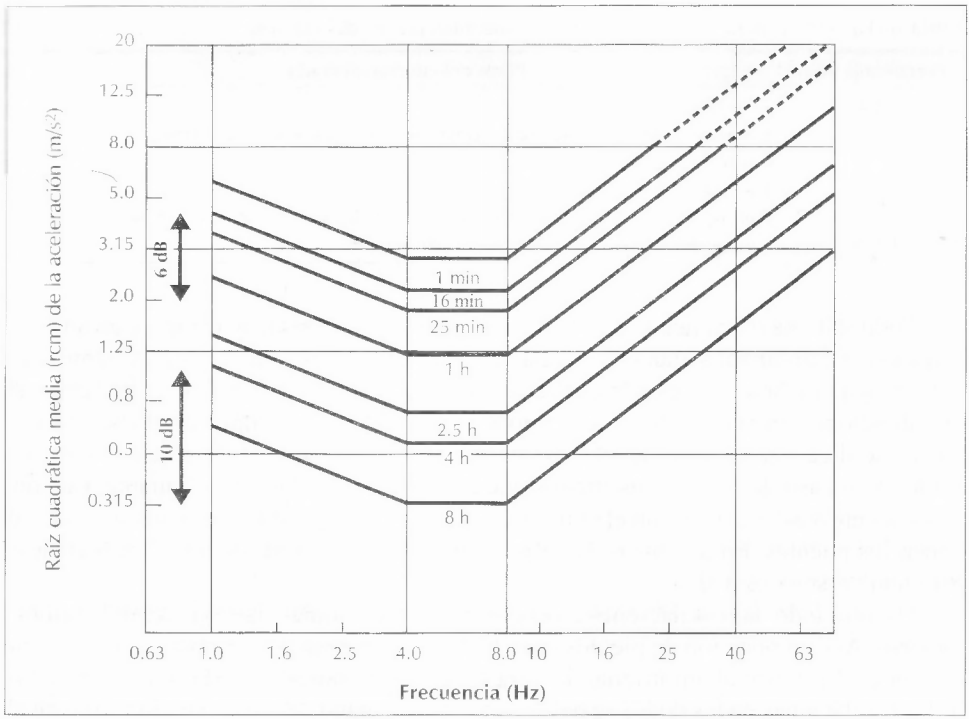


Figura 6–15 Umbral de disminución de habilidades por fatiga debida a vibración vertical contenida en ISO 2631 y ANSI S3.18-1979.
Para obtener el límite de reducción de comodidad, se restan 10 dB (esto es, se divide cada valor entre 3,15); para obtener el límite de la exposición fisiológica segura, se suman 6 dB (es decir, se multiplica cada valor por 2.0). (*Tomado de:* Sanders y MacCormick, 1993. Reimpreso con permiso de The McGraw-Hill Companies..)

problema se agudiza en condiciones de frío, con el problema adicional de oclusión del flujo de sangre inducida por el frío, o *síndrome de Raynaud*. Herramientas mejor amortiguadas, el intercambio de mangos por otros con absorción de vibraciones y usar guantes, en especial los acojinados con materiales que absorben vibraciones, ayudarán a reducir el problema.

La administración puede proteger a los empleados contra la vibración de varias maneras. Las fuerzas aplicadas responsables de la vibración inicial se pueden reducir si se modifica la velocidad, alimentación y movimiento, y si se da un mantenimiento, balanceo y reemplazo adecuados de las partes gastadas. Los analistas pueden colocar el equipo en soportes antivibraciones (resortes, elastómeros, juntas de compresión) o alterar la posición del cuerpo del trabajador para disminuir las fuerzas de vibraciones perturbadoras. También es posible reducir el tiempo que los trabajadores están expuestos a la vibración si se alternan las asignaciones de trabajo dentro del grupo de empleados. Por último, los soportes acolchonados para el cuerpo amortiguan las vibraciones de amplitud alta. Se pueden usar sistemas de suspensión para asientos con amortiguadores hi-

dráulicos, resortes de hojas, soporte de caucho o hule tipo cizalla o barras de torsión. En las operaciones de pie, un tapete de elastómero, suave, suele ayudar.

RADIACIÓN

Aunque todos los tipos de radiación por ionización pueden dañar los tejidos, es tan sencillo evitar las radiaciones beta y alfa que, en la actualidad, casi toda la atención se dedica a la radiación de rayos gama, rayos X y radiación neutrónica. Los haces de alta energía que chocan con el metal en equipos de vacío pueden producir rayos X muy penetrantes que tal vez requieran una defensa mucho mayor que el mismo haz electrónico.

La dosis absorbida es la cantidad de energía distribuida por la radiación ionizante a una masa dada de material. La unidad de dosis absorbida es el *rad*, equivalente a la absorción de 0.01 joules por kilogramo (100 ergs por gramo). La dosis equivalente es una manera de corregir las diferencias del efecto biológico de varios tipos de radiación ionizante en los seres humanos. La unidad de dosis equivalente es el *rem*, que produce un efecto biológico en esencia igual al de un rad de dosis absorbida de radiación X o gama. El *roentgen* (R) es una unidad de exposición que mide la cantidad de ionización producida en el aire por la radiación X o gama. El tejido localizado en un punto donde la exposición es un roentgen recibe el nombre de dosis absorbida aproximada de un rad.

Las dosis muy grandes de radiación por iones (100 rads o más) recibidas en un periodo muy corto por todo el cuerpo pueden causar trastornos por radiación. Una dosis absorbida de cerca de 400 rad en todo el cuerpo sería fatal para alrededor de la mitad de los adultos. Las dosis pequeñas recibidas en un periodo largo pueden aumentar la probabilidad de contraer varios tipos de cáncer y otras enfermedades. El riesgo global de un cáncer fatal debido a una dosis equivalente de radiación de un rem es de casi 10^{-4}; esto es, una persona que recibe una dosis equivalente de un rem de radiación tiene una posibilidad de 1 en 10 000 de morir por un cáncer producido por la radiación. Este riesgo también se puede expresar como la esperanza de un cáncer fatal en un grupo de 10 000 personas, si cada una recibe una dosis equivalente de un rem.

Las personas que trabajan en áreas de acceso controlado con el propósito de dar protección contra la radiación, en general, están limitadas a una dosis equivalente de cinco rem por año. Es común que el límite en áreas no controladas sea el mismo. Trabajar dentro de estos límites no debe tener un efecto significativo en la salud de los individuos involucrados. Todas las personas están expuestas a la radiación de radioisótopos que ocurren de manera natural en el cuerpo, por la radiación cósmica y por la radiación emitida por la tierra y los materiales de construcción. La dosis equivalente de las fuentes naturales es de alrededor de 0.1 rem (100 milirem) por año.

TRABAJO POR TURNO Y HORARIOS DE TRABAJO

TRABAJO POR TURNO

El *trabajo por turno*, definido como trabajar en horas que no son las de día normal, se convierte en un problema creciente para la industria. Por tradición, la necesidad de servicios continuos de la policía, los bomberos y el personal médico, o de operaciones con-

tinuas de la industria química o farmacéutica, ha significado la necesidad de trabajar por turnos. En tiempos más recientes la economía de la manufactura, es decir, la capitalización o recuperación de la maquinaria automática con costos siempre en aumento también ha elevado la demanda del trabajo por turnos. De manera similar, la producción justo a tiempo y las demandas estacionales de productos (y la disminución consiguiente en espacio de almacén) también requieren cada vez más el trabajo por turnos.

El problema con el trabajo por turnos es el estrés sobre los *ritmos circadianos*, que son las variaciones de 24 horas en las funciones del cuerpo humano (al igual que de otros organismos). La longitud del ciclo varía entre 22 y 25 horas, pero se mantiene sincronizado dentro del ciclo de 24 horas debido a los diferentes conservadores del tiempo, como los cambios diarios de luz y oscuridad, los contactos sociales, el trabajo y el reloj. Los cambios cíclicos más notorios ocurren en el sueño, la temperatura interna, las pulsaciones del corazón, la presión sanguínea y el desempeño en la tarea, como la capacidad de seguimiento crítico (figura 6–16). Por lo común, las funciones del cuerpo y el desempeño inician su desarrollo al despertar, llegan a un pico a media tarde y después declinan de manera estable hasta su punto más bajo a la media noche. También existe una baja después de la mitad del día, conocida como *cansancio después de comer*. Entonces, los individuos que deben trabajar en el turno de noche presentan una degradación marcada en el desempeño, ya sean choferes de camión que se quedan dormidos mientras manejan, o inspectores de gas que leen los medidores (Grandjean, 1988).

Puede suponerse que los trabajadores del turno de noche se adaptarán al trabajo debido al cambio en los patrones de vida. Por desgracia, el resto de las interacciones sociales todavía tienen un papel importante y el ritmo circadiano nunca cambia en realidad (como lo hace en individuos que viajan al otro lado del globo terrestre durante periodos prolongados) e incluso puede acentuarse, aspecto que algunos investigadores consideran el peor escenario. Así, los trabajadores de la jornada nocturna también experimentan problemas de salud, como pérdida del apetito, problemas digestivos, úlceras y tasas mayores de enfermedad. Los problemas empeoran cuando el trabajador tiene más edad.

Existen muchas maneras de organizar el trabajo por turnos. Es común que un sistema de tres turnos tenga un turno matutino (M) de 8 a 4 pm, uno vespertino (V) de 4 pm a 12 pm y uno nocturno (N) de 12 pm a 8 am. En el caso más sencillo, debido a incrementos en la demanda de producción, una compañía puede cambiar de un turno matutino a dos turnos, uno matutino y uno vespertino. En general, por su antigüedad, los trabajadores de más edad piden el turno matutino, mientras que los de nuevo ingreso comienzan en el vespertino. La rotación semanal de los dos turnos no causa problemas psicológicos importantes, ya que el patrón de sueño no se perturba. Pero los patrones sociales sí pueden considerarse alterados.

El paso a un tercer turno nocturno presenta más problemas. Como existe dificultad para ajustarse a un nuevo ritmo circadiano, aun en el curso de varias semanas, la mayoría de los investigadores abogan por una *rotación rápida*, con cambios de turno cada dos o tres días. Esto mantiene la calidad del sueño lo mejor que se puede y no perturba mucho la vida familiar y social. La rotación semanal común en Estados Unidos, es quizá el peor escenario porque los trabajadores nunca se ajustan a uno de los turnos.

En la tabla 6–11 se presenta un sistema de turnos de rotación rápida para un sistema de producción de 5 días (es decir, sin fines de semana). Sin embargo, en muchas compa-

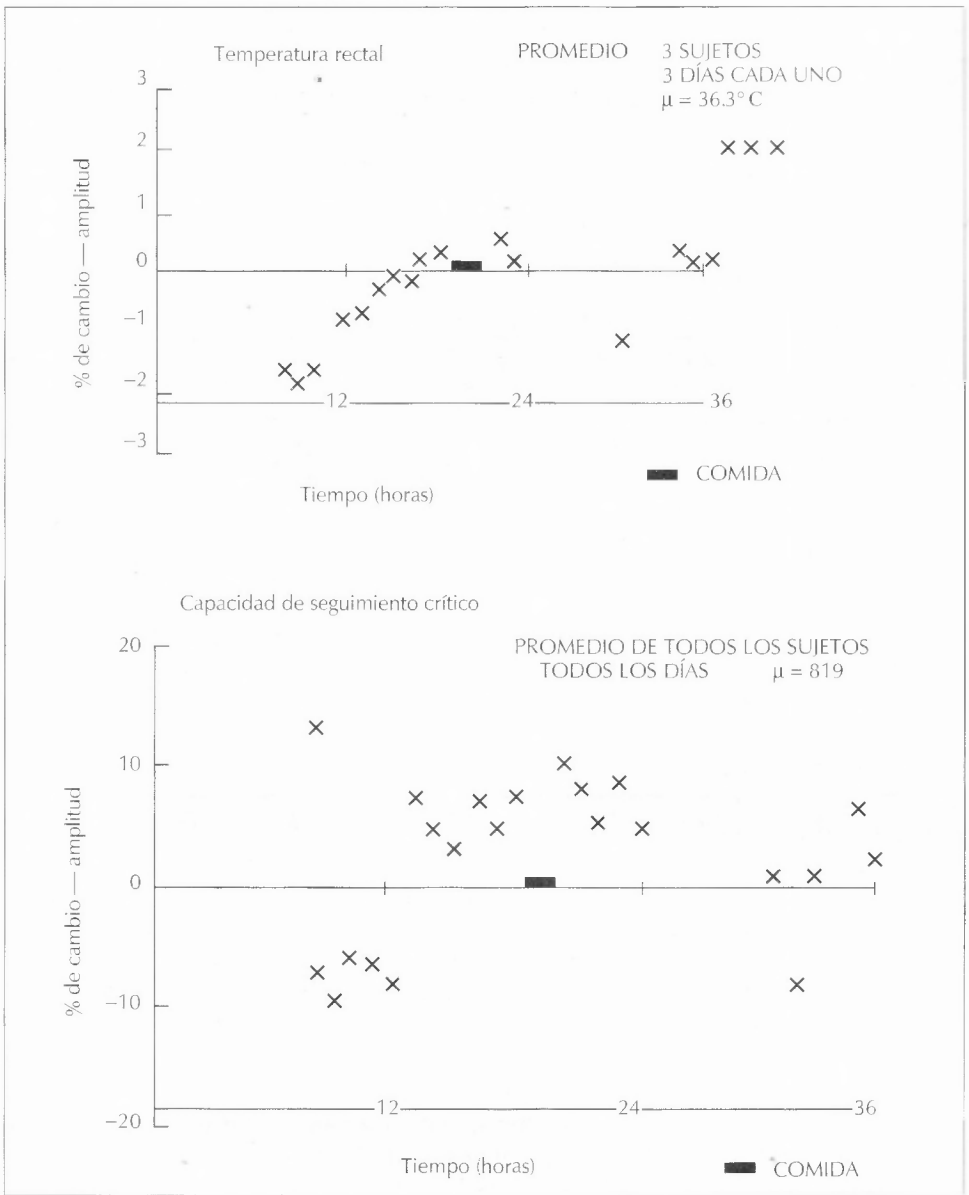


Figura 6-16 Ejemplos de ritmos circadianos. (*Tomado de:* Freivalds, Chaffin y Langolf, 1983.)

ñías es sólo de mantenimiento con producción limitada. En ese caso, no se necesita todo el personal y puede ser más sencillo rotar sólo los turnos matutino y vespertino y operar un turno nocturno más pequeño, que puede estar formado más que nada de voluntarios que se pueden adaptar mejor a ese turno.

Tabla 6–11 Rotación de turnos de ocho horas (fines de semana libres)

Semana	L	M	Mi	J	V	S	D
1	M	M	V	V	V	—	—
2	N	N	M	M	M	—	—
3	V	V	N	N	N	—	—

M = matutino, V = vespertino, N = nocturno

Tabla 6–12 Rotación de turnos 2-2-2 (8 horas continuas)

Semana	L	M	Mi	J	V	S	D
1	M	M	V	V	N	N	—
2	—	M	M	V	V	N	N
3	—	—	M	M	V	V	N
4	N	—	—	M	M	V	V
5	N	N	—	—	M	M	V
6	V	N	N	—	—	M	M
7	V	V	N	N	—	—	M
8	M	V	V	N	N	—	—

M = matutino, V = vespertino, N = nocturno

Tabla 6-13 Rotación de turnos 2-2-3 (8 horas continuas)

Semana	L	M	Mi	J	V	S	D
1	M	M	V	V	N	N	N
2	—	—	M	M	V	V	V
3	N	N	—	—	M	M	M
4	V	V	N	N	—	—	—

M = matutino, V = vespertino, N = nocturno

Para operaciones continuas las 24 horas, se necesita un sistema de rotación rápida de turnos en siete días. Dos planes usados mucho en Europa son el sistema 2-2-2 con no más de dos días en cada turno (tabla 6–12) y el sistema 2-2-3 con no más de tres días en cada turno (tabla 6–13). Existen trueques en cada uno de estos sistemas. El sistema 2-2-2 proporciona un fin de semana libre sólo cada ocho semanas. En el sistema 2-2-3 hay un fin de semana de tres días libres una vez cada cuatro semanas, pero requiere que los obreros trabajen siete días seguidos, que no es atractivo. Un problema básico en ambos sistemas es que con turnos de 8 horas, se trabajan 42 horas semanales. Tal vez se requieran sistemas alternativos con más personal y menos horas (Kodak, 1986).

Otro enfoque posible es programar turnos de 12 horas. Con estos sistemas, el obrero trabaja turnos de 12 horas en el día (D) o 12 horas en la noche (N) con tres días segui-

Tabla 6–14 Rotación de turnos de doce horas (3 días de trabajo, 3 de descanso)

Semana	L	M	Mi	J	V	S	D
1	D	D	D	—	—	—	N
2	N	N	—	—	—	D	D
3	D	—	—	—	D	N	N
4	—	—	—	D	N	D	—
5	—	—	N	N	D	—	—
6	—	D	D	D	—	—	—

Nota: D = día, N = noche

Tabla 6–15 Rotación de turnos de ocho horas (fines de semana libres)

Semana	L	M	Mi	J	V	S	D
1	D	—	—	N	N	—	—
2	—	D	D	—	—	N	N
3	N	—	—	D	D	—	—
4	—	N	N	—	—	D	D

Nota: D = día, N = noche

dos de trabajo y tres de descanso (tabla 6–14), o de manera más complicada dos o tres días de trabajo o descanso con un fin de semana libre cada dos (tabla 6–15). Existen varias ventajas en los periodos de descanso más largos entre los días de trabajo, al menos la mitad de los días de descanso coinciden con los fines de semana. Por supuesto, la desventaja obvia es tener que trabajar días largos o en esencia horas extra en forma normal (vea la siguiente sección).

Existen sistemas más complicados con menos horas (40 o menos) por semana. Esto se puede estudiar con más detalle en Kodak (1986) o Schwarzenau, *et al.* (1986).

En definitiva, los riesgos de la salud y de trabajo se asocian con los turnos de trabajo. No obstante, si los turnos son inevitables debido a las consideraciones del proceso de manufactura, deben tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Evitar en los turnos a trabajadores mayores de 50 años.
2. Usar rotaciones rápidas en lugar de ciclos semanales o mensuales.
3. Programar el menor número posible de turnos de noche (tres o menos) sucesivos.
4. Usar rotación hacia adelante de los turnos si es posible (como, M-V-N o D-N).
5. Limitar el número total de turnos de trabajo sucesivos a siete o menos.
6. Incluir algunos fines de semana libres, con al menos dos días completos de descanso.
7. Programar días de descanso después de los turnos de noche.
8. Mantener los planes sencillos, predecibles y equitativos para todos los trabajadores.

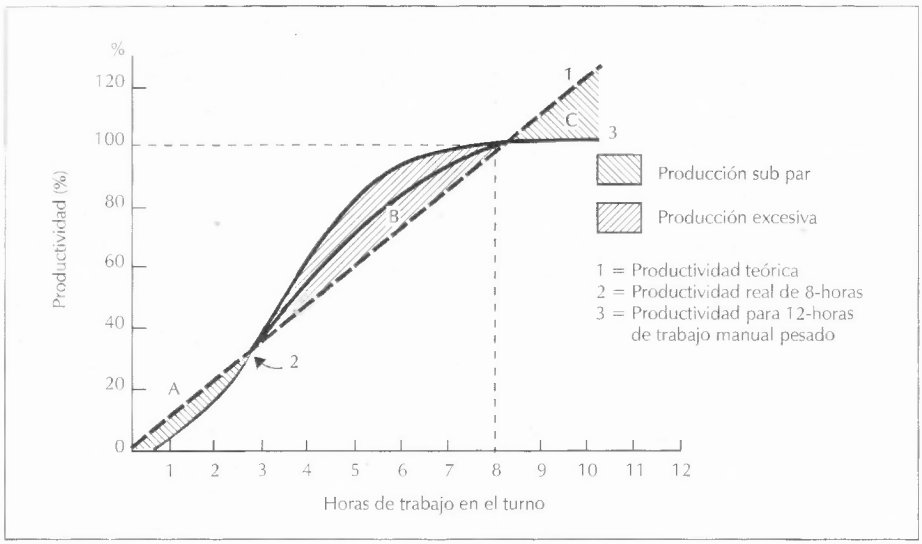


Figura 6–17 La productividad como función de las horas de trabajo diarias. (*Adaptado de:* Lehmann, 1953.)

TIEMPO EXTRA

Muchos estudios han demostrado que los cambios en la longitud del día o semana de trabajo tienen un efecto directo en la producción. Por desgracia, el resultado no es directamente proporcional como se esperaría. Observe la figura 6–17, el desempeño lineal teórico diario es lineal (curva 1), pero en la práctica, más bien tiene forma de S (curva 2). Por ejemplo, existe un periodo de preparación inicial con poca productividad (área A), un calentamiento gradual, una sección con pendiente mayor que la productividad teórica (área B) y una nivelación gradual cuando se acerca el final del turno. En un turno de ocho horas, las dos áreas, de baja productividad (área A) y de productividad en exceso (área B) son iguales, mientras que en turnos más largos para trabajo manual pesado (curva 3), la baja productividad es mayor que la productividad en exceso, en especial con baja productividad adicional (área C) en las últimas horas (Lehmann, 1953).

Los resultados de una antigua investigación inglesa (citada en Grandjean, 1988) indican que al *acortar* el día de trabajo se obtenía una *mayor* producción por hora, con menos pausas. Este cambio en el desempeño del trabajo requirió al menos varios días (a veces mas tiempo) antes de alcanzar el estado estable. Inversamente, alargar el día de trabajo, es decir, asignar tiempo extra, causa que la productividad disminuya, en ocasiones hasta el punto de disminuir la producción total del turno completo, aun cuando las horas trabajadas sean más (vea la curva 3 de la figura 6–17). Por lo tanto, cualquier beneficio esperado de turnos de más horas se compensa por la menor productividad. Este efecto depende del nivel de la carga de trabajo físico: el trabajo más extenuante

significa una disminución mayor en la productividad y más periodos de descanso para el trabajador.

Datos más recientes (citados en Kodak, 1986) indican que el incremento esperado en la producción es alrededor de 10% por cada 25% de incremento en las horas trabajadas. Esto, en definitiva no justifica el gasto de pagar tiempo y medio por horas extra. Este análisis supone que hay un programa de pagos por día de trabajo (capítulo 17). Con un esquema de incentivos durante las horas adicionales, tal vez no sea tan marcada la disminución de la productividad. De manera similar, si la máquina marca el paso del trabajo, la productividad está ligada a esa máquina. Sin embargo, el operador puede alcanzar niveles de fatiga inaceptables y requerir descansos adicionales por las holguras adecuadas (capítulo 11). Un efecto secundario del tiempo extra es que si es excesivo o continuo, las tasas de accidentes y las ausencias por enfermedad aumentan (Grandjean, 1988).

No se puede recomendar la programación del tiempo extra de manera normal, pero puede ser necesario durante periodos cortos transitorios, para mantener la producción o aliviar faltantes temporales de personal. En tales casos, deben seguirse las siguientes recomendaciones:

1. Evitar tiempo extra para trabajo manual pesado.
2. Revaluar el trabajo con paso de la máquina para asignar descansos y bajar las tasas.
3. Para tiempos extra prolongados o continuos, rotar el trabajo entre los trabajadores o examinar otros sistemas de turnos.
4. Al elegir entre extender una serie de días de trabajo una o dos horas contra extender la semana de trabajo un día, la mayoría de los operarios optarán por lo primero para evitar perder un fin de semana con la familia (Kodak, 1986).

SEMANA DE TRABAJO COMPRIMIDA

Una semana de trabajo comprimida implica que se realizan 40 horas en menos de cinco días. En general, esto ocurre en la forma de cuatro días de 10 horas, tres días de 12 horas o cuatro de 9 horas con medio día el viernes. Desde el punto de vista administrativo, este concepto ofrece varias ventajas: menos ausentismo, relativamente menos tiempo para descanso y almuerzo y costos reducidos de preparación y cierre (respecto al tiempo de operación). Por ejemplo, los tratamientos por calor, la forja y las instalaciones de fundido requieren un tiempo significativo, hasta 15% o más, de las 8 horas del día de trabajo, para que la instalación y el material lleguen a la temperatura requerida antes de poder iniciar la producción. Al pasar a un día de 10 horas, la operación gana dos horas adicionales de tiempo de producción sin más tiempo de preparación. Aquí, las ganancias económicas por el día más largo pueden ser significativas. Los trabajadores también ganan más tiempo libre, y menos tiempo y costos de transporte (respecto al tiempo de trabajo).

Por otro lado, según el análisis del tiempo extra, la semana de trabajo comprimida es en esencia tiempo extra continuo. Aunque las horas totales trabajadas son menos, las horas trabajadas por día son más. Entonces, muchas de las desventajas del tiempo extra

se aplican a la semana comprimida (Kodak, 1986). Otras objeciones al día de 10 horas y semana de 4 días surgen de los administradores que sostienen que están obligados a estar en el trabajo no sólo 10 horas durante cuatro días, sino además 8 horas al menos el quinto día.

PROGRAMAS DE TRABAJO ALTERNATIVOS

Con el mayor flujo en la fuerza de trabajo de mujeres, en especial madres con hijos en la escuela, padres solteros, trabajadores de edad avanzada y personal con intereses duales de carrera y familia, además de la preocupación creciente por el costo de transporte y el valor de la calidad de vida, se necesitan más programas de trabajo. Un programa de ese tipo es el *tiempo flexible*, donde el trabajador establece los tiempos de entrada y salida, dentro de los límites establecidos por la administración. Hoy en día existen varios planes de esta naturaleza. Algunos requieren que los empleados trabajen al menos 8 horas al día, otros, un número específico de horas a la semana o al mes, mientras que otros piden que estén en el sitio cuatro o cinco horas en medio del turno.

Estos planes tienen muchas ventajas para los empleados y para la administración. Los empleados pueden trabajar las horas de la mañana o de la tarde que más convengan a sus ritmos circadianos, pueden manejar mejor las necesidades de la familia o las emergencias y pueden atender sus asuntos personales durante las horas de trabajo sin tener que pedir permiso de salida. La administración gana con menos absentismo y tardanza. Las comunidades alrededor ganan porque la congestión de tráfico disminuye y pueden usar mejor las instalaciones recreativas y de servicio. Por otro lado, el tiempo flexible tiene una aplicación limitada en operaciones de manufactura, con paso de máquina y en procesos continuos, debido a los problemas de programación y coordinación de la mano de obra. No obstante en situaciones en las que se usan grupos de trabajo (capítulo 18), es posible usar el tiempo flexible (Kodak, 1986).

Los trabajos de tiempo parcial y compartidos pueden ser útiles en especial para un padre o madre soltero con niños, o para pensionados que buscan un suplemento a sus ingresos de jubilación. Ambos grupos pueden proporcionar mucho talento y servicios a una compañía, pero sus circunstancias los limitan para realizar los turnos tradicionales de 8 horas. Quizá haya problemas respecto a las prestaciones y otros costos fijos de los empleados, pero se pueden manejar como prorrateo o en alguna otra forma creativa.

SEGURIDAD

MANTENIMIENTO GENERAL

Uno de los objetivos de un equipo administrativo progresista es proporcionar seguridad y salud a los empleados en el lugar de trabajo. Esto requiere controlar el ambiente físico del negocio u operación. La mayor parte de las lesiones son el resultado de accidentes causados por condiciones inseguras, una acción insegura o una combinación de los dos. Las condiciones inseguras se relacionan con el entorno físico, que incluye el equipo usado y todas las condiciones físicas que rodean al lugar de trabajo. Por ejemplo, los pe-

Tabla 6–16 Recomendaciones de color

Color	Usado en	Ejemplos
Rojo	Equipo de protección contra incendios, peligro, como señal de alto	Cajas de alarma de incendios, localización de extinguidores y mangueras de incendios, tuberías de aspersores, latas de seguridad para inflamables, señales de peligro, botones de paro de emergencia
Naranja	Partes peligrosas de máquinas, otros peligros	Dentro de protecciones móviles, botones de seguridad para activación, orillas de partes expuestas para equipo móvil
Amarillo	Designar áreas de precaución, peligros físicos	Equipo de construcción y manejo de materiales, esquinas y orillas de plataformas, fosos, escalones, salientes. Se pueden usar cintas negras junto con las amarillas
Verde	Seguridad	Localización de equipo de primeros auxilios, máscaras de gas, salida de agua de seguridad
Azul	Designar áreas de precaución contra activación o uso de equipo	Banderolas de advertencia en los puntos de arranque de las máquinas, controles eléctricos, válvulas de tanques y calentadores
Púrpura	Peligros de radiación	Contenedores de material o fuentes radiactivas
Blanco y negro	Tráfico y mantenimiento	Localización de pasillos, direcciones, áreas que rodean equipo de emergencia

ligros pueden surgir por falta de cuidado o protección inadecuada del equipo, la localización de las máquinas, las condiciones de las áreas de almacén o las condiciones del edificio.

Las condiciones generales de seguridad relacionadas con el edificio incluyen la capacidad de carga del lugar. Esto es importante en particular para las áreas de almacén donde la sobrecarga ha causado muchos accidentes serios cada año. Las señales de peligro de sobrecarga incluyen grietas en las paredes, vibración excesiva y desplazamiento de componentes estructurales.

Los pasillos, escaleras y otros lugares de paso deben investigarse periódicamente para asegurar que no tienen obstáculos, no están disparejos y no hay aceite o materiales resbalosos o que causen caídas. En muchas edificaciones viejas, deben inspeccionarse las escaleras, ya que han sido fuente de numerosos accidentes y tiempo perdido. Las escaleras deben tener una pendiente de 30 a 35 grados, con anchos de escalón aproximados de 9.5 pulg (24 cm). La elevación no debe exceder 8 pulg (20 cm). Todas las escaleras deben estar equipadas con barandales, tener al menos 10 pies-candela (100 lux) de iluminación y estar pintadas en colores claros.

Debe haber al menos dos salidas en todos los pisos del edificio y el ancho de las salidas debe cumplir con el reglamento de seguridad de cualquier país* (en Estados Unidos el Life Safety Code of the National Fire Protection Association). Este reglamento considera la ocupación y el peligro relativo de incendio al que el área de salida da servi-

**N del T.:* En México, Reglamento Federal de Seguridad e Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, Secretaría de Trabajo y Previsión Social.

cio. La protección adecuada contra incendios debe incorporarse, según los estándares y reglamentos específicos de OSHA. Los edificios deben contener extinguidores, sistemas de aspersión y mangueras y tubería fija.

Los pasillos deben ser derechos y estar señalizados, con esquinas redondeadas o con diagonales. Si son pasillos para el paso de vehículos, deben ser al menos 3 pies más anchos que el vehículo más ancho. (Cuando el tráfico es sólo en un sentido, entonces es suficiente con 2 pies más ancho.) En general, los pasillos deben tener al menos 5 pies-candela (50 lux) de iluminación. La instalación inicial de suficientes lámparas no asegura una iluminación adecuada. Sólo un esfuerzo de mantenimiento continuo puede garantizar la limpieza periódica de las lámparas y el reemplazo de focos fundidos. Deben usarse colores para identificar las condiciones de peligro. Las recomendaciones de peligro mostradas en la tabla 6–16 cumplen con los estándares de OSHA.

La mayor parte de las máquinas herramienta pueden cuidarse en forma satisfactoria para minimizar la probabilidad de que un trabajador se lesione mientras la usa. El problema es que muchas carecen de seguridad. En estos casos, debe actuarse de inmediato para proporcionar protección y para que se use en forma rutinaria. Un enfoque alternativo es proporcionar una operación de dos botones como la mostrada en las operaciones de prensa de la figura 6–18. Observe que cada persona tiene enfrente dos botones manuales separados (36 pulg o 91 cm), de manera que el operario debe tener las manos en posición segura cuando activa la prensa. Los botones para las palmas son el dispositivo número uno en seguridad para proteger al operador mientras carga y descarga las prensas de manufactura.

Por supuesto, hay excepciones, como un articulador o una sierra circular, para las que el proceso no permite protección completa. En estos casos, es fácil lograr una protección parcial, pero la completa es demasiado costosa o imposible porque interfiere con la manipulación del operario. Deben considerarse varias alternativas. Algunas veces, el proceso se puede automatizar para liberar por completo al operario del "punto de peligro". En otros casos, se puede usar un robot manipulador en lugar de un operario, o se puede planear otro método y capacitar al operario para usar alimentadores manuales o dispositivos que le permitan mantener sus manos y otras partes del cuerpo fuera de los puntos de peligro.

Debe incorporarse un sistema de control de calidad y mantenimiento en el cuarto de herramientas, para que sólo se proporcionen a los operarios herramientas confiables y en buen estado. Los ejemplos de herramientas poco seguras que no deben darse a los operarios incluyen: herramientas eléctricas con aislantes rotos, herramientas eléctricas que carecen de cables o enchufes con conexión a tierra, herramientas sin filo, martillos desgastados, ruedas de molienda quebradas o sin guardas y herramientas con mangos rotos o dientes quebrados.

También deben considerarse los materiales potencialmente inseguros. Una gran parte de los negocios y las fábricas usan químicos peligrosos. Como política de la compañía, se debe anunciar la composición de cada compuesto químico usado, determinar sus riesgos y establecer medidas de control para proteger a los empleados. Los efectos en la salud a largo plazo de muchos materiales todavía se desconocen. OSHA y otros grupos los han identificado como riesgosos y las compañías están iniciando procedimientos para manejar este tipo de sustancias.

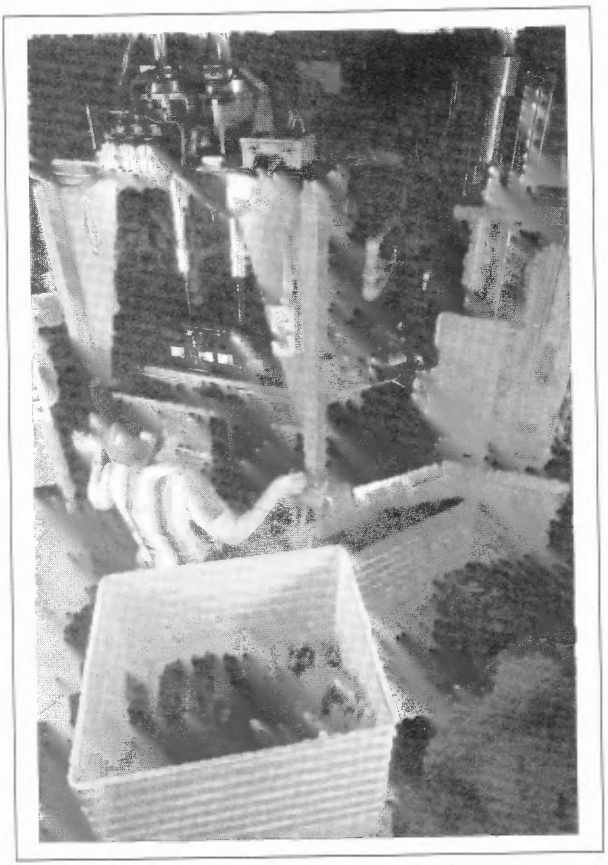


Figura 6–18 Operación de prensa de dos botones. (© Morton Beebe/CORBIS)

Los materiales que se sabe que causan problemas de salud o seguridad se clasifican en una de tres categorías: materiales corrosivos, tóxicos o irritantes e inflamables. Los materiales corrosivos incluyen una variedad de ácidos y cáusticos que pueden quemar o destruir el tejido del cuerpo humano al contacto. La acción química de los materiales corrosivos puede ocurrir con el contacto directo con la piel o a través de la inhalación de gases o vapores. Para evitar el peligro potencial que resulta del uso de materiales corrosivos, se toman en cuenta las siguientes medidas:

1. Asegurar que los métodos de manejo de materiales son a prueba de errores.
2. Evitar que se riegue o derrame, en especial durante el proceso inicial de entrega.
3. Asegurar que los operarios expuestos a materiales corrosivos tienen y usan el equipo diseñado de protección personal correcto y los procedimientos para desecharlo.
4. Asegurar que el dispensario o área de primeros auxilios está equipado con lo necesario para una emergencia, incluyendo duchas para diluir y para lavado de ojos.

Los materiales tóxicos o irritantes incluyen gases, líquidos o sólidos que envenenan el cuerpo o perturban el proceso normal por ingestión, absorción a través de la piel, o inhalación. Los siguientes métodos se usan para controlar los materiales tóxicos:

1. Aislar el proceso por completo de los trabajadores.
2. Proporcionar ventilación adecuada.
3. Proporcionar a los trabajadores equipo de protección personal confiable.
4. Sustituir por un material no tóxico o no irritante cuando sea posible.

Los materiales inflamables y los agentes de oxidación fuertes presentan peligro de incendios o explosiones. La ignición espontánea de los materiales combustibles puede ocurrir cuando no hay suficiente ventilación para eliminar el calor de un proceso de oxidación lenta. Para prevenir este tipo de incendios, los materiales combustibles deben almacenarse en un área bien ventilada, fresca y seca. Deben almacenarse pequeñas cantidades en contenedores de metal cubiertos.

Algunos polvos combustibles, como el aserrín, no se clasifican como explosivos. Sin embargo, pueden ocurrir explosiones cuando esos polvos, vapores inflamables o gases están presentes en el aire en concentraciones suficientes para incendiarse. Tanto para gases como para polvos, existen límites de concentración en el aire abajo y arriba de los cuales las explosiones no ocurren. Para polvos ligeros, el límite inferior explosivo aceptado es 0.015 onzas por pie cúbico, y para polvos pesados, 0.5 onzas por pie cúbico. Los vapores de gases tienen un intervalo más amplio en el que es posible que ocurran las explosiones. Las concentraciones de 0.5% por volumen en el aire con frecuencia se reconocen como límites inferiores. Un incremento en la temperatura disminuye este límite.

Para evitar explosiones, debe prevenirse la ignición con sistemas de ventilación o escape adecuados. El control apropiado de los procesos de manufactura minimiza la generación de polvos y la liberación de gases y vapores. Los gases y vapores pueden eliminarse de los flujos de gas mediante la absorción en líquidos o sólidos, la asimilación o adsorción en sólidos, la condensación y la combustión catalítica e incineración. En la absorción, el gas o vapor se distribuye en el líquido o sólido que lo colecta. El equipo para esto incluye torres de absorción, como columnas de lámina con casquete de burbujeo, torres de empaque, torres de aerosol, y arandelas de celdas húmedas. La adsorción de gases y vapores usa una variedad de sustancias adsorbentes sólidas que incluyen benzeno, tetracloruro de carbón, cloroformo, óxido nitroso y acetaldehído.

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Debido a la naturaleza de algunas operaciones y a las consideraciones económicas, el cambio en los métodos, el equipo o las herramientas quizá no elimine ciertos peligros. Cuando esto ocurre, los operarios deben contar con un equipo de protección personal. Este tipo de equipo incluye anteojos, máscaras, cascos, delantales, chalecos, pantalones, cubrepiernas, guantes, zapatos y equipo para respiración.

Para asegurar que el personal de operaciones usa siempre el equipo de protección, las compañías deben proporcionarlo a los empleados ya sea a cierto costo o sin costo. La política de que la compañía absorba los costos del equipo de protección personal es

cada vez más común. Se pueden citar casos innumerables en los que el el equipo ha salvado un ojo, una mano, un pie o una vida. Por ejemplo, una compañía acerera informó que se previnieron 20 fallecimientos en un año al reforzar el uso de los cascos que proporciona. Un aserradero en el noroeste informó que en un periodo de 20 días, el uso de gorros de protección había prevenido seis accidentes serios de lesiones en la cabeza.

Un estudio realizado recientemente por el U.S. Bureau of Labor Statistics mostró que tres de cada cinco trabajadores que sufrían lesiones en los ojos o quemaduras químicas no usaban la protección de los ojos en el momento del accidente. En 75% de esos casos, los trabajadores pensaban que la protección de los ojos no se requería en esa situación específica. El equipo de protección de ojos no es costoso y debe estar disponible siempre. Ha de enseñarse a los empleados la importancia de usar este equipo de protección especificado y desarrollar la actitud de no usar un equipo distinto al prescrito. El cumplimiento debe ser una condición de empleo.

ADMINISTRACIÓN DE LA SEGURIDAD EN EL TRABAJO Y LA SALUD (OSHA)

REGLAMENTO DE OSHA

El reglamento de la Occupational Safety and Health Act (OSHA) de 1970 fue aprobado por el Congreso de Estados Unidos para "asegurar lo más posible las condiciones de seguridad de todo hombre o mujer trabajador en la nación y para preservar los recursos humanos". Según esta ley, la OSHA se creó para:

1. Exhortar empleados y empleadores a reducir los peligros en el lugar de trabajo e implantar nuevos programas de seguridad o mejorar los existentes.
2. Establecer "responsabilidades y derechos separados pero dependientes" de empleadores y empleados para el logro de mejores condiciones de seguridad y salud.
3. Mantener un sistema de registros e informes para supervisar las lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo.
4. Desarrollar estándares de seguridad y salud obligatorios y reforzarlos de manera efectiva.
5. Apoyar el desarrollo, análisis, evaluación y aprobación de los programas de seguridad y salud en el trabajo relacionados con el estado.

Como esta ley puede afectar el diseño del lugar de trabajo, el analista de métodos debe conocer sus detalles. La cláusula de deberes generales de la ley establece que cada empleador "debe proporcionar un lugar de trabajo libre de peligros reconocidos que causen o puedan causar la muerte o daños físicos serios a los empleados". Más aún, el reglamento determina que es responsabilidad del empleador familiarizarse con los estándares aplicables a sus establecimientos y asegurar que los empleados tienen y usan el equipo de protección personal para su seguridad.

Los estándares de OSHA se dividen en cuatro categorías: industria en general, marítima, de construcción y agrícola. Todos los estándares de OSHA están publicados en el *Federal Register*, que está disponible en casi todas las bibliotecas públicas, en un libro separado de reglamentos (OSHA, 1997), y en Internet (http://www.osha.gov/). OSHA puede iniciar procedimientos para establecer estándares por su propia iniciativa o como respuesta a peticiones del Secretary of Health and Human Services (HHS), el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), gobiernos del estado o locales, organizaciones que producen estándares de reconocimiento general como la ASME, y el empleador o los representantes del trabajo. De estos grupos, NIOSH, una oficina de HHS, es bastante activa en hacer recomendaciones para estándares. Realiza investigaciones sobre diferentes problemas de seguridad y salud y proporciona asistencia técnica a OSHA. De particular importancia es su investigación sobre sustancias tóxicas y sus desarrollos de criterios para el uso de esas sustancias en el lugar de trabajo.

OSHA también proporciona servicios de consultoría en la planta sin costo para los empleadores en los 50 estados de la Unión Americana. Este servicio está disponible si lo piden, y se da prioridad a los pequeños negocios, que en general tienen menos posibilidades de pagar consultas privadas. Estas consultorías pueden ayudar al empleador a detectar condiciones de peligro y determinar las medidas correctivas.

El reglamento también requiere que las compañías que tienen 11 empleados o más lleven registros de lesiones de trabajo y enfermedades conforme ocurren. Una lesión de trabajo se define como "cualquier lesión, por ejemplo, cortadura, fractura, torcedura o amputación, que sea el resultado de un accidente relacionado con el trabajo o de una exposición que involucre un solo incidente en el entorno de trabajo". Una enfermedad ocupacional es "cualquier condición anormal o desorden, distinta de una lesión de trabajo, causada por exposición a los factores ambientales asociados con el trabajo". Las enfermedades ocupacionales incluyen condiciones agudas y crónicas cuyas causas pueden ser inhalación, absorción, ingestión o contacto directo con sustancias tóxicas o agentes dañinos. En particular, debe registrarse si el resultado es muerte, pérdida de un día de trabajo o más, restricción en el movimiento o la habilidad del trabajo que realizaba, pérdida de la conciencia, transferencia a otro trabajo o tratamiento médico que no sea de primeros auxilios.

INSPECCIONES DEL LUGAR DE TRABAJO

Para reforzar sus estándares, OSHA está autorizada para realizar inspecciones. En consecuencia, todo establecimiento cubierto por el reglamento está sujeto a inspecciones de los oficiales de cumplimiento de la seguridad y salud de OSHA. El reglamento establece que "al presentar las identificaciones adecuadas al dueño, operario o persona a cargo", un oficial de cumplimiento de OSHA está autorizado para entrar sin demora a cualquier fábrica o lugar de trabajo con el fin de inspeccionar todas las condiciones pertinentes, equipo y materiales que se manejen y a interrogar al empleador, al operario o a los empleados.

Las inspecciones de OSHA, con unas cuantas excepciones, concluyen sin previo aviso. De hecho, alertar al empleador con anterioridad sobre una inspección de OSHA es motivo de una multa que puede llegar a 1000 dólares y/o 6 meses de cárcel. Las cir-

cunstancias especiales en las que OSHA puede advertir a un empleador de una inspección incluyen aquellas en las que:

1. Existen situaciones de peligro inminente que requieren corregirse lo más pronto posible.
2. Las inspecciones necesitan una preparación especial o deben llevarse a cabo después de las horas hábiles.
3. El aviso asegura que el empleador y los representantes de los empleados o algún otro personal esté presente.
4. El director de área de OSHA determina que un aviso previo produce un inspección más completa y efectiva.

Después de la inspección, si se encuentra una situación de peligro inminente, el oficial de cumplimiento pide al empleador que, de manera voluntaria, elimine el peligro y evite que los empleados se expongan. También debe publicarse una advertencia del peligro inminente. Antes de que el inspector de la OSHA deje el lugar de trabajo, él o ella darán aviso a todos los empleados afectados.

En el momento de la inspección, se pide al empleador que seleccione un empleado para que acompañe al oficial de cumplimiento durante la inspección. Un representante de empleados autorizado también tiene la oportunidad de asistir a la conferencia de apertura y de acompañar al oficial de cumplimiento durante la inspección. En las plantas que cuentan con un sindicato, es común que éste designe al representante de los empleados para acompañar al oficial de cumplimiento. En ninguna circunstancia el empleador elige al representante de los empleados para la inspección. El reglamento no requiere un representante de empleados para cada inspección; sin embargo, cuando no hay un representante autorizado, el oficial de cumplimiento debe consultar con un número razonable de empleados lo relativo a los asuntos de seguridad y salud en el lugar de trabajo.

Después de la ronda de inspección, hay una junta de clausura con el oficial de cumplimiento, el empleador y el representante de empleados. Enseguida el oficial de cumplimiento informa lo que encontró a la oficina de OSHA y el director de área determina, si los hay, qué citatorios y multas se propondrán.

CITATORIOS

Los citatorios informan al empleador y a los empleados de los supuestos reglamentos y estándares que se han violado, y el tiempo propuesto para corregirlos. El empleador recibe los citatorios y avisos de las multas propuestas por correo certificado. El empleador está obligado a publicar una copia de cada citatorio cerca del lugar donde ocurrió la violación, durante tres días o hasta que se elimine, lo que ocurra primero.

El oficial de cumplimiento tiene la autoridad de emitir citatorios en el lugar de trabajo, al terminar la junta de clausura. Para hacerlo, él o ella debe primero analizar cada violación aparente con el director de área y recibir la aprobación para emitir los citatorios.

Los seis tipos de violaciones que ameritan un citatorio y las multas que se pueden imponer son:

1. *Violación mínima (sin multa).* Este tipo de violación no tiene relación inmediata con la salud y seguridad, por ejemplo, el número de baños.

2. *Violación no seria.* Este tipo de violación tiene relación directa con la seguridad y la salud en el trabajo, pero tal vez no cause la muerte o daño físico serio. La multa propuesta es hasta de 7000 dólares por cada violación. Una multa por una violación no seria puede disminuir dependiendo de la buena intención del empleador (esfuerzos demostrados por cumplir con el reglamento), historial de violaciones previas y tamaño del negocio.

3. *Violación seria.* En esta violación existe una probabilidad sustanciosa de que pueda causar una muerte o daño serio, y surge de un peligro sobre el que el empleador tenía conocimiento o debió tener conocimiento. Por cada violación se impone una multa obligatoria hasta de 7000 dólares.

4. *Violación intencional.* Esta es una violación que comete el empleador con toda intención y conocimiento. Él sabe que sus acciones constituyen una violación, o bien está consciente de que existe una condición de peligro y no hace un esfuerzo razonable para eliminarla. Se pueden proponer multas hasta de 70 000 dólares por cada violación intencional. Si se encuentra que un empleador es culpable de una violación intencional que ha causado la muerte de un empleado, puede haber sentencia de cárcel hasta por seis meses. La reincidencia duplica estas penas máximas.

5. *Violación repetida.* Una violación repetida ocurre cuando la violación de cualquier estándar, reglamento, regla u orden se inspecciona de nuevo y se encuentra otra violación de la sección ya citada. No necesariamente se emite un citatorio para una violación repetida si ésta se refiere al mismo equipo o lugar. Si en la reinspección, se encuentra una violación del estándar, reglamento, regla u orden, pero se trata de otro equipo y/o en otro lugar del establecimiento o lugar de trabajo, puede considerarse una violación repetida. Cada una de ellas puede significar una multa hasta de 70 000 dólares.

6. *Peligro inminente.* Ésta es una situación en la que se tiene una certidumbre razonable de que existe un peligro que puede esperarse que cause una muerte o daño físico serio, ya sea de inmediato o antes de poder eliminar el peligro mediante los procedimientos normales. Una violación de peligro inminente puede ocasionar el cese de la operación o incluso el cierre de la planta.

Otras violaciones para las que se puede emitir un citatorio y proponer multas son:

1. La falsificación de registros, informes o solicitudes, si se encuentra culpable, pueden significar una multa de 10 000 dólares o seis meses de cárcel.

2. La violación de los requerimientos de publicación puede causar una multa civil hasta de 7000 dólares.

3. No corregir una violación puede causar una multa civil hasta de 7000 dólares por cada día que continúa la violación después de la fecha de eliminación prescrita.

PROGRAMA DE ERGONOMÍA DE OSHA

En 1990, el alto número de incidencias y la severidad de los desórdenes óseomusculares relacionados con el trabajo encontrados en la industria empacadora de carne, llevó a OSHA a desarrollar la guía ergonómica que debía usarse para proteger a los empacadores de carne (OSHA, 1990). La publicación y difusión de esta guía intentaba ser un primer paso para ayudar a esta industria a implantar un programa completo de seguridad y salud que incluyera ergonomía. La intención de la guía era proporcionar información para que el empleador pudiera determinar si tenían problemas de tipo ergonómico, identificar la naturaleza y localización de esos problemas e implantar medidas para reducirlos o eliminarlos. Con el tiempo las guías se convirtieron en los Estándares Ergonómicos de OSHA para toda la industria, aprobados como ley en 2001, pero fue rescindida por el Congreso de Estados Unidos debido a querellas políticas.

El programa ergonómico estándar propuesto se divide en cinco secciones: 1) compromiso de la administración y participación del empleador; 2) análisis del lugar de trabajo; 3) recomendaciones para la prevención y el control de riesgos; 4) administración médica y 5) capacitación y educación.

COMPROMISO Y PARTICIPACIÓN

El compromiso y la participación son elementos esenciales en cualquier programa razonable de seguridad y salud. El compromiso de la administración es en especial importante para proporcionar la fuerza de motivación y los recursos necesarios para resolver los problemas. De igual manera, la participación de los empleados es necesaria para mantener y dar continuidad al programa. Para ser efectivo debe tener un enfoque de equipo, con la alta administración como líder, y usando los principios siguientes:

1. Un programa escrito de seguridad en el trabajo, salud y ergonomía, con metas claras y objetivos para cumplir estas metas, dirigido y apoyado por los niveles más altos de la administración.
2. Una preocupación personal por la salud y seguridad de los empleados, con énfasis en la eliminación de riesgos ergonómicos.
3. Una política que asigne la misma importancia a la salud y la seguridad que a la producción.
4. La asignación y comunicación de responsabilidades dentro del programa de ergonomía a los gerentes, supervisores y empleados adecuados.
5. Un programa que asegure que estos gerentes, supervisores y empleados podrán cumplir con estas responsabilidades.
6. La implantación de una revisión y evaluación periódica del programa de ergonomía. Esto puede incluir: análisis de tendencias de los datos de lesiones, encuestas a los empleados, "evaluaciones de antes y después" de los cambios en el lugar de trabajo y registro del mejoramiento del trabajo.

Los empleados pueden participar a través de lo siguiente:

1. Un procedimiento de quejas y sugerencias para hacer llegar sus preocupaciones a la administración sin temor a represalias.
2. Un procedimiento de registro rápido y exacto de las primeras señales de desórdenes óseomusculares, de manera que puedan implantarse con rapidez los controles y el tratamiento.
3. Comités de ergonomía que reciban informes, analicen y corrijan problemas ergonómicos.
4. Equipos de ergonomía con las habilidades necesarias para identificar y analizar si los trabajos causan algún estrés ergonómico.

Un programa de ergonomía efectivo incluye cuatro elementos importantes: análisis del lugar de trabajo, control de riesgos, administración médica y capacitación y educación.

ANÁLISIS DEL LUGAR DE TRABAJO

El análisis del lugar de trabajo identifica los riesgos y condiciones existentes, al igual que las operaciones y estaciones de trabajo en donde es posible que se desarrollen esos riesgos. El análisis también incluye un seguimiento detallado y el análisis estadístico de los registros de lesiones y enfermedades, para identificar patrones de desarrollo de desórdenes óseomusculares relacionados con el trabajo. El primer paso para implantar el programa de análisis debe ser la revisión y el estudio de los registros de lesiones y enfermedades, por ejemplo, las historias clínicas, los registros de seguros y los respaldos de OSHA-200. Las tasas de incidencia (TI) de desórdenes óseomusculares debe calcularse con el número de incidencias por cada 100 trabajadores de tiempo completo, por año y por instalación:

$$TI = 200\,000 \times L/H$$

donde: L = número de lesiones en un periodo dado,
H = horas-empleado trabajadas en el mismo periodo.

De manera similar, las tasas de severidad (TS) del número de días perdidos se puede calcular y supervisar con:

$$TS = 200\,000 \times DP/H$$

donde: DP = número de días perdidos

El segundo paso en el análisis del lugar de trabajo es realizar una investigación de revisión de las bases para identificar los trabajos que ponen a los empleados en riesgo de desarrollar problemas óseomusculares. Es común realizar la investigación por medio de un cuestionario para identificar factores de riesgo potenciales en el proceso, las estaciones de trabajo o los métodos, al igual que la localización y severidad de los problemas óseomusculares para el trabajador individual.

El tercer paso esencial del programa es un análisis físico del lugar de trabajo. Éste incluye ir a la planta y usar las listas de verificación de ergonomía o de diseño del trabajo presentadas en los capítulos anteriores. Se recomienda tomar un videocasete para la

etapa de análisis. Las características de cámara lenta permiten un análisis más detallado de las posturas, ángulos y demandas del trabajo, lo mismo que la forma en que los individuos realizan su tarea.

El cuarto paso del análisis del lugar de trabajo es la revisión periódica. Ésta puede descubrir factores de riesgo o deficiencias en el diseño que antes se pasaron por alto. El proceso de revisión debe permitir a los empleados que notifiquen a la administración sobre las condiciones que aparentan ser riesgos ergonómicos y usar su experiencia para ayudar a controlar los problemas. Deben calcularse las tendencias de lesiones y enfermedades y examinarse en intervalos regulares como una verificación cuantitativa de la efectividad del programa de ergonomía.

PREVENCIÓN Y CONTROL DE RIESGOS

El control de riesgos incluye los mismos controles de ingeniería, controles de prácticas del trabajo, equipo de protección personal y controles administrativos que se presentan en este libro. Los controles de ingeniería, cuando son factibles, constituyen el método de control preferido por OSHA.

ADMINISTRACIÓN MÉDICA

La administración médica adecuada, que incluye la identificación de las primeras señales y el tratamiento efectivo de los síntomas, es necesaria para reducir el riesgo de desarrollar desórdenes óseomusculares. Un médico o una enfermera del trabajo con experiencia en estos problemas debe supervisar el programa. Deben realizar visitas periódicas y sistemáticas por la planta para actualizar su conocimiento sobre los trabajos, identificar trabajos ligeros potenciales y permanecer en contacto con los empleados. Esta información les permitirá recomendar a los trabajadores en recuperación para trabajos de carga restringida, con estrés ergonómico mínimo, sobre los grupos de músculos/tendones lesionados.

Quienes cuidan de la salud deben participar en la capacitación y educación de todos los empleados, incluso los supervisores, sobre los distintos tipos de desórdenes óseomusculares relacionados con el trabajo, medios de prevención, causas, primeros síntomas y tratamientos. Esta demostración ayudará en la detección temprana de problemas antes que se desarrollen situaciones más serias. Debe alentarse a los empleados a informar sobre las señales y los síntomas de problemas óseomusculares para proporcionarles tratamiento oportuno sin miedo a represalias por parte de la administración. Los protocolos escritos para el examen de la salud, su evaluación y el tratamiento ayudarán a mantener los procedimientos con el control adecuado.

CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN

La capacitación y educación son componentes críticos de un programa ergonómico para empleados potencialmente expuestos a los riesgos ergonómicos. La capacitación permite a los administradores, supervisores y empleados entender los problemas de este tipo asociados con sus trabajos, lo mismo que la prevención, control y consecuencias médicas de esos problemas.

1. La capacitación general sobre los factores de riesgo de desórdenes óseomusculares, síntomas y riesgos, asociados con el trabajo debe impartirse cada año a aquellos empleados que están potencialmente expuestos.
2. La capacitación sobre trabajos con herramientas específicas, cuchillos, protecciones, seguridad y la forma apropiada de levantamientos debe impartirse a los nuevos empleados antes de iniciar su trabajo de tiempo completo en la planta.
3. Los supervisores deben recibir capacitación para reconocer las primeras señales de desórdenes óseomusculares y prácticas de trabajo riesgosas.
4. Los administradores deben estar capacitados sobre su responsabilidad en salud y seguridad.
5. Los ingenieros deben capacitarse en la prevención y corrección de riesgos ergonómicos a través del rediseño del lugar de trabajo.

En 1990, se publicó una versión simplificada de la guía para la industria en general, como precursor del estándar ergonómico. Contenía en esencia la misma información encontrada en la guía para la industria empacadora de carne, pero hubo una reacción muy negativa en la industria, y al ganar los republicanos en el Congreso en 1992, el estándar ergonómico se guardó en el archivero. Con el tiempo reapareció a pesar de los intereses políticos y el presidente Clinton lo aprobó como ley a principios de 2001 (el texto está disponible en la página de Internet de OSHA), pero fue rescindido poco después por el Congreso. Su estado futuro todavía se desconoce.

RESUMEN

Un entorno de trabajo adecuado es importante no sólo desde el punto de vista del incremento de la productividad y el aumento de la salud física de los trabajadores, sino para elevar el estado de ánimo del empleado y en consecuencia reducir el ausentismo y la rotación de personal. Aunque muchos factores pueden parecer intangibles o de efectos marginales, los estudios científicos controlados han demostrado los beneficios de mejorar la iluminación, disminuir el ruido y la tensión por calor y mejorar la ventilación.

La visibilidad depende en forma directa de la iluminación proporcionada, pero también la afecta el ángulo visual en que se encuentra el objeto y el contraste del objeto con el fondo. Por lo tanto, el mejoramiento de la visibilidad de la tarea se puede lograr a través de varios medios y no siempre depende del aumento en la fuente de luz.

La exposición prolongada al ruido fuerte, aunque no afecta de manera directa la productividad, puede causar pérdida auditiva y es definitivamente molesto. El control del ruido (y la vibración) es más sencillo en su fuente y, en general, es más costosa cuanto más lejos esté de ella. El uso de protección para el oído puede parecer lo más sencillo, pero requiere el gasto en la motivación continua y el control.

De manera similar, el efecto del clima en la productividad es bastante variable, según la motivación individual. Un clima cómodo es una función de la cantidad y velocidad en el cambio del aire, la temperatura y la humedad. En las áreas calientes, es más sencillo controlar la temperatura mediante ventilación adecuada para eliminar contaminantes y mejorar la evaporación del sudor. (El aire acondicionado es más efectivo, pero

también es más costoso.) En climas fríos, el control principal es sobre la ropa apropiada.

El trabajo por turnos debe utilizar la programación de rotaciones hacia adelante, en periodos cortos y rápidos con tiempo extra limitado.

La seguridad global debe enfocarse en las condiciones inseguras, el buen mantenimiento y limpieza, las protecciones adecuadas, el reglamento de OSHA, la participación de los empleados y el compromiso de la administración.

Para ayudar al analista de métodos en la aplicación de los factores presentados en el capítulo 6, se han resumido en una lista de verificación del entorno de trabajo que se muestra en la figura 6-19.

PREGUNTAS

1. ¿Qué factores afectan la cantidad de luz necesaria para realizar una tarea de manera satisfactoria?
2. Explique el efecto que tiene el color de las lámparas de sodio de baja presión.
3. ¿Cuál es la relación entre contraste y visibilidad?
4. ¿Qué intensidad de pies-candela recomendaría a 30 pulgadas del suelo en los baños?
5. Explique en qué afectan los colores a las ventas.
6. ¿Qué color tiene la mayor visibilidad?
7. ¿Cómo se disipa la energía del sonido en los materiales viscoelásticos?
8. ¿Qué longitud de onda aproximada en metros tendrá una frecuencia de 2000 Hz?
9. ¿Cuál será el valor aproximado en decibeles de un molino que se usa para moler un acero con alto contenido de carbón?
10. ¿Cuál es la diferencia entre ruido de banda ancha y ruido significativo?
11. ¿Apoya la idea de música de fondo en una estación de trabajo? ¿Qué resultados espera?
12. Según el reglamento actual de OSHA, ¿cuántas horas continuas al día de un nivel de sonido de 100 dBA se pueden permitir?
13. ¿Cuáles son las tres categorías identificadas desde el punto de vista de exposición a las vibraciones?
14. ¿Cómo pueden los trabajadores protegerse contra la vibración?
15. ¿Qué quiere decir temperatura ambiental?
16. Explique a qué se refiere la zona de comodidad térmica.
17. ¿Cuál es la máxima elevación de la temperatura del cuerpo que deben permitir los analistas?
18. ¿Cómo estima la longitud máxima del tiempo que un trabajador puede exponerse a cierta cantidad de calor ambiental?
19. ¿Qué es TGBH?
20. ¿Cuál es la TGBH con una temperatura de bulbo seco de 80 °F, con una temperatura de bulbo húmedo de 70 °F y con una temperatura de globo de 100 °F?
21. ¿Qué tipo de radiación recibe la mayor atención de los ingenieros de seguridad?
22. ¿Qué significa una dosis absorbida de radiación? ¿Cuál es la unidad de dosis absorbida?
23. ¿Que significa un rem?

Iluminación	Sí	No
1. La iluminación para la tarea es suficiente, según las recomendaciones de IESNA.	❑	❑
a. Para aumentar la iluminación se proporcionan más luminarias en lugar de aumentar los watts de las existentes.	❑	❑
2. Existe iluminación general y suplementaria.	❑	❑
3. El lugar de trabajo y la iluminación están dispuestos de manera que se evita el reflejo.	❑	❑
a. Las luminarias directas están colocadas fuera del campo de visión.	❑	❑
b. Las luminarias tienen pantallas y difusores.	❑	❑
c. Las superficies de trabajo son perpendiculares a las luminarias.	❑	❑
d. Las superficies de trabajo son mate o antireflejantes.	❑	❑
4. Si es necesario, se dispone de pantallas filtro para los monitores de computadora.	❑	❑

Condiciones térmicas — calor	Sí	No
1. El trabajador se encuentra dentro de la zona de comodidad térmica.	❑	❑
a. Si no está dentro de la zona de comodidad térmica, se mide la TGBHS del entorno de trabajo.	❑	❑
2. Las condiciones térmicas cumplen con la guía ASHRAE.	❑	❑
a. Si no cumple con la guía, se proporciona suficiente tiempo de recuperación	❑	❑
3. Existen procedimientos para controlar las condiciones de tensión potencial por calor.	❑	❑
a. La emisión de calor está controlada en su fuente.	❑	❑
b. Las protecciones (pantallas) contra la radiación están en su lugar.	❑	❑
c. Se proporciona ventilación.	❑	❑
d. Se deshumidifica el aire.	❑	❑
e. Se proporciona aire acondicionado.	❑	❑

Condiciones térmicas — frío	Sí	No
1. El trabajador tiene ropa adecuada para la temperatura equivalente con el factor de viento.	❑	❑
2. Se proporcionan calentadores auxiliares.	❑	❑
3. Se proporcionan guantes.	❑	❑

Ventilación	Sí	No
1. Los niveles de ventilación son adecuados según la guía.	❑	❑
a. Se proporciona un mínimo de 300 pie^2/h/persona.	❑	❑
2. Si es necesario, se proporcionan ventiladores locales para los trabajadores.	❑	❑
a. Los ventiladores están dentro de la distancia de 30 × diámetro del ventilador.	❑	❑
3. Se proporciona un punto de enfriamiento para las fuentes de calor locales.	❑	❑

Niveles de ruido	Sí	No
1. Los niveles de ruido están abajo de 90 dBA.	❑	❑
a. Si los niveles de ruido exceden 90 dBA, hay suficiente descanso para que la dosis de 8 horas sea menor que 100%.	❑	❑
2. Las medidas de control de ruido están en su lugar.	❑	❑
a. El ruido se controla en la fuente con mejor mantenimiento, moños, y soportes de hule.	❑	❑
b. La fuente de ruido está aislada.	❑	❑
c. Se utilizan tratamientos acústicos.	❑	❑
d. Como último recurso, se usan tapones de oídos (u orejeras) en forma apropiada.	❑	❑

Ventilación	Sí	No
1. Los niveles de vibración están dentro de los estándares ANSI aceptables.	❑	❑
2. Si hay vibración, ¿se pueden eliminar las fuentes que la causan?	❑	❑
3. Los asientos tienen un sistema amortiguador especial instalado en el vehículo.	❑	❑
4. Las herramientas de potencia tienen mangos especiales que absorben la vibración.	❑	❑
5. Se proporcionan tapetes resistentes a la fatiga para los operarios que están de pie.	❑	❑

Figura 6–19 Lista de verificación del entorno de trabajo.

24. ¿Qué pasos se deben seguir para aumentar la cantidad de luz en el siguiente departamento de ensamble alrededor de 15%? Por ahora, el departamento usa dispositivos fluorescentes y las paredes y el techo están pintados de verde medio. Las mesas de ensamble son de color café oscuro.
25. ¿Qué combinación de colores usaría para llamar la atención a un nuevo producto que se coloca en los mostradores?
26. ¿Cuándo apoya que la compañía compre ropa con recubrimiento de aluminio?
27. ¿Es posible que haya riesgos de salud en el maquinado con rayos electrónicos? y ¿en el maquinado con rayos láser? Explique.
28. Explique el impacto de niveles de ruido abajo de los 85 dBA en el trabajo de oficina.
29. ¿Qué factores ambientales afectan el estrés por calor? ¿Cómo se puede medir cada uno?
30. ¿Cómo determina si un trabajo impone una carga de calor excesiva en el trabajador?

PROBLEMAS

1. Un área de trabajo tiene una reflectividad de 60%, basada en las combinaciones de colores de las estaciones de trabajo y el entorno inmediato. La tarea de ver en el trabajo de ensamble se puede clasificar como difícil. ¿Cuál será la iluminación recomendada?
2. ¿Cuál es el nivel de ruido combinado de dos sonidos a 86 y 96 decibeles?
3. En la compañía Dorben, un ingeniero industrial diseñó una estación de trabajo en donde la tarea de ver era difícil debido al tamaño de la componente que se ensambla. El brillo deseado era 100 pies-Lambert y la estación de trabajo se pintó de verde medio con una reflectancia de 50%. ¿Qué iluminación en pies-candela se requerirá en esta estación de trabajo para proporcionar el brillo deseado? Estime la iluminación si se pinta de nuevo la estación de trabajo con color crema claro.
4. En la compañía Dorben se asignó a un ingeniero industrial la tarea de alterar el método de trabajo en el departamento de prensa para cumplir con los estándares de OSHA respecto a la exposición al ruido permisible. El ingeniero industrial encontró que el nivel de sonido tenía un promedio ponderado en el tiempo de 100 dBA. Los 20 operarios en este departamento usan tapones para los oídos proporcionados por Dorben. La disminución del nivel de sonido por los tapones se estima en 20 dB. ¿Qué mejoras se obtuvieron? ¿Piensa que este departamento cumple ahora con el reglamento? Explique.
5. En la compañía Dorben, un estudio de un día completo reveló las siguientes fuentes de ruido: 0.5 h, 100 dBA; 1 h, menos de 80 dBA; 3.5 h, 90 dBA; 3 h, 92 dBA. ¿Cumple esta compañía con las recomendaciones? ¿Cuál es la dosis de exposición? ¿Qué es el nivel de ruido PPT?
6. En el problema 5, considere que la última exposición es en el cuarto de prensas, que por ahora tiene cinco prensas en operación. Suponga que la compañía Dorben puede eliminar algunas prensas y transferir la producción a las restantes. ¿Cuántas prensas debe eliminar Dorben para no exceder el 100% de la dosis de exposición al ruido para los trabajadores?
7. ¿Cuál es la iluminación en una superficie a 6 pulgadas de una fuente de 2 candelas?
8. ¿Cuál es la luminancia de una superficie que tiene 50% de reflectancia y una iluminación de 4 pies-candela?
9. ¿Cuál es el contraste creado por texto negro (reflectancia = 10%) sobre papel blanco (reflectancia = 90%)

10. ¿Qué tanto más fuerte es un ruido de 80 dB que uno de 60 dB?
11. ¿Cuál es el aumento en decibeles de un ruido que duplica su intensidad?
12. Una supervisora está sentada en su escritorio iluminado por una fuente de 18 candelas 3 pies arriba del mismo. Escribe con tinta verde (reflectancia=30%) en un block de notas amarillo (reflectancia=60%). ¿Cuál es la iluminación en el block de notas? ¿Es suficiente? Si no lo es, ¿qué cantidad de iluminación se necesita? ¿Cuál es el contraste de la tarea de escribir? ¿Cuál es la iluminancia del block de notas?
13. ¿Cuánta ventilación se recomendaría para un salón de clase con un área de 1 000 pies^2, con techos a 12 pies? Suponga que el tamaño del salón puede alojar hasta 40 estudiantes.

REFERENCIAS

ACGIH, *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Work Environment*, Cincinnati, OH: American Conference of Government Industrial Hygienists, 1985.

ASA, *American National Standard: Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration (ANSI S3. 18-1979)*, Nueva York: Acoustical Society of America, 1980.

ASHRAE, *Handbook, Fundamentals*, (cap. 8), Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, 1993.

ASHRAE, *Handbook, Heating, Ventilation and Air Conditioning Applications*, (cap. 25), Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, 1991.

Belding, H. S. y T. F. Hatch, "Index for Evaluating Heat Stress in Terms of Physiological Strains", *Heating, Piping and Air Conditioning*, 27, agosto de 1955, pp. 129–136.

Blackwell, H. R., "Development and Use of a Quantitative Method for Specification of Interior Illumination Levels on the Basis of Performance Data", *Illuminating Engineer*, 54, junio de 1959, pp. 317–353.

Eastman Kodak Co., *Ergonomic Design for People at Work*, vol. 1, Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1983.

Eastman Kodak Co., *Ergonomic Design for People at Work*, vol. 2, Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

Freivalds, A., D. B. Chaffin y G. D. Langolf, "Quantification of Human Performance Circadian Rhythms", *Journal of the American Industrial Hygiene Association*, 44, núm. 9, septiembre de 1983, pp. 643–648.

Freivalds, A., J. L. Harpster y L. S. Heckman, "Glare and Night Vision Impairment in Corrective Lens Wearers", *Proceedings od the Human Factors Society*; (Congreso Anual 27, 1983), pp. 324–329.

Grandjean, E., *Fitting the Task to Man*, 4a. ed., Londres: Taylor & Francis, 1988.

IESNA, *Lighting Handbook*, 8a. ed., M. S. Rea Ed., Nueva York: Illuminating Engineering Society of North America, 1995, pp. 459–478.

Kamon, E., W. L. Kenney, N. S. Deno, K. J. Soto y A. J. Carpenter, "Readdressing Personal Cooling with Ice", *Journal of the American Industrial Hygiene Association*, 47, núm. 5, mayo de 1986, pp. 293–298.

Konz, S. y S. Johnson, *Work Design*, 5a. ed., Scottsdale, AZ: Holcomb Hathaway Publishers, 2000.

Lehmann, G., *Praktische Arbeitsphysiologie*, Stuttgart: G. Thieme, 1953.

Lockhart, J. M., H. O. Kiess y T. J. Clegg, "Effect of Rate and Level of Lowered Finger-surface Temperature on Manual Performance", *Journal of Applied Psychology*, 60, núm. 1, febrero de 1975, pp. 106–113.

NIOSH, *Criteria for a Recommended Standard ... Occupational Exposure to Hot Environments. Revised Criteria*, Washington, DC: National Institute for Occupational Safety and Health, Superintendent of Documents, 1986.

NIOSH, *Occupational Noise Exposure, Reised Criteria 1998*, DHHS Publication, núm 98-126, Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, 1988

OSHA, *Code of Federal Regulations—Labor. (29 CFR 1910)*, Washington, DC: Office of the Federal Register, 1997.

OSHA, *Ergonomics Program Management Guidelines for Meatpacking Plants*, OSHA 3123. Washington, DC: The Bureau of National Affairs, Inc., 1990.

Riley, M. W. y D. J. Cochran, "Partial Gloves and Reduced Temperature", en *Proceedings of the Human Factors Society 28th Annual Meeting*, Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society, 1984, pp. 179–182.

Sanders, M. S. y E. J. McCormick, *Human Factors in Engineering and Design*, 7a ed., Nueva York: McGraw Hill, 1993.

Schwarzenau, P., P. Knauth, E. Kiessvetter, W. Brockmann y J. Rutenfranz, "Algorithms for the Computerized Construction of Shift Systems Which Meet Ergonomic Criteria", *Applied Ergonomics*, 17, núm. 3, septiembre de 1986, pp. 169–176.

Sipple, P. A. y C. G. Passel, "Movement of Dry Atmospheric Cooling in Subfreezing Temperatures", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 89, 1945, pp. 177–199.

Yaglou, C.P. y D. Minard, "Control of Heat Casualties at Military Training Centers", *AMA Archives of Industrial Health*, 16, 1957, pp. 302–316.

Yaglou, C. P., E. C. Riley y D. I. Coggins, "Ventilation Requirements", *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers Transactions*, 42, 1936, pp. 133–158.

SOFTWARE SELECCIONADO

Design Tools (incluido en el libro), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

SITIOS EN INTERNET

American Society for Safety Engineers, http://www.ASSE.org/

CalOSHA Standard, http://www.ergoweb.com/Pub/Info/Std/calstd.html

National Safety Council, http://www.nsc.org/

NIOSH homepage, http://www.cdc.gov/niosh/homepage.html

OSHA homepage, http://www.osha.gov/

OSHA Proposed Ergonomics Standard, http://www.osha-slc.gov/FedReg_osha_data/FED20001114.html

Universidad de Occidente Unidad Los Mochis

CAPÍTULO 7

Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

Diseño del trabajo cognitivo

PUNTOS CLAVE:

- Minimizar la carga de trabajo de información.
- Limitar los juicios absolutos a 7 ± 2 aspectos.
- Usar despliegues visuales para los mensajes largos y complejos en áreas de ruido.
- Usar despliegues auditivos para advertencias y mensajes cortos y sencillos.
- Usar color, símbolos y caracteres alfanuméricos en los despliegues visuales.
- Usar color y luces intermitentes para llamar la atención.

El diseño del trabajo cognitivo, por tradición, no ha sido una parte integrante de la ingeniería de métodos. Sin embargo, con los cambios continuos en las tareas y el entorno de trabajo, cada vez es más importante estudiar no sólo las componentes manuales sino también los aspectos cognitivos del trabajo. Las máquinas y el equipo son más y más complejas y semiautomáticas si no es que por completo automáticas. El operario debe ser capaz de percibir e interpretar grandes cantidades de información, tomar decisiones críticas y controlar estas máquinas con rapidez y exactitud. Más aún, ha ocurrido un cambio gradual en los trabajos de la manufactura al sector de servicios. En cualquier caso, lo común será que se dé menos importancia a la actividad física burda y mayor al procesamiento de información y la toma de decisiones, en especial mediante computadoras y la tecnología moderna asociada. El capítulo 7 explica la teoría de la información, presenta un modelo conceptual básico del ser humano como procesador de información y los detalles de la mejor manera de codificar y desplegar la información para obtener una efectividad máxima, en especial cuando se manejan los despliegues visuales y la auditoría. Además, una sección final describe algunas consideraciones de software y hardware respecto a la interacción del ser humano con las computadoras.

TEORÍA DE LA INFORMACIÓN

Información en el sentido cotidiano de la palabra, es el conocimiento recibido acerca de un hecho específico. En el sentido técnico, la información es la reducción de la incertidumbre respecto a ese hecho. Por ejemplo, el hecho de que se encienda la luz del indicador (de aceite) de un motor al arrancar el motor proporciona muy poca información (excepto que la luz funciona) porque esto es lo que se espera. Por otro lado, si la misma luz se enciende cuando maneja, transmite información acerca del estado de la máquina, porque es un evento inesperado y muy poco probable. Así, existe una relación entre la probabilidad de un evento y la cantidad de información que transmite, que se puede cuantificar mediante la definición matemática de información. Observe que este concepto es independiente de la importancia de la información; es decir, el estado del motor es un poco más importante que el hecho de que el contenedor de agua para los limpiadores esté vacío.

La *teoría de la información* se mide en bits de información, donde un *bit* es la cantidad de información requerida para decidir entre dos alternativas igualmente probables. El término "bit" viene de la primera y última partes de las palabras en inglés para dígito binario (*bi*nary dig*it*) usado en la teoría de computadoras y comunicaciones para expresar el estado encendido/apagado de un circuito integrado (CI) o de la posición polarizada/polarizada inversamente de pequeñas piezas con núcleo ferromagnético usadas en la memoria de las computadoras arcaicas. En forma matemática, esto es:

$$H = \log_2 n$$

donde: H = cantidad de información
n = número de alternativas igualmente probables.

Con sólo dos alternativas, como el estado apagado/encendido de un CI o el lanzamiento de una moneda no cargada, se tiene un bit de información presentada. Con diez alternativas igualmente probables, como los números de 0 a 9, se pueden transmitir 3.322 bits de información ($\log_2 10 = 3.322$). Una manera fácil de calcular $\log_2$ es usar la siguiente fórmula:

$$\log_2 n = 1.4427 \times \ln n$$

Cuando las alternativas no tienen la misma probablidad, la información transmitida se determina por:

$$H = \sum p_i \times \log_2 (1/p_i)$$

donde: p_i = probabilidad del evento
i = alternativas de 1 a n.

Como ejemplo, considere una moneda cargada tal que cara aparece 90% del tiempo y cruz sólo 10%. La cantidad de información transmitida al lanzar la moneda es:

$$H = 0.9 \times \log_2 (1/0.9) + 0.1 + \log_2 (1/0.1) = 0.9 \times 0.152 + 0.1 \times 3.32$$
$$= 0.469 \text{ bits}$$

Observe que la cantidad de información (0.469) transmitida por una moneda cargada es menor que la cantidad de información transmitida por una moneda no cargada (1.0). La

cantidad máxima de información siempre se obtiene cuando las probabilidades son iguales para todas las alternativas. Esto se debe a que cuanto más probable es una alternativa, menor es la cantidad de información que transmite (por ejemplo, considere la luz del motor que enciende al arrancar el auto). Esto lleva al concepto de *redundancia* y a la reducción de información a partir del máximo posible debido a probabilidades desiguales de ocurrencia. La redundancia se puede expresar como

$$\% \text{ redundancia} = (1 - H/H_{máx}) \times 100$$

Para el caso de la moneda cargada, la redundancia es:

$$\% \text{ redundancia} = (1 - .469/1) \times 100 = 53.1\%$$

El siguiente es un ejemplo interesante relacionado con el uso del idioma inglés. Existen 26 letras en el alfabeto (de la A a la Z) con un contenido de información teórica para que se elija una letra de 4.7 bits ($\log_2 26 = 4.7$). Es obvio que, con la combinación de letras para formar palabras, se puede presentar una cantidad mucho mayor de información. Sin embargo, existe una reducción grande en la cantidad de información que se puede presentar en realidad debido a las probabilidades de ocurrencia desiguales. Por ejemplo, las letras s, t y e son mucho más comunes que q, x y z. Se ha estimado que la redundancia en el inglés llega a 68% (Sanders y McCormick, 1993). Por otro lado, la redundancia tiene algunas ventajas importantes que se estudiarán más adelante respecto al diseño de despliegues y presentación de información a los usuarios.

Un último concepto relacionado es el *ancho de banda* o *capacidad de canal*, la velocidad máxima para procesar información de un canal de comunicación dado. En términos de un operario humano, el ancho de banda para las tareas de procesar un motor puede ser tan bajo como 6-7 bits/s o tan alto como 50 bits/s para la comunicación hablada. Para el almacenamiento puramente sensorial del oído (es decir, la información que no llega a la etapa de toma de decisiones), el ancho de banda se acerca a 10 000 bits/s (Sanders y McCormick, 1993). Este último valor es mucho más alto que la cantidad real de información que procesa el cerebro en ese tiempo porque la mayor parte de la información recibida por nuestros sentidos se filtra antes de llegar a él.

MODELO DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HUMANO

Se han desarrollado numerosos modelos para explicar cómo procesan la información las personas. Muchos de estos modelos consisten en cajas negras (debido a la información relativamente incompleta) que representan las distintas etapas de procesamiento. La figura 7–1 presenta un modelo genérico que consiste en cuatro etapas o componentes importantes: percepción, decisión y selección de respuesta, ejecución de respuesta, memoria y los recursos de atención distribuidos en las diferentes etapas. La componente de toma de decisiones, combinada con la memoria trabajando y la memoria a largo plazo, puede considerarse la unidad de procesamiento central, mientras que el almacén sensorial es una memoria transitiva, localizada en la etapa de entrada (Wickens, Gordon y Liu, 1997).

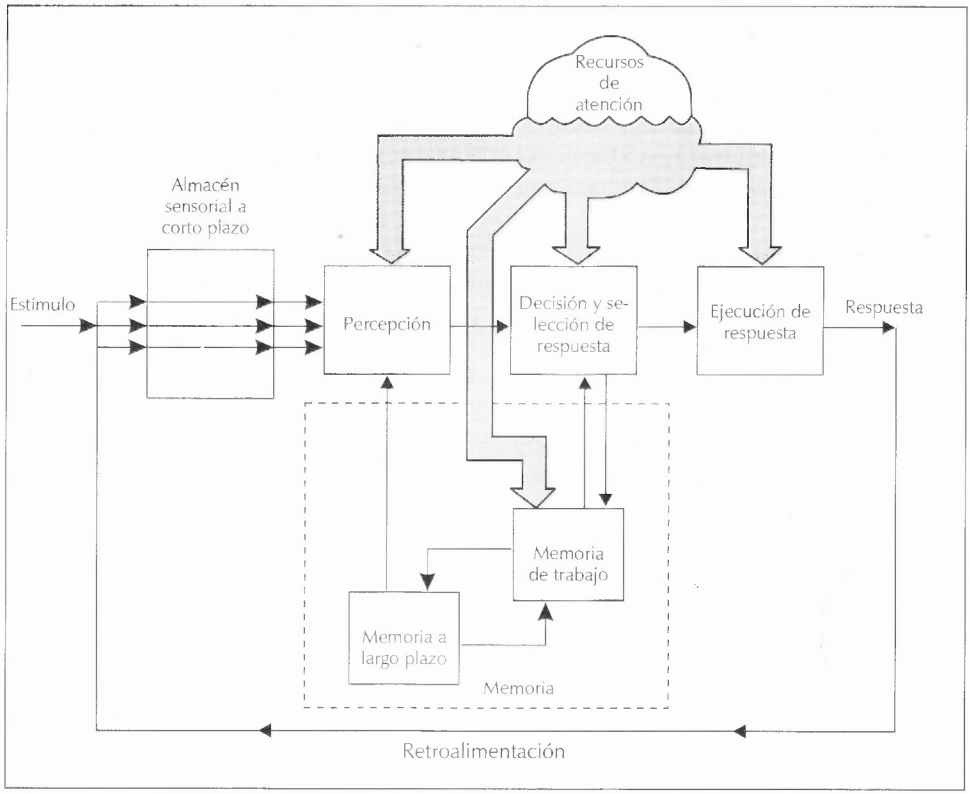


Figura 7-1 Un modelo de procesamiento de información en seres humanos. (*Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993. Reproducido con permiso de McGraw-Hill Co.)

PERCEPCIÓN Y TEORÍA DE DETECCIÓN DE SEÑALES

La *percepción* es la comparación de la información de los estímulos de entrada con el conocimiento almacenado para clasificar la información. La forma más básica de percepción es la *detección* simple, es decir, determinar si el estímulo está presente en realidad. Se complica un poco si se pide a la persona que indique el tipo de estímulo o la clase a la que pertenece y después entra en el dominio de la identificación y reconocimiento con el uso de experiencias anteriores y asociaciones aprendidas. El enlace consecuente entre la memoria a largo plazo y la codificación de la percepción se muestra en la figura 7–1. Esta última percepción más compleja se puede expresar en términos del análisis de características, desglosando los objetos en formas geométricas que los componen o el texto en palabras y cadenas de caracteres y, al mismo tiempo, en procesamiento de arriba abajo o de abajo arriba para reducir la cantidad de información que entra al procesador central. El procesamiento de arriba abajo en teoría está impulsado mediante conceptos de alto nivel para procesar características de percepción de bajo ni-

vel, mientras que el procesamiento de abajo arriba está impulsado por los datos y guiado por las características sensoriales.

La parte de detección de la codificación de la percepción se puede modelar o, en tareas bastante sencillas, incluso cuantificar mediante la *teoría de detección de señales* (TDS). El concepto básico de TDS es que en cualquier situación, un observador necesita identificar una señal (esto es, si está presente o ausente) a partir de ruido que confunde. Por ejemplo, un inspector de calidad en una operación debe identificar y eliminar los capacitores de chips defectuosos entre los buenos, que se usan en el ensamble de tarjetas de circuitos impresos. El capacitor del chip defectuoso es la señal, que se puede identificar por soldadura excesiva en el capacitor que le causa un corto circuito. En este caso, los capacitores buenos, se consideran ruido. Observe que el proceso de decisión se podría invertir con facilidad considerar a los capacitores aceptables como la señal y a los defectuosos, el ruido. Esto quizá dependa de las proporciones relativas de cada uno.

Dado que el observador debe identificar si la señal está presente o no, y que sólo existen dos estados posibles (es decir, la señal está ahí o no está), existe un total de cuatro posibilidades:

1. *Éxito*, decir que hay señal cuando la señal está presente
2. *Rechazo correcto*, decir que no hay señal cuando la señal no está presente
3. *Falsa alarma*, decir que hay señal cunado no hay una señal presente
4. *Fracaso*, decir que no hay señal cunado sí está presente

La señal y el ruido pueden variar con el tiempo, como en el caso de la mayor parte de los procesos industriales. Por ejemplo, la máquina para soldar puede calentarse y expulsar gotas grandes de soldadura al principio, o tal vez haya variaciones aleatorias en los capacitores por una causa aún no determinada. Así, ambos, la señal y el ruido, forman distribuciones de la cantidad de soldadura que varía de baja a alta, y que en general se modelan como distribuciones normales traslapadas (figura 7–2). Observe que las distribuciones se traslapan debido a que el exceso de soldadura en el cuerpo del capacitor ocasionará un corto y en consecuencia un producto defectuoso (en este caso una señal). Sin embargo, si hay exceso de soldadura, pero más bien en las terminales, puede no haber corto y tal vez se tenga un capacitor aceptable (en este caso ruido). Con el encogimiento continuo de los productos electrónicos, los capacitores de chip son más pequeños que la cabeza de un alfiler y la inspección visual no es una tarea trivial.

Cuando aparece un capacitor, el inspector debe decidir si la cantidad de soldadura es excesiva o no y si rechazarlo o no. Ya sea por seguir instrucciones y/o la práctica suficiente, el inspector ha formulado un estándar mental de juicio, que se describe como la línea vertical de la figura 7–2 y se conoce como *criterio de respuesta*. Si la cantidad de soldadura detectada, que entra al sistema visual como un nivel alto de estímulo sensorial, excede el criterio, el inspector dirá que hay una señal. Por otro lado, si la cantidad detectada es pequeña, se recibe una estímulo sensorial de menor nivel que está por debajo del criterio, y el inspector dirá que no hay señal.

Relacionada con el criterio de respuesta está la cantidad *beta*. En el sentido numérico, beta es la razón de la altura de las dos curvas (señal a ruido) de la figura 7–2 en el

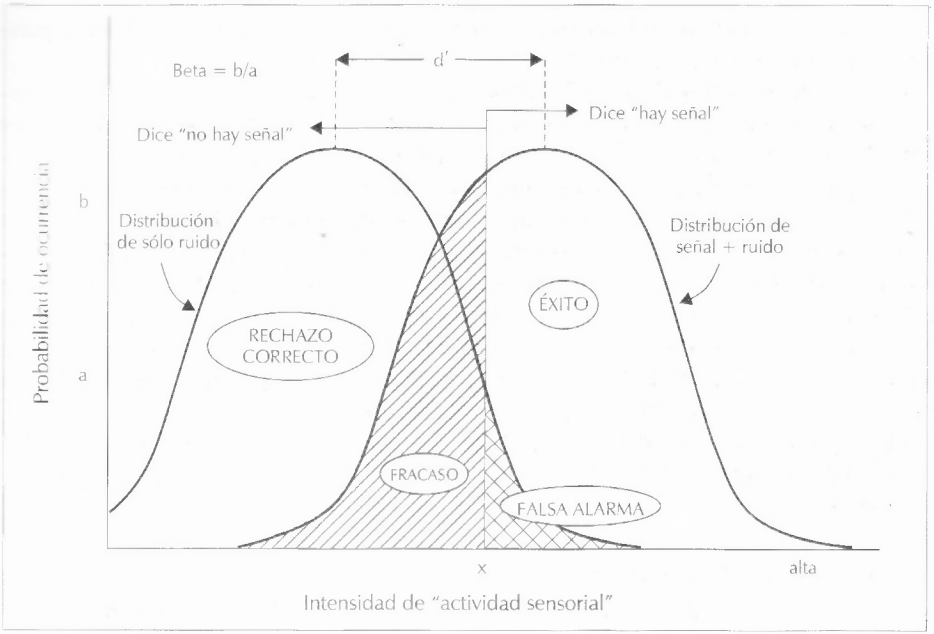


Figura 7–2 Ilustración conceptual de la teoría de detección de señales. (*Tomado de:* Sanders y McCormick. 1993. Reproducido con permiso de McGraw-Hill Companies.)

punto de criterio dado. Si el criterio cambia a la izquierda, beta disminuye con un incremento de éxitos, pero al costo de un incremento correspondiente en las falsas alarmas. Este comportamiento por parte del observador se denomina *riesgo*. Si el criterio estuviera en el punto de intersección de las dos curvas, beta sería 1.0. Por otro lado, si el criterio se mueve a la derecha, beta aumenta con un decremento de éxitos y de falsas alarmas. Este comportamiento por parte del observador se llama *conservador*.

El criterio de respuesta (y beta) se pueden cambiar con facilidad según el humor o la fatiga del inspector visual. No se esperaría que el criterio se moviera a la derecha y la tasa de fracasos aumentara de manera drástica los viernes por la tarde un poco antes de salir. Observe que habrá un decremento correspondiente en la tasa de éxitos porque las dos probabilidades deben sumar uno. De manera similar, las probabilidades de rechazos y falsas alarmas correctos también suma uno. El cambio en el criterio de respuesta se conoce como sesgo de respuesta y puede también cambiar con el conocimiento previo o con los cambios en la expectativa. Si se supiera que la máquina de soldadura tiene un mal funcionamiento, lo más probable es que el inspector mueva su criterio a la izquierda, aumentando el número de éxitos. También podría cambiarse el criterio debido a los costos o beneficios asociados con los cuatro resultados. Si un lote específico de capacitores tuviera que enviarse a la NASA para uso en el trasbordador espacial, los costos de un defecto serían muy altos, y el inspector establecería un criterio que produciría muchos éxitos pero también muchas falsas alarmas con el incremento correspondiente en los costos (por ejemplo, perder productos aceptables). Por otro lado, si los capacito-

res se usaran en teléfonos celulares baratos que se regalan con el contrato, el inspector podría establecer un criterio muy alto para permitir que muchos capacitores defectuosos pasaron por el punto de verificación como fracasos.

Un segundo concepto importante en la TDS es el de *sensibilidad* o resolución del sistema sensorial. En la TDS, la sensibilidad se mide como la separación entre las dos distribuciones mostradas en la figura 7–2, etiquetada como d'. Cuanto más grande sea la separación, mayor será la sensibilidad del observador y habrá más respuestas correctas (más éxitos y rechazos correctos) y se cometerán menos errores (menor número de falsas alarmas y fracasos). Por lo común, la sensibilidad mejorará con la capacitación y el grado de atención (por ejemplo, mediante descansos más frecuentes) por parte del inspector, mejor iluminación en la estación de trabajo y un paso más lento en la presentación de señales (que tiene la desventaja de disminuir la productividad). Otros factores que pueden ayudar a mejorar la sensibilidad son suministrar plantillas visuales de las partes defectuosas y proporcionar representaciones redundantes o pistas para las partes defectuosas, y retroalimentación de los resultados. Observe que dar incentivos ayudará a aumentar las tasas de éxitos. Sin embargo, estos suele deberse a un cambio en el sesgo de la respuestas (no a un aumento de sensibilidad) con el aumento correspondiente en las tasa de falsas alarmas. De igual manera, introducir "señales falsas" para aumentar la atención de nuevo tendrá una tendencia mayor a cambiar el sesgo de la respuesta. Puede encontrar más información acerca de la teoría de detección de señales en Green y Swets (1988).

EJEMPLO 7–1 Teoría de detección de señales aplicada a la inspección de vidrio

Una buena aplicación de la teoría de detección de señales fue detallada por Drury y Addison (1973) para la inspección de vidrio. La inspección se hacía en dos etapas: 1) 100% de inspección general donde cada artículo se aceptaba o rechazaba y 2) una inspección muestral realizada por examinadores especiales que reexaminaban los resultados anteriores y daban retroalimentación a los inspectores generales. Al considerar la calidad del artículo que se inspecciona, una proporción era buena y el resto mala. El inspector general podía sólo tomar una de dos decisiones: aceptar o rechazar. La respuesta adecuada sería la aceptación de un artículo bueno (éxito) y el rechazo de un artículo malo (rechazo correcto). No obstante, algunos artículos buenos podían rechazarse (fracasos) y algunos malos aceptarse (falsas alarmas). Considere cuatro casos distintos de condiciones variables.

Caso #1: inspector conservador. Un inspector conservador establece el criterio muy a la derecha (figura 7–3*a*). En esta situación, la probabilidad de un éxito (decir "sí" a una señal de vidrio bueno) es baja (por ejemplo, 0.30). La probabilidad de falsas alarmas (decir "sí" al ruido de vidrio malo) es aún más baja (0.05). Beta se determina mediante la razón de las ordenadas de la curva de señal sobre la curva de ruido en el criterio. La ordenada para una curva normal estándar es:

$$y = \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}}$$

Para la curva de señal, una probabilidad de 0.30 da una z de 0.594 y una ordenada de 0.348. Para la curva de ruido, una probabilidad de 0.05 da una z de 1.645 y una ordenada

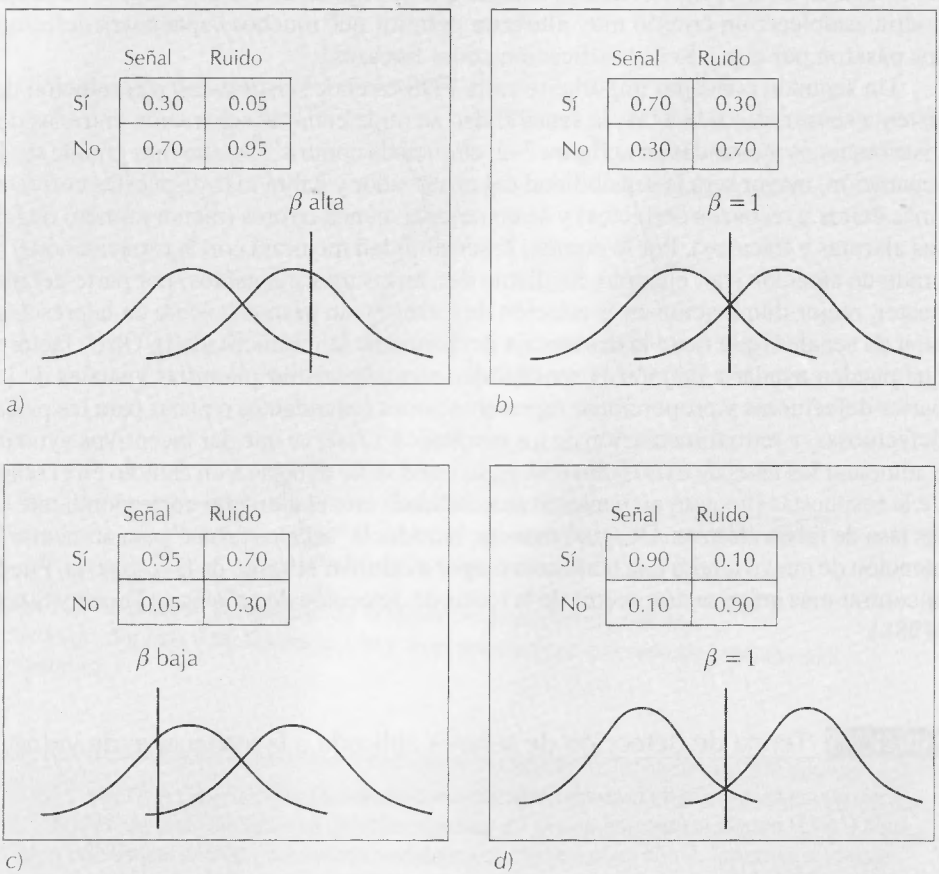


Figura 7–3 Señal de teoría de detección aplicada a la inspección de un *a)* inspector conservador, *b)* inspector promedio, *c)* inspector arriesgado y *d)* inspector sensible.

de 0.103. Entonces, beta es 3.38 (0.348/0.103). Observe que la probabilidad de éxitos y fracasos es igual a 1.0 (es decir, 0.30 + 0.70 = 1.0). Lo mismo se cumple para las falsas alarmas y los rechazos correctos.

Caso #2: inspector promedio. Si se trata de un inspector promedio —no es conservador y no se arriesga— la probabilidad de éxito es prácticamente igual a la probabilidad de rechazos correctos (figura 7–3*b*). La intersección de las curvas es simétrica y da como resultado los mismos valores para las ordenadas y un valor de 1.0 para beta.

Caso #3: inspector arriesgado. Un inspector arriesgado (figura 7–3c) establece el criterio lejos hacia la izquierda, lo que aumenta la probabilidad de éxitos (por ejemplo, 0.95) a costa de una alta probabilidad de falsas alarmas (como 0.70). En este caso, para la

curva de señal, una probabilidad de 0.95 da como resultado una z de -1.645 y una ordenada de 0.103. Para la curva de ruido, una probabilidad de 0.70 da una z de -0.594 y una ordenada de 0.348. Entonces, beta se convierte en 0.296 (0.103/0.348).

Caso #4: sensibilidad aumentada. La sensibilidad se puede calcular como la diferencia de los valores z para las mismas abscisas en ambas curvas de señal y de ruido (figura 7–3*d*):

$$d' = z \text{ (falsas alarmas)} - z \text{ (éxitos)}$$

Si se usa el criterio del caso #1:

$$d' = 1.645 - 0.594 = 1.111$$

Lo mismo se encuentra a partir del criterio en el caso #3:

$$d' = -0.594 - (-1.645) = 1.111$$

Si se puede separar mejor la señal del ruido, la probabilidad de éxito aumenta (por ejemplo, hasta 0.90), mientras que la probabilidad de falsas alarmas permanecerá bastante baja (alrededor de 0.10). Si se usa el criterio como punto de comparación, la probabilidad de éxito es 0.90 con un valor de z correspondiente de -1.283 y una ordenada de 0.175. La probabilidad de falsa alarma es 0.10 con un valor de z correspondiente de 1.283 y una ordenada de 0.175. La sensibilidad se convierte en:

$$d' = 1.283 - (-1.283) = 2.566$$

Con el aumento en la sensibilidad existe un mejor desempeño en la identificación de las partes defectuosas. En ocasiones, la tasa de éxitos se grafica contra la tasa de falsas alarmas para obtener una curva característica del operario que recibe, en la que la desviación de la curva a partir de la pendiente de 45 grados indica la sensibilidad.

En el caso de estudio de Drury y Addison (1973) se recolectaron datos semanales de la inspección de vidrio y se calculó d'. Un cambio en la política de inspección que proporcionaba retroalimentación más rápida al inspector general dio como resultado un incremento en el valor medio de 2.5 a 3.16, o sea, 26% de aumento en la sensibilidad en el lapso de 10 semanas (figura 7–4). Esto representaba 60% de incremento en la razón de señal a ruido (es decir, beta) y 50% de disminución en la probabilidad de no detectar un defecto.

MEMORIA

Una vez que se codifica el estímulo en el sentido de su percepción, se va a la *memoria de trabajo*, una de las tres componentes del sistema de memoria humano. Las otras dos son almacén sensorial y la memoria a largo plazo. Cada canal sensorial tiene un mecanismo de almacenamiento temporal que prolonga el estímulo para que se codifique bien. Este almacenamiento es muy corto, del orden de uno o dos segundos según el canal sensorial, antes de que la representación del estímulo desaparezca. También es bastante automático en cuanto a que no requiere mucha atención para mantenerlo. Por otro lado, se puede hacer muy poco para mantener este almacenamiento o para aumentar la

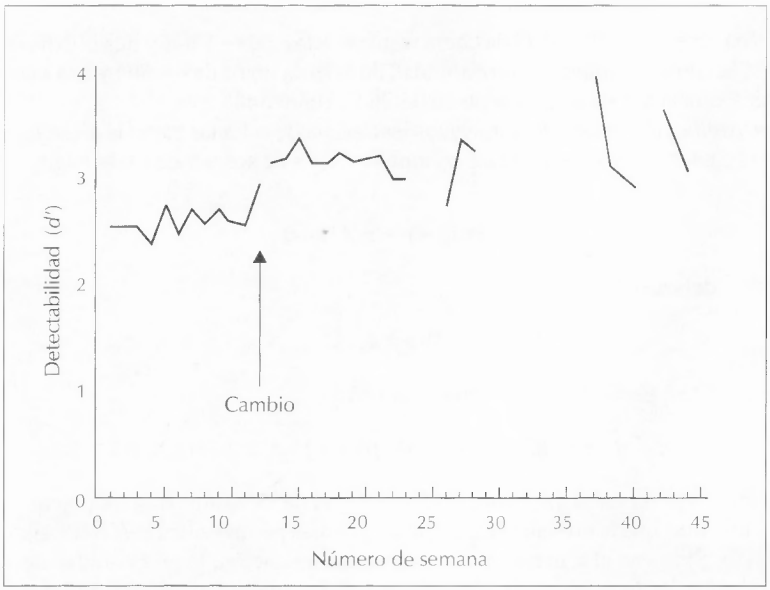


Figura 7–4 Cambio en la sensibilidad con el tiempo para la inspección de vidrio. (*Tomado de:* Drury y Addison, 1973; Taylor & Francis, Filadelfia, PA.)

longitud del periodo. Observe también en la figura 7–1 que, aunque puede haber una cantidad grande de estímulos, que se pueden representar en algo así como millones de bits de información que entra al almacén sensorial, de hecho, sólo una pequeña porción de esa información se codifica y envía a la memoria de trabajo.

Al contrario de la memoria a largo plazo, la memoria de trabajo es un medio para almacenar información temporal o mantenerla activa mientras se procesa una respuesta. Algunas veces se denomina *memoria de corto plazo*. Ver un número telefónico y retenerlo hasta que se marca, y encontrar un código de proceso en una lista e introducirlo en el tablero de control de una máquina son buenos ejemplos de la memoria de trabajo, que está limitada por la cantidad de información y el tiempo que se conserva.

El límite superior de la capacidad de la memoria de trabajo es alrededor de 7 ± 2 artículos, esto se conoce como *regla de Miller* por el psicólogo que lo definió (Miller, 1956). Por ejemplo, es difícil, si no imposible, recordar los once dígitos 12125551212, pero puede mejorar si se *agrupan* los artículos similares. Es más sencillo recordar los números anteriores al asociarlos en tres grupos 1-212-555-1212 (el 1 es el estándar de larga distancia). De manera similar, el *ensayo*, o repetición mental de los números, cambia recursos adicionales de atención (vea la figura 7–1) a la memoria de trabajo y pueden mejorar el recuerdo.

La memoria de trabajo también disminuye con rapidez, a pesar del ensayo o de repasar la serie de artículos que se conservan activos. Cuantos más artículos haya en la memoria de trabajo, más tiempo se requiere para repasarlos y mayor es la probabilidad

de que se pierda uno o más. Se estima que la mitad de la vida de un almacenamiento de memoria es tres artículos en siete segundos. Esto se puede demostrar con facilidad si se presentan tres números aleatorios a un sujeto (como 5, 3, 6). Después de siete segundos contados hacia atrás para evitar el ensayo, la mayoría de los individuos habrán olvidado al menos uno de los números, si no es que dos.

Algunas recomendaciones para minimizar errores en tareas que requieren el uso de la memoria de trabajo son (Wickets, Gordon y Liu, 1997):

- minimizar la carga de memoria, en términos de la capacidad y el tiempo que se conserva el recuerdo
- agrupar, en especial en términos de secuencias con significado y usar letras mejor que números (por ejemplo, el uso de palabras y acrónimos en lugar de números para los teléfonos sin costo, como 1-800-CTD-HELP)
- mantener los grupos pequeños, no más de tres o cuatro artículos de naturaleza arbitraria
- mantener los números separados de las letras (los grupos de contener unidades similares)
- minimizar la confusión o artículos que se oyen igual (las letras D, P y T se confunden con facilidad, lo que no ocurre con J, F y R)

La información de la memoria de trabajo se puede transferir a la *memoria de largo plazo* si ha de usarse después. Ésta puede ser información relacionada con el conocimiento general en la memoria semántica o información de eventos específicos de nuestras vidas en la forma de memoria del evento. Esta transferencia debe hacerse de manera ordenada para poder recuperarla después en un proceso que se conoce como aprendizaje. El proceso de recuperar la información es un enlace débil y puede facilitarse con la activación frecuente de ese trazo de memoria (como un teléfono que se usa todos los días) y el uso de *asociaciones* con el conocimiento previo. Estas asociaciones deben ser concretas, no abstractas, y significativas para el usuario, utilizando sus propias expectativas y estereotipos.

Si hay falta de asociaciones claras y organizadas, el proceso se puede hacer de manera artificial en forma nemotécnica —una acrónimo o frase— con letras que representen una serie de artículos. Por ejemplo, el código de color de un resistor (negro, café, rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta, gris, blanco) se puede recordar con la primera letra de cada palabra de la expresión "no cantes rimas ni aclames valor, antes ven, grita, baila". La estandarización de procedimientos o el uso de ayudas de memoria (señales o notas) para procesos complicados también ayudan al diminuir la carga en la memoria a largo plazo. Por desgracia, la memoria a largo plazo declina en forma exponencial, con la declinación más rápida los primeros días. Debido a esto, la efectividad de los programas de capacitación no debe evaluarse de inmediato.

TOMA DE DECISIONES Y SELECCIÓN DE RESPUESTA

La *toma de decisiones* en realidad es el núcleo del procesamiento de información, donde las personas evalúan alternativas y seleccionan una respuesta adecuada. Puede decirse que éste es un proceso a largo plazo y debe distinguirse del procesamiento a corto

plazo como el tiempo de respuesta al seleccionar. Desafortunadamente, las personas no toman decisiones óptimas y con frecuencia no eligen decisiones racionales basadas en números objetivos o información dura. El enfoque racional de la teoría de decisiones clásica sería calcular un valor esperado con base en la suma de los productos de cada resultado por su probabilidad:

$$E = \sum p_i v_i$$

donde: E = valor esperado
p_i = probabilidad del i-ésimo resultado
v_i = valor del i-ésimo resultado.

Por desgracia, las personas suelen usar una variedad de técnicas heurísticas para tomar decisiones, en cuyo caso, varios sesgos pueden influir en la manera de buscar la información, asignar valores a los resultados y tomar las decisiones. Se obtuvo una lista corta de estos sesgos en Wickens, Gordon y Liu (1997):

- Se usa un número limitado de *pistas* o segmentos de información.
- Se asignan ponderaciones indebidas a las primeras pistas.
- No se presta atención a las pistas posteriores.
- Las pistas destacadas tienen más peso.
- Toda la información se pondera por igual sin importar su verdadero peso.
- Se genera un número limitado de hipótesis.
- Una vez seleccionada la hipótesis se ignoran las pistas posteriores.
- Sólo se busca información de verificación para las hipótesis seleccionadas.
- Sólo se elige un pequeño número de respuestas.
- Las pérdidas potenciales tienen mayor peso respecto a las ganancias potenciales.

Al entender estos sesgos, el ingeniero industrial puede presentar mejor la información y establecer mejor el proceso para mejorar la calidad de la toma de decisiones y minimizar los errores.

Además, las teorías actuales acerca de la toma de decisiones se centran en la *conciencia de la situación*, que es una evaluación de todas las pistas recibidas del medio que rodea. Requiere integrar las pistas o información en representaciones mentales que van de un simple esquema a modelos mentales complejos. Para mejorar la conciencia de la situación, debe capacitarse a los operarios para reconocer y tomar en cuenta las pistas adecuadas, para verificar la consistencia de la situación con las pistas, y analizar y resolver cualquier conflicto en ellas o la situación. Las ayudas para decidir como unas tablas sencillas de decisiones (estudiadas en el capítulo 8) o sistemas expertos más complejos pueden asistir en el proceso de toma de decisiones. El despliegue de las pistas clave, el filtrado de las pistas indeseables, y el uso de técnicas espaciales y de integración de la presentación también pueden ser útiles en este proceso. Algunas de ellas se estudiarán en las siguiente sección sobre la modalidad de la presentación.

Como se expuso, muchos factores influyen en la velocidad y dificultad de la toma de decisiones y selección de la respuesta. Un intento por cuantificar este proceso mu-

chas veces se realiza mediante un experimento de *tiempo de selección-reacción*, en el que el operario responde a varios estímulos con diferentes respuestas adecuadas (figura 7–5*a*). Esto puede considerarse como una toma de decisiones sencilla y basada en el sistema de procesamiento de información humano, el tiempo de respuesta se incrementa conforme aumenta el número de estímulos alternativos. La respuesta es no lineal (figura 7–5*b*), pero cuando la complejidad de la decisión se cuantifica en términos de la cantidad de información transmitida en bits, entonces la respuesta se convierte en lineal y se conoce como la *ley de Hick-Hyman* (Hick, 1952; Hyman, 1953; vea la figura 7–5*c*):

$$TR = a + bH$$

donde: TR = tiempo de respuesta (segundos)
H = cantidad de información (bits)
a = ordenada
b = pendiente, llamada también tasa de procesamiento de información.

Observe que cuando sólo hay una opción (como, si se enciende la luz, presione el botón), H es igual a cero y el tiempo de respuesta es igual a la ordenada. Esto se conoce

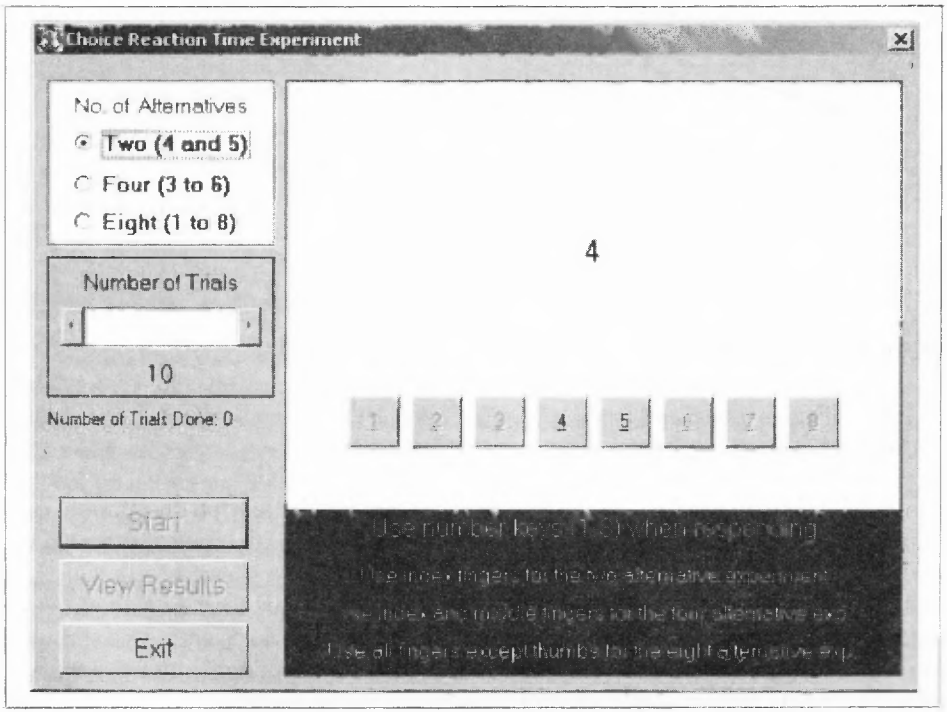


Figura 7–5 Ley de Hick-Hyman ilustrada en un experimento de tiempo selección-reacción. a) experimento de tiempo de selección-reacción con Design Tools, b) datos sin procesar, c) información expresada en bits.

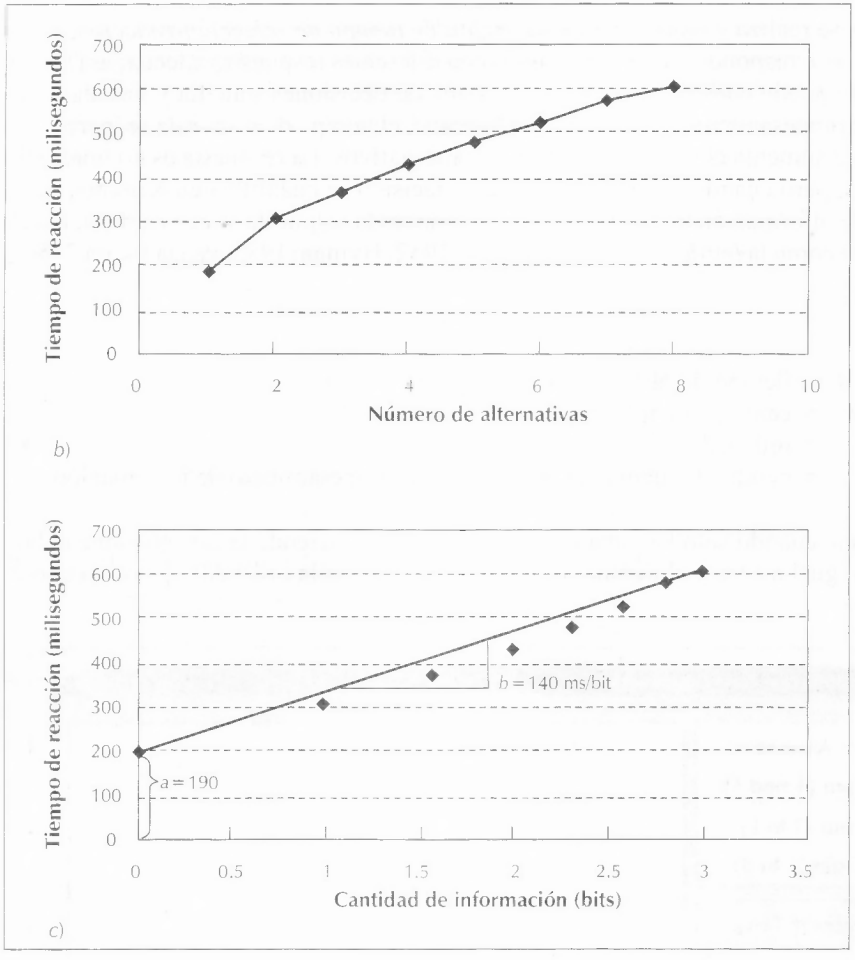


Figura 7–5 (continuación)

como *tiempo de respuesta simple*. Puede variar dependiendo del tipo de estímulo (los tiempos de reacción auditiva son casi 40 ms más rápidos que los tiempos de reacción visual), la intensidad del mismo y la preparación para la señal.

Los tiempos globales de selección-reacción también varían mucho debido a la variedad de factores. Cuanto mayor sea la compatibilidad (capítulo 5) entre los estímulos y la respuesta, más rápida es la respuesta. Mayor práctica también significa una respuesta más rápida. Sin embargo, mientras más rápido intenta responder el operario, mayor es el número de errores. De manera similar, si existe la necesidad de una gran exactitud (como en el control de tráfico aéreo), el tiempo de respuesta será más lento. Esta relación inversa se conoce como *trueque entre velocidad y exactitud*.

El uso de dimensiones múltiples, en otra forma de redundancia, también puede disminuir el tiempo de respuesta o, al contrario, si se tiene información en conflicto, el tiempo de respuesta será más lento. Un ejemplo clásico es la *tarea de color y palabras de Stroop* (Stroop, 1935), donde se pide al sujeto que lea una serie de palabras que expresan colores tan rápido como puedan. En el caso de control redundante, el resultado de escribir la palabra "rojo" con tinta roja será una respuesta rápida. En el caso de conflicto, si se escribe con rojo la palabra "azul" se tendrá un tiempo de respuesta lento debido al conflicto entre la visión y la semántica.

EJEMPLO 7–2 Procesamiento de información humano en una tarea de cableado

Bishu y Drury (1988) presentaron un buen ejemplo para cuantificar la información procesada en una tarea industrial. En un trabajo simulado de cableado, los operarios industriales movían un punzón a la terminal o localización adecuada de un tablero de control, que consistía en cuatro placas diferentes, cada una con ocho componentes posibles. Cada área estaba dividida en 128 terminales en un arreglo de ocho columnas y 16 renglones. La tarea más compleja incluía las cuatro placas ($\log_2 4 = 2$ bits de información), las ocho componentes (3 bits), ocho columnas (3 bits) y 16 renglones (4 bits) con una complejidad total de 12 bits (suma de 2, 3, 3 y 4). Con este tablero de control se podían producir otras tareas menos complejas al reducir el número de placas, componentes, columnas y renglones. Una tarea poco compleja incluía sólo dos placas (1 bit), cuatro componentes (2 bits), cuatro columnas (2bits) y 8 renglones (3 bits) con una complejidad total de 8 bits (suma de 1, 2, 2 y 3). También se usaron otras tareas con complejidad intermedia.

Los resultados finales mostraron una relación lineal entre el tiempo de procesamiento de información (cableado o colocación simulada) y la complejidad de la información de entrada (figura 7–6). Si se usa la ley de Hick-Hyman, este resultado se puede expresar como:

$$PI = -2.328 + 0.7325H$$

donde: PI = tiempo de procesamiento de información (segundos)
H = cantidad de información (bits).

Así, conforme aumentaba el número de alternativas en la realización de la tarea, también lo hacía la carga de información en la unidad de procesamiento central del operario y el tiempo correspondiente para efectuar la tarea. Observe que en este caso relativamente real de una tarea compleja, la ordenada puede no ser un valor positivo correspondiente al tiempo de reacción simple.

EJEMPLO 7–3 Ley de Fitts y el procesamiento de información de movimiento

La teoría de la información fue aplicada al modelado del movimiento humano por Fitts (1954) quien desarrolló el *índice de dificultad* para predecir el tiempo de movimiento. Definió el índice de dificultad en función de la distancia de movimiento y el tamaño del objetivo, para una serie de movimientos de posicionamiento desde y hacia objetivos idénticos:

$$ID = \log_2(2D/W)$$

donde: ID = índice de dificultad (bits)
D = distancia entre los centros de los objetivos
W = ancho del objetivo.

Se encontró que el tiempo de movimiento seguía la ley de Hick-Hyman, ahora llamada *ley de Fitts*:

$$TM = a + b\,ID$$

donde: TM = tiempo de movimiento (segundos)
a = ordenada
b = pendiente.

En una aplicación en especial exitosa de la ley de Fitts, Langolf, Chaffin y Foulke (1976) modelaron el movimiento humano de las diferentes extremidades para una gama amplia de distancias, que incluían objetivos muy pequeños visibles sólo con la ayuda de un microscopio. Sus resultados (figura 4–14) dieron valores de la pendiente de 105 ms/bit para el brazo, 45 ms/bit para la muñeca y 26 ms/bit para el dedo. El inverso de la pendiente se interpreta, según la teoría de la información, como el ancho de banda del sistema motriz. En este caso, los anchos de banda fueron 38 bits/s para el dedo, 23 bits/s para la muñeca y 10 bits/s para el brazo. Esta disminución en las tasas de procesamiento de información se explicó como el resultado del procesamiento agregado para las coyunturas, músculos y unidades motrices adicionales. Es interesante observar que los resultados son idénticos a la clasificación de movimientos de Gilbreth (capítulo 4).

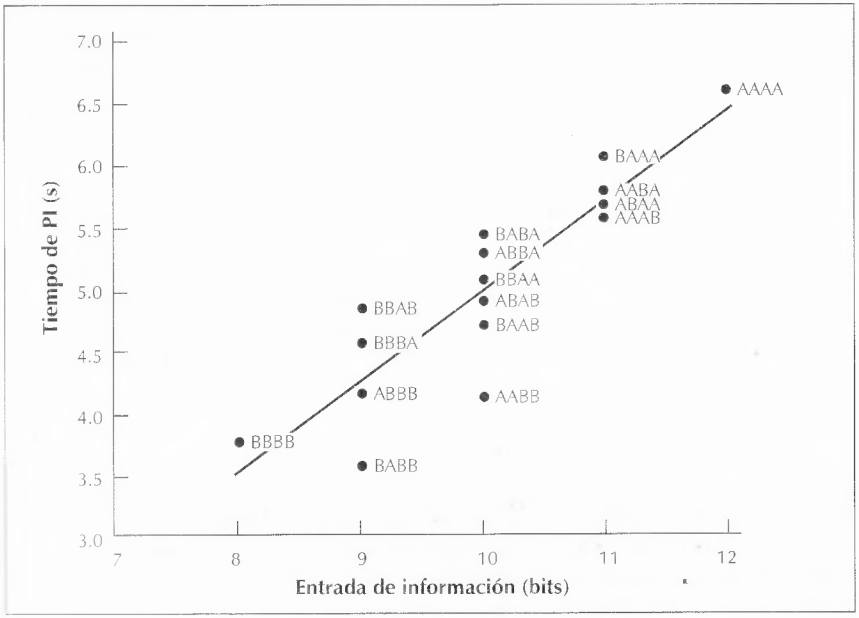


Figura 7–6 Ley de Hick-Hyman ilustrada con una tarea de cableado.
(Reimpreso de *Applied Ergonomics*, vol. 19, Bishu y Drury, Information Processing in Assembly Tasks —A Case Study, pp. 90-98, 1988, con permiso de Elsevier Science.)

EJECUCIÓN DE LA RESPUESTA

La ejecución de la respuesta depende más que nada del movimiento humano. En el capítulo 4 se presentan más detalles del sistema óseomuscular, el control motriz y el trabajo manual. Observe que la *tarea de barrenado de Fitts* (figura 7–7) es una simple extensión de la ley de Hick-Hyman respecto al movimiento y además un ejemplo de un trueque velocidad-exactitud entre el tamaño del objetivo y el tiempo de movimiento. Las aplicaciones específicas de respuestas referentes a los controles de operación de máquinas y otros equipos se estudian en el capítulo 5.

RECURSOS DE ATENCIÓN

Los *recursos de atención*, o de manera más sencilla, la *atención*, se refiere a la cantidad de capacidad cognitiva dedicada a una tarea dada o una etapa del procesamiento. Esta cantidad puede variar de una mera rutina, o tareas de ensamble practicadas con baja demanda de atención, al control de tráfico aéreo con demandas muy altas de atención. Más aún, esta capacidad cognitiva se puede aplicar en una forma muy dirigida, como la concentración en una parte específica del sistema de procesamiento de información humano, llamada atención enfocada; pero también puede aplicarse de manera más difusa a varias partes o incluso a todo el sistema de procesamiento de información humano y se conoce como atención dividida. Un ejemplo de atención enfocada en la memoria de trabajo podría ocurrir cuando un operario intenta recordar un código de procesamiento

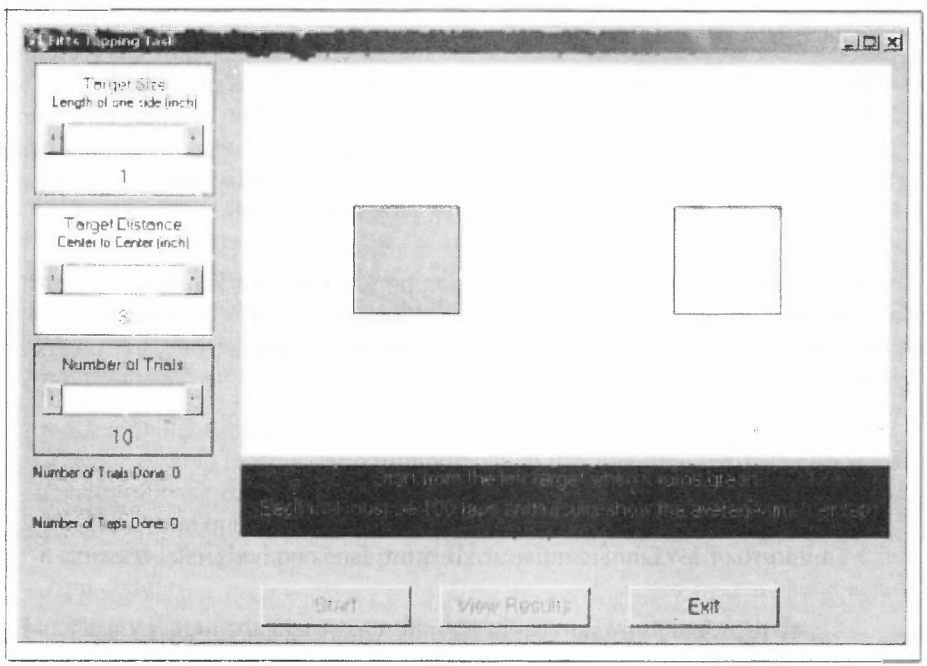


Figura 7–7 Tarea de barrenado de Fitts con Design Tools.

consultado para accesar a una máquina herramienta controlada por computadora. La atención enfocada puede mejorarse si se reduce el número de fuentes de información que compiten o demandas en el sistema de procesamiento de información humano o si se separan estas fuentes en cuantas maneras distintas sea posible.

Por otro lado, un inspector que clasifica manzanas en una banda transportadora, divide su atención entre la percepción visual de defectos y tamaños, la toma de decisiones de la naturaleza del defecto y el tamaño de la manzana respecto a la memoria e imágenes almacenadas en la capacitación, y los movimientos de las manos para quitar las manzanas dañadas y clasificar las buenas por tamaño en los contenedores adecuados. Este último caso de realizar varias tareas al mismo tiempo también recibe el nombre de *multitareas* o *tiempo compartido*. Debido a que nuestros recursos cognitivos para la atención están relativamente limitados, el tiempo compartido entre varias tareas quizá dé como resultado una disminución en el desempeño para una o más de estas tareas si se compara con la base de una sola tarea. De nuevo, puede ser difícil mejorar el desempeño de la tarea en este tipo de situaciones, pero se usan estrategias similares a las analizadas para el caso de atención enfocada. El número y dificultad de tareas debe minimizarse. Las tareas deben ser tan disímiles como sea posible en términos de las demandas colocadas en la etapa de procesamiento de la figura 7–1. Mientras que se puede manejar una tarea de ensamble manual con instrucciones auditivas, para un músico que afina un instrumento será más difícil escuchar comentarios verbales. Un enfoque que tiene bastante éxito al explicar el desempeño de tiempo compartido con tareas múltiples es el modelo de recursos múltiples de Wickens (1984).

Una extensión del modo de recursos de atención múltiples se relaciona con la medición de la *carga mental* o las demandas colocadas en el procesador de información humano. Una definición utiliza la razón de los recursos requeridos entre los recursos disponibles donde el tiempo es uno de los recursos necesarios más importantes. En los ejemplos mencionados, el ensamble simple tal vez consuma tiempo, pero no es demandante de recursos cognitivos. Por otro lado, el control de tráfico aéreo, en la hora pico puede ser muy demandante. Todavía es muy difícil cuantificar estas demandas colocadas en el operario. Algunos enfoques usados para hacerlo incluyen:

- La *tarea primaria* mide, por ejemplo, el tiempo requerido para realizar la tarea dividido entre el tiempo total disponible o el número de artículos terminados por unidad de tiempo; el problema con este enfoque es que algunas tareas se comparten mejor que otras.
- La medida de la *tarea secundaria* usa el concepto de una capacidad de reserva que, si no se dirige al desempeño de la tarea primaria, la usará la tarea secundaria (tiempo selección-reacción) la cual puede controlarse y es más sencillo medirla; el problema con este enfoque es que la tarea secundaria suele parecer artificial y como un intruso, y es difícil identificar las prioridades que asigna el operario a ambas tareas.
- Las *medidas fisiológicas* (como variabilidad de ritmo cardiaco, movimiento de ojos, diámetro de la pupila, electroencefalograma) están pensadas como respuesta a la tensión que impone la carga de trabajo mental; aunque en general no inter-

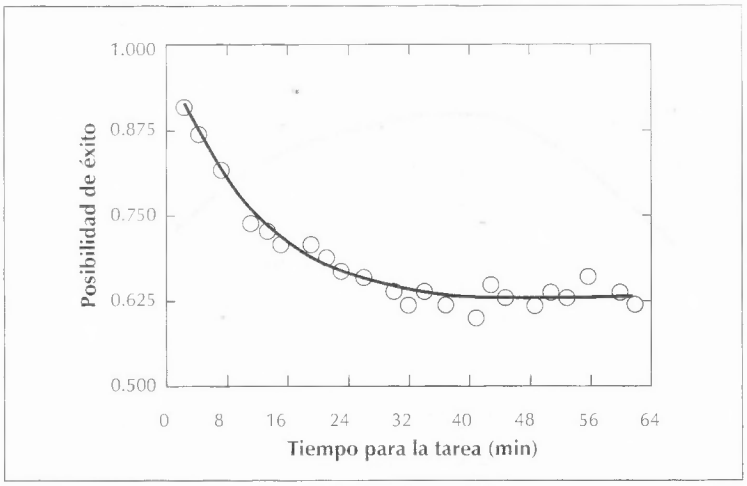


Figura 7–8 Disminución de la vigilancia con el tiempo.
(*Tomado de:* Giambra y Quilter, 1987. Reimpreso con permiso de *Human Factors*, vol. 29, núm 6, 1987. Copyright 1987 por Human Factors and Ergonomics Society. Todos los derechos reservados.)

fieren con el desempeño de la tarea primaria, el equipo necesario para medirlas tal vez sí lo haga.

- Las *medidas subjetivas* se crearon para agregar todos los aspectos de la carga de trabajo mental en una calificación sencilla, global (o un promedio ponderado de varias); por desgracia, los informes subjetivos no siempre reflejan con exactitud el desempeño real y la motivación puede afectar mucho las calificaciones.

Una presentación más detallada de la carga de trabajo mental y las ventajas y desventajas de los distintos medios para medirla se puede encontrar en Wickens (1984), Eggemeier (1988) y Sanders y McCormick (1993).

Un ejemplo final de los recursos de atención se refiere a la habilidad de un operario (por ejemplo, un inspector visual) para mantener la atención y permanecer alerta durante periodos prolongados. Denominada *vigilancia* o *atención sostenida*, la preocupación es cómo minimizar la disminución de la vigilancia que ocurre después de tan poco tiempo como 30 minutos y el aumento hasta de 50% en un tiempo mayor (Giambra y Quilter, 1987; vea la figura 7–8). Desafortunadamente, existen pocas contramedidas documentadas que funcionen bien para las tareas industriales. El enfoque básico es tratar de mantener un nivel alto de inquietud que mantenga el desempeño, según la curva de *U invertida* (figura 7–9) de *Yerkes-Dodson* (1908). Esto se puede hacer proporcionando descansos más frecuentes, variación de tareas, más retroalimentación a los operarios sobre la detección de su desempeño, y usando niveles adecuados de estimulación, ya sea interna (como cafeína) o externa (como música o ruido blanco), o incluso mediante la introducción de señales falsas. Sin embargo, el último cambio de criterios de detección también aumentará la tasa de falsas alarmas (página 291, en la teoría de detección de señales) con los costos consecuentes. Aumentar la prominencia de la señal

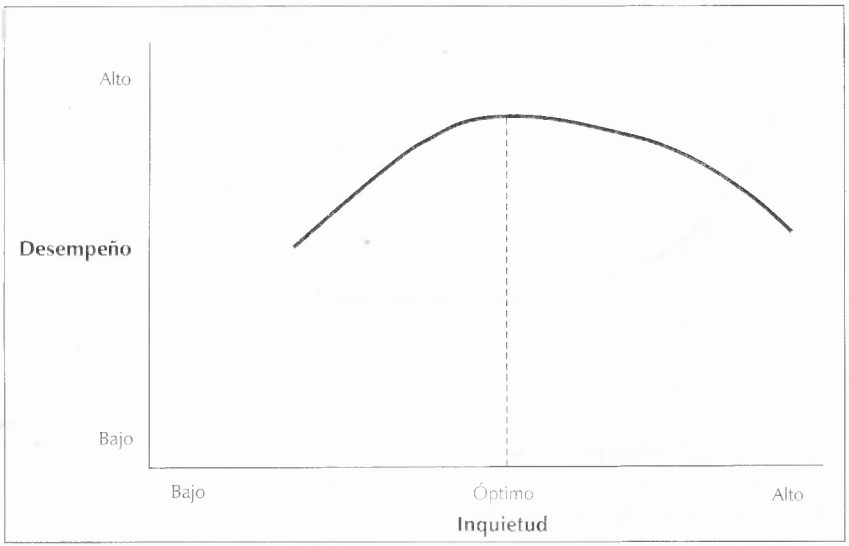


Figura 7–9 Ley de Yerkes-Dodson que muestra la relación de U invertida entre el desempeño y el nivel de inquietud.

ayudará en el desempeño de detección (por ejemplo, con una señal más brillante y grande o con más contraste mediante iluminación especial). Los traslapes que actúan como patrones especiales para resaltar la diferencia entre las partes defectuosas y el resto de los objetos también puede ser útil. Por último, seleccionar inspectores con un tiempo de fijación del ojo más rápido y menor visión periférica también ayudará en el desempeño de la inspección (Drury, 1987).

Para ayudar al ingeniero industrial a evaluar y rediseñar las tareas cognitivas, se han resumido los detalles anteriores del sistema de procesamiento de información humano en la lista de verificación para evaluación del trabajo cognitivo (figura 7–10).

CODIFICACIÓN DE INFORMACIÓN: PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO

Como se mencionó en la introducción del capítulo 4, las máquinas realizan muchas, si no la mayor parte, de las funciones u operaciones industriales, debido a que tienen mayor fuerza, exactitud y capacidad de repetición. Sin embargo, para asegurar que estas máquinas tengan un desempeño satisfactorio con las especificaciones deseadas, siempre habrá la necesidad de un supervisor humano. Así, este operario recibirá gran cantidad de información de entrada (como presión, velocidad, temperatura, etcétera) que debe presentarse de manera que pueda interpretarse con rapidez y con pocas probabilidades de causar errores. Por lo tanto, existen varios principios de diseño que ayudarán al ingeniero industrial a proporcionar la información adecuada para el operario.

Consideraciones de percepción	Sí	No
1. Se resaltan las señales clave	☐	☐
2. Se usan traslapes, patrones especiales o luces brillantes para resaltar defectos	☐	☐
Se usan los procesamientos de arriba abajo y de abajo arriba al mismo tiempo	☐	☐
a. Se usan conceptos de nivel alto para procesar características de nivel bajo	☐	☐
b. Se usa información basada en datos para identificar características sensoriales	☐	☐
3. Se usa mejor capacitación para aumentar la sensibilidad de la detección de señales	☐	☐
4. Se proporcionan incentivos para cambiar los sesgos en la respuesta y aumentar los éxitos	☐	☐
Consideraciones de memoria	**Sí**	**No**
1. La carga de memoria a corto plazo está limitada a 7 ± 2 unidades	☐	☐
2. Se usa el agrupamiento para disminuir la carga de memoria	☐	☐
3. Se utiliza el ensayo para reforzar el recuerdo	☐	☐
4. Los números y las letras se separan en las listas o grupos	☐	☐
5. Se separan los artículos con sonido similar	☐	☐
6. Se usan nemotécnicos y asociaciones para reforzar la memoria a largo plazo	☐	☐
Selección de decisión y respuesta	**Sí**	**No**
1. Se examina un número suficiente de hipótesis	☐	☐
2. Se usa un número suficiente de pistas	☐	☐
3. Se da el mismo valor a las pistas nuevas que a las primeras	☐	☐
4. Se filtran las pistas indeseables	☐	☐
5. Se usan ayudas de decisión para asistir en el proceso	☐	☐
6. Se evalúa un número suficiente de respuestas	☐	☐
7. Se ponderan de manera adecuada las pérdidas y ganancias potenciales	☐	☐
8. Se consideran los trueques entre velocidad y exactitud	☐	☐
9. Los estímulos y las respuestas son compatibles	☐	☐
Consideraciones de recursos de atención	**Sí**	**No**
1. Existe una variedad de tareas	☐	☐
2. El operario recibe retroalimentación sobre su desempeño	☐	☐
3. El operario tiene estímulo interno (como cafeína)	☐	☐
4. El operario tiene estímulo externo (como música, incentivos)	☐	☐
5. Se proporcionan descansos	☐	☐

Figura 7–10 Lista de verificación para evaluar el trabajo cognitivo.

TIPO DE INFORMACIÓN QUE DEBE PRESENTARSE

La información que debe presentarse puede ser estática o dinámica según si cambia con el tiempo. La primera incluye cualquier texto impreso (incluso texto que se desplaza en la pantalla de una computadora), gráficas, letreros o diagramas que no cambian. La segunda es cualquier información sujeta a actualizaciones continuas como presión, velocidad, temperatura o luces indicadoras de estado. Estas dos categorías también pueden clasificarse como:

- cuantitativas: presentan valores numéricos específicos (como 50°F, 60 rpm)
- cualitativas: indican valores o tendencias generales (arriba, abajo, caliente, frío)

- estado: reflejan una condición entre un número limitado de ellas (como encendido/apagado, alto/precaución/siga)
- advertencia: indican emergencias o condiciones inseguras (alarma de incendios)
- alfanumérica: usa letras y números (señales, letreros)
- de representación: usan dibujos, símbolos y color para codificar información (como el "basurero" para los archivos eliminados)
- de fase de tiempo: usan señales de pulso, de duración e intervalos entre señales variables (código Morse o luces que parpadean)

Observe que uno de los despliegues de información pueden incorporar varios de estos tipos a la vez. Por ejemplo, una señal de alto es una advertencia estática que usa tanto letras alfanuméricas como una forma octagonal y el color rojo como representaciones de información.

MODALIDAD DEL DESPLIEGUE

Debido a que contamos con cinco sentidos (vista, oído, tacto, gusto y olfato), puede haber cinco *modalidades de despliegue* diferentes que puede percibir el operario. Sin embargo, dado que la vista y el oído son, por mucho, los sentidos más desarrollados y usados para recibir información, la elección en general se limita a esos dos. La elección entre ellos depende de muchos factores, donde cada sentido tiene ciertas ventajas lo mismo que ciertas desventajas. La tabla 7–1 proporciona comparaciones detalladas que pueden ayudar al ingeniero industrial a seleccionar la modalidad adecuada para las circunstancias dadas.

La estimulación por tacto se usa, en principio, en el diseño de controles, que se estudia en el capítulo 5. El gusto se ha utilizado en un número muy limitado de circunstancias, principalmente se agrega a las medicinas para que sepan "mal" y los niños no la tomen por accidente. De manera similar, los olores se usan en sistemas de ventilación de minas para advertir a los mineros que hay peligro, o en el gas natural para que el dueño de la casa se dé cuenta que hay una fuga.

SELECCIÓN DE LA DIMENSIÓN ADECUADA

La información se puede codificar de muchas maneras. Debe seleccionarse la dimensión adecuada para las condiciones existentes. Por ejemplo, si han de usarse luces, se

Tabla 7–1 Cuándo usar las formas de presentación visual o auditiva

Use las formas visuales si	Use las formas auditivas si
El mensaje es largo y complejo	El mensaje es corto y sencillo
El mensaje maneja referencias de espacio	El mensaje maneja eventos en el tiempo
El mensaje debe citarse más tarde	El mensaje es transitorio
No se requiere una acción inmediata	Se requiere una acción inmediata
Es difícil oír (ruido) o está sobrecargado	La visión se dificulta o está sobrecargada
El operario puede estar estacionario	El operario se mueve

Adaptado de: Deatherage, 1972.

puede elegir brillo, color y frecuencia de pulso como las dimensiones para codificar la información. De manera similar, si debe usarse el sonido, se pueden seleccionar dimensiones como volumen, tono y modulación.

LIMITAR LOS JUICIOS ABSOLUTOS

La tarea de diferenciar dos estímulos en una dimensión en particular depende ya sea de un *juicio relativo*, si puede hacerse una comparación directa de los dos estímulos, o bien, de un *juicio absoluto*, si la comparación directa no es posible. En este caso, el operario debe usar la memoria de trabajo para mantener un estímulo y hacer la comparación. Como se vio, la capacidad de la memoria de trabajo está limitada a alrededor de 7 ± 2 artículos, según la regla de Miller. Entonces, un individuo podrá identificar cuando mucho de cinco a nueve artículos con base en el juicio absoluto. La investigación ha demostrado que esto se cumple para muchas dimensiones: cinco niveles de tono puro, cinco niveles de volumen, siete niveles de tamaños de objetos, cinco niveles de brillo y hasta doce colores. Por otro lado, los individuos han podido identificar hasta 300 000 colores diferentes con una base relativa, cuando comparan dos a la vez. Si se usan dimensiones múltiples (por ejemplo, brillo y color), entonces el intervalo puede aumentar en cierto grado, pero se esperaría menos de la combinación (producto directo) de dos dimensiones de codificación (Sanders y McCormick, 1993).

AUMENTO DEL PODER DE DISCRIMINACIÓN DE CÓDIGOS

Al seleccionar un esquema de códigos, considere que en lo referente al juicio relativo, parece que debe haber una diferencia mínima entre los dos códigos o estímulos antes de que puedan distinguirse como diferentes. Esta diferencia se conoce como *diferencia apenas notable* (DAN) y varía según el nivel de estímulo. Por ejemplo (figura 7–11), si se da a una persona un objeto con peso de 10 onzas (0.283 kg), la DAN es cerca de 0.2 onzas (0.056 kg). Si el peso se aumenta a 20 onzas (0.566 kg) la DAN aumentará a 0.4 onzas (0.113 kg), etcétera. Esta relación se denomina *ley de Weber* y se puede expresar como:

$$k = \text{DAN}/S$$

donde: k = fracción o pendiente de Weber.
S = estímulo estándar

La aplicación de esta ley es bastante evidente en el medio industrial. Considere una fuente de iluminación con un bulbo de tres vías (100-200-300 watts). El cambio de brillo de 100 a 200 se nota bastante, mientras que el cambio de 200 a 300 es menos notorio. Así, para observar un cambio en una señal de alta intensidad, el cambio debe ser grande. Aunque la ley de Weber se formuló para umbrales relativos, Fechner (1860) la amplió para desarrollar escalas psicológicas que midieran una amplia gama de experiencias sensoriales para formar la base de la ciencia de la psicofísica.

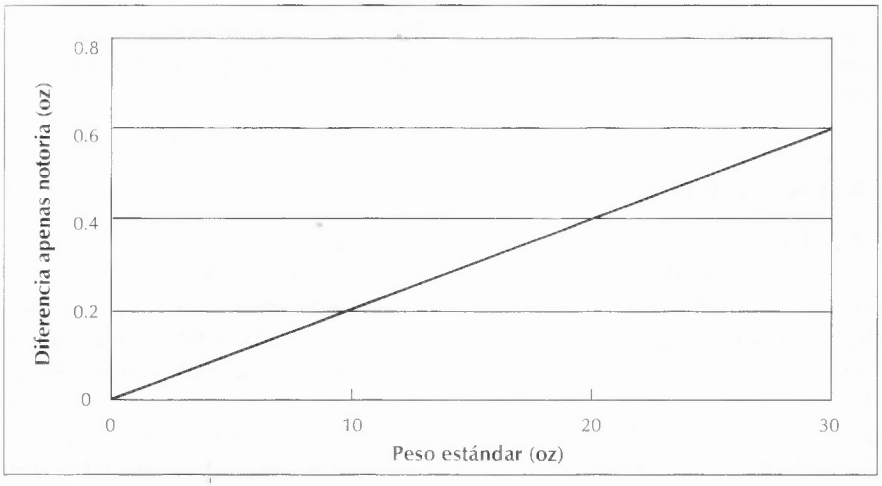


Figura 7–11 Ley de Weber que muestra la relación entre la diferencia apenas notoria y el nivel de estímulo, peso estándar en este ejemplo.

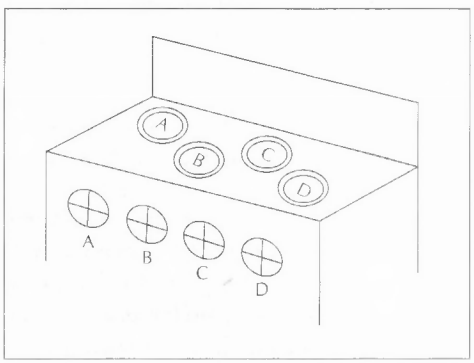


Figura 7–12 Compatibilidad de espacio para controles y quemadores de una estufa.

COMPATIBILIDAD DE ESQUEMAS DE CODIFICACIÓN

La compatibilidad se refiere a la relación entre el estímulo y las respuestas que es consistente con las expectativas humanas, y da como resultado menos errores y tiempo de respuesta más rápido. Esto puede ocurrir en varios niveles: conceptual, de movimiento, de espacio y de modalidad. La compatibilidad conceptual se refiere al significado que tienen los códigos para los individuos que los usan. Rojo es un código casi universal para peligro o alto. De igual manera, el realismo pictórico es muy útil, por ejemplo, el símbolo de una muñeca en una puerta para indicar los baños de mujeres. La compatibilidad de movimiento se refiere a la relación entre el movimiento de controles y pantallas y se estudia en el capítulo 5. La compatibilidad de espacio concierne al arreglo físico de los controles y pantallas. El ejemplo clásico (figura 7–12) es el arreglo óptimo de las perillas para controlar los quemadores de una estufa desarrollado por Chapanis y Linden-

baum (1959). La compatibilidad de la modalidad se refiere a usar la misma modalidad de estímulo tanto para la señal como para la respuesta. Por ejemplo, las tareas verbales (respuestas a órdenes verbales) se realizan mejor con señales auditivas y respuestas habladas. Las tareas espaciales (mover el cursor a un objetivo) se realizan mejor con un despliegue visual y una repuesta manual.

REDUNDANCIA PARA SITUACIONES CRÍTICAS

Cuando se combinan varias dimensiones de forma redundante, será más probable que el estímulo o código se interprete de manera correcta y se cometan menos errores. La señal de alto es un buen ejemplo con tres códigos redundantes: la palabra "alto", el color rojo universal y la forma octagonal única (entre las señales de tránsito). Observe que todas estas dimensiones pertenecen al modo visual. Usar dos modalidades distintas mejorará la respuesta si se compara con el uso de dos dimensiones dentro de una modalidad. Así, para una evacuación de emergencia en una planta en caso de incendio, usar tanto una señal auditiva (una sirena) como una señal visual (luces tojas intermitentes) será más efectivo que cualquier modalidad sola. El trueque, como se vio antes en este capítulo, es una reducción en el número de códigos potenciales disponibles y una disminución en la cantidad de información que se puede presentar.

CONSERVACIÓN DE LA CONSISTENCIA

Los sistemas de códigos se han desarrollado por diferentes personas en situaciones distintas, y es importante conservar la consistencia; de otra manera, en especial en tiempos de estrés, es posible que los operarios respondan de manera instintiva a sus hábitos previos y ocurran errores. Por lo tanto, al agregar nuevas advertencias en una fábrica que tiene un sistema de códigos existente, es vital que el sistema duplique el esquema existente si tiene que transmitir la misma información, aunque el sistema anterior no tenga un diseño óptimo desde el principio. Por ejemplo, el amarillo que casi siempre significa proceda con precaución, debe tener el mismo significado en todos los despliegues.

PANTALLA DE INFORMACIÓN VISUAL: PRINCIPIOS DE DISEÑO ESPECÍFICOS

DISEÑO DE ESCALA FIJA, MANECILLA MÓVIL

Existen dos diseños de pantalla analógica alternativos: una escala fija con manecilla móvil y una escala móvil con manecilla fija (figura 7–13). Se prefiere el primer diseño porque mantiene todos los principios importantes de compatibilidad (según se vio en el capítulo 5): los valores crecientes de la escala van de izquierda a derecha y en el sentido de las manecillas del reloj. Con escala móvil y manecilla fija, siempre se viola uno de estos principios de compatibilidad. Note que la pantalla en sí puede ser circular, semicircular, una barra vertical u horizontal, o una ventana abierta. La única situación en la que el diseño de escala móvil y manecilla fija tiene ventajas es cuando la escala es muy grande y no se puede mostrar completa en la pantalla. En ese caso una ventana abierta

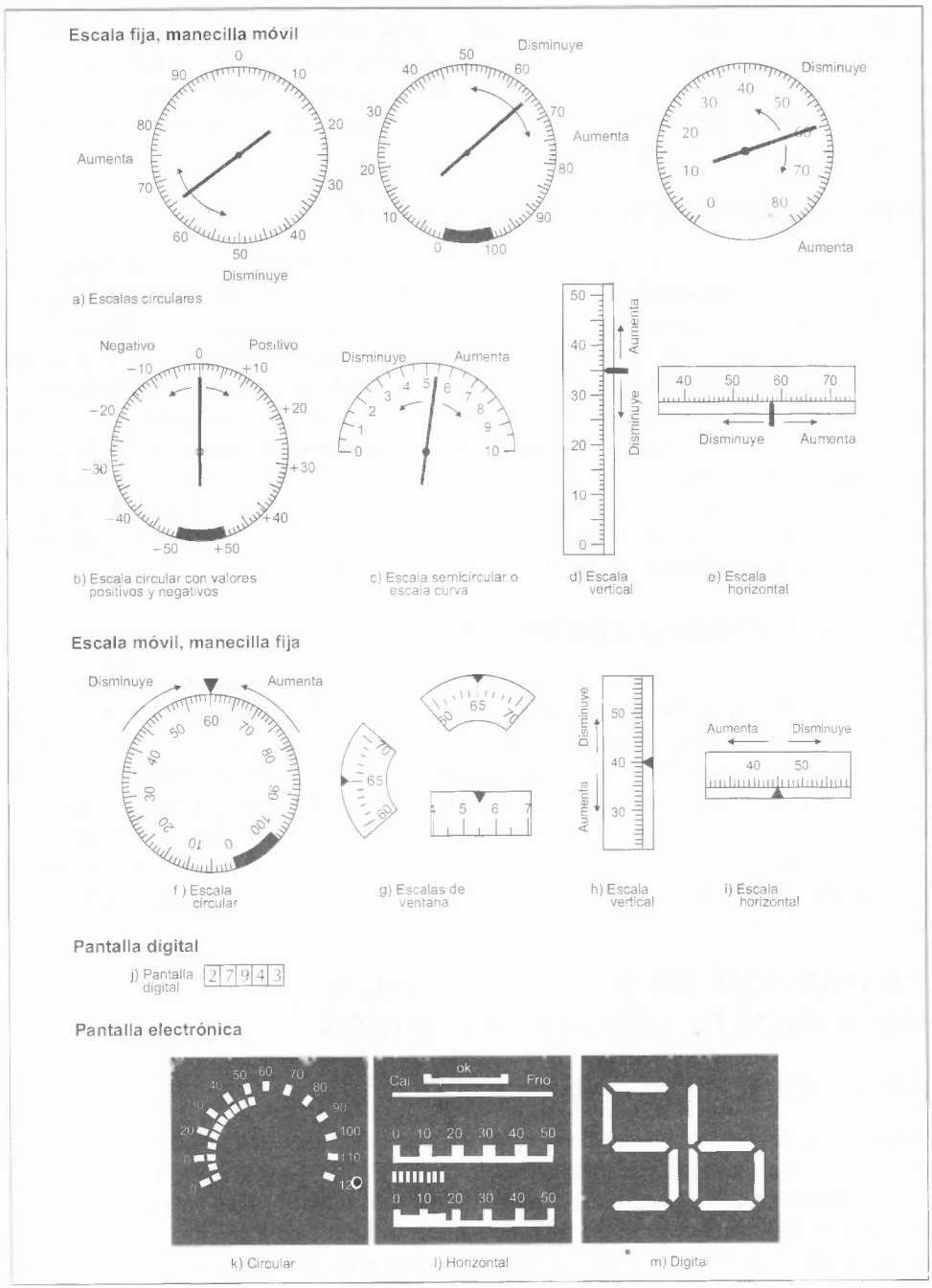


Figura 7–13 Tipos de pantallas para presentar información cuantitativa. (Tomado de: Sanders y McCormick, 1993. Reproducido con permiso de The McGraw-Hill Companies.)

Tabla 7–2 Comparación de indicadores, escalas y contadores

	Servicio prestado			
Indicador	**Lectura cuantitativa**	**Lectura cualitativa**	**Configuración**	**Rastreo**
Indicador móvil	Regular	Buena (los cambios se detectan con facilidad)	Buena (es fácil detectar la relación entre la perilla de ajuste y el indicador)	Bueno (es fácil controlar y vigilar la posición del indicador)
Escala móvil	Regular	Mala (difícil identificar dirección y magnitud)	Regular (puede ser difícil identificar la relación entre configuración y movimiento)	Regular (puede haber una relación ambigua para el movimiento de control manual)
Contador	Buena (tiempo de lectura mínimo, resultados con un mínimo de error)	Mala (el cambio de posición quizá no indique un cambio cualitativo)	Buena (método exacto para vigilar la configuración numérica)	Mala (no se puede vigilar)

puede dar cabida a una escala grande en la parte de atrás de la pantalla y mostrar sólo la parte relevante. Observe que la escala fija con manecilla móvil puede desplegar de manera cómoda la información cuantitativa lo mismo que las tendencias generales en las lecturas. Además se pueden generar las mismas pantallas con gráficas de computadora o electrónicas sin necesidad de las escalas mecánicas tradicionales.

PANTALLAS DIGITALES DE PRECISIÓN

Cuando se requieren valores numéricos precisos y los valores permanecen relativamente estáticos (al menos el tiempo suficiente para poder leerlos), entonces debe usarse una pantalla o *contador* digital (figura 7–13). Sin embargo, si la pantalla cambia con rapidez, es difícil usar los contadores digitales, que tampoco ayudan a identificar tendencias. Así, los contadores digitales nunca tuvieron éxito como dispositivo de "alta tecnología" para los velocímetros de los automóviles. La comparación más detallada de la tabla 7–2 muestra las ventajas y desventajas de usar indicadores móviles, escalas móviles y contadores.

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS PANTALLAS

La figura 7–14 ilustra algunas de las características básicas usadas en el diseño de carátulas. El intervalo de la escala se traza claramente con una progresión numérica en las marcas periódicas grandes en 0, 10, 20, etcétera, y marcas menores para cada unidad. Un marcador intermedio en 5, 15, 25, etcétera ayuda a identificar mejor la lectura. Una progresión de 5 en 5 es menos útil pero todavía satisfactoria. El indicador debe ser puntiagudo y llega justo, sin traslaparse, a las marcas más pequeñas de la escala; además, debe estar cerca de la superficie de la escala para evitar el error de paralaje y lecturas equivocadas.

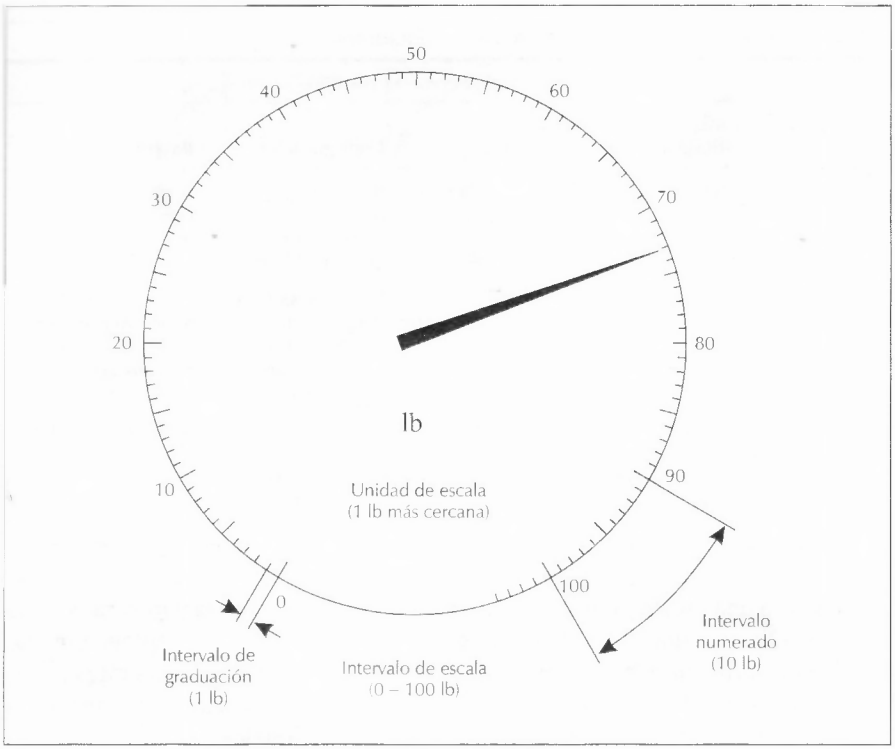


Figura 7–14 Características básicas en el diseño de una carátula.

PATRONES PARA UN TABLERO DE CARÁTULAS

En general, un tablero de carátulas se usa para indicar el estado de una serie de líneas de presión o válvulas como en el cuarto de control de una planta generadora de energía. En esos casos el operario es, en esencia, un supervisor que hace lecturas de verificación para asegurar que los valores (y el estado del sistema) sean normales. Aunque las carátulas reales pueden ser cuantitativas, el operario sólo determina si una de las carátulas indica una condición fuera del intervalo normal. Entonces, el aspecto de diseño clave es alinear todos los estados normales y todas las manecillas en la misma dirección, de manera que cualquier cambio o lectura desviada sobresalga del resto. Este patrón se acentúa si se extienden las líneas entre las carátulas (figura 7–15).

MINIMIZAR LA CARGA DE INFORMACIÓN DEL TRABAJADOR

El error humano al leer pantallas de información se incrementa conforme aumenta la cantidad de información por unidad de área. Debe considerarse siempre la regla de Miller para limitar la cantidad de información presentada. Su codificación adecuada ayuda a mejorar la legibilidad de las pantallas y disminuye el número de errores. En general, el color, los símbolos o las figuras geométricas y señales alfanuméricas son los mejores

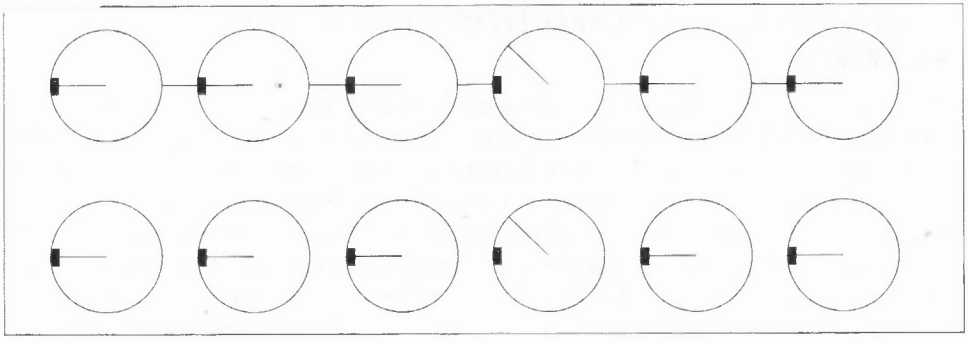


Figura 7–15 Tablero de carátulas diseñado para verificar lecturas. (*Tomado de:* Sanders y McCormick, 1993. Reproducido con permiso de The McGraw-Hill Companies.)

Tabla 7–3 Código recomendado para luces indicadoras

		Color			
Diámetro	**Estado**	**Rojo**	**Amarillo**	**Verde**	**Blanco**
12.5 mm	Estable	Falla; parar la acción; mal funcionamiento	Retraso; inspección	Circuito energizado; continuar; listo; en producción	Funcional; en posición; normal (encendido)
25 mm o mayor	Estable	Sistema o subsistema detenido	Precaución	Sistema o subsistema en estado de adelante	
25 mm o mayor	Intermitente	Condición de emergencia			

métodos de codificación, pues requieren poco espacio y permiten la identificación sencilla de la información.

LUCES INDICADORAS PARA LLAMAR LA ATENCIÓN DEL TRABAJADOR

Las luces indicadoras o de advertencia son en especial buenas para llamar la atención en situaciones de peligro potencial. Deben incorporarse varios requisitos básicos al usarlas. Deben indicar al operario qué está mal y qué acción debe tomarse. En condiciones de un fondo oscuro con malos contrastes, una luz roja (situaciones serias), verde o amarilla (situaciones menos serias) tiene ventajas sobre la blanca. En términos de tamaño e intensidad, una buena regla es que tenga el doble de tamaño (al menos un grado del arco visual) y brillo que otros indicadores del tablero y que se coloque a no más de 30 grados de la línea de visión del operario. Una luz intermitente, con una tasa de destello entre 1 y 10 por segundo atraerá bien la atención, pero la luz debe seguir destellando hasta que la condición inadecuada se haya arreglado por completo. En la tabla 7–3 se dan más detalles del código de luces indicadoras.

TAMAÑO ADECUADO DE CARACTERES ALFANUMÉRICOS EN LETREROS

A fin de que el código alfanumérico sea efectivo use los niveles de iluminación recomendados (capítulo 6) y considere la siguiente información respecto a la altura de la letra, ancho del trazo, razón alto-ancho y fuente. Con base en una distancia de vista de 20 pulgadas (51 cm), la altura de la letra o número debe ser al menos 0.13 pulgadas (0.325 cm) y el ancho del trazo al menos 0.02 pulgadas (0.055 cm), para obtener una razón alto-ancho de 1:6. Esto crea un ángulo visual predilecto (vea el capítulo 6) de 22 arco-minutos como lo recomienda ANSI/HFS 100 (1998) o un tamaño de fuente de 10 puntos, que es el común en los periódicos (1 punto es igual a 1/72 pulgadas o 0.035 cm). Para distancias mayores que 20 pulgadas (51 cm), el valor puede escalarse para dar un ángulo visual comparable (por ejemplo, para una distancia de 40 pulgadas, los tamaños se duplicarían).

Las recomendaciones anteriores se refieren a letras oscuras sobre fondo blanco, el formato preferido para leer en áreas bien iluminadas (áreas de trabajo típicas con ventanas o buena luz). Las letras blancas sobre fondo oscuro son más apropiadas para áreas oscuras (como en la noche) y tienen un trazo más angosto (razón 1:8 o 1:10) debido al efecto de dispersión de las letras blancas. La fuente se refiere al estilo o tipo de letra como Roman, con remate (serif) o el adorno especial al final del trazo, o Gothic, sin remates. En general, es más sencillo leer la mezcla de letras minúsculas y mayúsculas para una lectura larga. Sin embargo, para resaltar algo especial y llamar la atención, como en letreros, son útiles las negritas y mayúsculas con una razón alto-ancho cercana a 3:5 (Sanders y McCormick, 1993).

PANTALLA DE INFORMACIÓN AUDITIVA: PRINCIPIOS DE DISEÑO ESPECÍFICOS

SEÑALES AUDITIVAS PARA ADVERTENCIAS

Como se vio, hay características especiales del sistema auditivo que garantizan el uso de señales de sonido para advertencias. El tiempo de reacción simple es mucho más rápido para señales auditivas que visuales (por ejemplo, considere la pistola de señal de salida en las carreras). Una señal auditiva causa una demanda de atención mucho mayor en el trabajador que la señal visual. Como el oído es omnidireccional y las ondas de sonido penetran barreras (hasta cierto grado, según el grosor del material y sus propiedades), las señales auditivas son útiles en especial si los trabajadores se encuentran en un lugar desconocido o si se mueven mucho.

SEÑALES AUDITIVAS DE DOS ETAPAS

Como el sistema auditivo está limitado a mensajes sencillos y cortos, se considera una señal en dos etapas cuando debe presentarse información compleja. La primera etapa debe ser una señal que demande atención para llamar la atención, mientras que la segunda etapa se usa para presentar información más precisa.

HABILIDADES Y LIMITACIONES HUMANAS

Como la sensibilidad de la audición humana es mayor cerca de los 1 000 Hz, utilice señales con frecuencias en el intervalo de 500 a 3 000 Hz. Aumentar la intensidad de la señal servirá dos propósitos. Primero, aumentará la calidad de la demanda de atención de la señal y disminuirá el tiempo de respuesta. Segundo, tenderá a diferenciar mejor la señal del ruido de fondo. Por otro lado, deben evitarse niveles excesivos (mayores que 100 dB) ya que tiende a causar sobresalto y quizá una interrupción del desempeño. Cuando sea factible, evite señales de estado estable para impedir que se adapten a la señal. Así, la *modulación* de la señal (es decir, encenderla y apagarla en un ciclo uniforme), en un intervalo de frecuencia de 1 a 3 Hz tenderá a aumentar la calidad de la demanda de atención de la señal.

FACTORES AMBIENTALES

Debido a que las ondas de sonido pueden dispersarse por el entorno de trabajo, es importante tomar en cuenta los factores de ese entorno. Use frecuencias de señal menores que 1 000 Hz cuando las señales deban viajar grandes distancias (más de 1 000 pies), ya que es más fácil que las frecuencias más altas se absorban o dispersen. Use frecuencias abajo de 500 Hz cuando la señal deba salvar obstáculos o pasar a través de particiones. Mientras más baja sea la frecuencia, las ondas de sonido similares se convierten en vibraciones en los objetos sólidos, de nuevo con características de menor absorción.

DISOCIACIÓN DE LA SEÑAL Y EL RUIDO

Las señales auditivas deben estar tan separadas como sea posible de otros sonidos, sean señales auditivas útiles o ruido innecesario. Esto significa que la señal deseada debe ser tan diferente como sea posible de otras señales en términos de frecuencia, intensidad y modulación. Si es posible, las advertencias deben colocarse en canales de comunicación separados para aumentar la sensación de *disociación* e incrementar las cualidades de demanda de atención de la advertencia.

Los principios anteriores para diseñar pantallas, tanto visuales como auditivas, se resumen en la lista de evaluación de la figura 7–16. Si el equipo comprado tiene carátulas u otro tipo de pantallas que no corresponden a estos lineamientos de diseño, entonces existe la posibilidad de errores del operario y de pérdidas potenciales. Si es posible, esos problemas deben corregirse o sustituirse las pantallas.

INTERACCIÓN PERSONA-COMPUTADORA: CONSIDERACIONES DE HARDWARE

TECLADOS

El teclado estándar actual de computadora se basa en la distribución de teclas de la máquina de escribir patentada por C.L. Sholes en 1878. Llamado *teclado QWERTY* por la secuencia de la primeras seis letras de la izquierda en la tercera línea, tiene la cualidad de asignar algunas de las letras más comunes en Inglés a los dedos más débiles. Una

Principios generales	Sí	No
1. El número de juicios absolutos se limita a 7 ± 2 unidades.	☐	☐
2. La diferencia entre los niveles del código es mayor que la diferencia apenas notoria.	☐	☐
3. El esquema del código es compatible con las expectativas humanas.	☐	☐
4. El esquema del código es consistente con los esquemas existentes.	☐	☐
5. Se usa la redundancia para situaciones críticas.	☐	☐
Despliegues visuales	**Sí**	**No**
1. El mensaje es largo y complejo.	☐	☐
2. El mensaje contiene información de espacio.	☐	☐
3. Se necesitarán referencias posteriores al mensaje.	☐	☐
4. El oído está sobrecargado o hay ruido.	☐	☐
5. El operario se encuentra en un lugar estacionario.	☐	☐
6. Para propósitos y tendencias generales, se usa una escala fija con indicador móvil.	☐	☐
a. Los valores de la escala aumentan de izquierda a derecha.	☐	☐
b. El movimiento en el sentido de las manecillas del reloj indica valores crecientes.	☐	☐
c. Existe una progresión numérica ordenada con marcas grandes en 0, 10, 20, etcétera.	☐	☐
d. La escala tiene marcas intermedias en 5, 15, 25, etcétera y marcas pequeñas en cada unidad.	☐	☐
e. La manecilla es puntiaguda y llega justo a las marcas pequeñas de la escala.	☐	☐
f. La manecilla está cerca de la superficie de la escala para evitar el paralaje.	☐	☐
7. Para una escala muy grande se usa una pantalla de ventana abierta.	☐	☐
8. se usa un contador digital para las lecturas precisas.	☐	☐
9. Para verificar las lecturas en un tablero de carátulas, las manecillas están alineadas y se usa un patrón.	☐	☐
10. Con fines de llamar la atención se usan luces indicadoras.	☐	☐
a. Las luces parpadean (1 a 10 por segundo) para llamar la atención.	☐	☐
b. Las luces son grandes (1 grado del arco visual) y brillantes.	☐	☐
c. La luz permanece encendida hasta que la condición inadecuada se arregla.	☐	☐
11. Los caracteres alfanuméricos tienen el tamaño apropiado.	☐	☐
a. Para una distancia de 20 pulgadas (22 min del arco visual), la fuente tiene por lo menos 10 puntos.	☐	☐
b. En un área bien iluminada las letras son oscuras sobre un fondo claro y tienen una razón de alto-ancho en el trazo de aproximadamente 1:6.	☐	☐
c. En las áreas oscuras las letras son blancas sobre fondo oscuro y tienen una razón alto-ancho de aproximadamente 1:8 para uso nocturno.	☐	☐
d. Se usa una mezcla de letras mayúsculas y minúsculas.	☐	☐
e. Para resaltar palabras se usan mayúsculas y negritas.	☐	☐
Pantallas auditivas	**Sí**	**No**
1. El mensaje es corto y sencillo.	☐	☐
2. El mensaje se refiere a eventos en el tiempo.	☐	☐

Figura 7–16 Lista de verificación para el diseño de pantallas.

3. El mensaje es una advertencia o requiere acción inmediata.	☐	☐
4. La visión es difícil o está sobrecargada.	☐	☐
5. El operario se mueve de un lugar a otro.	☐	☐
6. Se usa una señal de dos etapas.	☐	☐
7. La frecuencia de la señal está en el intervalo de 500 a 3 000 Hz para obtener mejor sensibilidad auditiva.	☐	☐
8. El nivel de sonido de la señal sobrepasa bien el ruido de fondo.	☐	☐
9. La señal está bien modulada (1 a 3 Hz) para atraer la atención.	☐	☐
10. Si la señal viaja más de 1 000 pies o alrededor de obstáculos, la frecuencia está abajo de 500 Hz.	☐	☐
11. Si se trata de una advertencia, se usa un canal de comunicación separado.	☐	☐

Figura 7–16 (continuación)

explicación potencial es que las teclas más usadas estaban separadas para que no se trabaran durante una activación secuencial rápida. Se han desarrollado otras distribuciones con bases más científicas, que asignan las letras de modo más proporcional, entre ellos el más notable fue el teclado Dvorak desarrollado en 1936. Sin embargo, los estudios científicos han demostrado que la distribución Dvorak logra cuando mucho una mejora de 5% sobre la distribución QWERTY, que quizá no es suficiente para justificar el cambio y volver a capacitar a miles de operarios.

En ciertas circunstancias especiales como la estenografía y la clasificación de correspondencia, un *estenógrafo* puede ser más adecuado. Mientras que en un teclado estándar se oprimen los caracteres individuales en secuencia, un teclado de estenógrafo requiere la activación simultánea de dos o más teclas. El trueque básico es que con ese tipo de activación se necesitan menos teclas y puede introducirse una cantidad mucho mayor de información (se estima que entre 50 y 100% más). También tiene la ventaja especial de su tamaño pequeño y la posibilidad de operarlo con una mano mientras la otra realiza otras tareas. Sin embargo, para el uso general, el teclado estándar es más que suficiente y no requiere capacitación adicional.

Muchos teclados tienen teclas numéricas separadas. La investigación inicial acerca del teléfono estableció que los usuarios preferían que los números aumentaran de izquierda a derecha y después de arriba abajo, lo que dio como resultado la distribución estándar del teléfono. Para las calculadoras se desarrolló una distribución diferente en la que los números aumentan de abajo arriba. La mayor parte de la investigación muestra que el teclado del teléfono es un poco más rápido y más exacto que el de la calculadora. Desafortunadamente, la diferencia no fue suficiente para que el estándar de ANSI/HFS 100 (Human Factors Society, 1988) favoreciera a uno u otro, y en consecuencia se obtuvo, quizá, la peor situación en cuanto al desempeño, donde un operario tiene que alternar entre ambas distribuciones en el entorno de una oficina (por ejemplo, un teléfono junto al teclado de una computadora).

Para cualquier teclado, las teclas deben ser relativamente grandes, espaciadas entre los centros 0.71-0.75 pulgadas (18-19 mm) en sentido horizontal y 0.71-0.82 pulgadas (18-21 mm) en sentido vertical. Las teclas más pequeñas, que son cada vez más comu-

nes conforme las PC se encogen, son desventajosas para individuos con dedos grandes y hay una disminución definitiva en la velocidad y un aumento en el número de errores. Las teclas deben tener un desplazamiento de 0.08-0.16 pulgadas (2.0-4.0 mm) y la fuerza para oprimirlas no debe exceder 0.33 lb (1.5 N). La activación de una tecla debe ir acompañada de retroalimentación con el tacto o auditiva. Por tradición, se ha optado por una ligera pendiente hacia arriba (0-15°). Sin embargo, un estudio más reciente muestra que una pendiente hacia abajo (–10°) de hecho puede proporcionar una postura más neutral y favorable para la muñeca. También se ha demostrado que los teclados divididos reducen la desviación cubital que es común encontrar cuando se usan teclados de una pieza. Como se mencionó en el capítulo 5, los descansabrazos proporcionan soporte al hombro/brazo y reducen la actividad del músculo del hombro. Se recomiendan en lugar del cojín para descansar la muñeca que se ve con frecuencia, que en realidad puede aumentar la presión en el túnel de carpo y la incomodidad del operario.

DISPOSITIVOS PARA SEÑALAR

El dispositivo principal para la captura de datos es el teclado. Sin embargo, con la ubicuidad de las interfaces gráficas de usuario y según la tarea realizada, el operario tal vez pase la mitad del tiempo usando el teclado. En especial para los sistemas basados en ventanas y menús, se necesita un posicionador del cursor o un dispositivo para señalar en vez de las teclas para el cursor (flechas) en un teclado. Se ha desarrollado y probado una gran variedad de dispositivos. La *pantalla de tacto* usa una película sensible al tacto o detecta la interrupción de una rayo infrarrojo que cruza la pantalla cuando se acerca un dedo. Este acercamiento es bastante natural cuando el usuario sólo toca el objetivo directamente en la pantalla. No obstante, el dedo puede bloquear el objetivo y, a pesar de tener objetivos más o menos grandes, la exactitud puede ser mala. La *pluma de luz* es una pluma especial conectada a la computadora por un cable eléctrico que detecta el rayo de barrido de electrones en la localización específica de la pantalla. El usuario obtiene una respuesta de señalamiento natural similar a la de la pantalla de tacto pero con mayor exactitud.

Una *tableta digitalizadora* es una base plana colocada sobre el escritorio, de nuevo conectada a la computadora. El movimiento de una pluma se detecta en la posición adecuada sobre la base, que puede ser absoluta (esto es, la tableta es una representación de la pantalla) o relativa (sólo se muestra el movimiento relativo a través de la tableta). Otras complicaciones son los trueques del tamaño de la base y la exactitud, y las razones de control óptimo de la respuesta. Además, el usuario necesita cambiar la vista a la pantalla para obtener retroalimentación. Las palancas de control (*joysticks*) de desplazamiento y fuerza (ahora llamados palancas de rastreo o *puntos de rastreo*) se pueden usar para controlar el cursor; existe una gran cantidad de investigación de los tipos de sistemas de control, tipos de pantallas, razones de respuesta y desempeño del rastreo. El *ratón* es un dispositivo operado con la mano que tiene una bola rodante en la base para controlar la posición y uno o más botones para otras funciones. Es un dispositivo de posicionamiento relativo y requiere un espacio libre al lado del teclado para operarlo. El ratón de bola (*trackball*), un ratón de cabeza sin cojinete es una buena alternativa para trabajar en superficies con espacio limitado. El desarrollo más reciente, el cojinete de

tacto (*touchpad*) es una forma de tableta digitalizadora pequeña integrada al teclado y son cada vez más populares en especial para las computadoras y agendas portátiles.

Muchos estudios han realizado comparaciones de estos dispositivos señaladores para mostrar con claridad los trueques entre la velocidad y exactitud, es decir, los dispositivos más rápidos (pantallas de tacto y plumas de luz) tienen poca exactitud. Las teclas para el cursor eran muy lentas y tal vez no aceptables. Las pantallas pequeñas son un poco más rápidas que los controles de palanca, pero menos preferidas por los usuarios. El ratón y los trackballs en general eran similares en velocidad y exactitud, y quizá esto sea la razón de la omnipresencia del ratón. Sin embargo, existe una tendencia de los usuarios a tomar el ratón con más fuerza de la necesaria por un factor de dos a tres (esto es, emplear una fuerza dos a tres veces mayor que la requerida), con un riesgo potencial de incurrir en una lesión. El uso de un tope similar al que tiene el trackball puede reducir este riesgo. Una revisión más detallada de los dispositivos de posicionamiento del cursor se encuentra en Greenstein y Arnaut (1988) o Sanders y McCormick (1993).

PANTALLAS DE MONITOR

El centro de la pantalla del monitor debe colocarse en línea de visión normal, que es alrededor de 15 grados abajo de la horizontal. Para una pantalla de 15 pulgadas, a una distancia de lectura común de 16 pulgadas, las orillas están sólo un poco más allá del cono de ± 15 grados del campo de visión primaria. La implicación es que dentro de este cono óptimo, no se requieren movimientos de la cabeza y la fatiga de los ojos se minimiza. Entonces, la parte superior de la pantalla no debe estar arriba del plano horizontal determinado por los ojos.

Sin embargo, la distancia de lectura de 16 pulgadas quizá no sea óptima. Una distancia de lectura cómoda está en función no sólo del tamaño de los caracteres desplegados, sino también de la habilidad de la persona para mantener el foco y la alineación de los ojos. El foco medio en descanso (medido en la oscuridad o en ausencia de estímulos con un optómetro láser) es alrededor de 24 pulgadas. La implicación es que el ojo puede estar bajo una tensión mayor al leer a distancias mayores o menores que 24 pulgadas, ya que en ese caso hay un compromiso entre el "jalón" del estímulo y la tendencia del ojo a regresar a la posición de descanso individual. Con todo, existe una gran variación en las distancias focales en descanso individuales. Por lo tanto, los trabajadores en oficinas que ven pantallas de computadora por periodos prolongados tal vez quieran que midan la posición de descanso de sus ojos. Después, si no pueden colocar la pantalla del monitor a la distancia adecuada (y queda demasiado lejos o muy cerca), pueden ajustarse los ojos con lentes especiales para "ver la computadora" (Harpster *et al.*, 1989).

El monitor, que de preferencia se pueda inclinar, debe estar en una posición relativamente vertical, tal que el ángulo formado por la línea de visión y la superficie de la pantalla sea relativamente pequeño, y definitivamente menor que 40 grados. Inclinar la pantalla hacia arriba debe evitarse debido a que aumenta la posibilidad de que haya reflexión de la luz del techo, y el resultado sería reflejos y disminución de la visibilidad. La pantalla debe tener un mínimo de parpadeo, luminancia uniforme y control de reflejos si es necesario (filtro polarizado o micromalla). Encontrará más detalles del hard-

ware y el mobiliario para estaciones de trabajo con computadoras en el estándar de ANSI/HFS 100 (Human Factors Society, 1988).

COMPUTADORAS PORTÁTILES Y DE MANO

Las computadoras portátiles o laptops son cada vez más populares, habiendo llegado a 34% de las ventas de computadoras en Estados Unidos en 2000. Su ventaja principal sobre la de escritorio es su tamaño reducido (y peso) y su portabilidad. Sin embargo, el tamaño tiene algunas desventajas; teclas y teclado más pequeños, teclado unido a la pantalla y falta de dispositivos periféricos de posicionamiento del cursor. La falta de libertad para colocar la pantalla ha dado lugar a una flexión excesiva del cuello (mayor a los 15 grados recomendados), aumento en la flexión de los hombros y ángulos de los codos mayores que 90 grados, que han acelerado las sensaciones de incomodidad comparado con el uso de computadoras de escritorio. Agregar un teclado externo y elevar la laptop o agregar un monitor externo ayuda a aliviar la situación.

Se han desarrollado computadoras de mano todavía más pequeñas, conocidas como PDA (*personal digital assistant*) o agendas electrónicas, pero son muy nuevas para contar con evaluaciones científicas detalladas. Al ser tamaño bolsillo, ofrecen mayor portabilidad y flexibilidad, pero a costa de desventajas más grandes para la introducción de datos. Se ha encontrado que la velocidad y la exactitud disminuyen al introducir datos vía la pantalla de tacto. Otros métodos de entrada como escritura a mano o entrada de voz podrían ser mejores.

INTERACCIÓN PERSONA-COMPUTADORA: CONSIDERACIONES DE SOFTWARE

La ingeniería industrial o de métodos normal no desarrolla programas, pero lo más probable es que use una gran variedad del software disponible. Por lo tanto, esa persona debe estar informada de las características o los estándares del software actual que le permiten una mejor interacción con la computadora y minimizan el número de errores que pueden ocurrir debido a un mal diseño.

La mayor parte del software interactivo usa una interfaz gráfica de usuario (GUI, *graphic user interface*), identificada por cuatro elementos principales: ventanas, iconos, menús y señaladores (en ocasiones se hace referencia colectiva a ellos como WIMP, *windows, icons, menus, and pointers*). Las *ventanas* son áreas de la pantalla que se comportan como si fueran pantallas independientes. En general, contienen texto o gráficos y se pueden mover o cambiar de tamaño. Puede haber más de una ventana en la pantalla al mismo tiempo, lo que permite al usuario cambiar entre varias tareas o fuentes de información. Esto lleva a un problema potencial de ventanas que se traslapan y ocultan información vital. En consecuencia, debe haber una política de distribución, para colocar las ventanas como mosaico, en cascada o en forma de imagen en la imagen. Las ventanas suelen tener características que mejoran su uso, como las barras de desplazamiento, que permiten al usuario mover el contenido de la ventana arriba y abajo o a la derecha o izquierda. Esto hace que la ventana se comporte como una ventana real para ver un mundo más grande, donde aparece nueva información al manipular las

barras. Es común que haya una barra de título en la parte superior de la ventana para identificarla y puede haber cuadros especiales en las esquinas de la ventana para ayudar a cambiar el tamaño y cerrarla.

Los *iconos* son representaciones pequeñas o reducidas de las ventanas u otras entidades dentro de la interfaz. Los iconos permiten que haya muchas ventanas disponibles en la pantalla al mismo tiempo, listas para expandirse a un tamaño útil con hacer clic en el icono con un señalador (que puede ser el ratón). El icono ahorra espacio en la pantalla y sirve como recordatorio que contiene un diálogo. Otras entidades útiles representadas por iconos incluyen una papelera de reciclaje para eliminar archivos, programas o aplicaciones que ya no sirven. Los iconos pueden tomar muchas formas: pueden ser representaciones realistas de los objetos a los que se refieren o pueden ser estilizados, pero con la referencia adecuada a la entidad (conocida como compatibilidad) de manera que los usuarios puedan interpretarlos con facilidad.

El *señalador* es una componente importante de la interfaz WIMP, ya que la selección del icono adecuado requiere un medio rápido y eficiente de manipulación. Por ahora, el ratón es el dispositivo más común para señalar, aunque los joysticks y trackballs pueden ser alternativas útiles. Una pantalla de tacto, con el dedo como señalador puede ser una alternativa rápida e incluso una medida redundante en situaciones de emergencia. Con frecuencia se usan diferentes formas del cursor para distinguir el modo del puntero, como una flecha para señalar, una cruz para dibujar líneas y una brocha para llenar los contornos. En esencia, estos punteros son iconos o imágenes y deben tener un punto que indica la localización activa. Para una flecha, la punta es el lugar obvio. Por otro lado, deben evitarse las imágenes de caricatura (como perros o gatos) porque no tienen puntos obvios.

Los *menús* presentan una lista ordenada de las operaciones, servicios o información que están disponibles para el usuario. Esto implica que los nombres usados para los comandos en el menú deben tener significado e informar. El señalador se usa para indicar la opción deseada, con las opciones posibles o razonables resaltadas y las acciones imposibles atenuadas. La selección suele requerir una acción adicional del usuario con el dedo o el señalador, por lo general se debe oprimir un botón del ratón o la pantalla con el dedo. Cuando el número de opciones en el menú crece más allá de un límite razonable (casi siempre 7 a 10), es necesario agrupar las opciones en una ventana separada con el título o una etiqueta que aparece en la barra de menú. Cuando se oprime el título, las opciones se despliegan en otra ventana conocida como menú desplegable. Para facilitar la localización de la opción deseada, es importante agrupar las opciones por funcionalidad o por similitud. Dentro de una ventana o menú dado, las opciones deben ordenarse por su importancia y frecuencia de uso. Las funciones opuestas, como GUARDAR y ELIMINAR, deben mantenerse lejos entre sí para evitar equivocaciones en la elección.

Otras características tipo menú incluyen botones, ventanas de imagen en la imagen aisladas dentro del despliegue que puede seleccionar el usuario para invocar acciones específicas, barras de herramientas, una colección de botones o iconos y cuadros de diálogo que aparecen para dar información importante para el usuario, como errores posibles o emergencias.

Otros principios en el diseño de pantallas incluyen las consideraciones de facilidad de uso: orden, limpieza, apariencia de amplitud, información esperada localizada donde debe estar de manera consistente de una pantalla a otra para funciones e información similares. Los estudios de rastreo del ojo indican que es común que los ojos se muevan primero a la esquina superior izquierda de la ventana y después vayan con rapidez en dirección contraria a las manecillas del reloj. Por lo tanto, el punto inicial obvio debe ser esa esquina superior izquierda, lo que permite el patrón de lectura estándar de izquierda a derecha y de arriba abajo de las culturas occidentales. La composición de la pantalla debe ser agradable y balanceada, simétrica, con regularidad, predecible, proporcional y secuencial. La densidad y el agrupamiento también son importantes.

Es importante el uso apropiado de fuentes en mayúsculas y minúsculas mezcladas y símbolos especiales cuando sea necesario. Los textos deben ser breves y claros en lenguaje familiar con un mínimo de palabras especializadas. Los términos de acción sencillos expresados en forma positiva son más efectivos que algunas oraciones negativas o palabrería tipo militar. El color es adecuado para llamar la atención pero debe usarse con moderación y limitarse a no más de ocho colores. Observe que una proporción relativamente alta de la población sufre de deficiencias en la visión del color.

El usuario debe sentirse en control y tener la habilidad de salir de las ventanas con facilidad o deshacer acciones previas. Debe haber retroalimentación para cualquier acción e indicarse el progreso de transacciones tardadas. La consideración más importante en una ventana es la sencillez. Cuanto más sencillo sea el diseño, más rápida será la respuesta. Encontrará más información del diseño de interfaces de software en Mayhew (1992), Galitz (1993) y Dix *et al.* (1998). Como una conveniencia para el comprador o usuario del software, las características deseadas anteriores se resumen en la lista de verificación de características de la interfaz gráfica de usuario (figura 7–17).

RESUMEN

El capítulo 7 presentó un modelo conceptual del ser humano como procesador de información con las capacidades y limitaciones de tales sistemas. Se dieron detalles específicos para el diseño apropiado del trabajo cognitivo para no sobrecargar a la persona respecto a la información presentada mediante pantallas visuales o medios auditivos, y respecto a la información que se almacena en distintos tipos de memoria y a la procesada como parte del paso de toma de decisiones final y selección de la respuesta. Además, dado que la computadora es la herramienta común asociada con el procesamiento de información, también se estudiaron los aspectos y características del diseño de las estaciones de trabajo con computadora. Como las actividades manuales, los aspectos físicos del lugar de trabajo y las herramientas, y el entorno de trabajo se analizaron en los capítulos 4, 5 y 6, el elemento cognitivo es el último aspecto del operario en el trabajo y el analista está listo para poner en marcha el nuevo método.

PREGUNTAS

1. ¿Cómo puede cuantificarse el contenido de información de una tarea?
2. ¿Qué es redundancia? Dé un buen ejemplo de redundancia en la vida diaria.

Características de las ventanas	Sí	No
1. El software usa áreas móviles de la pantalla llamadas ventanas.	☐	☐
2. Existe una política de distribución para las ventanas (esto es, aparecen como mosaico, cascada o imagen en la imagen).	☐	☐
3. Las barras de desplazamiento permiten mover el contenido hacia arriba o hacia abajo.	☐	☐
4. Hay títulos significativos para identificar las ventanas.	☐	☐
5. Se colocan cuadros especiales en las esquinas de las ventanas para cambiarles el tamaño o cerrarlas.	☐	☐
Características de los iconos	**Sí**	**No**
1. Se usan versiones reducidas de las ventanas de uso frecuente, llamadas iconos.	☐	☐
2. Los iconos se pueden interpretar con facilidad o son representaciones realistas de una característica dada.	☐	☐
Características del señalador	**Sí**	**No**
1. Se usa un dispositivo para señalar (ratón, joystick, pantalla de tacto) para manipular los iconos	☐	☐
2. Es fácil identificar el puntero o cursor y tiene un área de activación obvia.	☐	☐
Características de los menús	**Sí**	**No**
1. Los menús (listas de operaciones u opciones) son significativos y se proporcionan títulos descriptivos.	☐	☐
2. Las opciones de los menús se agrupan por su funcionalidad.	☐	☐
3. Las opciones del menú están limitadas a un número razonable (7 a 10)	☐	☐
4. Se dispone de botones para acciones comunes específicas.	☐	☐
5. Se usan barras de herramientas con una colección de botones o iconos.	☐	☐
6. Se usan cuadros de diálogo para notificar al usuario de problemas potenciales.	☐	☐
Otras consideraciones de facilidad de uso	**Sí**	**No**
1. El diseño de la pantalla es sencillo, ordenado y da la sensación de amplitud.	☐	☐
2. La localización de funciones similares es consistente de una ventana a otra.	☐	☐
3. El punto inicial para la acción de la ventana es la esquina superior izquierda.	☐	☐
4. La acción de la ventana procede de izquierda a derecha y de arriba abajo.	☐	☐
5. Los textos son breves y claros, y usan letras minúsculas y mayúsculas.	☐	☐
6. El color se usa con moderación para llamar la atención (limitado a ocho colores).	☐	☐
7. El usuario tiene control para salir de las ventanas o deshacer acciones. Se proporciona retroalimentación de las acciones.	☐	☐

Figura 7–17 Lista de verificación de la interfaz gráfica de usuario.

3. Explique las cinco etapas del modelo de procesamiento de información humano.
4. ¿Cómo actúan las etapas de procesamiento de información para evitar la sobregcarga de información del operario humano?
5. ¿Cuáles son los cuatro resultados posibles explicados por la teoría de detección de señales?
6. Proporcione un ejemplo de una tarea a la que se pueda aplicar la teoría de detección de señales. ¿Qué efecto tendría sobre el desempeño de la tarea un cambio en el criterio?

7. ¿Qué significa sensibilidad en la teoría de detección de señales? ¿Qué técnicas se pueden usar para aumentar la sensibilidad en la tarea de inspección?
8. ¿Qué técnicas se pueden usar para mejorar la memoria?
9. ¿Cuáles son algunos sesgos que pueden afectar de manera negativa la toma de decisiones de una persona?
10. ¿Qué es compatibilidad? Proporcione dos ejemplos de compatibilidad en la vida diaria.
11. Compare los diferentes tipos de atención.
12. ¿Qué es la curva de atención en forma de U invertida?
13. ¿Cuáles son las mejores condiciones para el uso de despliegues auditivos?
14. ¿Cuál es la diferencia entre juicio absoluto y relativo? ¿Cuál es la limitación del juicio absoluto?
15. ¿Cuál es la diferencia apenas notoria y cómo se relaciona con el nivel de estímulo?
16. ¿Por qué se usa la redundancia para un estímulo crítico?
17. ¿Por qué se prefiere una pantalla de escala fija con manecilla móvil?
18. ¿Cuál es el propósito de usar patrones para un conjunto de carátulas en un cuarto de control?
19. ¿Qué características clave se usan para aumentar la atención en un despliegue visual?
20. ¿Qué características clave se usan para aumentar la atención en un despliegue auditivo?
21. ¿Cuáles son los trueques entre los diferentes tipos de indicadores o manecillas?
22. ¿Cuáles son las principales componentes de una buena interfaz gráfica de usuario (GUI)?

PROBLEMAS

1. *a.* ¿Cuál es la cantidad de información en un conjunto de ocho señales de luz si cada luz tiene la misma probabilidad de ocurrir?
   b. Las probabilidades de las luces cambian como se muestra en la tabla. Calcule la cantidad de información y la redundancia en esta configuración.

Estímulo	1	2	3	4	5	6	7	8
Probabilidad	0.08	0.25	0.12	0.08	0.08	0.05	0.12	0.22

2. Una universidad estatal grande usa filtros de correo de tres dígitos para codificar el correo dentro del campus. El paso inicial para clasificar este correo se hace de acuerdo al primer dígito (hay diez posibilidades), que se refieren a una zona del campus. Este paso se logra oprimiendo una tecla con el número correspondiente, que deja caer la carta en el contenedor adecuado. Un clasificador de correo normal puede clasifica 60 sobres por minuto y toma un mínimo de 0.3 segundos sólo oprimir la tecla que involucra un proceso cognitivo.

   a. Suponga que el correo se distribuye de manera uniforme en las zonas del campus, ¿cuál es el ancho de banda del clasificador de correo?
   b. Después de un rato el clasificador se da cuenta que el correo en el campus se distribuye de la siguiente manera. Si el clasificador usa esta información, ¿cuántas piezas de correo es posible que maneje en un minuto?

Zona	Distribución %
0	25
1	15
2	25
3-9	5

3. Bob y Bill son dos pronosticadores del tiempo que trabajan para Accurate Weather. Bob es un veterano, mientras que Bill es recién egresado de la universidad. Los siguientes son registros (en número de predicciones) de la habilidad de ambos para predecir si lloverá en las próximas 24 horas.

   a. ¿A quién de los dos contrataría? ¿Por qué?

   b. ¿Quién es el pronosticador más conservador? ¿Por qué?

   c. ¿De qué manera beneficiaría un pronosticador conservador contra uno que toma riesgos a las diferentes regiones geográficas?

	Resultado verdadero	
Bob dijo:	**Lluvia**	**Sin lluvia**
Lluvia	268	56
Sin lluvia	320	5 318

	Resultado verdadero	
Bill dijo:	**Luvia**	**Sin lluvia**
Lluvia	100	138
Sin lluvia	21	349

4. La Dorben Electronics Co., fabricante de resistores, selecciona a los inspectores de control de calidad potenciales antes de contratarlos. Dorben ha desarrollado la siguiente prueba de selección. Se presenta a cada empleado potencial el mismo conjunto de 1000 resistores entre los cuales 500 son defectuosos. Los resultados de dos solicitantes son los siguientes: 1) de 500 resistores buenos, el solicitante #1 clasificó 100 como defectuosos y de 500 resistores defectuosos, el solicitante #1 identificó 200 como defectuosos; 2) de 500 resistores buenos el solicitante #2 clasificó 50 como defectuosos, y de 500 resistores defectuosos, el solicitante #2 clasificó 300 como defectuosos.

   a. Piense que clasificar un resistor defectuoso como defectuoso es un éxito. Llene la tabla.

	Solicitante #1	**Solicitante #2**
Tasa de éxitos		
Tasa de falsas alarmas		
Tasa de fracasos		
Tasa de rechazos correctos		
d'		

   b. Dado que Dorben hace un gran hincapié en el control de calidad (es decir, no desean vender un producto defectuoso a ningún precio), ¿qué solicitante cumplirá mejor con sus metas? ¿Por qué?

   c. Dado que Dorben desea contratar al inspector más eficiente (el que tiene más resultados correctos), ¿qué solicitante contrataría la compañía?

5. Los siguientes datos de desempeño se recolectaron en condiciones similares para dos inspectores que sacan productos defectuosos de la línea de ensamble. Proporcione un comenta-

rio del desempeño relativo de los dos inspectores. ¿Cuál de ellos es mejor para encontrar defectos? ¿A quién contrataría si el costo de liberar un producto defectuoso fuera alto? ¿Quién hace un mejor trabajo en general? (Sugerencia: considere d'.)

		Caso #1	Caso #2
JRS	Tasas de éxitos	0.81	0.41
	Tasa de falsas alarmas	0.21	0.15
ABD	Tasa de éxitos	0.84	0.55
	Tasa de falsas alarmas	0.44	0.31

6. Los siguientes datos de tiempo de respuesta (en milisegundos) se obtuvieron para Farmer Brown y su hijo Big John cuando operaban un tractor usando el pie derecho para controlar el embrague, el freno y el acelerador. En general, el pie está en posición de descanso. La localización y tamaño de los pedales se muestra en seguida, así como algunos tiempos de respuesta muesta (en milisegundos) para activar un control dado a partir de la posición de descanso.

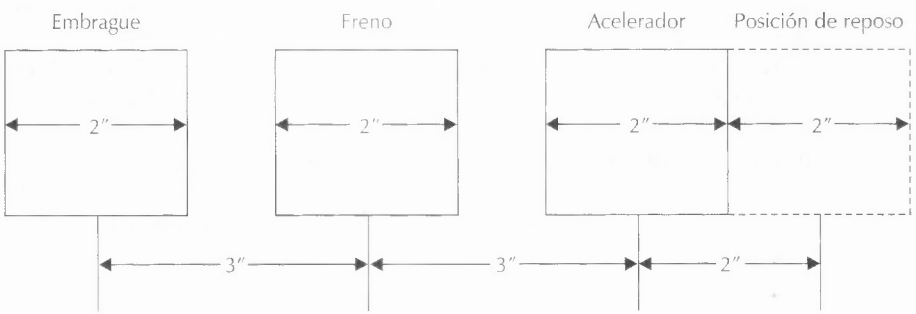
   a. ¿Cuál es el valor del índice de dificultad para cada pedal?

   b. Grafique los tiempos de respuesta. ¿Qué ley se puede aplicar para explicar la relación entre los tiempos de respuesta y la dificultad al activar un control dado?

   c. ¿Cuál es el tiempo de reacción simple para Farmer Brown?

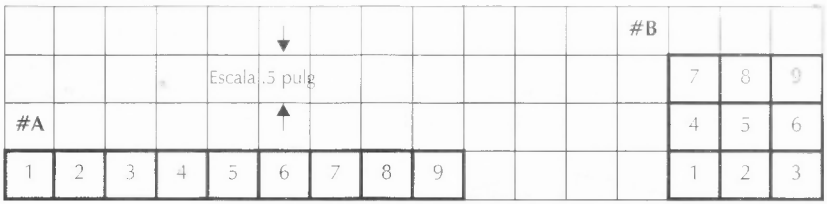
   d. ¿Cuál es el ancho de banda para Big John?

   e. ¿Qué granjero es el mejor operador del tractor? ¿Por qué?



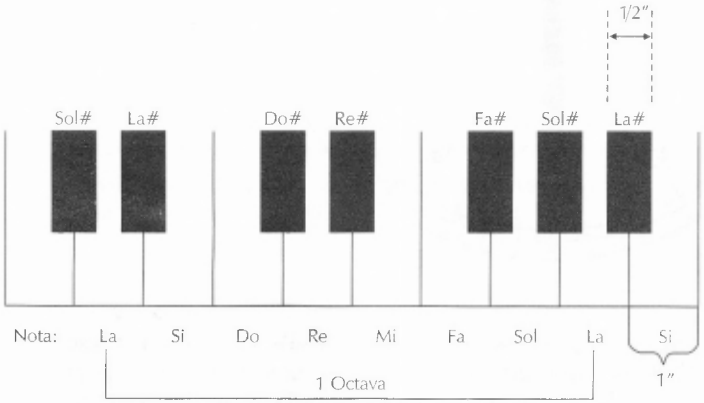
	Acelerador	Freno	Embrague
Farmer Brown	300	432	510
Big John	270	428	480

7. Sin tomar en cuenta el dígito 0, ¿qué teclado es más rápido para introducir dígitos con un sólo dedo? Suponga que la posición inicial es el dígito 5. (Sugerencia: cacule el índice de dificultad.)

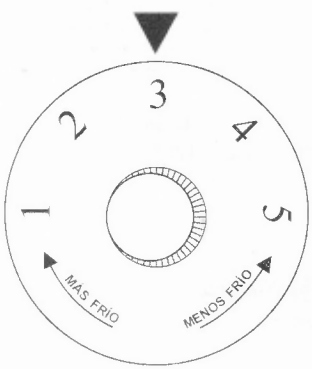


8. Con frecuencia, los pianistas deben oprimir teclas en una sucesión muy rápida. La figura siguiente muestra un teclado de piano típico.

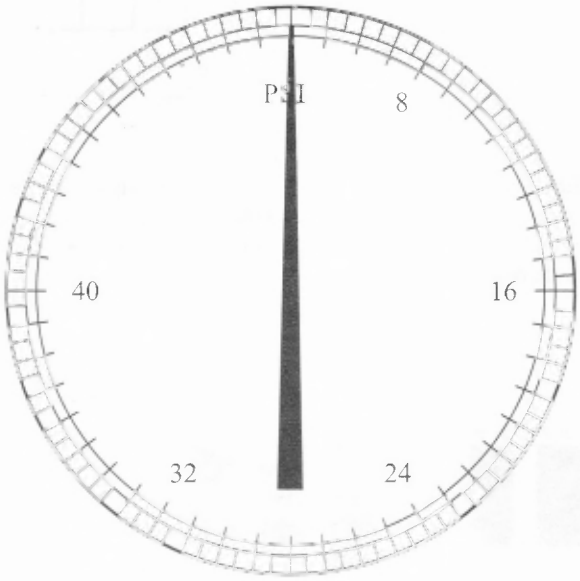
   a. Compare el índice de dificultad para tocar Do, Do#, Fa y Fa#. Suponga que la tecla inicial es La y que las distancias se miden de centro a centro.
   b. Si al iniciar en la tecla La, toma 200 ms tocar la tecla Do y 500 ms tocar la tecla Fa, ¿cuál es el ancho de banda de un pianista típico?



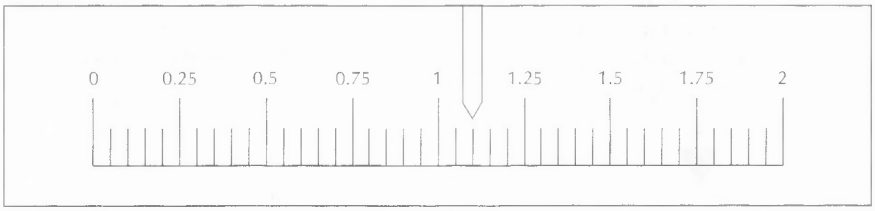
9. La perilla con números y flechas de direccion mostrada en seguida se usa en los refrigeradores para controlar la temperatura. ¿En qué direción, la de las manecillas del reloj o la contraria, daría vuelta a la perilla para enfriar más el refrigerador? ¿Por qué?, ¿cómo mejoraría el control para evitar la confusión?



10. La carátula mostrada representa un medidor de presión. El intervalo de operación es 50 psi. El operario debe leer en la escala la unidad de psi más cercana. Evalúe de manera crítica la carátula, indique las malas prácticas de diseño. Después rediseñe la carátula siguiendo sus recomendaciones acerca de las prácticas de diseño.



11. La escala que se muestra representa la graduación que se usa para medir el peso. El peso máximo posible es 2 libras y debe leerse en la escala el décimo de libra más cercano. Evalúe de manera crítica la carátula e indique las malas prácticas de diseño. Después rediseñe la carátua siguiendo sus ecomendaciones acerca de las malas prácticas de diseño.



12. Diseñe un letrero de SALIDA que debe colocarse en un auditorio público. Explique los principios de ergonomía que deben tomarse en centa para este letrero.

REFERENCIAS

ANSI (American National Standards Institute), *ANSI Standard for Human Factors Engineering of Visual Display Terminal Workstations*, ANSI/HFS 100-1988, Santa Monica, CA: Human Factors Society, 1988.

Bishu, R. R. y C. G. Drury, "Information Processing en Assembly Tasks —A Case Study", *Applied Ergonomics*, 19 (1988), pp. 90-98.

Chapanis, A. y L. Lindenbaum, "A reaction Time Study of Four Control-Display Linkages". *Human Factors*, 1 (1959), pp. 1-7.

Deatherage, B. H., "Auditory and Other Sensory Forms of Information Presentation", en H. P. Van Cott y R. Kinkade (eds.) *Human Engineering Guide to Equipment Design*, Washington, D. C.: Government Printing Office, 1972.

Dix, A., J. Finlay, G. Abowd y R. Beale, *Human-Computer Interaction*, 2a. ed. Londres: Prentice Hall, 1998.

Drury, C., "Improving Inspection Performance", en *Handbook of Industrial Engineering*, Ed. G. Salvedy, Nueva York: Wiley, 1982.

Drury C. G. y J. L. Addison, "An Industrial Study on the Effects of Feedack and Fault Density on Inspection Performance", *Ergonomics*, 16 (1973), pp. 159-169.

Eggemeier, F. T., "Properties of Workload Assesment Techniques", en *Human Mental Workload*, Ed. P. Hancock y N. Meshkati, Amsterdam: Holanda, 1988.

Fechner, G., *Elements of Psychophysics*, Nueva York: Holt, Rinehart y Winston, 1860.

Fitts, P., "The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement", *Journal of Experimental Psychology*, 47 (1954), pp. 381-391.

Galitz, W. O., *User-Interface Screen Design*, Nueva York: John Wiley & Sons, 1993.

Giambra, L. y R. Quilter, "A Two-Term Exponential Description of the Time Course of Sustained Attention", *Human Factors*, 29 (1987), pp. 635-644.

Green D. y J. Swets, *Signal Detection Theory and Psychophysics*, Los Altos, CA: Peninsula Publishing, 1988.

Greenstein, J. S. y L. Y. Arnaut, 1988, "Input Devices", en *Handbook of Human-Computer Interaction*, Ed. M. Helander, Amsterdam: Elsevier/Holanda.

Harpster, J. L., A. Freivalds, G. Shulman y H. Leibowitz, "Visual Performance on CRT Screens and Hard-Copy Displays, *Human Factors*, 31 (1989), pp. 247-257.

Helander, J. G., T. K. Landauer y P. V. Prabhu, eds., *Handbook of Human-Computer Interaction*, 2a. ed., Amsterdam: Elsevier, 1997.

Hick, W. E., "On the Rate of Gain of Information", *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4 (1952), pp. 11-26.

Human Factors Society, 1988, *American National Standard for Human Factors Engineering of Visual Display Terminal Workstations, ANSI/HFS 100-1988*, Santa Monica, CA: Human Factors Society.

Hyman, R., "Stimulus Information as a Determinant of Reaction Time", *Journal of Experimental Psychology*, 45 (1953), pp. 423-432.

Langolf, G., D. Chaffin y J. Foulke, "An Investigation of Fitts' Law Using a Wide Range of Movement Amplitudes", *Journal of Motor Behavior*, 8, No. 2 (junio, 1976), pp. 113-128.

Mayhew, D. J., *Principles and Guidelines in Software User Interface Design*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992.

Miller, G., "The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information", *Psychological Review*, 63 (1956), pp. 81-97.

Sanders, M. S. y E. J. McCormick, *Human Factors in Engineering and Design*, 7a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1993.

Stroop, J. R., "Studies of Interference in Serial Verbal Reactions", *Journal of Experimental Psychology*, 18 (1935), pp. 643-662.

Wickens, C. D., "Processing Resources in Attention", en *Varieties of Attention*, Ed. R. Parasuraman y R. Davies, Nueva York: Academic Press, 1984.

Wickens, C. D., S. E. Gordon y Y. Liu, *An Introduction to Human Factors Engineering*, Nueva York: Longman, 1997.

Yerkes, R. M. y J. D. Dodson, "The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit Formation", *Journal of Comparative Neurological Psychology*, 18 (1908), pp. 459-482.

SOFTWARE SELECCIONADO

Design Tools (incluido en el libro), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

SITIOS EN INTERNET

Ejemplos de malos diseños ergonómicos: http://www.baddesigns.com/

CAPÍTULO 8

Implantación del método propuesto

PUNTOS CLAVE:

- Decidir entre métodos alternativos, usando ingeniería del valor, análisis de costo-beneficio, gráficas cruzadas y análisis económico.
- *Vender* el nuevo método; las personas se resisten al cambio.
- Establecer tasas básicas razonables usando evaluaciones confiables del trabajo.
- Ubicar a trabajadores con todo tipo de habilidades.

Presentar e instalar el método propuesto es el quinto paso en el desarrollo sistemático de un centro de trabajo para fabricar un producto o proporcionar un servicio. Sin embargo, el analista debe primero elegir qué método propuesto presentar. Es posible que tenga varios métodos factibles, algunos más efectivos que otros, algunos más costosos que otros. En este capítulo se presentan distintas herramientas para la toma de decisiones que ayudan al analista a seleccionar la mejor alternativa. Es evidente que la definición de "mejor" puede comprender muchos factores y estas herramientas asistirán al analista en su ponderación apropiada.

Vender el método propuesto es el siguiente elemento, y quizá el más importante, del procedimiento de presentación. Este paso es tan importante como cualquiera de los anteriores, pues un método no vendido casi nunca se queda instalado. No importa qué tan extensos hayan sido la recolección de datos y el análisis, ni qué tan ingenioso sea el nuevo método, el valor del proyecto es cero a menos que se ponga en práctica.

Los seres humanos, por naturaleza, resienten los intentos de otros por influir en su pensamiento. Cuando alguien se acerca con una idea nueva, la reacción instintiva es defenderse contra ella y resistirse a los cambios. Cada persona siente que debe proteger su propia individualidad, preservar la santidad de su ego. Todos tenemos el suficiente ego-

centrismo como para convencernos de que nuestras ideas son mejores que las de todos los demás. Es natural reaccionar de esta manera, aun cuando la nueva idea nos traiga beneficios. Si ésta tiene algún mérito, existe una tendencia a resentirla porque no pensamos en ella antes.

La presentación del método propuesto debe incluir la toma de decisiones que condujo a la elección del diseño final y hacer hincapié en los ahorros que pueden lograr. El informe del analista debe resaltar los ahorros en materiales (tanto directos como indirectos) y en mano de obra (directa e indirecta).

La segunda parte de la presentación es la calidad y confiabilidad de la mejora posible al instalar el método mejorado. Los administradores progresistas reconocen que la clave para la supervivencia continua de cualquier productor de bienes o servicios es la habilidad para suministrar materiales de calidad de manera oportuna y consistente.

La tercera parte importante de la presentación es la recuperación de la inversión de capital. Una vez presentado y vendido el método propuesto, se puede instalar. Al igual que la presentación, la instalación requiere habilidades de ventas. Durante la instalación, el analista debe continuar con la venta del método propuesto a los ingenieros y técnicos en su propio nivel, a los ejecutivos y supervisores, y a la mano de obra y los representantes organizados de los trabajadores.

HERRAMIENTAS DE TOMA DE DECISIONES

TABLAS DE DECISIONES

Las *tablas de decisiones* constituyen un enfoque estructurado para eliminar la subjetividad de la toma de decisiones, es decir, para determinar cuál entre varios cambios de método alternativos debe implantarse. Las tablas en esencia consisten en afirmaciones de condición-acción, similares a las afirmaciones de si-entonces en los programas de computadora. "Si" la condición o combinación de condiciones correcta existe, "entonces" se realizan acciones específicas. De este modo, las tablas pueden describir, sin ambigüedades, sistemas de decisión complejos, con múltiples reglas y múltiples variables de decisión.

Esas tablas de decisiones, también conocidas como *tablas de acciones de riesgo*, con frecuencia se usan en programas de seguridad para especificar ciertas acciones ante ciertas condiciones de riesgo. Ese riesgo se puede identificar mediante dos variables: la frecuencia, qué tan seguido es posible que ocurra el accidente, y la severidad, qué tan grave será la pérdida. La frecuencia se clasifica en remota extrema, remota, de probabilidad razonable y de probabilidad alta, mientras que la severidad tiene niveles de despreciable, marginal, crítica y catastrófica. El resultado es una tabla de acciones con cinco planes, como se muestra en la tabla 8–1.

Considere la columna de la derecha marcada con un asterisco. El analista puede concluir que una condición que tiene una alta probabilidad y cuyo resultado sería catastrófico, con muerte posible o lesiones severas al personal, debe eliminarse de inmediato cerrando la operación (Gausch, 1972). Es obvio que este es un ejemplo simplificado cuyo panorama se puede apreciar mentalmente. Sin embargo, si se tienen 20 estados para cada una de las variables, entonces existen 400 categorías de condiciones, que no

Tabla 8–1 Tabla de acciones ante riesgos

	Severidad															
Frecuencia	**Despreciable**				**Marginal**				**Crítica**				**Catastrófica**			
Remota extrema																
Remota																
Probabilidad razonable																
Probabilidad alta																
Acciones																
Olvidarlo																
Estudio extenso																
Corregir (1 año)																
Corregir (90 días)																
Corregir (30 días)																
Cerrar																

Fuente: Heinrich, Peterson y Roos, 1980.

es sencillo recordar. En general, las tablas de decisión recalcan una toma de decisiones de mejor calidad con la ayuda de técnicas de análisis de decisión y de una menor presión de tiempo, es decir, los planes de acción se pueden trabajar con antelación en lugar de tener que manejar presiones instantáneas, y tal vez resultados equivocados.

INGENIERÍA DEL VALOR

Una manera sencilla de ampliar la evaluación de alternativas es aplicar números y formar una matriz de pagos. Esto muchas veces recibe el nombre de *ingeniería del valor* (Gausch, 1974). Cada solución puede tener distintos valores respecto a los beneficios deseados. Se determina un peso para cada beneficio (0 a 10 es un intervalo razonable) y después se asigna un valor (0 a 4, donde 4 es el mejor) para reflejar si cada solución produce el resultado deseado. El valor asignado se multiplica por el peso adecuado y los productos se suman para obtener una calificación final. La suma más alta es la solución más apropiada.

Observe que los beneficios tendrán pesos relativos distintos según la compañía, los diferentes departamentos dentro de la compañía e incluso en momentos distintos dentro del mismo departamento. También observe que el paso de alternativas de evaluación de la planeación sistemática de la distribución de Muther (capítulo 3) es una forma de ingeniería del valor.

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Un enfoque más cuantitativo para decidir entre las alternativas es un *análisis costo-beneficio*. Este enfoque requiere cinco pasos:

1. Determinar qué cambia debido a un mejor diseño, es decir, incremento en la productividad, mayor calidad, menos lesiones, etcétera.
2. Cuantificar estos cambios (beneficios) en unidades monetarias.
3. Determinar el costo requerido para implantar los cambios.
4. Dividir el costo entre el beneficio para cada alternativa, a fin de crear una razón.
5. La razón más pequeña establece la alternativa deseada.

El paso 2 es tal vez el más difícil de evaluar y cuantificar. No siempre es posible asignar valores en dólares; en ocasiones pueden ser porcentaje de cambios, lesiones o algún otro valor. El ejemplo 8-1 se presenta para ayudar a entender las tres herramientas de decisión. En Brown (1976) se presentan otros ejemplos de análisis de costo-beneficio según su relación con beneficios no tan bien definidos, como los aspectos de salud y seguridad.

EJEMPLO 8–1 Operación de corte

La Dorben Co. fabrica navajas de cuchillo sencillas y pequeñas, insertadas en un mango de plástico. Una de las operaciones en el formado de la navaja es el corte de una cinta delgada de acero inoxidable en una prensa operada con el pie. Con unas pinzas, el obrero toma una punta de hule del contenedor de partes y la inserta en la navaja para protegerla. Después de activar la prensa coloca la navaja cortada en un sostenedor para más tarde ensamblarla con el mango (¡un buen ejemplo de un therblig de *preposicionar*!). Debido al tamaño pequeño de la navaja se usa un estereoscopio para ayudar en la operación. Los operarios se quejan de dolor en muñecas, cuello, espalda y tobillo. Los cambios posibles en el método incluyen: 1) sustituir el pedal mecánico con un botón eléctrico para pie que reduzca la fatiga del tobillo; 2) ajustar mejor la posición del estereoscopio para reducir la fatiga del cuello; 3) implantar un sistema de videoproyección para la observación con la cabeza hacia arriba; 4) usar un alimentador por gravedad para las puntas a fin de mejorar la productividad, y 5) sustituir las pinzas con una pluma operada al vacío, para mejorar la productividad y eliminar el DTA potencial que causa el agarre por contracción.

Suponga que se obtienen las mejoras a la productividad mostradas de la tabla 8–2, basadas en el análisis MTM-2 (vea el capítulo 13) y las reducciones de lesiones basadas en el índice de riesgo de DTA (consulte la figura 5–25).

Tabla 8–2 Cambios esperados en productividad, riesgo potencial de lesiones y costo de los cambios con diferentes métodos para una operación de corte

Diseño del trabajo y cambios en métodos	Δ productividad (%)	Δ riesgo de DTA (%)	Costo ($)
1. Botón eléctrico operado con el pie	0	−1*	175
2. Ajuste de estereoscopio	0	−2	10
3. Sistema de videoproyección	+1**	−2	2000
4. Alimentador por gravedad	+7	−10	40
5. Pluma de vacío	+1**	−40	200

*El índice de riesgo actual de DTA no incluye extremidades inferiores, pero hay razón para creer que al aplicar menos fuerza con el botón eléctrico se obtendrán efectos benéficos.
**No se puede cuantificar a partir del MTM-2, pero se espera algún beneficio.

Tabla 8–3 Tabla de decisiones para la operación de corte

Cambios en el método	Condiciones				Acción
	# 1	# 2	# 3	Política	
1. Botón eléctrico					—
2. Ajuste de estereoscopio					—
3. Sistema de videoproy.					—
4. Alimentador por gravedad					Proceder
5. Pluma de vacío					Proceder

Tabla 8–4 Análisis de ingeniería del valor de la operación de corte

Evaluación de alternativas

Planta Dorben Co.		A		B		C		D		E		
Proyecto: Operación de corte	**Alternativas**	Botón eléctrico		Ajuste de estereoscopio		Video-proyección		Alimentación por gravedad		Pluma de vacío		
Fecha: 6-12-97												
Analista: AF												
		Calificaciones y calificaciones ponderadas										
Factor/consideración	**Wt**	**A**		**B**		**C**		**D**		**E**		**Comentarios**
Aumento en productividad	6	0	0	0	0	1	6	3	18	1	6	
Disminución de lesiones	4	1	4	1	4	1	4	2	8	3	12	
Solución de bajo costo	8	3	24	4	32	1	8	4	32	3	24	
Totales		28		36		18		58		42		

Observaciones:
El alimentador por gravedad es el cambio de método con mejor justificación.

La política de la compañía autoriza a los ingenieros a proceder, sin otra autorización, si la condición 1 y ya sea la condición 2 o la condición 3 se cumplen: 1) los costos de implantación son menores que 200 dólares (es decir, efectivo de caja chica), 2) el aumento de la productividad es mayor que 5%, 3) los riesgos de lesiones decrecen más de 33%. En términos de tablas de decisión, la situación se puede estructurar como se muestra en la tabla 8–3.

En términos de ingeniería del valor, se pueden asignar pesos de 6, 4 y 8 a los tres factores de interés: mayor productividad, disminución en las tasas de lesiones y soluciones de bajo costo, (vea la tabla 8–4). Cada solución se califica de 0 a 4 para cada factor. Las sumas de productos que se obtienen son 28, 36, 18, 58 y 42, y es evidente que el cambio al alimentador por gravedad con 58 es la mejor solución.

Tabla 8–5 Análisis de costo beneficio para la operación de corte

Cambios de métodos	Beneficio ($) Productividad	Tasa de lesiones	Total	Costo ($)	Costo-beneficio
1. Botón eléctrico	0	60	60	175	2.92
2. Ajuste de estereoscopio	0	120	120	10	0.08
3. Sistema de videproyección	645	120	765	2000	2.61
4. Alimentación por gravedad	4515	600	5115	40	0.01
5. Pluma al vacío	645	2400	3045	100	0.03
6. Cambio en los métodos #2, #4, #5	5160	3120	8280	150	0.02

Para un análisis de costo-beneficio, se pueden cuantificar los beneficios anticipados tanto por el incremento de la productividad, como por la disminución de lesiones. Suponga que las ganancias de la compañía son $645 por cada 1% de aumento en la productividad en el curso de un año (los detalles de costos se presentan en el capítulo 16). De manera similar, la disminución en compensaciones y costos médicos debida a la disminución en lesiones DTA se puede considerar un beneficio. La compañía estima que en promedio cada cinco años de operación tiene un caso de DTA que llega a cirugía. Si se supone que un caso de cirugía cuesta a la compañía $30 000, la pérdida anual esperada es $6000. Por cada disminución de 1% en el riesgo, la compañía se beneficia con $60 anuales. Los incrementos en la productividad y disminuciones en las tasas de lesiones se pueden cuantificar como se muestra en la tabla 8–5.

De la tabla 8–5, es obvio que para cualquier razón menor que uno (cambios en los métodos #2, #4, #5 y #6) no hay más beneficios que los costos requeridos para implantar el método. Por otro lado, el cambio de método #4 tiene mucho mayor efectividad en costos. Es interesante observar que una combinación de cambios de los métodos #2, #4 y #5 (o #6) quizá valga la pena si se consideran las pequeñas cantidades relativas de gasto en dólares.

GRÁFICAS CRUZADAS

Las *gráficas cruzadas* (o *de punto de equilibrio*) son muy útiles para decidir entre dos cambios de método alternativos. Se puede usar equipo de propósito general con costo de capital bajo pero mayores costos de preparación, mientras que otros pueden usar equipo especial con un costo de capital más alto pero menores costos de preparación. En cierta cantidad de producción los métodos son iguales y éste es el *punto de cruce*. Esto se relaciona con el error más común de quienes hacen la planeación. Grandes cantidades de dinero se comprometen en dispositivos que muestran ahorros mientras se usan, pero se usan pocas veces. Por ejemplo, es normal que un ahorro de 10% en los costos de mano de obra directa en un trabajo constante justifique un gasto mayor en herramientas que un ahorro de 80 o 90% en trabajos pequeños que aparecen en la programación de la producción sólo unas cuantas veces al año (un buen ejemplo del análisis de Pareto en el capítulo 2).

La ventaja económica de menores costos de mano de obra es el factor de control al determinar el herramental; en consecuencia, quizá los dispositivos sean deseables incluso cuando se trata de pequeñas cantidades. Otras consideraciones, como mejoras en

la intercambiabilidad, aumentos en la exactitud o reducción de problemas con la mano de obra, pueden proporcionar una razón dominante para herramental complejo, aunque esto no suele ocurrir.

TOMA DE DECISIONES CON CRITERIOS MÚLTIPLES

La toma de decisiones en presencia de criterios múltiples, con frecuencia en conflicto, puede analizarse mediante un proceso relativamente nuevo llamado *toma de decisiones con criterios múltiples* (TDCM), desarrollado por Saaty (1980). Por ejemplo, suponga que un analista considera cuatro alternativas (a_1, a_2, a_3, a_4), que se aplican a cuatro estados posibles del producto o mercado (S_1, S_2, S_3, S_4). También suponga que este analista estima los siguientes resultados para las alternativas y estados del mercado:

	Estados del producto o mercado				
Alternativas	S_1	S_2	S_3	S_4	Total
a_1	0.30	0.15	0.10	0.06	0.61
a_2	0.10	0.14	0.18	0.20	0.62
a_3	0.05	0.12	0.20	0.25	0.62
a_4	0.01	0.12	0.35	0.25	0.23
Total	0.46	0.53	0.83	0.76	

Si el resultado representa ganancias o rendimientos y el estado del mercado será S_2, entonces el analista debe decidirse por la alternativa a_1. Si el resultado representa desperdicio o algún otro factor que el analista quiere minimizar, entonces debe elegir la alternativa a_3. (Aunque a_4 también tiene un resultado de 0.12, el analista elige a_3, puesto que existe menos variabilidad en el resultado con esta alternativa que con la a_4.) Pocas veces se pueden tomar decisiones con una supuesta certidumbre. Es común que esté involucrado algún riesgo en la predicción del estado futuro del mercado. Suponga que el analista tuvo la oportunidad de estimar los siguientes valores de probabilidad asociados con cada uno de los cuatro estados del mercado:

S_1	0.10
S_2	0.70
S_3	0.15
S_4	0.05
	1.00

EJEMPLO 8–2 Análisis cruzado de costos de dispositivos y herramientas

El ingeniero de producción en un departamento de maquinado ha formulado dos métodos alternativos con herramientas diferentes para un trabajo de maquinado en el taller. Los datos de los métodos actual y propuesto se muestran en la tabla 8–6. ¿Qué método será más económico respecto a la actividad? El salario base es $9.60 por hora. La actividad estimada es 10 000 piezas por año. Los dispositivos se capitalizan y deprecian en cinco años. Un análisis de costos revela que el costo unitario total de $0.077, representado por la alternativa 2, es el más económico a la larga.

Una gráfica cruzada (figura 8–1) permite al analista decidir qué método usar para los requerimientos de cantidad dados. El método actual es el mejor para cantidades hasta cerca de 7 700 anuales:

$$(0.137 + 0.0006)x + 0 = (0.097 + 0.001)x + 300$$
$$x = 300/(0.137 - 0.098) = 7\,692 \approx 7\,700$$

El método alternativo #1 es mejor para cantidades entre 7 700 y 9 100 anuales:

$$(0.097 + 0.001)x + 300 = (0.058 + 0.007)x + 600$$
$$x = 300/(0.098 - 0.065) = 9\,090 \approx 9\,100$$

y el método #2 es mejor para cantidades mayores que 9 100 al año. Observe que en este último enfoque, los costos de los dispositivos se absorben al principio, en tanto los costos de las herramientas se consideran gastos en consumibles.

Tabla 8–6 Costos de dispositivos y herramientas

Método	Tiempo estándar (minutos)	Costo de dispositivo	Costo total	Vida promedio herramienta	Costo unitario mano de obra directa	Costo unitario dispositivo	Costo unitario herramienta	Costo unitario total
Actual	.856 c/u	Ninguno	$ 6	10 000 pzas.	$0.137	Ninguno	$0.0006	$0.1376
Alt. 1	.606 c/u	$300	$20	20 000 pzas.	$0.097	$0.006	$0.0010	$0.104
Alt. 2	.363 c/u	$600	$35	5 000 pzas.	$0.058	$0.012	$0.0070	$0.077

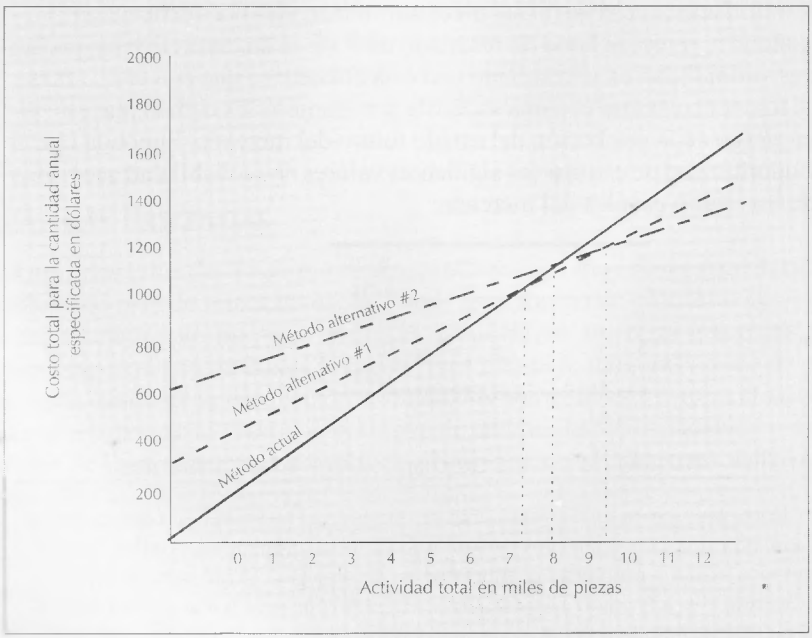


Figura 8–1 Gráfica cruzada (de punto de equilibrio) para costos de dispositivo y herramientas

EJEMPLO 8–3 Análisis cruzado de métodos en competencia

Un volumen insuficiente tal vez haga impráctico considerar muchas propuestas alternativas que ofrezcan ahorros sustanciales respecto a los métodos existentes. Por ejemplo, una operación en una prensa de taladro incluía una perforación de 5 pulgadas rebajada a una tolerancia de 0.500 a 0.502 pulgadas. La actividad de la tarea se estimaba en 100 000 piezas. El departamento de estudios y movimientos estableció un estándar de 8.33 horas por cada mil para realizar el barreno y el dispositivo para hacerlo tiene un costo de $2000. Como estaba vigente una tasa base de $7.20 por hora, la tasa de dinero por cada mil piezas era $60.

Ahora suponga que un analista de métodos sugiere barrenar el diámetro interior debido a que la parte se puede barrenar a una tasa de mil en 5 horas. Esto ahorraría 3.33 horas por cada mil piezas, o un ahorro total de 333 horas. A la tasa base de $7.20, esto significa ahorros en mano de obra directa de $2 397.60. Sin embargo, esta idea no es práctica porque el costo de la herramienta para barrenar es $2 800. Entonces, el cambio no es razonable a menos que los ahorros en mano de obra se puedan incrementar a $2 800 para compensar el costo de la nueva herramienta.

Como los ahorros en mano de obra con la nueva herramienta serían de $3.33 \times \$7.20$ por cada mil, tendrían que ordenarse 116 800 piezas para justificar el cambio.

$$\frac{\$2800 \times 1000}{\$7.20 \times 3.33} = 116\,783 \text{ piezas}$$

Sin embargo, si el método de barrenar se usa desde el principio en lugar del procedimiento de rebaje, la herramienta se paga sola con

$$\frac{\$2800 - \$2000}{\$7.20 \times 3.33/M} = 33.367 \text{ piezas}$$

Con requerimientos de producción de 100 000 piezas, el ahorro en mano de obra sería $3.33 \times \$7.20 \times 66.6$ miles (la diferencia entre 100 000 y 33 400) = $1 596.80 más costoso que el método actual. Si el analista de movimientos hubiera participado en la etapa de planeación, este ahorro hubiera podido aprovecharse. La figura 8–2 ilustra estas relaciones con la gráfica cruzada acostumbrada.

Una estrategia de toma de decisiones lógica sería calcular el retorno esperado con cada alternativa de decisión y después elegir el valor más grande para maximizar o el valor más pequeño si se quiere minimizar. En este caso,

$$E(a) = \sum_{j=1}^{n} P_j C_j$$

$$E(a_1) = 0.153$$

$$E(a_2) = 0.145$$

$$E(a_3) = 0.132$$

$$E(a_4) = 0.15$$

Así, se elegiría la alternativa a_1 para maximizar el resultado deseado.

EJEMPLO 8–3 *(continuación)*

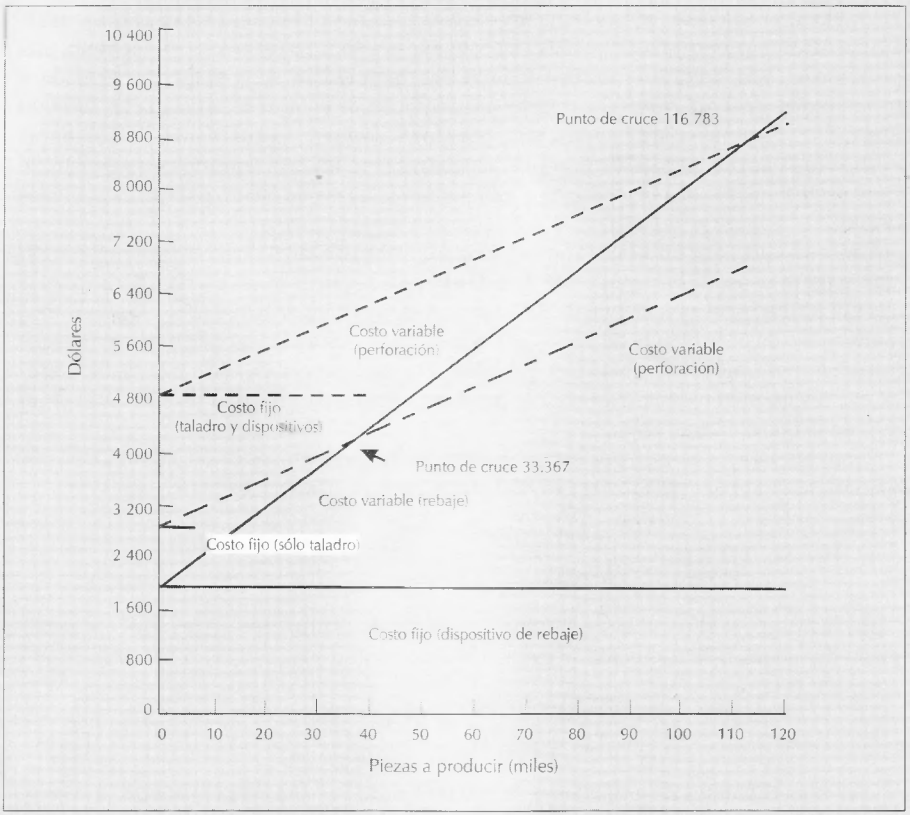


Figura 8–2 Gráfica cruzada que ilustra los costos fijos y variables de dos métodos en competencia

Una estrategia diferente de toma de decisiones sería considerar el estado del mercado que tiene la mayor oportunidad de ocurrir. De los datos dados, este estado sería S_2, ya que tiene una probabilidad de 0.70. La elección, basada de nuevo en el futuro más probable, sería la alternativa a_1, con un retorno de 0.15.

Una tercera estrategia de toma de decisiones se basa en un *nivel de aspiración*. Aquí, se asigna un valor al resultado (C_{ij}), que representa la consecuencia de lo que se está dispuesto a aceptar si se tiene una seguridad razonable de que se obtendrá, al menos esta consecuencia la mayor parte del tiempo. Se puede pensar que este valor asignado representa un nivel de aspiración, que se denotará por A. Entonces, para cada a_j, se determina la probabilidad de que la C_{ij} correspondiente a cada alternativa de decisión sea mayor que o igual a A. Se selecciona la alternativa con la mayor $P(C_{ij} \geq A)$.

Por ejemplo, si se asigna un valor de consecuencia de 0.10 a A, se tiene lo siguiente:

$$(C_{ij} \geq 0.10)$$
$$a_1 = 0.95$$
$$a_2 = 1.00$$
$$a_3 = 0.90$$
$$a_4 = 0.90$$

Como la decisión de la alternativa a_2 tiene la mayor $P(C_{ij} \geq A)$, se recomienda a_2.

Quizá no sea posible que los analistas asignen valores de probabilidad a los distintos estados del mercado con confianza y tal vez quieran considerar que algunos son igualmente probables. Una estrategia de toma de decisiones que se puede usar en estas circunstancias se basa en el *principio de razón insuficiente*, ya que no hay razón para esperar que algún estado sea más probable que otro. En este caso, se calculan los diferentes valores esperados según:

$$E(a) = \frac{\sum_{j=1}^{n} C_{ij}}{n}$$

En el ejemplo, los resultados que se obtienen son:

$$E(a_1) = 0.153$$
$$E(a_2) = 0.155$$
$$E(a_3) = 0.155$$
$$E(a_4) = 0.183$$

Con estas opciones, se propondría la alternativa cuatro.

Una segunda estrategia que pueden considerar los analistas al tomar decisiones bajo incertidumbre se basa en el *criterio de pesimismo*. El pesimista espera lo peor. Por lo tanto, en un problema de maximización, se elegiría la consecuencia mínima para cada alternativa de decisión. El analista compara esos valores mínimos y selecciona la alternativa con el máximo de los valores mínimos. En el ejemplo:

Alternativa	C_{ij} mín.
a_1	0.06
a_2	0.10
a_3	0.05
a_4	0.01

En este caso se recomendaría la alternativa a_2 ya que su valor mínimo de 0.10 es un máximo al compararlo con los valores mínimos de las otras alternativas.

El *criterio de especulación* es la tercera estrategia de toma de decisiones que los analistas pueden tomar en cuenta. Este criterio se basa en un enfoque optimista. Una

persona optimista espera lo mejor, sin importar la alternativa elegida. Por lo tanto, en un problema de maximización, el analista selecciona el C_{ij} máximo para cada alternativa y después el mayor de estos valores. Entonces:

Alternativa	C_{ij} máx.
a_1	0.30
a_2	0.20
a_3	0.25
a_4	0.35

Ahora se recomienda la alternativa a_4 por tener el valor máximo de 0.35.

La mayor parte de los tomadores de decisiones no son optimistas o pesimistas por completo. Más bien, es posible establecer un coeficiente de optimismo, X, donde:

$$0 \leq X \leq 1$$

Entonces, se determina Q_i para cada alternativa, donde:

$$Q_i = (X)(\text{máx } C_{ij}) + (1 - X)(\text{mín } C_{ij})$$

La alternativa recomendada es la que se asocia con la máxima Q_i para un problema de maximización y la mínima Q_i para uno de minimización.

Un último enfoque de toma de decisiones bajo incertidumbre es el *criterio del mínimo del arrepentimiento máximo* o *criterio de arrepentimiento minimax*. Éste incluye el cálculo de una *matriz de arrepentimiento*. Para cada alternativa, con base en un estado del mercado, el analista calcula un valor de arrepentimiento. Este valor es la diferencia entre el pago recibido en realidad y el pago que se hubiera recibido si el tomador de decisiones hubiera podido pronosticar con exactitud el estado del mercado.

Para construir la matriz de arrepentimiento, el analista elige el máximo C_{ij} para cada estado S_j y después resta el valor C_{ij} de cada alternativa asociada con ese estado. En el ejemplo, la matriz de arrepentimiento es:

	Estados			
Alternativa	S_1	S_2	S_3	S_4
a_1	0	0	0.25	0.19
a_2	0.20	0.01	0.17	0.05
a_3	0.25	0.03	0.15	0
a_4	0.29	0.03	0	0

Después el analista selecciona la alternativa asociada con el mínimo de los arrepentimientos máximos (minimax).

Alternativa	r_{ij} mín.
a_1	0.25
a_2	0.20
a_3	0.25
a_4	0.29

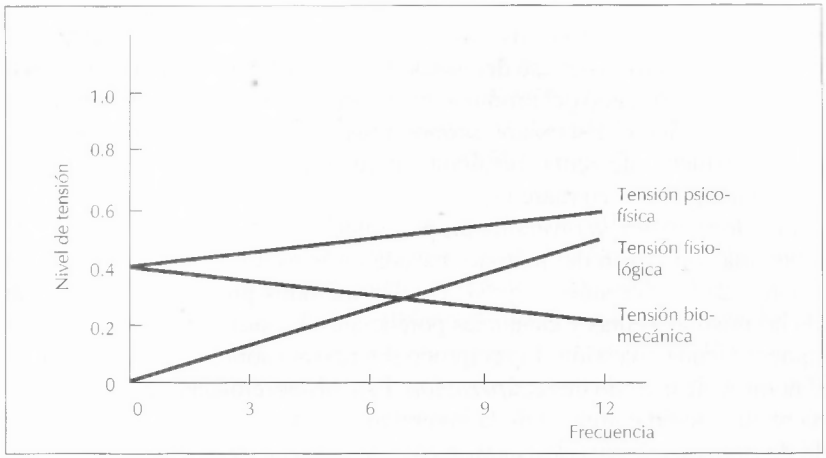


Figura 8–3 Niveles de estrés no aceptables usados para conciliar metas en conflicto. (*Tomado de:* Jung y Frievalds, 1991)

Según el criterio de arrepentimiento mínimo, se selecciona a_2 en vista de que tiene el menor valor de arrepentimiento de 0.20.

Este tipo de toma de decisiones es muy común en el manejo manual de materiales (capítulo 4), donde siempre existe un trueque entre la seguridad del trabajador y su productividad. Por ejemplo, un mayor enfoque en la seguridad del trabajador a través de la reducción de cargas y menor tensión biomecánica correspondiente en la espalda baja, implica una menor productividad en el manejo de la carga. Para mantener la productividad del trabajo en el nivel deseado, la reducción en la carga requiere un incremento en la frecuencia de la tarea, con las correspondientes demandas fisiológicas más pesadas. Una evaluación metabólica lleva a la conclusión de que el levantamiento no frecuente de cargas pesadas es preferible a levantar cargas ligeras con más frecuencia. Sin embargo, desde un punto de vista biomecánico, el peso de la carga debe minimizarse, sin importar la frecuencia, y el resultado es un conflicto. Jung y Frievalds (1991) examinaron este problema usando la TDCM para obtener un intervalo crítico de frecuencias de 1 a 12 levantamientos/min (figura 8–3). Para las tareas poco frecuentes (< 7/min), predomina el estrés biomecánico; en las tareas frecuentes (> 7/min), predomina el fisiológico; pero si son alrededor de 7 levantamientos/min participan por igual ambos tipos de tensión al determinar el nivel global para el trabajador. Así, según las alternativas y el efecto de cada una respecto a los atributos específicos de interés, se obtendrán soluciones diferentes. Los analistas deben familiarizarse con estas estrategias de toma de decisiones y deben usar las que sean más adecuadas para sus organizaciones.

HERRAMIENTAS DE DECISIONES ECONÓMICAS

Las tres técnicas de evaluación que se usan más a menudo para determinar si se desea hacer la inversión en un método propuesto son: 1) el método de retorno sobre ventas, 2) el método de retorno sobre la inversión o de periodo de recuperación y 3) el método de flujo de efectivo descontado.

El método de *retorno sobre ventas* involucra el cálculo de la razón de 1) la ganancia promedio anual obtenida a través del uso del método y 2) las ventas promedio anuales o el incremento en el valor agregado del producto en dólares, basado en la estimación pesimista de la vida del producto. Esta razón proporciona información sobre la efectividad del método y el esfuerzo de ventas resultante, pero no toma en cuenta la inversión original requerida para ponerlo en marcha.

El método de *retorno sobre la inversión* proporciona la razón de 1) la ganancia promedio anual obtenida con el uso del método, basada en la estimación pesimista de la vida del producto y 2) la inversión original. De dos métodos propuestos que darían como resultado las mismas ventas y ganancias potenciales, la administración preferiría usar el que requiere menor inversión. El recíproco del retorno sobre la inversión a menudo recibe el nombre de método de *recuperación*. Éste proporciona el tiempo que lleva realizar una recuperación completa de la inversión original.

El método de *flujo de efectivo descontado* calcula la razón de 1) el valor presente del flujo de efectivo basado en un porcentaje de rendimiento deseado y 2) la inversión original. Este método calcula la tasa de flujo de dinero en la compañía y el *valor del dinero en el tiempo*. Éste es importante. Debido al interés que gana, un dólar hoy vale más que un dólar en cualquier fecha posterior. Por ejemplo, a un interés compuesto de 15%, un dólar hoy vale $2.011 dentro de cinco años. Para expresarlo de otra manera, un dólar recibido dentro de cinco años valdría alrededor de 50 centavos hoy. Puede pensarse que el interés es el rendimiento que se obtiene mediante la inversión productiva del capital.

Lo siguiente se aplica al concepto de valor presente:

Un solo pago		
– factor de valor futuro	(dado P, encontrar F)	$F = P(1 + i)^n$
– factor de valor presente	(dado F, encontrar P)	$P = F(1 + i)^{-n}$
Serie uniforme		
– factor de recuperación	(dado F, encontrar A)	$A = Fi / [(i + 1)^n - 1]$
– recuperación de capital	(dado P, encontrar A)	$A = Pi(1 + i)^n / [(1 + i)^n - 1]$
– factor de cantidad compuesta	(dado A, encontrar F)	$F = A[(1 + i)^n - 1] / i$
– factor de valor presente	(dado A, encontrar P)	$P = A[(1 + i)^n - 1] / i(1 + i)^n$

donde: i = tasa de interés para un periodo dado

n = número de periodos de interés

P = suma presente de dinero (valor presente de principal)

F = suma de dinero al final del n periodos desde la fecha actual; equivalente a P con interés i

A = pago al final de cada periodo en una serie uniforme que continúa los siguientes n periodos; la serie completa es equivalente a P con interés i

Una tasa de rendimiento supuesta (i) es la base del cálculo del flujo de efectivo. Todos los flujos de efectivo que siguen a la inversión inicial del nuevo método se estiman y ajustan a su valor presente, con esta tasa de rendimiento supuesta. Los flujos de efectivo totales calculados para la estimación pesimista de la vida del producto se suman como ganancia (o pérdida) en términos del efectivo que se tiene hoy. Por último, este total se compara a la inversión inicial.

Las estimaciones de la demanda del producto en 10 años se pueden desviar de manera considerable de la realidad. Entonces, se introduce un elemento de oportunidad y las probabilidades de éxito tienden a disminuir con periodos de recuperación más largos. Los resultados de cualquier estudio son válidos sólo tanto como los datos de entrada sean confiables. Con un seguimiento constante se determinará la validez de las suposiciones. El analista no debe dudar en alterar las decisiones si encuentra que los datos originales no son válidos. Con un análisis financiero razonable se intenta facilitar el proceso de toma de decisiones y no sustituir el buen juicio en los negocios.

EJEMPLO 8–4 Justificación económica del método propuesto

Un ejemplo debe aclarar el uso de los tres métodos para evaluar el potencial de un método propuesto.

Inversión del método propuesto: $10 000.
Rendimiento deseado sobre la inversión: 10%
Valor de recuperación de dispositivos y herramientas: $500.
Vida estimada del producto para el que se usará el método propuesto: 10 años

Valor presente del flujo de efectivo:

(3000)(0.9091) =	$2730	(3800)(0.5645) =	2140
(3800)(0.8264) =	3140	(3000)(0.5132) =	1540
(4600)(0.7513) =	3460	(2200)(0.4665) =	1025
(5400)(0.6830) =	3690	(1400)(0.4241) =	595
(4600)(0.6209) =	2860	(500)(0.3855) =	193
			$21 373

Valor de recuperación de herramientas:

$$(500)(0.3855) = \$193$$

Valor presente total de la ganancia bruta prevista y valor de recuperación de la herramienta: $21 566. La razón del valor presente a la inversión original es:

$$\frac{21\,566}{10\,000} = 2.16$$

El nuevo método pasa de manera satisfactoria los tres métodos de evaluación. Los rendimientos de 61% sobre ventas y de 32.2% sobre la inversión de capital representan tasas muy atractivas. El rendimiento de la inversión de capital de $10 000 tendrá lugar en 3.09

años y el análisis de flujo de efectivo revela que la inversión original se recupera en 4 años periodo en el que gana 10%. Durante la vida esperada de 10 años del producto, se ganarán $11 566 adicionales a la inversión original.

Tabla 8–7 Comparación de la justificación económica de los métodos

Final de año	Incremento en valor de ventas debido al uso del método propuesto	Costo de producción del método propuesto	Ganancia bruta debida al método propuesto
1	$ 5 000	$ 2 000	$ 3 000
2	6 000	2 200	3 800
3	7 000	2 400	4 600
4	8 000	2 600	5 400
5	7 000	2 400	4 600
6	6 000	2 200	3 800
7	5 000	2 000	3 000
8	4 000	1 800	2 200
9	3 000	1 600	1 400
10	2 000	1 500	500
Totales	$ 53 000	$ 20 700	$ 32 300
Promedio	$ 5 300	$ 2 070	$ 3 230

Rendimiento de ventas $= \frac{3230}{5300} = 61\%$ Rendimiento sobre la inversión $= \frac{3\,230}{10\,000} = 32.3\%$

Periodo de recuperación $= 1/0.323 = 3.09$ años

PRESENTACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO

Los analistas hacen su presentación tanto por escrito como en forma oral. Aun si la compañía no requiere un informe escrito, es una buena práctica hacerlo para tener un registro y como ayuda en aplicaciones futuras. Un informe bien escrito es un paso importante para vender el método propuesto; en él la sección de resumen tiene la mayor importancia, ya que quizá sea la única parte que lean los ejecutivos. El resumen se basa en el cuerpo del informe; en consecuencia, normalmente se escribe una vez terminado el cuerpo del informe. Sin embargo, se presenta al principio, para que quienes deben evaluar la propuesta tengan una forma rápida de obtener los hechos antes de tomar la decisión. El resumen debe contener tres elementos: un extracto con una explicación breve de la naturaleza del problema; conclusiones que describan los resultados del análisis, y las recomendaciones que resaltan el método propuesto y resumen los ahorros estimados y las mejoras en la calidad y la confiabilidad, además de la recuperación de los gastos de capital.

El cuerpo del informe incluye una sección de la naturaleza del problema, seguido de los detalles relativos a la recolección de datos y los métodos de análisis. Esa sección contiene las gráficas de flujo de los procesos y la operación usadas para presentar los hechos, al igual que las de procesos hombre-máquina, grupos y operario usadas para

desarrollar el centro de trabajo propuesto. Todos los bosquejos, dibujos y especificaciones muestran los detalles de los dispositivos propuestos y se incluyen los diseños de herramientas y máquinas. Cuando se recomiendan robots o procedimientos de automatización se incluyen los detalles de tipo, estilo y tamaño de las instalaciones propuestas. Se resaltan las mejoras previstas en calidad y confiabilidad, debidas a la consistencia y formalidad que se obtienen con la mecanización. Esta sección también contiene las razones de las conclusiones y recomendaciones dadas en el resumen. Todo el informe debe ser claro, conciso, completo y exacto. Debe prepararse de manera que su lectura y estudio sean sencillos.

Con frecuencia se pide a los analistas que presenten sus propuestas de métodos en una reunión. Para apoyar la aprobación de la propuesta, el analista debe preparar la presentación de los beneficios y ventajas con exactitud y firmeza. Debe proporcionar estimaciones de los incrementos resultantes en la productividad y/o las disminuciones en el costo. También debe presentar información sobre cualquier mejora en la calidad o en el servicio a los clientes. Éste es un buen momento para hablar de las reducciones en el tiempo de ciclo que dé como resultado mejores productos y servicios entregados más rápido al mercado.

El analista debe planear su presentación de antemano. Debe tener datos disponibles sobre las ventajas del método propuesto, los costos relacionados, los ahorros esperados y la recuperación esperada de la inversión de capital. El analista debe contar con toda la información que pueda requerir y estar preparado para suministrarla, lo mismo que para responder a las objeciones que surjan contra la propuesta. Éstas casi siempre se centran en el costo inicial, el tiempo requerido para adoptar el método y el inconveniente potencial mientras se lleva a cabo la instalación. El analista debe señalar que ha considerado con cuidado estas objeciones para manejarlas.

IMPLANTACIÓN

Una vez aprobado un método propuesto, el siguiente paso es instalarlo. Con mucha frecuencia, los analistas no participan lo suficiente durante los trabajos de esta etapa. No debe suponerse que la implantación se realizará de manera automática y de acuerdo con la propuesta. Una persona de mantenimiento, un mecánico o un trabajador puede hacer un pequeño cambio o modificación sin considerar las consecuencias. Esto quizá signifique que el método propuesto no logre los resultados esperados.

El analista debe participar en los trabajos de instalación, para asegurar que todos los detalles se realizan de acuerdo con el plan propuesto. Debe verificar que: el centro de trabajo que se establece está equipado con la maquinaria propuesta; se proporcionan las condiciones de trabajo planeadas; el herramental cumple con las recomendaciones, y que el progreso del trabajo es satisfactorio. Debe "vender" el nuevo método al operario, al supervisor, al personal de preparación y a otros. Entonces, cuando la instalación esté terminada, estos empleados contarán con una mayor aceptación del método propuesto.

Una vez instalado el nuevo centro de trabajo, el analista debe verificar todos los aspectos para ver si cumplen con las especificaciones establecidas. En particular, habrá de verificar que: las distancias de "alcanzar" y "mover" tienen la longitud correcta; las

herramientas cuentan con el filo adecuado; los mecanismos funcionan como se supone; se han resuelto los problemas de desorden; las características de seguridad son operativas; el material está disponible en las cantidades planeadas; las condiciones de trabajo asociadas con el centro son las previstas, y todas las partes que intervienen cuentan con la información del nuevo método.

Cuando todos los aspectos del nuevo método están listos para la operación, el supervisor asigna al operario que trabajará con el mismo. Entonces el analista debe estar junto al el operario todo el tiempo que sea necesario para asegurar que está familiarizado con la nueva asignación. Este periodo puede tomar unos cuantos minutos, varias horas o incluso varios días, dependiendo de la complejidad de la asignación y de la flexibilidad y poder de adaptación del trabajador.

Cuando el operario comienza a entender el método y es capaz de trabajar de manera sistemática, el analista puede proceder con otro trabajo. No obstante, no debe considerar terminada la etapa de instalación hasta verificar de nuevo el centro de trabajo varias veces los primeros días para asegurar que el método propuesto trabaja como se planeó. También debe observar a los supervisores para estar seguro de que verifican y supervisan el nuevo método.

RESISTENCIA AL CAMBIO

No es extraño que los trabajadores se resistan al cambio de método. Aunque muchos quieren ser, y de hecho se consideran, innovadores y de pensamiento progresista, la mayoría de las personas se sienten bastante cómodas con sus trabajos o centros de trabajo actuales, aunque quizá no sean lo más cómodo o agradable. El temor al cambio y el impacto que pueda tener en su trabajo, salario y seguridad sobrepasan otras preocupaciones (vea la jerarquía de necesidades humanas de Maslow, capítulo 18). Las reacciones del trabajador ante el cambio pueden ser bastante obstinadas e inexplicables, como lo experimentó Gilbreth en el siguiente ejemplo clásico. Mientras realizaba un estudio de movimientos en una fábrica de camas, observó que una mujer grande de edad madura planchaba las sábanas en una forma que con toda evidencia era muy ineficiente y fatigante. Para planchar cada sábana, tomaba una plancha grande y pesada, se sentaba y presionaba fuerte sobre la sábana, cerca de 100 veces por cada una. Se veía cansada y tenía dolor de espalda. Con unos cuantos cambios en el diseño del trabajo y con el uso de contrapesos para detener la sábana (el equivalente del equilibrador de herramientas moderno), redujo mucho la carga física del trabajo. Sin embargo, la reacción de la mujer fue opuesta a la esperada. En lugar de ser la única trabajadora con la capacidad física para realizar el trabajo (y recibir elogios de su supervisor), ahora era sólo una más. Su posición se perdió y se opuso con fuerza al cambio (DeReamer, 1980).

Así, es importante "vender" el nuevo método a los operarios, supervisores, mecánicos y otros. Debe notificarse a los empleados con suficiente anticipación sobre cualquier cambio en el método que les pueda afectar. La resistencia al cambio es directamente proporcional a la magnitud del mismo y al tiempo disponible para implantarlo. Por lo tanto, los cambios deben realizarse por pasos. No debe cambiarse una estación de trabajo completa, silla o banco y herramental, todo a la vez. Inicie con la silla, tal vez después las herramientas y por último cambie la estación de trabajo.

Explique las razones para el cambio. Las personas se resisten cuando no entienden. En lugar de sólo reemplazar la herramienta de agarre de pistola del trabajador para una superficie horizontal por una herramienta alineada, explique que esta herramienta pesa menos y requiere menos movimiento del brazo, es decir, su uso será más cómodo.

Como regla general para manejar los sentimientos, es mejor hacer hincapié en lo positivo, por ejemplo, "será mucho más sencillo usar esta nueva herramienta", y reste importancia a lo negativo, como, "esta herramienta es pesada e insegura". Haga que el trabajador participe en forma directa en el proceso de cambio de método o diseño del trabajo. Los trabajadores tienen un buen historial de seguir sus propias recomendaciones, y cuando se ha involucrado a los trabajadores en la toma de decisiones, en general se ha encontrado menos resistencia a los cambios. Un enfoque exitoso es formar comités de trabajadores o de equipos de ergonomía (capítulo 18).

Las amenazas, es decir, las represalias de la administración por no hacer el cambio, pueden ser contraproducentes y desencadenar emociones contrarias que resistan el cambio. Además, las personas muchas veces se oponen a los aspectos sociales del cambio más que a los técnicos. Por lo tanto, si es posible mostrar que otros empleados usan el mismo dispositivo, es más probable que acepten el cambio.

El último paso en la ingeniería de métodos, después de establecer los estándares adecuados, es mantener el método, esto es, determinar si se realizan las mejoras a la productividad previstas. Aquí, los ingenieros industriales deben ser muy cuidadosos al determinar si algún efecto se debe en realidad al nuevo método.

EFECTO DE HAWTHORNE

Éste es un estudio a menudo citado que hace énfasis en la necesidad de que el trabajador participe en los cambios de métodos o la planeación de la producción que lleva a la motivación y productividad. En realidad, se trata de una serie de estudios mal diseñados, a partir de los cuales es difícil obtener conclusiones científicas verdaderas, excepto por la necesidad de tener cuidado al suponer que las mejoras a la productividad se deben sólo a los cambios de métodos. El estudio inicial, menos conocido, era un proyecto conjunto entre el National Research Council y la Western Eletric Co. para examinar los efectos de la iluminación en la productividad. El estudio se realizó en una planta muy grande de Hawthorne (cerca de 40 000 trabajadores) no lejos de Chicago, entre 1924 y 1927. En general, la administración encontró que los empleados reaccionaban al cambio en la iluminación de la manera que esperaban que reaccionaran, es decir, se esperaba que al aumentar la cantidad de luz produjeran más, y así fue. Se suponía que al disminuir la cantidad de iluminación su producción sería menor, y también fue así. Un estudio de seguimiento probó este punto. Se cambiaron los focos y se permitió a los trabajadores suponer que la luz había aumentado. De hecho, los focos se sustituyeron por otros justo con los mismos watts. Sin embargo, los comentarios de los trabajadores sobre el aumento en la iluminación fueron favorables y respondieron con mayor productividad. De esta manera, los efectos fisiológicos se habían confundido con los efectos psicológicos (Homans, 1972).

Con base en estos resultados, la Western Electric decidió realizar una serie de estudios adicionales sobre las actitudes mentales y la efectividad de los trabajadores. Estos

son los estudios Hawthorne mejor conocidos, realizados en colaboración con Harvard School of Business Administration, de 1927 a 1932 (Mayo, 1960). Se colocó a seis operarias en un cuarto separado y se les sometió a distintas condiciones experimentales: 1) incentivos especiales de grupo para las seis trabajadoras, contrario a los más de 100 trabajadores en el departamento; 2) inclusión de dos descansos de 5 a 10 minutos; 3) días de trabajo más cortos; 4) semanas de trabajo más cortas, y 5) almuerzo y/o refrescos proporcionados por la compañía. Los cambios se discutieron antes con los seis operarios y se descartaron todos los que tuvieron objeciones serias. Después, también se analizaron los efectos de los cambios con las trabajadoras en un proceso de entrevistas más bien informal.

Como las trabajadoras recibían bien estas oportunidades para hablar de sus sentimientos, estas entrevistas estructuradas degeneraron en sesiones interminables de quejas. Fue interesante observar que la producción aumentó en general durante estos cinco años (excepto por cambios menores en los productos o paro/inicio por vacaciones), sin importar las condiciones de las pruebas. Además, las ausencias y días de enfermedad disminuyeron de manera considerable para las seis operarias en comparación con los otros trabajadores. La Western Electric, famosa por su preocupación por el bienestar de sus empleados, atribuyó este resultado, algo sorprendente, a la mayor preocupación por el trabajador, con la obtención de un incremento en la satisfacción social (Pennock, 1929-30).

Por desgracia, estas conclusiones están muy simplificadas ya que otros efectos se confundieron en el estudio. Hubo grandes variaciones en las prácticas de supervisión, se usaron mediciones diferentes e inconsistentes de la productividad durante los cinco años del estudio y se introdujeron cambios significativos en los métodos (Carey, 1972). Por ejemplo, se implantó un sistema de entrega por gravedad para el grupo experimental con el fin de contar los relevadores producidos; pero según el principio de economía del movimiento (capítulo 4), esto también tiende a aumentar las tasas de producción.

Independientemente de la controversia, los estudios Hawthorne tienen tres implicaciones: 1) se confirmó la regla básica de experimentación, "el hecho de medir algo provoca cambios"; 2) las relaciones humanas adecuadas actúan como un motivador fuerte (capítulo 18), y 3) es muy difícil separar los factores confundidos en un estudio no controlado. Por lo tanto, el analista debe ser cuidadoso al obtener conclusiones sobre la efectividad de los cambios de método sobre la productividad. Es posible que parte de los cambios en la productividad se deban a las mejoras en el ánimo o motivación del operario afectado. Además, cualquier medida de productividad, aunque en apariencia inocua, puede tener efectos no planeados si los trabajadores se dan cuenta de ellos y trabajan como se espera.

ANÁLISIS DE PUESTOS

El análisis de puestos en el centro de trabajo y la evaluación del cargo que se obtiene, tienen una relación estrecha con la instalación del método ideal y los tiempos estándar requeridos para realizar la operación. Éste es el sexto paso en el procedimiento sistemático al aplicar la ingeniería de métodos. Cada vez que se cambia un método, debe

modificarse la descripción del puesto para reflejar las condiciones, deberes y responsabilidades del nuevo método. Cuando se introduce un nuevo método, es necesario realizar un análisis del puesto, para poder asignar a un trabajador calificado al centro de trabajo y proporcionar una tasa base adecuada. Las tasas base deben asegurar que las tasas de dinero son conmensurables con las tasas locales para puestos similares; deben proporcionar diferenciales adecuados para los trabajos que requieren más habilidad y responsabilidad, y deben basarse en técnicas que se puedan explicar y justificar.

Las tasas base apropiadas son el resultado de la evaluación del puesto, una técnica para determinar en forma equitativa el valor relativo del trabajo con sus distintas asignaciones en una organización. La base de la evaluación de puestos es su análisis, un procedimiento para valorar con cuidado cada tarea y registrar los detalles del trabajo para que su evaluación sea justa. Antes de desarrollar una descripción del puesto, se estudian con cuidado todos los aspectos de la oportunidad, para asegurar que se usan los mejores métodos y que el operario está bien capacitado en los métodos prescritos.

En general, se incluyen las distintas responsabilidades, autoridades y consecuencias de malas decisiones en el análisis del puesto. El análisis también proporciona información respecto a las máquinas y herramientas usadas en la tarea, la capacidad requerida para solucionar problemas y las condiciones físicas y sociales relacionadas con el puesto. Este procedimiento es similar al utilizado en la guía de análisis de trabajo/lugar de trabajo en el capítulo 2, que se concentra, en particular, en los tensionantes físicos del trabajo y lugar de trabajo, en vez de las componentes mentales y cognitivas.

La descripción del puesto es una componente esencial del análisis del puesto. Las descripciones son una herramienta útil de supervisión que ayuda en la selección, capacitación y promoción de los empleados, y en la evaluación de la distribución del trabajo. La descripción del puesto debe identificar los deberes y responsabilidades específicos del trabajo y los requerimientos mínimos del trabajador que lo realiza. También debe resaltar que el trabajo se realice como está descrito y el hecho de hacerlo bien para obtener un producto o servicio con el menor costo y la mayor calidad.

Una descripción del puesto debe comenzar con un título adecuado y no debe contener ambigüedades en la descripción de lo que hace el trabajador. El trabajador debe participar en la definición exacta de las responsabilidades del puesto. Este procedimiento a menudo conduce al desarrollo de mejoras efectivas en costos. Una combinación de entrevistas personales y cuestionarios, junto con la observación directa, da como resultado una definición concisa de cada puesto y los deberes que incluye. Se incluyen las funciones físicas y mentales requeridas para realizar el trabajo y deben usarse palabras con significado definitivo como "dirigir, examinar, planear, medir y operar". Cuanto más exacta sea la descripción, mejor. La figura 8–4 ilustra el análisis de un puesto de apoyo en embarques y recepción que se usará en un plan de evaluación de puestos.

EVALUACIÓN DE PUESTOS

La evaluación de puestos es un procedimiento mediante el cual una organización clasifica sus trabajos en orden de valor o importancia. Los sistemas de evaluación de puestos se popularizaron durante los años de la Segunda Guerra Mundial. Era la única manera

PUESTO Empleado de recepción y embarque DEPTO. Embarques
HOMBRE x MUJER ___ FECHA _____ PUNTOS TOTALES 280 CLASE 5

DESCRIPCIÓN DEL PUESTO

Dirige y ayuda en la carga y descarga, conteo y recepción o rechazo de partes y suministros comprados, y después los distribuye a los departamentos correspondientes.

Examina lo recibido que no coincide con las órdenes de compra. Mantiene un archivo con órdenes de compra y embarque y conserva actualizadas las órdenes pendientes. Hace reportes diarios y semanales de envíos y reportes mensuales de inventario.

Ayuda en el empaque de todos los envíos nacionales y extranjeros. Elabora las solicitudes de formas de inspección para ciertos materiales recibidos y de formas de rechazo para todos los artículos defectuosos.

El puesto requiere un conocimiento amplio de la rutina de empaque, envío y recepción, distribución de planta, suministros para el taller y partes terminadas. Necesita conocimientos sobre rutinas sencillas de oficina. Habilidades para trabajo con otros departamentos, como el área de servicio y trato con proveedores. El puesto requiere mucha exactitud y responsabilidad. Los efectos de decisiones mal tomadas incluyen recepciones y envíos dañados, cantidades en inventario incorrectas y manejo de materiales adicional. El trabajo exige levantamientos hasta de 100 libas. Trabaja en colaboración con dos empleados clase 4 de empaque y envío.

Evaluación del puesto	Grado	Puntos
Educación	1	15
Experiencia y capacitación	2	50
Iniciativa e ingenio	3	50
Habilidad analítica	3	50
Requerimientos de personalidad	2	30
Responsabilidad de supervisor	1	25
Responsabilidad por pérdidas	1	10
Aplicación física	6	25
Aplicación visual o mental	1	5
Condiciones de trabajo	5	20
		280

Figura 8–4 Análisis de puesto para un trabajo de apoyo en recepción y embarque

de otorgar aumentos al salario, ya que en Estados Unidos el National War Labor Board había congelado todos los salarios. Una compañía tenía que demostrar que existían desigualdades en la empresa si quería iniciar ajustes al salario. Al introducir un sistema de evaluación de puestos, las compañías encontraron la forma de identificar las desigualdades en sueldos y/o salarios y obtener el permiso para otorgar aumentos.

El lector debe entender que, en general, los individuos piensan que otras personas en puestos similares trabajan menos y ganan más.

El objetivo primordial de cualquier plan de evaluación de puestos es determinar la compensación adecuada por el trabajo realizado en cada puesto. Un plan de evaluación de puestos bien elaborado incluye los siguientes aspectos:

1. Proporciona una base para explicar a los empleados por qué un puesto tiene una mayor (o menor) remuneración que otro.
2. Prepara una explicación para los empleados cuyos salarios se ajustan debido a un cambio de método.
3. Proporciona una base para la asignación de personal con las habilidades específicas para ciertos trabajos.
4. Ayuda a determinar los criterios para un puesto cuando se emplea personal nuevo o se otorgan promociones.
5. Ayuda en la capacitación del personal de supervisión.
6. Proporciona una base para determinar dónde existen oportunidades para mejorar los métodos.

SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE PUESTOS

La mayor parte de los sistemas de evaluación de puestos vigentes son una variación o combinación de cuatro sistemas importantes: el método de clasificación, el sistema de puntos, el método de comparación de factores y el método de mayor categoría o jerarquización. El *método de clasificación*, en ocasiones llamado *plan de descripción de grado*, consiste en una serie de definiciones diseñadas para dividir trabajos en grupos de salarios. Una vez definidos los niveles de grado, los analistas estudian cada puesto y lo asignan al nivel adecuado, con base en la complejidad de sus deberes y responsabilidades y en su relación con la descripción de otros niveles. La U.S. Civil Service Commission da un uso extenso a este plan.

Para aplicar este método de evaluación de puestos el analista debe tomar en cuenta el siguiente procedimiento:

1. Preparar una descripción de la escala de grados para cada tipo de puesto, como operación de maquinaria, operación manual, operaciones calificadas, o inspección.
2. Escribir las descripciones de grados en la escala con factores como:
   a. Tipo de puesto y complejidad de los deberes.
   b. Nivel educativo necesario para desempeñar el puesto.
   c. Experiencia necesaria para desempeñar el puesto.
   d. Responsabilidades.
   e. Demanda de esfuerzo.
3. Preparar las descripciones de cada puesto. Clasificar cada puesto según su descripción en el grado adecuado.

En el *sistema de puntos*, los analistas hacen una comparación directa de todos los atributos de un puesto con los de otros, con el siguiente procedimiento:

1. Establecer y definir los factores básicos comunes a la mayoría de los puestos, indicar los elementos de valor en todos los puestos.
2. Definir los grados específicos de cada factor.
3. Establecer los puntos que se acreditan a cada grado de cada factor.
4. Preparar una descripción de cada puesto.
5. Evaluar cada trabajo determinando el grado de cada factor contenido en él.
6. Sumar los puntos de cada factor para obtener los puntos totales de cada puesto.
7. Convertir los puntos de los puestos en tasas salariales.

El *método de comparación de factores* para la evaluación de puestos casi siempre contiene los siguientes elementos:

1. Determinar los factores y establecer el valor relativo de todas las tareas.
2. Establecer una escala de evaluación similar a la escala de puntos, pero con sus unidades en términos de dinero. Por ejemplo, un puesto de punto de comparación de $2 000 por mes quizá atribuya $800 al factor responsabilidad, $400 al de educación, $600 a las habilidades y $200 a la experiencia.
3. Preparar descripciones de puestos.
4. Evaluar cada factor de los puestos clave y clasificarlos de menor a mayor.
5. Determinar los salarios de cada puesto clave según sus factores. La asignación de dinero fija, de manera automática, las relaciones entre los trabajos para cada factor y, por lo tanto, establece la clasificación de puestos según sus factores.
6. Evaluar cada factor de otros puestos de acuerdo con los valores monetarios asignados a los distintos factores de los puestos clave.
7. Determinar el salario con la suma de los valores monetarios de los factores.

Ambos métodos, el sistema de puntos y la comparación de factores, son más objetivos y exhaustivos al evaluar los diferentes puestos; ambos planes estudian los factores básicos comunes a la mayoría de los puestos que influyen en su valor relativo. De los dos planes, es más común que se aplique el sistema de puntos y, en general, se considera el método de mayor exactitud para la clasificación ocupacional.

El *método de jerarquización* arregla los puestos en orden de importancia, o según su valor relativo. En este caso se considera todo el puesto y se incluye: la complejidad y grado de dificultad de los deberes; los requerimientos de áreas específicas de conocimiento; las habilidades necesarias; la experiencia requerida, y el nivel de autoridad y responsabilidad asignado al puesto. Este método se popularizó en Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial por su sencillez y facilidad de uso. En ese tiempo el National War Labor Board estableció como requisito que todas las compañías que trabajaban en contratos del gobierno debían tener algún tipo de sistema de clasificación de salarios. El método de jerarquización satisfacía ese requerimiento. El método de jerarquización se aplica mediante los siguientes pasos:

1. Preparar las descripciones de puestos.
2. Jerarquizar los puestos (es común hacerlo con los departamentos primero) en el orden de su importancia relativa.
3. Determinar la clase o grado para grupos de puestos, con el proceso de categorización.
4. Establecer salarios o intervalos de salarios para cada clase o grado.

En general, el método de jerarquización es menos objetivo que otros. En consecuencia, necesita un conocimiento mayor de todos los trabajos. Por esta razón, su uso no ha sido tan extenso en los últimos años.

SELECCIÓN DE FACTORES

Con el método de comparación de factores, muchas compañías usan cinco factores. En algunos programas de puntos es posible usar 10 factores o más. Sin embargo, es preferible usar un número pequeño de ellos. El objetivo es usar sólo los factores necesarios para obtener una diferenciación clara entre los puestos. Los elementos de cualquier trabajo se clasifican de acuerdo con:

1. Lo que un puesto exige del empleado en términos de factores físicos y mentales.
2. Lo que un puesto demanda del empleado en forma de fatiga física y mental.
3. Las responsabilidades que exige el puesto.
4. Las condiciones bajo las que se realiza el trabajo.

Se pueden incluir otros factores: educación, experiencia, iniciativa, ingenio, demandas físicas, demandas mentales y/o visuales, condiciones de trabajo, riesgos, responsabilidad por el equipo, procesos, materiales, productos y el trabajo y seguridad de los demás.

Estos factores están presentes en distintos grados en todos los puestos, y cualquiera de ellos contiene uno de los grados para cada factor. Los factores tienen la misma importancia. Para reconocer las diferencias en importancia, se asignan pesos o puntos a cada grado de cada factor, como se muestra en la tabla 8–8. La figura 8–5 ilustra una jerarquización completa de un puesto con datos que la fundamentan.

Se define con detalle cada grado de cada factor de manera que el grado que caracteriza la situación de trabajo que se estudia sea evidente. Por ejemplo, la educación se puede definir como requisito para el uso de matemáticas de taller, dibujos, instrumentos de medición o algunos conocimientos técnicos. La educación de grado uno puede requerir sólo poder leer y escribir, y sumar y restar números enteros. La educación de grado dos tal vez se defina como el uso de aritmética sencilla, como suma y resta de números decimales y fracciones, y la habilidad para leer dibujos sencillos y usar algunos instrumentos de medición como calibradores y reglas. Sería equivalente a los dos primeros años de enseñanza media. El grado tres de educación tal vez requiera el uso de dibujos más complicados, matemáticas de taller avanzadas, fórmulas de manuales y una variedad de instrumentos de medición precisos, además de conocimientos técnicos en un campo especializado. Sería equivalente a la enseñanza media terminada y cursos

Tabla 8–8 Puntos asignados a los factores y claves para los grados

Factores	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
Habilidades					
1. Educación	14	28	42	56	70
2. Experiencia	22	44	66	88	110
3. Iniciativa e ingenio	14	28	42	56	70
Esfuerzo					
4. Demanda física	10	20	30	40	50
5. Demanda mental y/o visual	5	10	15	20	25
Responsabilidad					
6. Equipo o proceso	5	10	15	20	25
7. Material o producto	5	10	15	20	25
8. Seguridad de otros	5	10	15	20	25
9. Trabajo de otros	5	10	15	20	25
Condiciones de trabajo					
10. Condiciones de trabajo	10	20	30	40	50
11. Riesgos inevitables	5	10	15	20	25

Fuente: National Electrical Manufacturers Association

cortos de capacitación técnica. El grado cuatro de educación podría requerir el uso de dibujos complicados y especificaciones, matemáticas de taller avanzadas y una amplia variedad de instrumentos de precisión para mediciones, además de conocimientos técnicos amplios. Sería equivalente a la enseñanza media terminada y cuatro años de capacitación técnica formal. Los requisitos del grado cinco de educación quizá sean conocimientos técnicos básicos suficientes para manejar problemas mecánicos, eléctricos y de otras ingenierías complicados y elaborados. Este grado sería equivalente a los cuatro años de capacitación técnica universitaria.

La experiencia evalúa el tiempo normal para que una persona con educación específica aprenda a realizar el trabajo de manera satisfactoria desde el punto de vista de calidad y cantidad. Aquí, el grado uno puede incluir hasta tres meses; el grado dos, de tres meses a un año; el grado tres, de uno a tres años; el grado cuatro, de tres a cinco años, y el cinco, más de cinco años. De manera similar, se identifica cada grado de cada factor con una definición clara y con ejemplos específicos, cuando sea necesario.

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO

Es necesario poder juzgar para evaluar cada puesto respecto al grado de cada factor requerido en el plan. En consecuencia, es deseable formar un comité para realizar la evaluación. Debe asignarse un comité separado para cada departamento de la compañía o negocio. Un comité típico incluye un presidente permanente (casi siempre de relaciones industriales o de ingeniería industrial), un representante del sindicato, el supervisor del departamento, el encargado del departamento y un representante de la administración (por lo común de relaciones industriales). El comité debe evaluar el mismo factor

CALIFICACIÓN DE PUESTOS — DATOS DE FUNDAMENTO
DORBEN MFG. CO.
UNIVERSITY PARK, PA

PUESTO: Maquinista (general) CÓDIGO: 176 FECHA: 12 de nov.

Factor	Grado	Puntos	Base de calificación
Educación	3	42	Requiere el uso de dibujos bastante complicados, matemáticas de taller avanzadas, variedad de instrumentos de precisión, conocimientos técnicos, equivalente a enseñanza media o primero de secundaria y dos o tres años de capacitación técnica.
Experiencia	4	88	Tres a cinco años de instalación, reparación y mantenimiento de máquinas herramienta y otros equipos de producción
Iniciativa e ingenio	3	42	Reconstruir, reparar y mantener una amplia variedad de máquinas herramienta de tamaño medio, estándar, automáticas y manuales. Diagnóstico de problemas, desensamble de máquinas y ajuste de partes nuevas como cojinetes antifricción y simples, ejes, engranes, levas, etc. Reemplazo de refacciones para manufactura. Requiere maquinado hábil y preciso con varias máquinas herramienta. Juicio rápido para diagnóstico y remedio de problemas para mantener la producción.
Demanda física	2	20	Esfuerzo físico intermitente requerido al desarmar, ensamblar, instalar y dar mantenimiento a las máquinas.
Demanda mental y/o visual	4	20	Requiere concentración mental y atención visual. Disponer, preparación, maquinado, verificación, inspección, ajuste de partes en máquinas.
Responsabilidad de equipo o proceso	3	15	El daño no suele exceder $900. Partes rotas de máquinas. El descuido en el manejo de engranes y piezas complicadas puede causar daños serios.
Responsabilidad de material o producto	2	10	Pérdidas probables debido a desperdicio de materiales o trabajo, rara vez mayor que $300.
Responsabilidad de la seguridad de otros	3	15	Se requieren medidas de seguridad para prevenir lesiones de otros: fijación correcta del trabajo a platos o mandriles, dispositivos de manejo, etcétera.
Responsabilidad del trabajo de otros	2	10	Responsable de dirigir a uno o más ayudantes gran parte del tiempo. Depende del tipo de trabajo.
Condiciones de trabajo	3	30	Condiciones algo desagradables debido a la exposición a aceite, grasa y polvo.
Riesgos inevitables	3	15	Expuesto a accidentes, como manos o pies machucados, pérdida de dedos, lesiones en los ojos por partículas lanzadas, posibles descargas eléctricas o quemaduras.

OBSERVACIONES: Total 307 puntos – asignación del puesto a la clase 4.

Figura 8–5 Forma para calificación y justificación de puestos

para todos los puestos antes de proceder con el siguiente factor. Por ejemplo, se evalúa el grado de habilidad de todos los puestos en el departamento que se estudia antes de seguir con otros factores, como esfuerzo, responsabilidad y condiciones de trabajo. Al usar este patrón, el comité mide el puesto, más que a la persona que está en él.

Los integrantes del comité deben asignar sus evaluaciones de grado en forma independiente de los otros integrantes. Debe existir una correlación razonable entre los diferentes evaluadores, digamos de 0.85 o más alta. Los integrantes deben analizar las diferencias, hasta que lleguen a un acuerdo sobre el nivel del factor.

CLASIFICACIÓN DE PUESTOS

Una vez evaluados todos los puestos, se calculan los puntos asignados a cada uno. Después, se determina el número de grados de mano de obra dentro de la planta. Este número es una función del intervalo de puntos que caracterizan a los puestos dentro de la planta. En general, el número de grados va de 8 (en plantas pequeñas e industrias menos especializadas) a 15 (plantas grandes e industrias especializadas) (vea la figura 8–6). Por ejemplo, si el intervalo de puntos de todos los trabajos en una planta va de 110 a 365, se pueden establecer los grados mostrados en la tabla 8–9. No son necesarios intervalos parecidos para distintos grados de trabajos. Es posible que al aumentar los intervalos de puntos sean deseables puestos con remuneraciones más altas.

Después se revisar la relación entre los puestos que quedan dentro de los distintos grados laborales para asegurar equidad y consistencia. Por ejemplo, no sería adecuado que un maquinista de clase A quedara en el mismo nivel de grado que un maquinista de clase B. Enseguida se asignan tasas de salarios por hora para cada grado. Estas tasas se

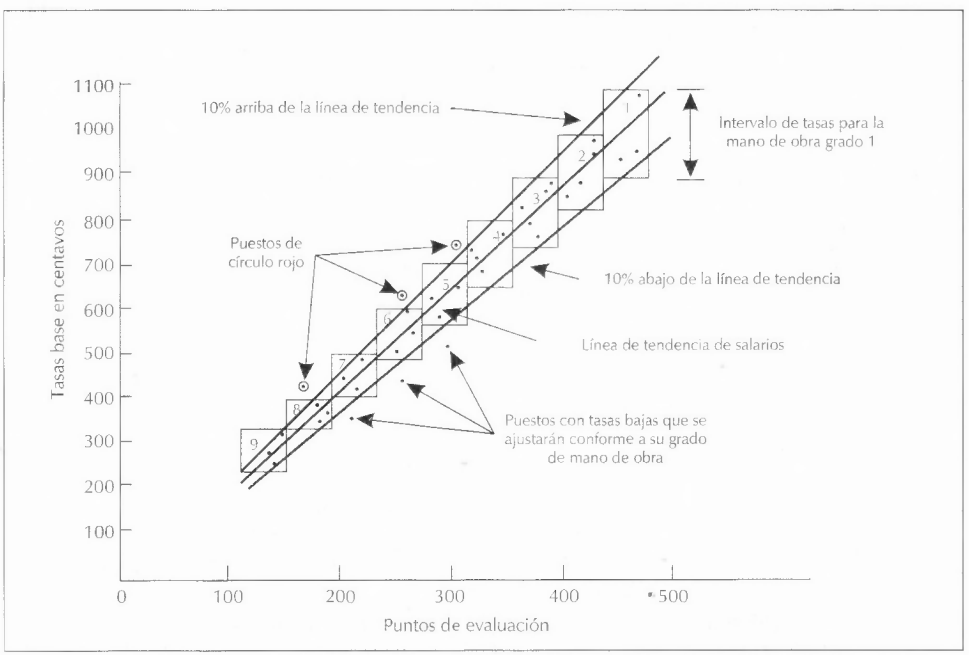


Figura 8-6 Puntos de evaluación e intervalos con tasas base de salario para nueve grados laborales

Tabla 8–9 Grados laborales

Grado	Intervalo de calificaciones (puntos)	Grado	Intervalo de calificaciones (puntos)
12	100-139	6	250-271
11	140-161	5	272-293
10	162-183	4	294-315
9	184-205	3	316-337
8	206-227	2	338-359
7	228-249	1	360 o más

basan en los salarios de la zona para trabajos similares, las políticas de la compañía y el índice de costo de vida. Con frecuencia se establece un intervalo de salarios para cada grado laboral. El desempeño total de cada operario determina su tasa de salario dentro del intervalo establecido, y el desempeño total se refiere a calidad, cantidad, seguridad, asistencia, etcétera.

IMPLANTACIÓN DEL PROGRAMA DE EVALUACIÓN DE PUESTOS

Después de graficar las tasas salariales del área contra los valores de los puntos para los diferentes puestos, se desarrolla una línea de tendencia, que puede o no ser una recta. Los métodos de regresión son útiles para obtener esta línea de tendencia. Varios puntos estarán fuera de la línea. Los puntos muy alejados hacia arriba representan empleados cuyos salarios actuales son más altos que lo establecido en el plan de evaluación de puestos; los puntos muy por debajo de la línea representan empleados cuyo salario actual es menor que el prescrito por el plan.

Los empleados cuyos salarios son menores que los establecidos en el plan deben recibir un aumento inmediato al nuevo salario. Los empleados cuya remuneración es mayor que la establecida (tasas salariales conocidas como *tasas de círculo rojo*) no se les aplica una disminución. Sin embargo, tampoco se les otorga un aumento en su siguiente revisión, a menos que los ajustes del costo de vida den un salario más alto que su remuneración actual. Por último, los nuevos empleados recibirán el pago correspondiente al plan de evaluación de puestos.

PREOCUPACIONES POTENCIALES

Un sistema de evaluación de puestos por puntos es quizá el enfoque más favorable para obtener equidad y objetividad en la determinación de la compensación individual. No obstante, el lector debe entender que la implantación de un plan de puntos puede causar varios problemas costosos y de difícil solución.

Un plan de puntos tiende a resaltar cómo debe realizarse el trabajo, más que cómo se hace en realidad. Los estilos de administración modernos señalan que todos los trabajadores deben adoptar el enfoque de siempre realizar su trabajo de la manera más conveniente para la compañía y sus clientes, no necesariamente la mejor para la perso-

na. Pero, a menos que la descripción de puestos esté escrita con cuidado, algunos empleados pueden rehusarse a realizar trabajos importantes, sólo porque esas tareas no se incluyen en la descripción de su trabajo. Además de los deberes del puesto, la descripción debe incluir las ventajas del desarrollo, el crecimiento y un desempeño superior.

Un plan de evaluación de puestos por puntos también puede crear relaciones de poder indeseables e innecesarias dentro de la compañía. Las calificaciones en puntos de la evaluación constituyen información para la fuerza de trabajo sobre las calificaciones relativas de los distintos puestos y esto proporciona un orden obvio que puede interferir con la cooperación y el grupo de toma de decisiones, que son tan importantes en la administración moderna.

Otro problema es que los individuos pronto reconocen que una descripción de puestos escrita con creatividad puede agregar suficientes detalles como para asignar el trabajo a la siguiente clase hacia arriba. Entonces, con el tiempo, las descripciones pueden escribirse de manera que reflejen salarios más altos de los que merecen. De manera similar, los empleados reconocen que pueden aumentar los puntos de la evaluación de su puesto si aumentan sus responsabilidades. Es sencillo lograr esto si se agrega trabajo innecesario, otro ayudante u otro empleado. Estas adiciones pueden ser innecesarias y quizá sólo agreguen costos directos y/o generales, además del incremento en el costo por un salario más alto que resulta al añadir los puntos.

En algunas organizaciones, los puntos obtenidos en un plan de evaluación de puestos pueden usarse mal con propósitos no salariales. Por ejemplo, pueden usarse como base para obtener privilegios, tales como: espacio de estacionamiento, preferencias de turnos, listas de correo, invitaciones a juntas, servicios recreativos y otros.

Si bien los planes de evaluación de puestos proporcionan un enfoque favorable al pago de salarios equitativo, también identifican injusticias comparables. Por ejemplo, un plan de puntos puede mostrar que una enfermera industrial debe ganar $32 000 anuales, pero en la comunidad no hay dificultad para contratar enfermeras por $26 000 por año. Si la compañía pagara el salario más alto, muchas otras personas asalariadas sentirían que se les paga poco, por comparación. El valor similar en la misma zona geográfica es un factor importante. Los planes de puntos bien diseñados deben dar como resultado que las compañías puedan atraer y conservar empleados calificados y competentes y proporcionar justicia interna.

Una de las preocupaciones primordiales que se escuchan en las cortes legislativas se refiere al principio de "la misma remuneración para el mismo trabajo". Un sistema de evaluación de puestos por puntos se basa en este concepto. Sin embargo, el analista debe estar consciente de que no existe un valor inherente a ningún puesto; vale lo que indica el mercado. Si el analista se desvía del plan de puntos establecido para asignar un salario basado sólo en el mercado, casi siempre creará nuevas injusticias. Debe reconocerse que tratar a todos por igual es inconsistente con el trato individual justo respecto a su contribución al negocio o industria.

También es importante que se dé seguimiento al plan para que sea adecuado siempre. Los trabajos cambian, por lo que se requiere revisarlos con periodicidad y hacer ajustes cuando sea necesario.

Por último, los empleados deben entender la justicia del plan de evaluación de puestos. George Fry Associates realizó una investigación exhaustiva de las prácticas

Tabla 8–10 Investigación sobre planes de evaluación por puntos

				Porcentaje
Compañías que usan un plan de evaluación de puestos				66.0
Plan usado:				
Jerarquización				3.5
Descripción de grado				1.0
Comparación de factores				10.5
Sistema de puntos				85.0
Promedio de horas empleado cubiertas				65.0
La función de evaluación de puestos informa a:				
relaciones industriales				69.0
ingeniería industrial				16.0
Los resultados se usan:				
para los empleos				87.0
para la colocación de empleados				88.0
en la negociación de tasas salariales				68.0
El programa de evaluación de puestos:				
está reconocido en el contrato colectivo				83.0
es un punto de las negociaciones				59.0
ha llegado a conciliación y arbitraje (de estos casos la administración ha ganado 74%)				27.0
Comprensión y aceptación:	*Buena*	*Promedio*	*Mala*	*Ninguna*
por los empleados	7%	39%	49%	5%
por la alta administración	50	36	13	1
por los mandos medios	18	17	5	0
por los supervisores de línea	35	52	13	0

de evaluación de puestos en más de 500 compañías. Algunos resultados significativos aparecen en la tabla 8–10. Por desgracia, en más de la mitad de las compañías que respondieron a la encuesta, los empleados entendían poco o nada del plan. Si un plan de evaluación de puestos ha de tener éxito a través de los años, la mayoría de los empleados debe comprender cómo funciona.

LEY PARA DISCAPACITADOS EN ESTADOS UNIDOS

Cuando se implantan nuevos métodos y se realiza la evaluación de puestos deben tomarse en cuenta las implicaciones de la ley para discapacitados (ADA —*Americans with Disabilities Act*). El ADA se aprobó en 1990 para "prohibir la discriminación en la contratación de un individuo calificado con discapacidades". Éste es un aspecto importante para los patrones con 15 empleados o más, ya que puede significar el rediseño del lugar de trabajo y otros servicios. El ADA cubre prácticas de empleo como reclutamiento, contratación, promoción, capacitación, despidos, renuncias, prestaciones y asignación de puestos, donde éste último es parte del trabajo del analista de métodos. El ADA protege a los individuos "con un impedimento físico o mental que los limita de manera sustancial en las actividades principales de su vida". Sustancial implica algo más que menor, mientras que "actividades principales" incluyen oír, ver, hablar, respirar, caminar, sentir o manipular con las manos, aprender o trabajar. Las lesiones temporales de duración limitada no están incluidas.

El individuo con una discapacidad debe estar calificado para realizar las "funciones esenciales" del puesto con o sin "ajustes especiales". Las funciones esenciales son los deberes básicos del puesto que debe realizar un empleado. Se pueden determinar a partir de las técnicas de análisis de puestos presentadas en este capítulo. Los "ajustes especiales" se refieren a cualquier cambio o ajuste al entorno de un trabajo o tarea que permita al individuo realizar las funciones especiales del puesto y disfrutar los beneficios y privilegios que disfrutan todos los empleados. Esos ajustes pueden incluir: modificación física de herramientas, equipo o estación de trabajo; reestructuración del trabajo; modificación del horario de trabajo; modificación de materiales o políticas de capacitación, entre otros. El propósito de cualquier modificación será el uso y la accesibilidad. Una consideración es que cualquier cambio de este tipo será benéfico para todos los trabajadores. Muchos principios de diseño del trabajo (capítulos 4 a 7) deben ser útiles en este caso.

Un ajuste razonable es el que no coloca tensión indebida en el empleado, es decir, no tiene un costo excesivo, no es extenso o sustancial, no causa desórdenes ni altera de manera fundamental la naturaleza o la operación del negocio. Las variables que afectan el costo son el tamaño de la compañía, los recursos financieros y su naturaleza o estructura operativa. Desafortunadamente, no existe una definición específica o cuantitativa del factor de costo. Es muy probable que con el tiempo surja del sistema legal conforme se presenten en las cortes los distintos casos de discriminación. Si se desea más información sobre las definiciones, los aspectos legales y las guías de accesibilidad de las modificaciones, el ingeniero de métodos debe consultar el ADA (1991).

SEGUIMIENTO

El octavo y último paso en un programa de ingeniería de métodos es el seguimiento (consulte la figura 2–1). El séptimo paso, establecer los estándares de tiempo, no es, en el sentido estricto, parte de los cambios de métodos y no se estudiará en esta sección. Sin embargo, es una parte necesaria de cualquier centro de trabajo y se presentará con gran detalle en los capítulos 9 a 16.

El seguimiento del método, en el corto plazo, incluye asegurar que la instalación es correcta para capacitar a los operarios en las prácticas de trabajo adecuadas y que ellos logren los niveles de productividad deseados. También incluye el análisis económico para verificar que los ahorros previstos se logran en realidad. Si no se da seguimiento al programa, la administración podría poner en duda la necesidad de cambios de este tipo y, en el futuro, tal vez estén menos dispuestos a apoyar cambios similares. Por último, es importante mantener a todos convencidos del método, de manera que los operarios no regresen a los antiguos patrones de movimiento, los supervisores no adopten holguras al reforzar los nuevos procedimientos y la administración no dude de su compromiso con el programa global.

El seguimiento del nuevo método es un aspecto crítico para mantener un centro de trabajo con una operación continua y eficiente. De otra manera, varios años más tarde, otro ingeniero de métodos examinará el método actual y se hará las mismas preguntas, "¿por qué?", "¿cuál es el propósito de esta operación?", etcétera, que se hicieron como parte de este análisis de la operación. Así, es muy importante cerrar el ciclo con retroalimentación y mantener un ciclo de mejora continua, como se presenta en la figura 2–1.

IMPLANTACIÓN EXITOSA DE MÉTODOS

Como ejemplo de un programa de métodos efectivo para la manufactura, una compañía en Ohio obtuvo ahorros de 17 496 toneladas anuales. Cambió la sección de un molino dándole forma de anillo soldado y sustituyó el anillo forjado original que pesaba 2 198 libras. La nueva sección pesaba sólo 740 libras. Los ahorros de 1 458 libras de acero de alto grado, ascendieron a casi el doble del peso de las piezas terminadas; se obtuvo como consecuencia del sencillo procedimiento de reducir el exceso de material que antes se desperdiciaba.

La mejora de métodos también se puede aplicar a operaciones menos tradicionales. Un laboratorio de análisis en su planta de Nueva Jersey aplicó los principios de análisis de la operación a la disposición de bancos de trabajo que tenían forma de cruz, para que cada químico tuviera una mesa de trabajo en forma de L. Este arreglo les permitió "alcanzar" cualquier pieza de la estación de trabajo con sólo un movimiento. La nueva mesa fusionó el equipo, ahorró espacio y eliminó la duplicidad de instalaciones. Un gabinete con puertas de vidrio da servicio a dos químicos. Un ventilador grande arriba permite realizar actividades múltiples en un área que era un cuello de botella. Todas las salidas de energía, gas y agua se relocalizaron para maximizar la eficiencia.

EJEMPLO 8–5 Cambio de método en una marcha para automóvil

Un caso histórico representativo, que da seguimiento al análisis de operaciones es la producción de una marcha, un dispositivo para arrancar los motores de CA que reduce el voltaje a través de un transformador. La caja de arco es un subensamble de la marcha. Esta parte se encuentra al fondo de la marcha y actúa como barrera entre los contactos para evitar cortocircuitos. El diseño actual consiste en las componentes mostradas en la tabla 8–11.

Al ensamblar estas componentes, el operario coloca una rondana, una tuerca y un tornillo en la terminal de cada tubo. Después, inserta los tubos en los tres agujeros de la primera barrera. Luego coloca un espaciador en cada tubo (tres en total) y agrega otra barrera. Los operarios repiten estas acciones hasta colocar seis barreras, separadas por los tubos.

Se sugirió que las seis barreras se hicieran con dos ranuras, una en cada extremo, y que se incluyeran dos tiras de asbesto para apoyarlas, con seis ranuras cada una. Las barreras se deslizarían y colocarían juntas en el fondo de la marcha según fuera necesario. La forma de ensamble sería la misma que se usa al armar los separadores en una caja de huevos. Las 15 sugerencias de mejora surgieron después del análisis, con los resultados que se muestran en la tabla 8–12.

Tabla 8–11 Componentes de una marcha

Barreras de asbesto con tres agujeros barrenados	6
Espaciadores de tubo aislante de dos pulgadas de largo	15
Tubos de acero bobinados en ambos extremos	3
Piezas de ferretería	18
Piezas totales	42

Tabla 8–12 Mejoras para la marcha

Método antiguo	Método nuevo	Ahorro
42 partes	8	34
10 estaciones de trabajo	1	9
18 transportes	7	11
7 900 pies de viaje	200	7770
9 almacenamientos	4	5
0.45 tiempo en horas	0.11	0.34
$1.55 costo	$0.60	$0.95

La mejora de métodos se puede usar para simplificar una organización de servicio. Una división del gobierno del estado desarrolló un programa de análisis de las operaciones cuyo resultado fue ahorros estimados de más de 50 000 horas. Esto se obtuvo al combinar, eliminar y rediseñar todas las actividades de documentación; mejorar la distribución de planta y desarrollar de las trayectorias de autoridad.

Mejorar los métodos también es efectivo en los procedimientos de oficina. Un departamento de ingeniería industrial de una compañía en Pensilvania debía simplificar la documentación necesaria para enviar las piezas moldeadas fabricadas en una de sus plantas a una planta afiliada para el ensamble. El departamento desarrolló un nuevo método que reducía el promedio diario de 552 a 50 hojas de papel para 45 órdenes. Los ahorros anuales sólo en papel fueron significativos.

Las mejoras en los métodos deben ser parte de un programa de mejoramiento continuo. Por ejemplo, a principios de los años 40, el ahorro promedio por gerente en la Procter & Gamble Company fue cerca de $500. Para mejorar esta situación y mantener un nivel aceptable de reducción de costos, P & G instituyó un programa de métodos con capacitación para los ingenieros. Una vez terminado el curso de análisis de operaciones, los ingenieros regresaron a sus respectivas plantas a trabajar como especialistas de métodos. Los ahorros anuales aumentaron a cerca de $700 por año por gerente. Para 1950, la posición del ingeniero industrial había cambiado de especialista en métodos a coordinador de métodos apoyando a los supervisores en varios proyectos y la capacitación de los integrantes de la línea. Con la participación activa del gerente de planta, la tasa de ahorro aumentó, en 1950, a $2300 anuales por gerente.

Más adelante, se formaron equipos de cuatro a ocho empleados, por igual entre supervisores de línea y personal administrativo, para trabajar en proyectos con alto potencial de ahorro. Se desarrolló una rivalidad amistosa entre los equipos y se reconoció públicamente el buen trabajo. En 1954 los ahorros de la compañía ascendían a cerca de $4 000 por gerente.

El programa de mejoras se extendió a todas las plantas y el resultado fue ahorros anuales de $27 000 por gerente. Desde 1970, el programa se ha generalizado y ha involucrado a personas de todo tipo en el negocio, tanto a nivel administrativo como no administrativo.

En años más recientes, la mejora de métodos se enlazó con mucho éxito a una programa de ergonomía. Un fabricante importante en Pensilvania de tapetes y alfombras para automóviles fue citado por OSHA respecto a la cantidad excesiva de lesiones óse-

musculares relacionadas con el trabajo. Debido a que el estándar ergonómico se encontraba en desarrollo, la compañía fue citada bajo la cláusula de deberes del ASHAct 1879 por no proporcionar un entorno de trabajo seguro para sus empleados. Como parte de un programa de abatimiento de cuatro años, la compañía contrató una enfermera ocupacional para dar el manejo médico adecuado y un consultor de ergonomía externo para ayudar en el rediseño necesario del lugar de trabajo a fin de reducir la tasa de lesiones. Un análisis detallado de los registros médicos identificó o confirmó las tareas y las estaciones de trabajo críticos. Los cambios de métodos implantados incluyeron cortadoras de agua a presión en lugar de la poda manual con cuchillo de las alfombras, una disminución en la cantidad de manejo manual de las alfombra y cambios en las operaciones de pegado y cocido. Además, se analizaron las condiciones de trabajo desde la perspectiva de los empleados investigando la salud y la seguridad y se proporcionó a los empleados varios niveles de capacitación ergonómica. Com resultado, el número de lesiones óseomusculares registrado por OSHA bajó de 55 en el primer año, a 35 en el segundo, 17 en el tercero y llegó a 8 en quinto. Sin embargo, lo más importante fue que OSHA consideró tan exitoso el programa de ergonomía que dio por terminado el programa de abatimiento después del segundo año.

RESUMEN

El incremento en la producción y las mejoras en la calidad son los resultados principales de los cambios en los métodos y en el diseño del trabajo, pero los cambios de métodos también proporcionan los beneficios de una producción mejorada para todos los trabajadores y ayudan a desarrollar mejores condiciones de trabajo y un entorno más seguro, de manera que el trabajador puede realizar más trabajo en la planta, hacerlo bien y todavía tener la energía suficiente para disfrutar la vida. Los ejemplos de implantaciones efectivas de cambios de métodos demuestran con claridad la necesidad de seguir un enfoque ordenado, como se presenta en la figura 2–1. El ingeniero de métodos debe observar que no es suficiente el uso de algoritmos matemáticos elaborados o las últimas herramientas de software para desarrollar el método ideal. Es necesario vender el plan a los administradores y a los mismos trabajadores. Las técnicas interpersonales adicionales y las estrategias para tratar a la gente con el propósito de vender mejor el método, se presentan en el capítulo 18.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es la preocupación principal de la administración respecto a un nuevo método cuyo costo de instalación es relativamente alto?
2. ¿A qué se refiere la técnica de evaluación de "flujo de efectivo descontado"?
3. ¿A qué se refiere el método de periodo de recuperación? ¿Cómo se relaciona con el método de rendimiento sobre la inversión?
4. ¿Cuál es la relación entre rendimiento sobre la inversión de capital y el riesgo asociado con las ventas pronosticadas del producto para el que se usará el nuevo método?
5. ¿Cuáles son los dos temas específicos que deben resaltarse al escribir una descripción del trabajo?

6. ¿Es el tiempo un denominador común en el costo de mano de obra? ¿Por qué sí o por qué no?
7. ¿Qué es el análisis de puestos?
8. ¿Cuáles de los cuatro métodos de evaluación de puestos se practican en su país en la actualidad?
9. ¿Por qué la mayoría de las personas sienten que otros que hacen trabajo similar ganan más?
10. Explique con detalle cómo funciona el plan de puntos.
11. ¿Qué factores influyen en el valor relativo de un puesto?
12. ¿Por qué son insatisfactorias las estimaciones para determinar los estándares de tiempo de la mano de obra?
13. ¿Cuál es la debilidad al usar los registros históricos como medio para establecer estándares de desempeño?
14. ¿Qué técnicas de medición del trabajo dan resultados válidos cuando las realizan analistas competentes y capacitados?
15. Explique por qué debe establecerse un intervalo de tasas salariales en lugar de sólo una tasa para cada grado de mano de obra.
16. Explique qué quiere decir desempeño total del operario.
17. ¿Cuáles son los principales aspectos negativos que deben entenderse antes de implantar un sistema de evaluación de puestos por puntos?
18. ¿Cuáles son los beneficios más importantes de una implantación adecuada del plan de evaluación de puestos?
19. ¿de qué manera depende la evaluación de puestos del análisis del trabajo?
20. ¿Cuáles son los tres aspectos que constituyen un plan de evaluación de puestos exitoso?

PROBLEMAS

1. ¿Cuánto capital debe invertirse en un método nuevo si se estima que se ahorrarán $5 000 el primer año, $10 000 el segundo y $3 000 el tercero? La administración espera un rendimiento de 30% sobre el capital invertido.
2. Usted estima que la vida de su diseño es tres años. Calcula que se requerirá una inversión de capital de $20 000 para poner en marcha la producción. También estima, basado en los pronósticos de venta, que el resultado del diseño será una ganancia de $12 000 después de impuestos el primer año y $16 000 el segundo, y que tendrá una pérdida de $5 000 el tercer año. La administración desea un rendimiento de 18% sobre el capital invertido. ¿Debe la compañía aprobar esta inversión para producir el nuevo diseño? Explique.
3. En la compañía Dorben, una operación de manejo de materiales en el almacén se realiza en forma manual. Los desembolsos anuales por esta mano de obra y los gastos relacionados (seguro social, seguro de accidentes y otras prestaciones) son $8 200. El analista de métodos estudia una propuesta para construir cierto equipo para reducir este gasto. El primer costo de este equipo será $15 000. Se estima que reducirá el gasto anual de mano de obra y sus adicionales a $3 300. Los pagos anuales respectivos de energía, mantenimiento e impuesto sobre bienes de capital más seguros se estiman en $400, $1 100 y $300. Se piensa que la necesidad de esta operación específica continuará durante los próximos 10 años. Debido a que se trata de un equipo con diseño especial para esta operación, no tendrá valor de recupe-

ración. Se supone que los gastos anuales de mano de obra, energía y mantenimiento serán uniformes los 10 años. La tasa mínima de retorno antes de impuestos es 10%. Según una comparación del costo anual, ¿debe la compañía proceder con el nuevo equipo de manejo de materiales?

4. Un plan de evaluación de puestos basado en el sistema de puntos usa los siguientes factores:
   a. Educación: peso máximo 100 puntos; grado cuatro.
   b. Esfuerzo: peso máximo 100 puntos; grado cuatro.
   c. Responsabilidad: peso máximo 100 puntos; grado cuatro.

   La persona que barre está calificada con 150 puntos y este puesto tiene un salario por hora de $6.50. Una operación de maquinado clase 3 está calificada con 320 puntos, con lo que se obtiene una tasa salarial de $10.00 por hora. ¿Qué grado de experiencia se daría al operario del torno taladro con una tasa salarial de $8.50 por hora y calificaciones de puntos de grado 2 para educación, grado 1 para esfuerzo y grado 2 para responsabilidad?

5. Un plan de evaluación del trabajo en la compañía Dorben tiene cinco grados de mano de obra, de los cuales el grado 5 tiene la tasa base más alta y el grado 1 la más baja. El plan lineal incluye un intervalo de 50 a 250 puntos para habilidades, 15 a 75 puntos para esfuerzo, 20 a 100 puntos para responsabilidad y 15 a 75 puntos para las condiciones de trabajo. Cada factor tiene cinco grados. Cada grado de mano de obra tiene tres tasas salariales; baja, media y alta.
   a. Si la tasa remunerativa más alta del grado 1 de mano de obra es $8 por hora y la tasa más alta para la mano de obra de grado 5 es $20 por hora, ¿cuál sería la tasa salarial media para la mano de obra de grado 3?
   b. ¿Qué grado de habilidad se requiere para una mano de obra de grado 4, si se aplican las condiciones de un trabajo con esfuerzo de grado 2, responsabilidad de grado 2 y condiciones de trabajo de grado 1?

6. En la compañía Dorben, el analista implantó un plan de evaluación de puesto por puntos que cubre a todos los empleados indirectos en las divisiones operativas de la planta. Se usaron diez factores en este plan y cada factor se dividió en cinco grados. En el análisis de puestos, se observó que el empleado de apoyo en envío y recepción tenía iniciativa e ingenio de grado 2, evaluado con 30 puntos. El valor total en puntos de este puesto era 250 puntos. El número mínimo de puntos que permitía lograr este plan era 100 y el máximo 500.
   a. Si prevalecían 10 clases de puestos, ¿qué grado de iniciativa e ingenuidad se requiere para elevar el puesto de empleado de apoyo en envío y recepción de la clase 4 a la clase 5?
   b. Si un puesto de clase 1 tiene una tasa de $8 por hora y un puesto de clase 10 tiene una tasa de $20 por hora, ¿qué tasa tendrá un puesto de clase 7? (Nota: las tasas se basan en el punto medio de los intervalos de puntos de la clase del puesto).

REFERENCIAS

ADA, *Americans with Disabilities Act Handbook*, EEOC-BK-19, Washington, DC: Equal Employment Opportunity Commission and U.S. Dept. of Justice, 1991.

Brown, D. B., *Systems Analysis & Design for Safety*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1976.

Carey, A., "The Hawthorne Studies: A Radical Criticism", en *Concepts and Controversy in Organizational Behavior*, Ed. W. R. Nord, Pacific Palisades, CA: Goodyear Publishing Co., 1972.

DeReamer, R., *Modern Safety and Health Technology*, New York: John Wiley & Sons, 1980.

Dunn, J. D. y F. M. Rachel, *Wage and Salary Administration: Total Compensation Systems*, Nueva York: McGraw-Hill, 1971.

Ellig, Bruce R., *Compensation Issues of the Eighties*, Amherst, MA: Human Resource Development Press, Inc., 1988.

Fleischer, G.A., "Economics Risk Analysis", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Gausch, J. P., "Safety and Decision-Marking Tables", *ASSE Journal*, 17 (noviembre de 1972), pp. 33-37.

Gausch, J. P., "Value Engineering and Decision Making", *ASSE Journal*, 19 (mayo de 1974), pp. 14–16.

Grant, E., W. Ireson y R. S. Leavenworth, *Principles of Engineering Economy*, 6a. ed., Nueva York: Ronald Press, 1976.

Heinrich, H. W., D. Petersen y N. Roos, *Industrial Accident Prevention*, 5a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1980.

Homans, G., "The Western Electric Researches", en *Concepts and Controversy in Organizational Behavior*, Ed. W. R. Nord, Pacific Palisades, CA: Goodyear Publishing Co., 1972.

Jung, E. S. y A. Freivalds, "Multiple Criteria Decision-Making for the Resolution of Conflicting Ergonomic Knowledge in Manual Materials Handling", *Ergonomics*, 34, núm. 11 (noviembre de 1991), pp. 1351–1356.

Lawler, Edward E., *What's Wrong with Point-Factor Job Evaluation?*, Amherst, MA: Human Resource Development Press, Inc., 1988.

Livy, B., *Job Evaluation: A Critical Review*, Nueva York: Halstead, 1973.

Lutz, Raymond P., "Discounted Cash Flow Techniques", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Mayo, E., *The Human Problems of an Industrial Civilization*, Nueva York: The Viking Press, 1960.

McCormick, Ernest J., "Job Evaluation", en *Handbook of Industrial Engineering*, Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1982.

Milkovich, George T., Jerry M. Newman y James T. Brakefield, "Job Evaluation in Organizations", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

OSHA, *Ergonomics Program Management Guidelines for Meatpacking Plants*, Washington DC: Bureau of National Affairs, 1990.

Otis, Jay y Richard H. Leukart, *Job Evaluation: A Sound Basis for Wage Administration*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1954.

Pennock, G. A., "Industrial Research at Hawthorne", *The Personnel Journal*, 8 (junio de 1929–abril de 1930), pp. 296–313.

Risner, Howard, *Job Evaluation: Problems and Prospects*, Amherst, MA: Human Resource Development Press, Inc., 1988.

Saaty, T. L., *The Analytic Hierarchy Process*, Nueva York: McGraw-Hill, Inc., 1980.

Salvendy, Gavriel y Douglas W. Seymour. *Prediction and Development of Industrial Work Performance*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1973.

Thuesen, H. G., W. J. Fabrycky y G. J. Thuesen, *Engineering Economy*, 5a. ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1977.

Wegener, Elaine, *Current Developments in Job Classification and Salary Systems*, Amherst, MA: Human Resource Development Press, Inc., 1988.

SOFTWARE SELECCCIONADO

Design Tools (incluido en este libro), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.



CAPÍTULO 9

Estudio de tiempos

PUNTOS CLAVE:

- Usar el estudio de tiempos para establecer los tiempos estándar.
- Aplicar indicadores auditivos y visuales para dividir las operaciones en elementos.
- Emplear tiempos continuos para obtener un registro completo de tiempos.
- Tomar tiempos con la técnica de regresos a cero para evitar errores de empleados.
- Verificar los tiempos para confirmar la validez del estudio de tiempos.

El séptimo paso en el proceso sistemático de desarrollar un centro de trabajo eficiente es establecer los tiempos estándar. Tres elementos ayudan a determinarlos: las estimaciones, los registros históricos y los procedimientos de medición del trabajo.

En el pasado, los analistas se apoyaban más en las estimaciones como un medio para establecer los estándares. Con la creciente competencia actual de productores extranjeros, se ha incrementado el esfuerzo para establecer estándares basado en los hechos y no en el juicio. La experiencia ha demostrado que ningún individuo puede establecer estándares consistentes y justos sólo con ver un trabajo y juzgar el tiempo requerido para terminarlo. Cuando se usan estimaciones, los estándares se salen de contexto. La compensación de errores en ocasiones disminuye su desviación, pero la experiencia muestra que a lo largo de un periodo, los valores estimados tienen una desviación sustancial de los estándares medidos. Tanto los registros históricos como las técnicas de medición del trabajo proporcionan valores mucho más precisos que las estimaciones basadas sólo en el juicio.

Con el método de registros históricos, los estándares de producción se basan en los registros de trabajos similares, realizados con anterioridad. En la práctica diaria, el trabajador perfora una tarjeta en un reloj o aparato recolector de datos cada vez que inicia un nuevo trabajo y de nuevo cuando lo termina. Esta técnica informa cuánto tiempo lle-

vó en realidad hacer el trabajo, pero no cuánto debió haber tardado. Como los operarios desean justificar su día completo, algunos trabajos incluyen retrasos personales, inevitables y evitables en un grado mucho mayor que lo que deben, y otros no incluyen las cargas adecuadas de tiempos de retraso. Los datos históricos contienen desviaciones consistentes hasta de 50% en la misma operación del mismo trabajo. Aun así, como base para determinar los estándares de la mano de obra, los registros históricos son mejores que no contar con ellos. Estos registros proporcionan resultados más confiables que las estimaciones basadas sólo en el juicio, pero no proveen suficiente validez para asegurar costos de mano de obra equitativos y competitivos.

Cualquiera de las técnicas de medición del trabajo —estudio de tiempos con cronómetro (electrónico o mecánico), datos de movimientos fundamentales, datos estándar, fórmulas de tiempos o estudios de muestreo del trabajo— representan mejores caminos para establecer estándares de producción justos. Estas técnicas se basan en hechos. Todas establecen estándares de tiempo permitido para realizar una tarea dada, con las suplementos por fatiga y por retrasos personales y retrasos inevitables.

Los estándares de tiempo establecidos con precisión hacen posible producir más en una planta dada, e incrementan la eficiencia del equipo y el personal operativo. Los estándares mal establecidos, aunque mejor que no tener estándares, conducen a costos altos, disentimientos del personal y quizá fallas de toda la empresa. Los estándares acertados pueden significar la diferencia entre el éxito y el fracaso de un negocio.

UN DÍA DE TRABAJO JUSTO

El estudio de tiempos a menudo se define como un método para determinar "un día de trabajo justo". Casi todas las personas relacionadas de alguna manera con la industria han escuchado esa expresión; pero la mayoría serían incapaces de definir un día de trabajo justo. Los acuerdos salariales internos de las industrias acereras contienen condiciones de que "el principio fundamental de la relación entre trabajo y remuneración es que el empleado merece una paga justa por día de trabajo, por el que la compañía merece un día de trabajo justo". En estos acuerdos, un día de trabajo justo se define como la "cantidad de trabajo que puede producir un empleado calificado cuando trabaja a paso normal y usando de manera efectiva su tiempo si el trabajo no está restringido por limitaciones del proceso". Esta definición no aclara qué significa empleado calificado, paso normal y utilización efectiva. Aunque estos términos están definidos por las industrias del acero, prevalece cierta flexibilidad, porque no es posible establecer indicadores firmes con una terminología tan amplia. Por ejemplo, el término "empleado calificado" se define como "un promedio representativo de aquellos empleados que están completamente capacitados y pueden realizar de manera satisfactoria cualquiera o todas las etapas del trabajo involucradas, de acuerdo con los requerimientos del trabajo bajo consideración". Esta definición deja alguna duda en cuanto al significado de "empleado promedio representativo".

Así también, "paso normal" se define como " la tasa efectiva de desempeño de un empleado calificado, consciente, a su paso, cuando trabaja ni aprisa ni despacio y tiene el debido cuidado con los requerimientos físicos, mentales o visuales del trabajo específico". Como ejemplo, el acuerdo de tasas salariales internas de la planta específica,

"un hombre caminando sin carga en piso parejo y nivelado a una velocidd de tres millas por hora". Aunque el concepto de tres millas por hora limita el significado de paso normal, todavía prevalece una cantidad notable de amplitud si se piensa en el paso normal de miles de trabajos distintos en el país.

También existe incertidumbre en cuanto a la definición de "utilización efectiva". Esto se explica en los acuerdos como "el mantenimiento de un paso normal al realizar los elementos esenciales de la tarea durante todas las porciones del día excepto las que se requieren para descansos razonables y necesidades personales, en circunstancias en las que el trabajo no está sujeto a un proceso, equipo u otras limitaciones operativas".

En general, un día de trabajo justo es el que es equitativo tanto para la compañía como para el empleado. Esto significa que el empleado(a) debe aportar un día de trabajo justo por el salario que recibe, con suplementos razonables por retrasos personales, inevitables y por fatiga. Se espera que el trabajador opere con el método prescrito a un paso ni rápido ni lento, sino uno que pueda considerarse representativo del desempeño de todo el día, por el empleado experimentado y cooperativo.

REQUERIMIENTOS DEL ESTUDIO DE TIEMPOS

Deben cumplirse ciertos requerimientos fundamentales antes de tomar un estudio de tiempos. Por ejemplo, si se requiere un estándar de una nueva tarea, o de una tarea anterior en la que el método o parte de él se ha alterado, el operario debe estar familiarizado por completo con la nueva técnica antes de estudiar la operación. Además, el método debe estandarizarse en todos los puntos en que se use antes de iniciar el estudio. A menos que todos los detalles del método y las condiciones de trabajo se hayan estandarizado, lo estándares de tiempo tendrán poco valor y se convertirán en una fuente continua de desconfianza, resentimientos y fricciones internas.

Los analistas deben comunicar al representante del sindicato, al supervisor del departamento y al operario que se estudiará el trabajo. Cada parte puede hacer planes específicos y tomar las medidas necesarias para realizar un estudio coordinado y adecuado. El operario debe verificar que aplica el método correcto y debe estar familiarizado con todos los detalles de esa operación. El supervisor debe verificar el método para asegurar que la alimentación, la velocidad, las herramientas de corte, los lubricantes, etcétera, cumplen con las prácticas estándar, como lo establece el departamento de métodos. También ha de investigar la cantidad de material disponible para que no ocurran faltantes durante el estudio. Si dispone de varios operarios para el estudio, debe determinar quién tendrá los resultados más satisfactorios. El representante del sindicato se asegura que sólo se elijan operarios capacitados y competentes, debe explicarles por qué se realiza el estudio y responder a cualquier pregunta pertinente que surja de los operarios.

RESPONSABILIDAD DEL ANALISTA

Todo trabajo involucra distintos grados de habilidad, lo mismo que de esfuerzo físico o mental. Existen también diferencias en aptitudes, aplicación física y destreza de los trabajadores. Es sencillo para el analista observar a un empleado y medir el tiempo real

que le toma realizar su trabajo. Es más difícil evaluar todas las variables y determinar el tiempo requerido para que el operario "calificado" realice la tarea.

Debido a la cantidad de intereses humanos y reacciones asociadas con las técnicas de estudio de tiempos, es esencial que haya un entendimiento completo entre el supervisor, el empleado, el representante sindical y el analista de estudio de tiempos. Este último debe estar seguro de que se usa el método correcto, registrar con precisión los tiempos tomados, evaluar con honestidad el desempeño del operario y abstenerse de criticarlo.

Como los analistas de estudio de tiempos afectan de manera directa el bolsillo de los trabajadores y los balances de pérdidas y ganancias de las compañías, su trabajo debe ser confiable y minucioso. Las inexactitudes y malos juicios no sólo afectarán al operario y a las finanzas de la compañía, también darán como resultado la pérdida de la confianza del operario y el sindicato que, en última instancia, deteriorará la armonía en las relaciones de trabajo que por años ha construido la administración. Para lograr mantener buenas relaciones humanas, el analista de estudio de tiempos siempre deberá ser honesto, bien intencionado, paciente y entusiasta, y siempre debe usar su buen juicio. Es imperativo que el analista de estudio de tiempos esté bien calificado.

RESPONSABILIDAD DEL SUPERVISOR

El supervisor debe notificar con antelación al operario que se estudiará su trabajo asignado. Esto abre el camino tanto para el operario como para el analista. El operario tiene la seguridad de que el supervisor sabe que se va a establecer una tasa sobre la tarea; con esto puede señalar algunas dificultades específicas que crea deban corregirse antes de establecer un estándar. Además, al analista de estudio de tiempos le agradará saber que se prevé su presencia en el área.

El supervisor debe verificar que se utiliza el método adecuado establecido por el departamento de métodos, y que el operario seleccionado es competente y tiene la experiencia adecuada en el trabajo. Aunque el analista de estudio de tiempos debe tener antecedentes o experiencia práctica en el área de trabajo donde realiza el estudio, no se puede esperar que conozca todas las especificaciones de todos los métodos y procesos. Por lo tanto, el supervisor debe verificar que las herramientas de corte tienen el filo adecuado, que se usa el lubricante correcto y que se hace la selección apropiada de alimentadores, velocidades y profundidades de corte. También debe estar seguro de que el operario sigue el método prescrito, y ayudar y capacitar con toda consciencia a los empleados para que perfeccionen este método. Un supervisor debe responder con libertad cualquier pregunta relacionada con la operación que tenga un operario.

Una vez terminado el estudio de tiempos, el supervisor debe firmar el original del informe para indicar que está de acuerdo con el estudio. Si se realiza un cambio de método en el departamento, el supervisor debe notificar de inmediato al departamento de estudio de métodos, para que ajusten el estándar correspondiente. Los supervisores que no cumplen con esta responsabilidad contribuyen al establecimiento de tasas salariales injustas que pueden derivar en resentimientos laborales, presión de la administración e insatisfacción del sindicato.

RESPONSABILIDAD DEL SINDICATO

La mayoría de los sindicatos reconocen que los estándares son necesarios para tener una operación con ganancias, y que la administración continúa con el desarrollo de dichos estándares mediante el uso de las técnicas aceptadas de medición del trabajo. Más aún, todo representante sindical sabe que los estándares de tiempo mal establecidos causan problemas a los empleados y a la administración.

Por medio de los programas de capacitación, el sindicato debe educar a todos sus afiliados en los principios, teorías y necesidad económica de un estudio de tiempos. No se puede esperar el entusiasmo de los operarios hacia el estudio de tiempos si no tienen conocimiento del mismo. Esto se debe en especial a sus antecedentes (capítulo 1).

El representante del sindicato debe asegurarse que el estudio de tiempos incluye un registro completo de las condiciones de trabajo, es decir, el método y la distribución de la estación de trabajo. También se asegurará de que la descripción actual de la tarea es exacta y completa y animará a los operarios a que cooperen con el analista.

RESPONSABILIDAD DEL OPERARIO

Todo empleado debe tener el interés suficiente en el bienestar de la compañía y apoyar las prácticas y procedimientos que implante la administración. Los operarios deben probar con integridad los nuevos métodos y cooperar para eliminar las fallas características de muchas innovaciones. Hacer sugerencias para mejorar todavía más los métodos, debe aceptarse como parte de la responsabilidad de todo empleado. El operario está más cerca que nadie del trabajo y puede hacer contribuciones reales a la compañía si ayuda a establecer los métodos ideales.

El operario debe ayudar al analista de métodos en la división de la tarea en sus elementos, con lo que asegura que se cubren todos los detalles específicos. También debe trabajar a un paso normal, firme mientras se realiza el estudio, e introducir el menor número de elementos extraños o movimientos adicionales que sea posible. Debe usar el método prescrito exacto, ya que cualquier acción que prolonga el tiempo de ciclo de manera artificial puede dar como resultado un estándar demasiado amplio.

EQUIPO PARA EL ESTUDIO DE TIEMPOS

El equipo mínimo requerido para llevar a cabo un programa de estudio de tiempos incluye un cronómetro, una tabla, las formas para el estudio y una calculadora de bolsillo. También puede ser útil un equipo de videograbación.

CRONÓMETRO

En la actualidad se usan dos tipos de cronómetros: 1) el cronómetro tradicional con décimos de minuto (0.01 min) y 2) el cronómetro electrónico mucho más práctico. El cronómetro decimal, mostrado en la figura 9–1, tiene 100 divisiones en la carátula, y cada división es igual a 0.01 minutos, es decir, un recorrido completo de la manecilla larga requiere un minuto. El círculo pequeño de la carátula tiene 30 divisiones, cada una igual a un minuto. Entonces, por cada revolución completa de la manecilla larga, la corta se

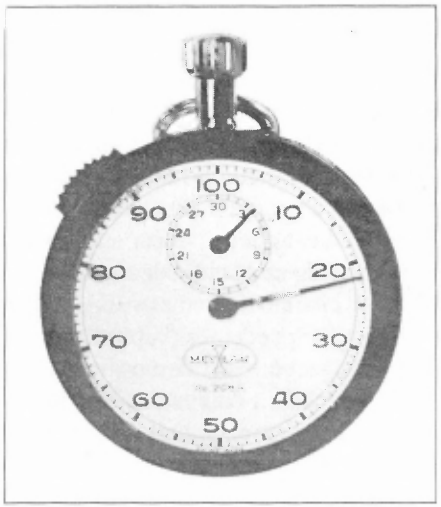


Figura 9-1 Cronómetro minutero decimal. (Meylan Stopwatch Co.)

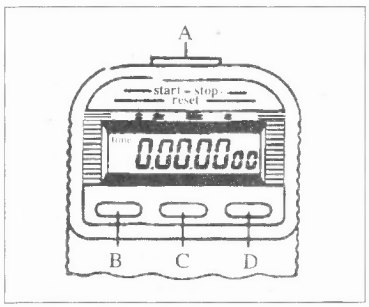


Figura 9-2 Cronómetro electrónico. A) Inicio/Detención, B) Llamado de memoria, C) Modo (continuo/regreso a cero) y D) otras funciones.

mueve una división o un minuto. Para iniciar el cronómetro, se desliza el botón lateral hacia la corona. El movimiento contrario detiene el reloj con las manecillas en la posición en que se encuentren. Para continuar la operación desde el punto en que se detuvieron las manecillas, se desliza el botón hacia la corona. Al oprimir la corona, ambas manecillas, la larga y la corta, regresan a cero. Al soltarla el cronómetro inicia de nuevo la operación, a menos que se deslice el botón lateral alejándolo de la corona.

Los cronómetros electrónicos cuestan alrededor de 50 dólares. Estos cronómetros proporcionan una resolución de 0.001 segundos y una exactitud de ± 0.002%. Pesan cerca de 4 onzas y miden más o menos 4 × 2 × 1 pulgadas (figura 9–2). Permiten tomar el tiempo de cualquier número de elementos individuales, mientras sigue contando el tiempo total transcurrido. Entonces, proporcionan tanto *tiempos continuos* como *regresos a cero* (botón C), sin las desventajas de los cronómetros mecánicos. Para operar el cronómetro, se presiona el botón superior (botón A). Cada vez que se presiona este botón aparece una lectura numérica. Al presionar el botón de la memoria (botón B) se obtienen las lecturas anteriores. Una versión un poco más elaborada incorpora el cronómetro a un tablero de estudio de tiempos (figura 9–3).

Con el costo de los cronómetros mecánicos de más de 150 dólares y la disminución en el precio de los electrónicos, los cronómetros mecánicos desaparecen con rapidez.

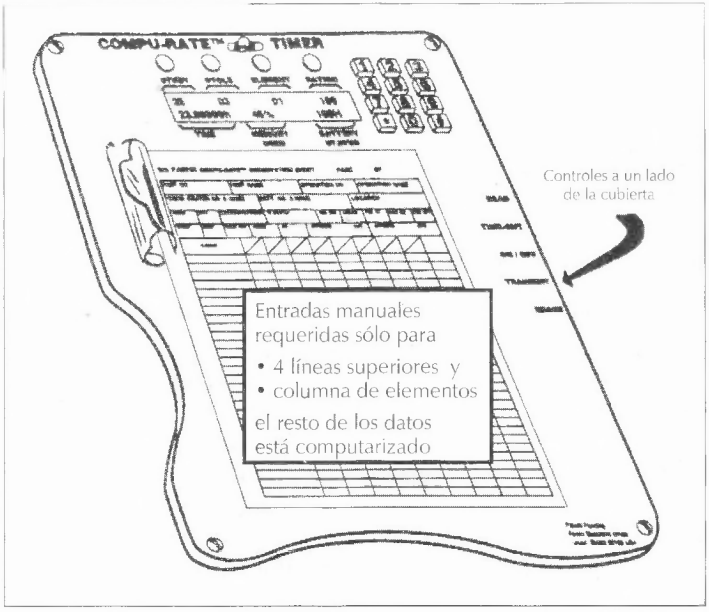


Figura 9–3 Cronómetro electrónico asistido por computadora (*Cortesía de:* Faehr Electronic Timers, Inc.)

CÁMARAS DE VIDEOGRABACIÓN

Las cámaras de videograbación son ideales para grabar los métodos del operario y el tiempo transcurrido. Al tomar película de la operación y después estudiarla un cuadro a la vez, el analista puede registrar los detalles exactos del método usado y después asignar valores de tiempos normales. También puede establecer estándares proyectando la cinta a la misma velocidad que la de grabación y calificar el desempeño del operario. Debido a que todos los hechos están ahí, observar el videocasete es una manera justa y precisa de calificar el desempeño. Además, con la cámara pueden surgir mejoras potenciales de los métodos que pocas veces se detectan con el procedimiento del cronómetro. Otra ventaja de la cinta de video es que con el software de MVTA (que se verá en la sección de software para estudio de tiempos), los estudios de tiempos son casi automáticos. Con la reciente llegada de las cámaras de video digitales y el software de edición en PC, los estudios de tiempo se pueden realizar prácticamente en línea. Las videograbaciones también son excelentes para la capacitación de los analistas de tiempos, pues se pueden repetir las secciones hasta que adquieran habilidad suficiente.

TABLERO DE ESTUDIO DE TIEMPOS

Cuando se usa un cronómetro, es conveniente tener una tabla adecuada para sostener la forma del estudio de tiempos y el cronómetro. La tabla debe ser ligera para que no se canse el brazo y fuerte para proporcionar el apoyo necesario para la forma. Los materiales adecuados incluyen triplay de 1/4 de pulgada o plástico liso. La tabla debe tener for-

mas de contacto para el brazo y el cuerpo para que el ajuste sea cómodo y sea fácil escribir mientras se sostiene. Para el observador derecho el reloj debe estar montado en la esquina superior derecha de la tabla. Un sostén de resorte a la izquierda mantiene la forma en su lugar. De pie en la posición adecuada el analista puede ver la estación de trabajo por encima de la tabla y seguir los movimientos del operario, al tiempo que mantiene el reloj y la forma dentro de su campo visual.

FORMAS DE ESTUDIO DE TIEMPOS

Todos los detalles del estudio se registran en una forma de estudio de tiempos. La forma contiene espacio para registrar toda la información pertinente sobre el método que está en estudio, las herramientas utilizadas, etcétera. Se identifica la operación que se estudia con información como nombre y número del operario, descripción y número de la operación, nombre y número de la máquina, herramientas especiales usadas y sus respectivos números, el departamento donde se realiza la operación y las condiciones de trabajo que prevalecen. Es mejor que sobre información y no que falte.

La figura 9–4 ilustra una forma de estudio de tiempos desarrollada por los autores. Tiene la flexibilidad suficiente para usarse casi en cualquier tipo de operación. En esta forma, se registran los diferentes elementos de la operación en el renglón que encabeza las columnas, y por columna se colocan los ciclos estudiados, renglón por renglón. Las cuatro columnas abajo de cada elemento son: **C** para *calificaciones*; **TC** para *tiempo en el cronómetro*, es decir, las lecturas del cronómetro; **TO** para el *tiempo observado*, es decir, la diferencia en los tiempos entre lecturas sucesivas del cronómetro, y **TN** para el *tiempo normal*.

SOFTWARE PARA ESTUDIO DE TIEMPOS

Existen varios paquetes de software disponibles para el analista de estudio de tiempos. TimStudy, de la Royal J.Dossett Corp, usa un Datawriter (registrador de datos) para recolectar datos de manera electrónica y después cargarlos en la PC para el análisis. Una desventaja es el requerimiento del Datawriter especializado. Otros paquetes usan computadoras portátiles para recolectar datos, lo que permite que el analista las use para otras tareas. Por ejemplo, CITS/APR, de C-Four, permite un análisis de datos más detallado porque una interfaz diseñada para hojas de cálculo se enlaza con Excel. Además el analista puede incluir las calificaciones de los elementos activos. Por desgracia, las PC portátiles pierden terreno ante la variedad de asistentes digitales personales (PDA). C-Four también ha desarrollado una versión PalmCITS para trabajar en la PDA de Palm, pero esta versión no tiene la capacidad de interactuar con Excel. Esta característica fue incorporada por Applied Computer Services. Inc., en su software QuickTimes™ y TimerPro™. En este libro se proporciona el programa QuickTS sencillo y amigable para la Palm (figura 9–5). Cualquiera de estos productos de software permitirá al analista eliminar el trabajo pesado de transcripción y mejorar la exactitud de los cálculos.

Para los analistas que realizan estudios de tiempos a partir de cintas de video, una opción interesante es Multimedia Video Task Analysis (MVTA, Nexgen Ergonomics). MVTA interactúa directamente con la VCR a través de una interfaz gráfica y permite

Forma para observación de estudio de tiempos

Estudio núm: 2-85	Fecha: 3-1-	Página 1 de 1
Operación: Moldeo en matriz	Operario: S. Jones	Observador: AF

ELEMENTO NÚM Y DESCRIPCIÓN		1 Quitar parte de la matriz, lubricar matriz, inspeccionar				2 Colocar parte en dispositivo, terminar la parte																	
Nota	Ciclo	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN
	1	90		30	270	90		23	207																
	2	100		27	270	100		21	210																
	3	90		31	279	90		23	207																
	4	85		35	298	100		20	200																
	5	100		28	280	100		20	200																
	6	110		25	275	110		18	198																
	7	90		31	279	90		24	216																
	8	100		28	280	85		24	204																
	9	90		32	288	90		23	207																
	10	110		26	286	105		19	200																
	11																								
	12																								
	13																								
	14																								
	15																								
	16																								
	17																								
	18																								

Resumen						
TO total	2.93	2.15				
Calificación	—	—				
TN total	2.805	2.049				
Núm. de observ.	10	10				
TN promedio	.281	.205				
% de suplementos	17	17				
Tiempo est. element.	.329	.240				
Núm. ocurrencias	1	1				
Tiempo estándar	.329	.240				

Tiempo estándar total (suma del tiempo estándar de todos los elementos): .569

Elementos extraños				
Sim	TC1	TC2	TO	Descripción
A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				

Verificación de tiempos		
Tiempo terminación		3:48.00
Tiempo inicio		3:42.00
Tiempo transcurrido		6.00
TTAS	.60	
TTDS	.32	
Tiempo total		.92
Tiempo efectivo		5.08
Tiempo inefectivo		0

Verificación de calificación			
Tiempo sintético		%	Tiempo total registrado: 6.00
Tiempo observado			Tiempo no contado: 0
			% de error de registro: 0

Resumen de suplementos	
Necesidades personales	5
Fatiga básica	4
Fatiga variable	8
Especial	—
% de suplemento total	17

Observaciones:

Nota del T.: TTAS tiempo transcurrido antes del estudio, TTDS tiempo transcurrido después del estudio

Figura 9–4 Estudio con regresos a cero de una operación de moldeo en matriz (los elementos se califican cada ciclo)



Figura 9–5 Programa QuickTS de estudio de tiempos para una Palm m105.

a los usuarios la identificación interactiva de puntos terminales en la grabación de video mientras que se analiza a cualquier velocidad (tiempo real, movimiento lento/rápido o cuadro por cuadro hacia adelante o hacia atrás). MVTA produce de modo automático los informes del estudio de tiempos y calcula la frecuencia de ocurrencia de cada evento, al igual que el análisis de la postura para diseño del trabajo

EQUIPO DE CAPACITACIÓN

Dos piezas de equipo de bajo costo que pueden ayudar en la capacitación de los analistas de estudios de tiempo son: el descriptor del tiempo transcurrido y el metrónomo. El primer dispositivo se puede programar (mediante una leva con un perfil especial) de manera que los elementos sucesivos se completan en un periodo conocido. El capacitando registra las duraciones de los elementos conforme ocurren. Un foco encendido y una chicharra le indican el final de cada elemento. Es posible desactivar la chicharra o la luz, si se desea. El ejercicio proporciona práctica en las lecturas del cronómetro en puntos de terminación y los registros de tiempo transcurrido.

La segunda herramienta es el metrónomo usado por los estudiantes de música. Este dispositivo puede ajustarse para dar un número determinado de golpes por minuto, como 104 golpes por minuto, que equivale al número de cartas repartidas por minuto cuando se hace a paso normal (capítulo 10). Si se sincroniza el reparto de cartas en una mesa de bridge de manera que se reparte una carta con cada golpe del metrónomo, se puede demostrar el paso normal. El movimiento involucra una serie de alcanzar, tomar, mover y dejar y, con la práctica, es sencillo identificar la velocidad. Para ilustrar un desempeño de 80%, el instructor sólo tiene que establecer el metrónomo a 83 golpes por minuto y después sincronizar el reparto de cartas.

ELEMENTOS DEL ESTUDIO DE TIEMPOS

La realización de un estudio de tiempos es tanto una ciencia como un arte. Para asegurar el éxito, el analista debe poder inspirar confianza, aplicar su juicio y desarrollar un enfoque de acercamiento personal con quienes tenga contacto. Además, sus antecedentes y capacitación deben prepararlo para entender a fondo y realizar las distintas funciones relacionadas con el estudio. Estos elementos incluyen; seleccionar al operario, analizar el trabajo y desglosarlo en sus elementos, registrar los valores elementales de tiempos transcurridos, calcular la calificación del operario, asignar los suplementos adecuados; en resumen, llevar a cabo el estudio.

ELECCIÓN DEL OPERARIO

El primer paso para iniciar un estudio de tiempos se realiza a través del supervisor de línea o del departamento. Una vez revisado el trabajo en la operación, debe acordar con el supervisor que todo está listo para estudiar el trabajo. Si más de un operario realiza el trabajo para el que se quiere establecer un estándar, debe tomar en cuenta varias cosas al elegir el operario que va a observar. En general, un operario que tiene un desempeño

promedio o un poco arriba del promedio proporcionará un estudio más satisfactorio que uno menos calificado o que el que tiene habilidades superiores. El trabajador promedio, por lo común, desempeña su trabajo con consistencia y de manera sistemática. El paso de ese operario tenderá a estar en el rango normal (capítulo 10) y facilita para el analista del estudio de tiempos la aplicación de un factor de desempeño correcto.

Por supuesto, el operario debe estar bien capacitado en el método, le debe gustar su trabajo y ha de demostrar interés en hacerlo bien. También debe estar familiarizado con los procedimientos y prácticas del estudio de tiempos y tener confianza tanto en los métodos del estudio como en el analista. Su compromiso es la cooperación suficiente con el estudio y estar dispuesto a seguir las sugerencias tanto del supervisor como del analista de estudio de tiempos.

En ocasiones, el analista no puede elegir al operario porque sólo uno realiza la operación. En estos casos, debe ser muy cuidadoso al establecer la calificación del desempeño, porque quizá el operario esté trabajando en uno de los extremos de la escala de calificaciones. En las tareas de un solo trabajador el método usado debe ser el correcto y el analista debe acercarse a él con cuidado y tacto.

El enfoque del analista para seleccionar a un operario puede determinar el grado de cooperación recibida. Debe acercarse a él de manera amistosa y demostrar que entiende la operación que va a estudiar. El operario debe tener la oportunidad de hacer preguntas sobre las técnicas de toma de tiempos, el método de calificaciones y la aplicación de suplementos. En algunas situaciones, el operario nunca ha sido estudiado. Todas las preguntas deben recibir, con toda paciencia, una respuesta franca. Debe animársele a hacer sugerencias, y cuando lo haga, el analista debe recibirlas con interés para demostrar respeto por las habilidades y conocimientos del operario.

El analista debe mostrar interés en el trabajo del empleado y, en todo momento, ser justo y directo con él. Este enfoque gana la confianza del trabajador en la capacidad del analista. El respeto y la buena voluntad que obtiene no sólo ayudarán a establecer un estándar justo, también facilitarán cualesquiera asignaciones de trabajo futuras en la planta de producción.

REGISTRO DE INFORMACIÓN SIGNIFICATIVA

El registro debe contener máquinas, herramientas manuales, dispositivos, condiciones de trabajo, materiales, operaciones, nombre y número del operario, departamento, fecha de estudio y nombre del observador. El espacio para esos detalles es el de *observaciones* en la forma de observación de estudio de tiempos. También es útil un bosquejo de la distribución. Mientras más información pertinente se registre, más útil será el estudio de tiempos a través de los años. Se convierte en un recurso para el establecimiento de datos estándar (capítulo 12). También será útil para mejorar los métodos y evaluar a los operarios, las herramientas y el desempeño de las máquinas.

Cuando se usan máquinas herramienta, debe especificarse nombre, tamaño, estilo, capacidad y número de serie o inventario, lo mismo que las condiciones en que trabaja. Deben identificarse dados, calibradores, plantillas y dispositivos por número y con una descripción breve. Si las condiciones de trabajo durante el estudio son distintas a las

normales para esa operación, afectarán el desempeño del operario. Por ejemplo, en un taller de forja a martinete, si el estudio se tomara en un día en extremo caluroso, quizá las condiciones de trabajo fueran más malas que las normales y el desempeño del operario reflejaría el efecto del intenso calor. En consecuencia, se agregaría un suplemento (capítulo 11) al tiempo normal del operario. Si las condiciones de trabajo mejoran, el suplemento puede disminuirse. Inversamente, si las condiciones de trabajo empeoran, el suplemento puede aumentarse.

El desempeño de la operación debe describirse de manera específica. Por ejemplo, "broca de 3/8 × 3/8 de pulgada en agujero de 1 pulgada" es mucho más explícito que "perforar ranura". El operario bajo estudio debe identificarse por nombre y número; es fácil que haya dos Juan Pérez en una compañía.

POSICIÓN DEL OBSERVADOR

El observador debe estar de pie, no sentado, unos cuantos pies hacia atrás del operario para no distraerlo o interferir con su trabajo. Los observadores de pie se pueden mover con mayor facilidad y seguir los movimientos de las manos del operario mientras éste realiza el ciclo de la tarea. Durante el estudio, el observador debe evitar cualquier tipo de conversación con el operario, ya que esto podría distraerlo o estorbar las rutinas.

DIVISIÓN DE LA OPERACIÓN EN ELEMENTOS

Para facilitar la medición, se divide la operación en grupos de movimientos conocidos como *elementos*. Para dividirla en sus elementos individuales, el analista observa al operario durante varios ciclos. Sin embargo, si el tiempo de ciclo es mayor que 30 minutos, puede escribir la descripción de los elementos mientras realiza el estudio. Si es posible, es mejor que determine los elementos de la operación antes de iniciar el estudio. Éstos deben separarse en divisiones tan finas como sea posible, pero no tan pequeñas que se sacrifique la exactitud de las lecturas. Las divisiones elementales de alrededor de 0.04 minutos se aproximan a lo mínimo que puede leer de manera consistente un analista experimentado de estudio de tiempos. No obstante, si los elementos anteriores y posteriores son relativamente largos, es posible tomar el tiempo de un elemento con una duración de 0.02 minutos.

Para identificar por completo los puntos terminales y desarrollar consistencia en las lecturas del cronómetro de un ciclo al siguiente, se toman en cuenta los sonidos y lo que se ve al desglosar los elementos. Por ejemplo, los *puntos terminales* de los elementos se pueden asociar con sonidos como: una pieza terminada que cae al contenedor, una fresa que muerde un molde, una broca que atraviesa la parte que se perfora y un par de micrómetros que se dejan en la mesa de trabajo.

Cada elemento se registra en la secuencia adecuada, se incluye una división básica de la tarea terminada mediante un sonido distintivo o un movimiento. Por ejemplo, "subir la pieza a la mordaza manual y apretar" incluye las siguientes divisiones básicas: alcanzar la pieza, tomar la pieza, mover la pieza, posicionar la pieza, alcanzar la llave de la mordaza, tomar la llave, mover la llave, posicionar la llave, girar la llave y soltar la llave de la mordaza. El punto de terminación de este elemento sería soltar la llave de la

mordaza en la cabeza del torno, con el sonido correspondiente como evidencia. El elemento "iniciar la máquina" puede incluir: alcanzar, tomar, mover y soltar la palanca. La rotación de la máquina, con el sonido que la acompaña identifica el punto de terminación de manera que las lecturas se pueden tomar justo en el mismo punto en cada ciclo.

Con frecuencia, distintos analistas de estudio de tiempos en una compañía adoptan una división de elementos estándar dadas las clases de instalaciones, para asegurar uniformidad al establecer los puntos de terminales. Por ejemplo, todos los trabajos en taladros de mesa con un husillo se pueden dividir en elementos estándar y todos los trabajos en tornos están compuestos por una serie de elementos predeterminados. Tener elementos estándar como base para la división de la operación es en especial importante al establecer los datos del estándar (capítulo 12).

Quizá algunas sugerencias adicionales ayuden a desglosar los elementos:

1. Mantener separados los elementos manuales y los de máquina, ya que las calificaciones afectan menos a los tiempos de las máquinas.
2. Separar los elementos constantes (aquellos para los que el tiempo no varía dentro de un intervalo especificado de trabajo) y los elementos variables (aquellos para los que el tiempo varía dentro de un intervalo de trabajo especificado).
3. Cuando se repite un elemento, no se incluye otra vez la descripción. En el espacio proporcionado para esto se pone el número de identificación que se usó cuando ocurrió por primera vez.

INICIO DEL ESTUDIO

Al iniciar el estudio se registra la hora (en minutos completos) que marca un reloj "maestro" y en ese momento se inicia el cronómetro. (Se supone que todos los datos se registran en la forma de estudio de tiempos.) Este es el *tiempo de inicio* (indicado con ① en la figura 9–6). Se puede usar una de dos técnicas para registrar los tiempos elementales durante el estudio. El método de *tiempos continuos*, como su nombre lo indica, permite que el cronómetro trabaje durante todo el estudio. En este método, el analista lee el reloj en el punto terminal de cada elemento y el tiempo sigue corriendo. En la técnica de *regresos a cero*, después de leer el cronómetro en el punto terminal de cada elemento, el tiempo se restablece en cero; cuando se realiza el siguiente elemento el tiempo avanza a partir de cero.

Al registrar las lecturas del cronómetro, se anotan sólo los dígitos necesarios y se omite el punto decimal, para tener el mayor tiempo posible para observar el desempeño del operario. Si se usa un cronómetro decimal y el punto terminal del primero ocurre en 0.08 minutos, se registra sólo el dígito 8 en la columna de TC (*tiempo de cronómetro*). Otros ejemplos de registros se muestran en la tabla 9–1.

MÉTODO DE REGRESOS A CERO

El método de regresos a cero tiene tanto ventajas como desventajas comparado con la técnica de tiempo continuo. Algunos analistas de estudio de tiempos usan ambos métodos, con la idea de que los estudios en los que predominan los elementos prolongados se

Forma para observación de estudio de tiempos

Estudio núm: 1-3 | Fecha: 3-22 | Página 1 de 1
Operación: MAQUINADO | Operario: J. Pérez | Observador: AF

ELEMENTO NÚM Y DESCRIPCIÓN		1 Alimentación de la barra				2 Colocar herramienta de corte en la barra				3 Girar ½" 550 rpm				4 Extraer herramienta y dejar barra											
Nota	Ciclo	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN
	1	85		18	162	105		12	126	100		60	600	90		17	153								
	2	90		22	198	105		13	137	100		60	600	100		16	160								
	3	100		17	170	105		11	116	100		60	600	105		17	179								
	4																								
	5																								
	6																								
	7																								
	8																								
	9																								
	10																								
	11																								
	12																								
	13																								
	14																								
	15																								
	16																								
	17																								
	18																								

Resumen

TO total	.58	.36	1.80	.50			
Calificación	—	—	—	—			
TN total	.530	.379	1.800	.492			
Núm. de observ.	3	3	3	3			
TN promedio	.177	.126	.600	.164			
% de suplemento	10	10	10	10			
Tiempo est. elem.	.195	.139	.660	.180			
Núm. ocurrencias	1	1	1	1			
Tiempo estándar	.195	.139	.660	.180			
Tiempo estándar total (suma de tiempo estándar de todos los elementos):				1.174			

Elementos extraños

	TC1	TC2	TO	Descripción
A	0	35	35	Ver dimensiones
B				
C				
D				
E				
F				
G				

Verificación de calificación

Tiempo sintético	%
Tiempo observado	

Verificación de tiempos

Tiempo terminación	3:22.00
Tiempo inicio	2:16.00
Tiempo transcurrido	6.00
TTAS	1.848
TTDS	.60
Tiempo total	2.48
Tiempo efectivo	1.24
Tiempo inefectivo	.35
Tiempo total registrado	6.05
Tiempo no contado	.05
% de error de registro	.8%

Resumen de suplementos

Necesidades personales	5
Fatiga básica	4
Fatiga variable	1
Especial	—
% de suplemento total	10

Observaciones:
CICLO DE MÁQUINA
(elemento #3) tiempo = .60 min

Figura 9–6 Resumen de los pasos para calcular el estudio de tiempos.

adaptan mejor a las lecturas con regresos a cero, y es mejor usar el método continuo en los estudios de ciclos cortos.

Como los valores del elemento que ocurrió tienen una lectura directa con el método de regresos a cero, no es necesario realizar las restas sucesivas, como en el método continuo. Entonces, la lectura se inserta directamente en la columna de TO (*tiempo*

Tabla 9–1 Registro de lecturas de cronómetro para tiempo continuo

Lecturas consecutivas de cronómetro en décimos de minuto	Lecturas registradas
0.08	8
0.25	25
1.32	132
1.35	35
1.41	41
2.01	201
2.10	10
2.15	15
2.71	71
3.05	305
3.17	17
3.25	25

observado). También se pueden registrar de inmediato los elementos que el operario ejecuta en desorden sin una notación especial. Además, los que defienden el método de regresos a cero establecen que los retrasos no se registran. Como se pueden comparar los valores elementales de un ciclo a otro, es posible tomar decisiones en cuanto a qué número de ciclos estudiar. Sin embargo, es un error usar las observaciones de los ciclos anteriores para determinar cuántos ciclos adicionales estudiar. Esta práctica puede llevar a estudiar una muestra demasiado pequeña.

Entre las desventajas del método de regresos a cero está la que promueve que los elementos individuales se eliminen de la operación. Estos elementos no se pueden estudiar en forma independiente porque los tiempos elementales dependen de los elementos anteriores y posteriores. En consecuencia, al omitir los factores de retraso, los elementos extraños y los elementos transpuestos, se puede llegar a valores equivocados en las lecturas aceptadas. Una de las objeciones principales al método de regresos a cero es el tiempo perdido mientras la mano restablece el cronómetro. Esto puede tardar entre 0.0018 y 0.0058 minutos (Lowry, Naynard y Stegenerten, 1940). No obstante, esto ya no es válido para los cronómetros electrónicos, donde no se pierde tiempo en restablecer la lectura a cero. Por otro lado, es más difícil medir los elementos cortos (0.04 minutos o menos) con este método.

La figura 9–4 ilustra un estudio de tiempos de una operación de moldeo en matriz con el método de regresos a cero.

MÉTODO CONTINUO

El método continuo para registrar valores elementales es superior al de regresos a cero por varias razones. Lo más significativo es que el estudio que se obtiene presenta un registro completo de todo el periodo de observación; esto complace al operario y al representante sindical. El operario puede ver que se dejaron tiempos fuera en el estudio y que se incluyeron todos los retrasos y elementos extraños. Como todos los hechos se

presentan con claridad, es más sencillo explicar y vender esta técnica de registro de tiempos.

El método continuo también se adapta mejor a la medición y registro de elementos muy cortos. Con la práctica, un buen analista de estudio de tiempos puede detectar con precisión tres elementos cortos (menos de 0.04 minutos), si van seguidos de un elemento de alrededor de 0.15 minutos o más. Esto es posible si se recuerdan las lecturas del cronómetro en los puntos terminales de los tres elementos cortos y después se registran sus valores respectivos mientras se ejecuta el cuarto elemento más largo.

Por otro lado, se requiere más trabajo de escritorio para calcular el estudio si se usa el método continuo. Como se lee el cronómetro en los puntos terminales de cada elemento mientras las manecillas del reloj continúan su movimiento, es necesario hacer restas sucesivas de las lecturas consecutivas para determinar el tiempo transcurrido en cada elemento. Por ejemplo, las siguientes lecturas pueden representar los puntos terminales en un estudio de 10 elementos: 4, 14, 19, 121, 125, 152, 161, 176, 211 y 216. Los valores elementales de este ciclo serían: 4, 10, 5, 102, 4, 27, 9, 15, 35 y 5. La figura 9–7 ilustra un estudio de tiempos completo de la misma operación de moldeo de matriz con el método continuo.

MANEJO DE DIFICULTADES

Durante el estudio de tiempos, quizá los analistas observen variaciones en la secuencia original de elementos establecida. En ocasiones, es posible que omitan algún punto terminal específico. Estas dificultades complican el estudio; entre menor sea la frecuencia de ocurrencia, será más sencillo calcular el estudio.

Si falta alguna lectura, el analista debe indicar de inmediato una "F" en la columna TC. Por ningún motivo debe aproximar o intentar registrar el valor faltante. Si lo hace puede destruir la validez del estándar establecido para el elemento específico. Si tuviera que usarse el elemento como fuente de datos estándar; quizá resultaran grandes discrepancias en los estándares futuros. Algunas veces, el operario omite un elemento; esto se maneja con una raya horizontal en el espacio correspondiente de la columna TC. Es deseable que si esto ocurre sea muy poco frecuente ya que, en general, se debe a un operario no experimentado o a la falta de estandarización en el método. Por supuesto, el operario puede omitir un elemento sin advertirlo, como cuando olvida "destapar la ranura" al hacer un molde de banco. Si se omiten elementos varias veces, el analista debe detener el estudio e investigar la necesidad de ejecutar los elementos omitidos. Ha de hacer esto en coordinación con el supervisor y el operario, para que se establezca el mejor método. Se espera que el observador esté en constante alerta para descubrir mejores maneras de efectuar los elementos; si llegan nuevas ideas a su mente asentará una "nota" breve en la sección correspondiente de la forma de estudio de tiempos.

Quizá también vea elementos realizados en una secuencia diferente. Esto ocurre bastante seguido cuando se estudia a un empleado nuevo o inexperto en una tarea con ciclo largo compuesta de muchos elementos. Evitar perturbaciones es una de las razones primordiales por las que se estudia a empleados competentes con una capacitación completa. Sin embargo, cuando se ejecutan elementos fuera de orden, el analista debe ir

de inmediato a la casilla del elemento en la columna TC y dividirla con una raya horizontal; abajo de la raya debe escribir el tiempo en que el operario inició el elemento, y arriba el tiempo en que terminó. Este procedimiento se repite para cada elemento realizado fuera de orden, lo mismo que para el primer elemento que se realiza al regresar a la secuencia normal.

Durante el estudio de tiempos, el operario puede encontrar retrasos inevitables, como otro empleado o el supervisor que interrumpen, o una descompostura en la herramienta. También es posible que intencionalmente cause un cambio en el orden del trabajo al ir a beber agua o al detenerse para descansar. Tales interrupciones se conocen como "elementos extraños".

Los elementos extraños ocurren, ya sea por una descompostura o durante la ejecución de un elemento. La mayoría de los elementos extraños, en particular los controlados por el operario, ocurren al terminar el elemento. Si un elemento extraño ocurre mientras se realiza un elemento, se marca con letras (A, B, C, etcétera) en la columna TN de este elemento. Si el elemento extraño ocurre en el punto terminal, se registra en la columna TN del elemento de trabajo que sigue a la interrupción (⑤ en la figura 9–6). La letra A se usa para denotar el primer elemento extraño, la letra B para el segundo y así sucesivamente.

Tan pronto se designa un elemento extraño en el lugar adecuado, el analista incluye una breve descripción en la esquina inferior izquierda del espacio. El momento en que inicia el elemento extraño se pone en el bloque TC1 de la sección de elementos extraños, y el momento en que termina, en el bloque TC2. Después, estos valores se restan al calcular el estudio de tiempos, para determinar la duración exacta del elemento extraño. Este valor se coloca después en la columna de TO de la sección de elementos extraños. La figura 9–6 ilustra el manejo correcto de un elemento extraño.

En ocasiones, un elemento extraño tiene una duración tan corta que es imposible registrarlo de la manera descrita. Los ejemplos comunes serían dejar caer una llave en el piso y recogerla de inmediato, limpiarse la frente con un pañuelo o voltear un momento para hablar con el supervisor. En esos casos, cuando el elemento extraño es de 0.06 minutos o menos, el método más satisfactorio para manejar la interrupción es permitir que se acumule con el elemento y enseguida poner un círculo en la lectura, para indicar que se trata de un valor "no controlado". Debe anotarse un comentario breve en la sección de "notas" del elemento que tuvo la interrupción para justificar el círculo con el número. El ciclo 7 de la figura 9–8 ilustra el manejo correcto de un valor no controlado.

CICLOS DEL ESTUDIO

Determinar cuántos ciclos se van a estudiar para llegar a un estándar justo es un tema que ha causado polémica entre los analistas de estudio de tiempos, al igual que entre los representantes del sindicato. Como la actividad de una tarea y su tiempo de ciclo influyen en el número de ciclos que se pueden estudiar, desde el punto de vista económico, el analista no puede estar gobernado de manera absoluta por la práctica estadística que demanda cierto tamaño de muestra basado en la dispersión de las lecturas individuales del elemento. La General Electric Company estableció los valores de la tabla 9–2 como una guía aproximada al número de ciclos que se deben observar.

Forma para observación de estudio de tiempos

Estudio núm: 2-55	Fecha: 3-1-	Página 1 de 1
Operación: Moldes en matriz	Operario: S. Jones	Observador: AZ

ELEMENTO NÚM Y DESCRIPCIÓN		1 * Quitar parte de la matriz, lubricar matriz, inspeccionar				2 Colocar parte en dispositivo, terminar la parte																			
Nota	Ciclo	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN
	1	90	90	30	270	90	113	23	207																
	2	100	40	27	270	100	61	21	210																
	3	90	92	31	279	90	215	23	207																
	4	85	50	35	298	100	70	20	200																
	5	100	98	28	280	100	318	20	200																
	6	110	43	25	275	110	61	18	198																
	7	90	92	31	279	90	416	24	216																
	8	100	44	28	280	85	68	24	204																
	9	90	500	32	288	90	23	23	207																
	10	110	49	26	286	105	68	19	200																
	11																								
	12																								
	13																								
	14																								
	15																								
	16																								
	17																								
	18																								

Resumen						
TO total	2.93	2.15				
Calificación	—	—				
TN total	2.805	2.049				
Núm. de observ.	10	10				
TN promedio	.281	.205				
% de suplementos	17	17				
Tiempo est. element.	.329	.205				
Núm. ocurrencias	1	1				
Tiempo estándar	.329	.205				

Tiempo estándar total (suma del tiempo estándar de todos los elementos): .569

Elementos extraños				
Sim	TC1	TC2	TO	Descripción
A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				

Verificación de tiempos		
Tiempo terminación	3:48.00	
Tiempo inicio	3:42.00	
Tiempo transcurrido	6.00	
TTAS	.60	
TTDS	.32	
Tiempo total	.92	
Tiempo efectivo	5.08	
Tiempo inefectivo	0	
Tiempo total registrado		6.00
Tiempo no contado		0
% de error de registro		0

Resumen de suplementos	
Necesidades personales	5
Fatiga básica	4
Fatiga variable	8
Especial	—
% de suplemento total	17

Observaciones:

Verificación de calificación	
Tiempo sintético	%
Tiempo observado	

Figura 9–7 Estudio de tiempo continuo de una operación de colado de matriz (se califica cada ciclo).

Forma para observación de estudio de tiempos

Estudio núm: 14 | Fecha: 3/15/ | Página 1 de 2

Operación: MOLDEO C/MATRIZ | Operario: T. López | Observador: P. Rocha

ELEMENTO NÚM Y DESCRIPCIÓN		Tomar y colocar molde en dispositivo, prensar dos piezas				Abrir dispositivo, sacar pieza, girar 90°, colocar en dispositivo 2				Enganchar alimentador, abrir dispositivo, quitar pieza				Limpiar estación de trabajo				Perforar				Preparar topes en dispositivo				Marcar tarjeta de producción			
Nota	Ciclo	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN	C	TC	TO	TN
	1														132	132			182	50			455	233			55 0	135	
	2		62	12			78	16			88	10																	
	3		604	16			21	17			30	9																	
	4		43	13			58	16			70	11																	
	5		828	15	A		49	21			58	9																	
	6		71	13			91	20			903	14																	
dejó caer molde	7		30	25			46	16			57	11																	
	8		70	13			88	18			1002	14																	
	9		15	13			32	17			40	8																	
	10		52	12			68	16			78	10																	
	11		92	14			1112	20			24	12																	
	12		38	14			56	15			66	10																	
	13		81	15			1200	19			11	11																	
	14		25	14			41	16			50	9																	
	15		63	13			80	17			91	11																	
	16		1306	14			24	18			34	10																	
	17		50	16			69	18			83	14																	
	18																												

Resumen

TO total	2.07	2.85	1.73	1.32	.50	2.33	1.35
Calificación	110	110	110	110	110	110	110
TN total	2.277	3.135	1.914	1.452	.550	2.563	1.485
Núm. de observ.	15	16	16	1	1	1	1
TN promedio	.152	.196	.12	1.452	.550	2.563	1.485
% de suplementos	12	12	12	12	12	12	12
Tiempo est. elem.	.170	.219	.134	1.626	.616	2.867	1.663
Núm. ocurrencias	1	1	1				
Tiempo estándar	.170	.219	.134				

Tiempo estándar total (suma de tiempo estándar de todos los elementos): .523

Elementos extraños

	TC1	TC2	TO	Descripción
A	670	813	143	Hablar con supervisor
B			20	Molde que cae
C				
D				
E				
F				
G				

Verificación de tiempos

Tiempo terminación	2:11.10	
Tiempo inicio	2:25.00	
Tiempo transcurrido	14.00	
TTAS	0	
TTDS	.17	
Tiempo total	.17	
Tiempo efectivo	12.15	
Tiempo inefectivo	1.68	
Tiempo total registrado	14.00	
Tiempo no contado	0	
% de error de registro	0	

Resumen de suplementos

Necesidades personales	5
Fatiga básica	4
Fatiga variable	3
Especial	—
% de suplemento total	12

Observaciones:
TIEMPO ESTÁNDAR POR PIEZA
SIN TIEMPO DE PREPARACIÓN

Verificación de calificación

Tiempo sintético	%
Tiempo observado	

Figura 9–8 Estudio de tiempo con calificación global.

Tabla 9–2 Número recomendado de ciclos de observación

Tiempo de ciclo en minutos	Número recomendado de ciclos
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
40.00 o más	3

Fuente: Información tomada de Time Study Manual de los Erie Works en General Electric Company, desarrollados bajo la guía de Albert E. Shaw, gerente de administración del salario.

Se puede establecer un número más exacto con métodos estadísticos. Como el estudio de tiempos es un procedimiento de muestreo, se puede suponer que las observaciones tienen distribución normal alrededor de la media desconocida de la población con variancia desconocida. Si se usa la media de la muestra $\bar{x}$ y la desviación estándar de la muestra s, la distribución normal para una muestra grande lleva al siguiente intervalo de confianza:

$$\bar{x} \pm z^{\sqrt{n}}$$

donde:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Sin embargo, los estudios de tiempos involucran sólo muestras pequeñas ($n < 30$) de una población; por lo tanto, debe usarse una distribución t. Entonces, la fórmula del intervalo de confianza es:

$$\bar{x} \pm t\frac{s}{\sqrt{n}}$$

El término con ± se puede considerar un término de error expresado como una fracción de $\bar{x}$:

$$k\bar{x} = ts/\sqrt{n}$$

donde k = una fracción aceptable de $\bar{x}$.

Si se despeja n se obtiene:

$$n = \left\{\frac{ts}{k\bar{x}}\right\}^2$$

También es posible despejar n antes de tomar el estudio de tiempos, si se interpretan los datos históricos de elementos similares, o con una estimación real de $\bar{x}$ y s a partir de varias lecturas con regresos a cero con la variación más alta.

EJEMPLO 9–1 Cálculo del número de observaciones requerido

Un estudio piloto de 25 lecturas para un elemento dado mostró que $\bar{x} = 0.30$ y $s = 0.09$. Una probabilidad de error de 5% para 24 grados de libertad (25 menos 1 grados de libertad para estimar un parámetro) conduce a $t = 2.064$. (Vea los valores de t en la tabla A3-3 del apéndice 3.) Al resolver la última ecuación se obtiene:

$$n = \left\{\frac{0.09 \times 2.064}{0.05 \times 0.30}\right\}^2 = 153.3 \approx 154 \text{ observaciones}$$

Para asegurar la confianza requerida, siempre se redondea hacia arriba.

EJECUCIÓN DEL ESTUDIO

Esta sección proporciona un panorama general de los principales pasos necesarios para realizar el estudio de tiempos. Los capítulos 10 y 11 presentan más detalles acerca de la calificación del desempeño del operario y asignación de suplementos, respectivamente.

CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL OPERARIO

Como el tiempo real requerido para ejecutar cada elemento del estudio depende en un alto grado de la habilidad y esfuerzo del operario, es necesario ajustar hacia arriba el tiempo normal del operario bueno y hacia abajo el del menos capacitado. Por lo tanto, antes de dejar la estación de trabajo, el analista debe dar una calificación justa e imparcial al desempeño en el estudio. En un ciclo corto con trabajo repetitivo, es costumbre aplicar una calificación al estudio completo, o una calificación promedio para cada elemento (figura 9–8). Por el contrario, cuando los elementos son largos y contienen diversos movimientos manuales, es más práctico evaluar el desempeño de cada elemento conforme ocurre. Esto se hizo en la operación de moldeo con matriz mostrada en las figuras 9–4 y 9–7, donde los elementos tenían una duración mayor que 0.20 minutos. La forma del estudio de tiempos contempla espacio para asentar la calificación global y la del elemento individual.

En el sistema de calificación del desempeño, el observador evalúa la efectividad del operario en términos del desempeño de un *operario calificado* que ejecuta el mismo elemento. El valor de la calificación se expresa como un decimal o un porcentaje y se asigna al elemento observado, en la columna C (③ en la figura 9–6). Un operario calificado se define como un operario con amplia experiencia que trabaja en las condiciones

acostumbradas en la estación de trabajo, a un paso no demasiado rápido y no demasiado lento, sino representativo de uno que se puede mantener a lo largo del día.

El principio básico al calificar el desempeño es ajustar el tiempo medio observado (TO) para cada elemento ejecutado durante el estudio al *tiempo normal* (TN) que requeriría el operario calificado para realizar el mismo trabajo:

$$TN = TO \times C/100$$

donde C es la calificación del desempeño del operario expresada como porcentaje, con el 100% correspondiente al desempeño estándar de un operario calificado. Para realizar un trabajo justo al calificar, se debe poder ignorar la personalidad y otros factores de variación, y sólo considerar la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo, comparado con la cantidad de trabajo que produciría el trabajador calificado. El capítulo 10 explica con detalle las técnicas de uso común para calificar el desempeño.

ASIGNACIÓN DE SUPLEMENTOS

Ningún operario puede mantener un paso estándar todos los minutos del día de trabajo. Pueden tener lugar tres clases de interrupciones para las que debe asignarse tiempo adicional. La primera son las interrupciones personales, como viajes al baño y a los bebederos; la segunda es la fatiga que afecta aun a los individuos más fuertes en los trabajo más ligeros. Por último, existen retrasos inevitables, como herramientas que se rompen, interrupciones del supervisor, pequeños problemas con las herramientas y variaciones del material, todos ellos requieren la asignación de un suplemento. Como el estudio de tiempos se toma en un periodo relativamente corto y como los elementos extraños se eliminan para determinar el tiempo normal, debe añadirse un suplemento al tiempo normal para llegar un estándar justo que un trabajador pueda lograr de manera razonable. El tiempo requerido para un operario totalmente calificado y capacitado, trabajando a paso normal y realizando un esfuerzo promedio para ejecutar la operación se llama *tiempo estándar* (TS) de esa operación. Por lo común, el suplemento se da como un porcentaje o fracción del tiempo normal y se usa como un multiplicador igual a 1 + suplemento:

$$TS = TN + TN \times \text{suplemento} = TN \times (1 + \text{suplemento})$$

Un enfoque alternativo es formular los suplementos como una fracción del día de trabajo total, puesto que es posible que no se conozca el tiempo de producción real. En ese caso, la expresión para el tiempo estándar es:

$$TS = NT/(1 - \text{suplemento})$$

El capítulo 11 contiene detalles de las técnicas para llegar a valores realistas de los suplementos.

CÁLCULOS DEL ESTUDIO

Después de registrar en forma adecuada toda la información necesaria en la forma del estudio de tiempos, observar el número de ciclos apropiado y calificar al operario, se debe registrar el *tiempo de terminación* (⑥ en la figura 9–6) en la misma sección del

reloj maestro usada para el inicio del estudio. Para tiempos continuos, es muy importante comparar la lectura final del cronómetro con la lectura global del tiempo transcurrido. Estos dos valores deben tener una cercanía razonable (diferencia de ± 2%). (Una discrepancia grande puede indicar que ocurrió un error, y que el estudio de tiempos debe repetirse.) Por último, el analista debe agradecer al operario su cooperación y proceder al siguiente paso, el cálculo del estudio.

Para el método continuo, cada lectura del cronómetro se resta de la lectura anterior para obtener el tiempo transcurrido: este valor se registra en la columna TO. Los analistas deben tener especial cuidado en esta etapa, ya que los descuidos en este punto pueden destruir por completo la validez del estudio. Si se usó la calificación del desempeño elemental, se deben multiplicar los tiempos elementales transcurridos por el factor de calificación y registrar el resultado en los espacios de la columna TN. Observe que como TN es un valor calculado, casi siempre se asienta con tres dígitos.

Los elementos que el observador no encontró u omitió se marcan con una "F" en la columna TC y se ignoran. Así, si ocurrió que el operario no realizó el elemento 7 del ciclo 4 en un estudio de 30 ciclos, el analista tendrá sólo 29 valores del elemento 7 para calcular el tiempo medio observado. El analista no sólo debe ignorar este elemento faltante, también debe ignorar el siguiente, pues el valor restado en el estudio incluiría el tiempo para realizar ambos elementos.

Para determinar el tiempo elemental transcurrido en elementos fuera de orden, es necesario restar los valores adecuados de tiempos de cronómetro.

Para los elementos extraños, el analista deduce el tiempo requerido por el elemento extraño a partir del tiempo de ciclo del elemento correspondiente. Puede obtener el tiempo promedio usado por el elemento extraño si resta la lectura TC1 en la sección de elementos extraños menos el valor de la lectura TC2 en la forma de estudio de tiempos.

Una vez calculados y registrados los tiempos transcurridos, el analista debe estudiarlos con cuidado para encontrar anormalidades. No existe una regla que determine el grado de variación permitido para conservar el valor para los cálculos. Si una amplia variación en cierto elemento se puede atribuir a alguna influencia demasiado breve para que sea un elemento extraño, pero de duración suficiente para afectar el tiempo del elemento en forma sustancial, o si la variación se puede atribuir a errores en las lecturas del cronómetro, entonces de inmediato se coloca un círculo alrededor de estos números y se excluyen del resto del estudio. (Por ejemplo, cuando en el elemento 1 del ciclo 7 en la figura 9–8, el operario dejó caer el molde.) Sin embargo, si las grandes variaciones se deben a la naturaleza del trabajo, entonces no sería lógico descartar los valores.

Los elementos de las máquinas tienen poca variación de un ciclo a otro, pero en los elementos manuales se puede esperar una variación mucho mayor. Cuando ocurre una variación de tiempo inexplicable, el analista debe tener cuidado antes de poner un círculo a esos valores. Recuerde que este no es un procedimiento de calificación del desempeño. Al descartar de manera arbitraria los valores altos o bajos, es posible que obtenga un estándar incorrecto. Una buena regla es, "si hay duda, el valor no se descarta".

Si se usa la calificación elemental, entonces después de calcular los valores del tiempo transcurrido elemental, debe determinarse el tiempo elemental normal multiplicando cada valor elemental por el factor de desempeño respectivo. Este tiempo normal se registra en las columnas TN para cada elemento ((10) en la figura 9–6). En seguida,

se determinará el valor normal elemental promedio dividiendo el total de tiempos registrado en la columna TN entre el número de observaciones.

Después de determinar todos los tiempos transcurridos elementales, deben verificarse para asegurar que no se cometieron errores de aritmética o de registro. Un método para verificar la exactitud es llenar toda la forma de *verificación de tiempo* (figura 9–6). Pero para hacerlo, el analista debió sincronizar el cronómetro como reloj maestro, registrar el *tiempo de inicio* (①) y el *tiempo de terminación* (⑥) en la forma. Después el analista suma tres cantidades: 1) los tiempos observados totales, conocidos como *tiempo efectivo* (⑫ en la forma); 2) los tiempos de elementos extraños totales conocidos como *tiempo inefectivo* (⑬ en la forma); y 3) total del *tiempo transcurrido antes del estudio* (TTAS ② en la forma) y el *tiempo transcurrido después del estudio* (TTDS ⑦ en la forma). El tiempo transcurrido antes del estudio es la lectura cuando el analista inicia el cronómetro para medir el primer elemento. El tiempo transcurrido después del estudio es la última lectura cuando el analista detiene el reloj al final del estudio. En ocasiones, estas dos últimas cantidades se suman para obtener el *tiempo de verificación* (⑧ en la forma). Las tres cantidades juntas son el *tiempo total registrado* (⑭ en la forma). La diferencia entre los tiempos de inicio y terminación en el reloj maestro es igual al *tiempo transcurrido* real (⑨ en la forma). Cualquier diferencia entre el tiempo total registrado y el tiempo transcurrido se llama *tiempo no registrado* (⑮ en la forma). En general, en un buen estudio, este valor es cero. El tiempo no registrado dividido entre el tiempo transcurrido es un porcentaje llamado *error de registro*. Este error debe ser menor que 2%. Si excede esta cantidad, el estudio de tiempos debe repetirse.

Después de calcular los tiempos normales de los elementos, el analista debe agregar el porcentaje de suplemento a cada elemento para determinar los tiempos estándar o permitidos. En el estudio de tiempos de la figura 9–8, el tiempo normal para el elemento 1 se multiplica por 1.12 para obtener el siguiente tiempo estándar para el elemento 1:

$$TS = 0.152 \times (1 + 0.12) = 0.170$$

La naturaleza del trabajo determina la cantidad de suplemento que se aplica, como se verá en el capítulo 11. Por ahora será suficiente decir que el suplemento promedio para los elementos manuales es 15% y que, en general, se aplica 10% a los elementos de máquina.

En la mayor parte de los casos, cada elemento ocurre dentro de cada ciclo y el *núm. de ocurrencias* es sencillamente 1. En algunos casos, un elemento se puede repetir dentro de un ciclo. Si así es, el *núm. de ocurrencias* se convierte en 2 o 3 y el tiempo acumulado por ese elemento dentro del ciclo se duplica o triplica.

Los tiempos estándar para cada elemento se suman para obtener el tiempo estándar del trabajo completo, que se registra en el espacio para el *tiempo total estándar* en la forma de estudio de tiempos.

TIEMPO ESTÁNDAR

La suma de los tiempos elementales da el estándar en minutos por pieza con un cronómetro de décimas de minuto, o en horas por pieza con un cronómetro de décimos de hora. La mayoría de las operaciones industriales tiene ciclos relativamente cortos (me-

nos de 5 minutos); en consecuencia, algunas veces conviene más expresar los estándares en horas por cientos de piezas. Por ejemplo, el estándar en una operación de prensa puede ser 0.085 horas por cien piezas. Éste es un método más satisfactorio para expresar el estándar que 0.00085 horas por pieza o 0.051 minutos por pieza.

El porcentaje de eficiencia del operario se puede expresar como:

$$E = 100 \times H_e / H_c = 100 \times O_c / O_e$$

donde: E = porcentaje de eficiencia,
H_e = horas estándar trabajadas,
H_c = horas de reloj en el trabajo.
O_e = producción esperada
O_c = producción actual

Así, un operador que produce 10 000 piezas durante la jornada de trabajo habrá tenido un logro de 8.5 horas de producción y su desempeño habrá tenido una eficiencia de 8.5/8 = 106%.

Una vez calculado el tiempo estándar, se asigna al operario en la forma de una tarjeta de operación. Una computadora puede generar la tarjeta o puede ser una copia. Esta tarjeta de operación sirve como base para obtener rutas, programación, capacitación, nómina, desempeño del operario, costos, presupuestos y otros controles necesarios para la operación efectiva de un negocio. La figura 9–9 ilustra la tarjeta de una operación de producción típica.

ESTÁNDARES TEMPORALES

Los empleados requieren tiempo para desarrollar la habilidad en cualquier operación nueva o diferente. A menudo, los analistas de estudio de tiempos establecen un estándar en una operación más o menos nueva, para la que no existe un volumen suficiente para que el operario alcance la eficiencia más alta. Si el analista basa la calificación del operario en los conceptos usuales de producción (es decir, la calificación del operario abajo de 100), el estándar que resulta puede parecer demasiado cerrado y el operario quizá no puede ganar incentivos (capítulo 17). Por otro lado, si el analista toma en cuenta que la tarea es nueva y el volumen es bajo, y establece un estándar generoso, entonces si aumenta el tamaño de la orden, o si se recibe una nueva orden para el mismo trabajo, puede haber problemas.

Quizá el método más satisfactorio para manejar estas situaciones es la emisión de estándares temporales. Se establece el estándar tomando en cuenta la dificultad de la tarea asignada y el número de piezas que se van a producir. Después, mediante una curva de aprendizaje (capítulo 18) para el trabajo, y con los datos existentes, se puede desarrollar un estándar temporal justo para la tarea. El estándar que se obtiene será mucho más amplio que si la tarea involucrara un alto volumen. Al liberarse para la planta, el estándar va marcado con claridad como "temporal" e incluye la cantidad máxima para la que se aplica. Cuando se liberan estándares temporales, deben estar vigentes sólo el tiempo

que dura el contrato, o durante 60 días, lo que ocurra primero. Al expirar, deben sustituirse por estándares permanentes.

TARJETA DE OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN

DESCRIPCIÓN Tapa de cabeza de regadera DIBUJO # JB-1102 PARTE # J-1102-1

HECHO DE Varilla de latón de 70 - 30 extrusionada de 2½ "de diámetro

Ruta 9-11-12--14-12-18 FECHA 9-15

OP. #	OPERACIÓN	DEPT.	MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS ESPECIALES	MINUTOS DE PREP.		MINUTOS POR PIEZA	
1	Cortar con sierra	9	Sierra neumática J & L	15 min			.077
2	Forjar	11	Prensa Maxi F-1102 de 150 toneladas	70 min			.234
3	Troquelar	12	Prensa Bliss 72 F-1103	30 min			.061
4	Lavar en ácido	14	Tanque de HCL	5 min			.007
5	Perforar 6 agujeros	12	Prensa Bliss 74 F-1104	30 min			.075
6	Barrenar y biselar	12	Taladro Delta de 17" F-1105	15 min			.334
7	Perforar agujeros de 13/64"	12	Taladro Avey F-1106	15 min			.152
8	Maquinar vástago y cara	12	Máquina # 3 W & S	45 min			.648
9	Perforar 6 agujeros	12	Prensa Bliss de 74½	30 min			.167
10	Inspección	18	F-1109, F-1110, F-1112		Jornada		

Figura 9–9 Ejemplo de tarjeta de operación de producción (los números "F" se refieren a los dispositivos usados con la operación correspondiente)

EJEMPLO 9–2 Cálculo de las horas ganadas y del porcentaje de eficiencia

El tiempo estándar para una operación es 11.46 minutos por pieza. En un turno de 8 horas, se espera que el operario produzca:

$$\frac{8\text{ h} \times 60\text{ min/h}}{11.46\text{ min/pieza}} = 41.88\text{ piezas}$$

Sin embargo, el operario produce 53 piezas en una jornada de trabajo dada, las horas estándar ganadas serán:

$$H_e = \frac{53\text{ piezas} \times 11.46\text{ min/pieza}}{60\text{ min/h}} = 10.123\text{ horas}$$

El estándar (S_h) expresado en horas por cada cien piezas (C) es:

$$S_h = \frac{11.46\text{ min/pieza} \times 100\text{ piezas}/C}{60\text{ min/pieza}} = 19.1\text{ h}/C$$

Las horas estándar ganadas serían:

$$H_e = \frac{19.1\text{ h}/C \times 53\text{ piezas}}{100\text{ piezas}/C} = 10.123\text{ horas}$$

La eficiencia del operario sería:

$$E = 100 \times 10.123/8 = 126.5\%$$

o de simplemente:

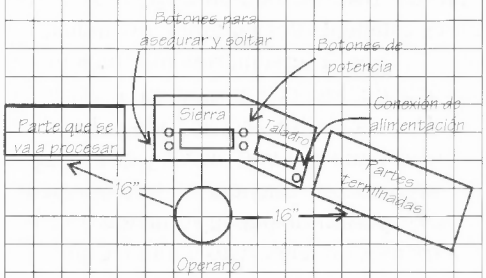
$$E = 100 \times 53/41.88 = 126.5\%$$

ESTÁNDARES DE PREPARACIÓN

Los elementos del trabajo que es común incluir en los estándares de preparación involucran a todos los eventos que ocurren entre la terminación de la tarea anterior y el inicio de la actual. El estándar de preparación también incluye elementos de "desarmar" y "guardar", como perforar la tarjeta del trabajo, obtener las herramientas del depósito, obtener los dibujos del despachador, preparar la máquina, marcar la tarjeta de trabajo, quitar las herramientas de la máquina, regresarlas al depósito y contar la producción. Las figuras 9–8 y 9–10 ilustran un estudio que incluye cuatro elementos de preparación (S-1, S-2, S-3 y S-4).

Al establecer los tiempos de preparación, el analista debe usar los procedimientos idénticos seguidos para establecer los estándares de producción, excepto que no tendrá oportunidad de obtener una serie de valores elementales para determinar los tiempos medios. Además, el analista no puede observar al operador al realizar los elementos de preparación de antemano; en consecuencia, está obligado a dividir la preparación en elementos mientras lleva a cabo el estudio. Sin embargo, como los elementos de preparación, en su mayor parte, son de larga duración, existe una cantidad razonable de tiempo para dividir el trabajo, registrar el tiempo y evaluar el desempeño mientras el operario va de un elemento a otro.

BOSQUEJO



ESTUDIO NÚM. 14 FECHA 3/15
OPERACIÓN Cortar con sierra saliente y centro de molde
DEPTO. F-114 OPERARIO Ramírez NÚM. 127
EQUIPO Sierra eléctrica de aire y taladro
MQNA. NÚM. F 114 - 146
HERRAM. ESPECIALES, PLANTILLAS, DISPOSITIVOS,
CALIBRADORES J - 1117 - 9 y J - 1117 - 10
CONDICIONES Operador de pie, limpio, ruido promedio luz adecuada
MATERIAL Aluminio 380
PARTE NÚM. A - 1117 DIBUJO NÚM. C - 1117
DESCRIPCIÓN DE PARTE Ménsula para montar el ensamble

División de acciones		Elem núm.	Herramientas pequeñas, alimentación, velocidad, prof. de corte, etc.	Tiempo elemental	Ocur/ciclo	Tiempo total permitido
MANO IZQUIERDA	MANO DERECHA					
	Tomar molde (16")	1	J - 1117 - 9, 3600 rpm	0.170	1	0.170
Inactiva	Mover a dispositivo	2	J - 1117 - 10, 30"/min	0.222	1	0.222
	Colocar en dispositivo	3		0.131	1	0.131
Presionar el activador	Inactiva					
neumático de cierre			Total (cada pieza)			0.523
Inactiva	Presionar el botón activador					
	de la sierra					
		5-1		1.626		1.626
Presionar el activador	Inactiva	5-2		0.616		0.616
para detener		5-3		2.867		2.867
Inactiva	Tomar pieza del	5-4		1.663		1.663
	dispositivo					
Girar el cuerpo 60°	Girar el cuerpo 60°		Total (preparación)			6.772
	Colocar parte en la sujeción					
	para la perforación					
Asegurar el dispositivo						
	Alcanzar el control					
Inactiva	Conectar el alimentador					
Perforación 10	Perforación 10					
Mover al control para	Inactivia					
abrir sujetador						
	Tomar parte terminada					
Inactiva	Mover 16"					
	Colocar parte en la caja					

Existen dos maneras de manejar los tiempos de preparación distribuidos por cantidad o asignados al trabajo. En la primera, se distribuyen a través de una cantidad específica de producción, como 1 000 o 10 000 piezas. Este método sólo es satisfactorio cuando la magnitud del orden de producción es estándar. Por ejemplo, las industrias que surten a partir del inventario y reordenan con base en inventarios mínimos/máximos pueden controlar su producción con el modelo del lote económico. En esos casos, el tiempo de preparación se puede prorratear de manera equitativa en todo el lote. Por ejemplo, suponga que el tamaño del lote de cierto artículo es 1 000 piezas y que siempre se reordenan 1 000 unidades. Si el tiempo de preparación estándar en una operación dada es 1.50 horas, entonces el tiempo de operación permitido puede aumentar 0.15 horas por 100 piezas para tomar en cuenta los elementos de tener listo y almacenar.

Este método no es del todo práctico si el tamaño de la orden no se controla. En una planta donde las requisiciones se hacen según los pedidos, es decir, las órdenes de producción se liberan con la especificación de las cantidades que corresponden a las órdenes de los clientes, es imposible estandarizar el tamaño de las órdenes de trabajo. Por ejemplo, esta semana se envía una orden de 100 unidades y el mes siguiente se necesita una orden de 5 000 unidades del mismo artículo. En esta situación, el operario sólo tendría 1.5 horas de preparación de la máquina para las 100 unidades ordenadas, los cual sería inadecuado; pero en la orden de 5 000 unidades, el operario contaría con 7.50 horas, que se tendrían que considerar demasiado tiempo.

Es más práctico establecer estándares de preparación como tiempos estándar separados (figuras 9–8 y 9–10). Entonces, sin importar qué cantidad de partes se produzcan, prevalecerá un estándar justo. En algunos casos, la preparación la realiza una persona diferente al operario que realiza el trabajo. Las ventajas de tener personal distinto para la preparación son bastante obvias. Los operarios menos calificados se pueden usar como operarios cuando no tienen que preparar su propia instalación. Es más sencillo estandarizar las preparaciones e introducir cambios de métodos cuando la responsabilidad recae en un solo individuo. Además, cuando se dispone de suficiente maquinaria, la producción puede ser continua, si se prepara la siguiente asignación de trabajo mientras el operario trabaja en la asignación actual.

PREPARACIONES PARCIALES

Con frecuencia, no es necesario realizar una preparación completa de una instalación para realizar una operación específica, debido a que algunas herramientas de la operación anterior se usarán en el trabajo que sigue. Por ejemplo, en la preparación de tornos comunes o tornos revólver, una programación cuidadosa de trabajos similares para la misma máquina permite realizar preparaciones parciales entre los trabajos. En lugar de tener que cambiar seis herramientas en el torno hexagonal quizá sólo sea necesario cambiar dos o tres. Este ahorro en el tiempo de preparación es uno de los beneficios importantes de un programa bien formulado de tecnología de grupos.

Como la secuencia de trabajo programada para una máquina dada rara vez permanece igual, es difícil establecer tiempos de preparaciones parciales que cubran todas las variaciones posibles. Por ejemplo, el estándar de una preparación completa para un torno revólver Warner & Swasey núm. 4 puede ser 0.80 horas. Sin embargo, si la prepara-

ción tiene lugar después del trabajo X tal vez tome sólo 0.45 horas; después del trabajo Y puede requerir 0.57 horas; mientras que si sigue al trabajo Z, quizá sea necesario 0.70 horas. Las variaciones posibles en un tiempo de preparación parcial son tan amplias que la única manera práctica de establecer su valores con exactitud es usar datos de estándares (capítulo 12) para cada trabajo.

En las plantas en las que los tiempos de preparación son menores que una hora y las corridas de producción son razonablemente largas, es una práctica común asignar al operario el tiempo de preparación completo para cada trabajo realizado. Esto tiene ventajas por varias razones: primero, si la planta incorpora incentivos salariales, los operarios logran una satisfacción mucho mayor debido al salario mayor, y planean su trabajo para obtener la mayor ventaja. El resultado es una mayor producción por unidad de tiempo y menores costos totales. Además, se ahorra un tiempo considerable y mucha documentación al evitar tener que determinar un estándar para la preparación parcial de la operación y su aplicación en todos los casos pertinentes. De hecho, estos ahorros tienden a acercarse a la cantidad adicional pagada a los operarios como resultado de la diferencia entre el tiempo requerido para una preparación completa y el requerido para una preparación parcial.

RESUMEN

Para resumir, los pasos para realizar y calcular un estudio de tiempos típico son los siguientes (vea en la figura 9–6 los números correspondientes a estos pasos):

(1) Sincronizar el cronómetro con el reloj maestro y registrar el tiempo de inicio.
(2) Caminar a la operación e iniciar el estudio. La lectura al iniciar es el tiempo transcurrido antes del estudio (TTAS).
(3) Calificar el desempeño del operario mientras realiza el elemento y registrar la calificación sencilla o bien la calificación promedio.
(4) Oprimir el botón del cronómetro al inicio del siguiente elemento. Para tiempo continuo, registrar la lectura en la columna TC; para regresos a cero, registrar la lectura en la columna TO, como se muestra.
(5) Para los elementos extraños, indicar en la columna TN y registrar los tiempos en la sección de *elementos extraños*.
(6) Una vez cronometrados todos los elementos, detener el reloj maestro del cronómetro y registrar el tiempo de terminación.
(7) Registrar las lecturas como el tiempo transcurrido después del estudio (TTDS).
(8) Sumar (2) y (7) para obtener el tiempo de verificación.
(9) Restar (6) menos (1) para obtener el tiempo transcurrido.
(10) Calcular el tiempo normal con la multiplicación de los tiempos observados por la calificación.
(11) Sumar todos los tiempos observados y los tiempos normales de cada elemento. Encontrar el tiempo normal promedio.
(12) Sumar todos los totales de tiempos observados para obtener el tiempo efectivo.
(13) Sumar todos los elementos extraños para obtener el tiempo no efectivo.

(14) Sumar (8), (12) y (13) para obtener el tiempo registrado total.
(15) Restar (9) menos (14) para obtener el tiempo no contado. Usar el valor absoluto. (La diferencia puede ser negativa o positiva, y se quieren números positivos.)
(16) Dividir (15) entre (9) para obtener el porcentaje de error de registro. Se espera que este valor sea menos de 2%.

PREGUNTAS

1. ¿Cómo se determina el pago de un día de trabajo justo en los acuerdos salariales?
2. ¿Qué punto de comparación se da para el paso normal en estos acuerdos?
3. ¿Por qué debe el supervisor firmar el estudio de tiempos?
4. ¿Cuáles son los efectos de estándares de tiempo mal establecidos?
5. ¿Qué equipo necesita un analista de estudio de tiempos?
6. ¿Qué características del cronómetro digital son atractivas para el analista?
7. ¿Cómo se puede usar un metrónomo como herramienta de capacitación para la calificación del desempeño?
8. ¿Qué debe tomarse en cuenta para la elección del operario que se va a estudiar?
9. ¿Por qué es esencial registrar la información completa de herramientas y maquinaria en la forma de estudio de tiempos?
10. ¿Por qué son importantes las condiciones de trabajo para identificar el método que está en observación?
11. ¿Por qué un analista que no oye bien tendrá dificultad para realizar un estudio de tiempos?
12. Diga cuál es la diferencia entre elementos constantes y variables. ¿Por qué deben mantenerse separados al dividir el trabajo en elementos?
13. ¿Qué ventajas tiene el método continuo de registros con cronómetro sobre regresos a cero?
14. Explique por qué ha aumentado el uso de cronómetros electrónicos para regresos a cero.
15. ¿Por qué se registra la hora del día en la forma del estudio de tiempos?
16. ¿Qué variaciones en la secuencia puede encontrar el observador durante un estudio de tiempos?
17. Explique qué son los elementos extraños y cómo se manejan en el método continuo.
18. ¿Qué factores contribuyen al determinar el número de ciclos a observar?
19. ¿Por qué es necesario calificar al operador?
20. ¿Cuándo deben calificarse los elementos individuales de cada ciclo?
21. Defina operario "calificado".
22. ¿Por qué se aplican suplementos al tiempo normal?
23. ¿Cuál es el significado de un círculo en el tiempo transcurrido?
24. ¿Qué pasos se siguen en el cálculo de un estudio de tiempos realizado según el procedimiento de calificación del desempeño global continuo?
25. ¿Concuerda el paso de caminar a 3 millas por hora con su concepto de un desempeño normal?
26. Defina el término "tiempo estándar".

27. ¿Por qué casi siempre es más conveniente expresar los estándares como tiempo por cientos de piezas en lugar de tiempo por pieza?
28. ¿Por qué se establecen estándares temporales?
29. ¿Qué elementos del trabajo se incluyen en el estándar de preparación?

PROBLEMAS

1. Según la tabla 9–2, ¿cuántas observaciones deben realizarse en una operación para la cual la actividad anual es 750 piezas y el tiempo de ciclo se estima en 15 minutos?
2. Elija una operación sencilla que realice con regularidad, como lavarse los dientes, rasurarse o peinarse, y estime el tiempo que le toma realizarla. Después mida el tiempo que le lleva si lo hace a paso normal. ¿Su estimación quedó dentro del tiempo estimado más o menos 20%?
3. Para demostrar los distintos niveles de desempeño a un grupo de secretarios sindicales, el supervisor de estudio de tiempos de la compañía XYZ usa el metrónomo mientras reparte las cartas de un juego de bridge. ¿Cuántas veces por minuto debe sonar el metrónomo para demostrar los siguientes niveles de desempeño: 60%, 75%, 100%, 125%?
4. Se usó la guía de General Electric para determinar el número de observaciones para un estudio. La guía indica que se requieren 10 ciclos. Después de realizar el estudio, se usa el error estándar de la media para estimar el número de observaciones necesario para un nivel de confianza dado. El cálculo indica que debieron estudiarse 20 ciclos. ¿Cuál sería su procedimiento? ¿Por qué?
5. El analista de estudio de tiempos en la Dorben Company obtuvo las siguientes lecturas de cronómetro con regresos a cero para el desempeño de un elemento. Asignó un valor de 16% para el suplemento de este elemento. ¿Cuál sería el tiempo estándar para este elemento?

Lectura de regresos a cero	Factor de desempeño
28	100
24	115
29	100
32	90
30	95
27	100
38	80
28	100
27	100
26	105

6. Calcule el número requerido de lecturas si el analista desea 87% de confianza para que el tiempo medio observado esté dentro de ±5% de la media verdadera y si se establecen los siguientes valores para un elemento después de 19 ciclos de observación: 0.09, 0.08, 0.10, 0.12, 0.09, 0.08, 0.09, 0.12, 0.11, 0.12, 0.09, 0.10, 0.12, 0.10, 0.08, 0.09, 0.10, 0.012, 0.09.

7. Los siguientes datos se obtuvieron en un estudio de tiempos tomado en un fresadora horizontal:
   Tiempo de esfuerzo manual medio por ciclo: 4.62 minutos.
   Tiempo de corte medio (alimentación automática): 3.74 minutos.
   Calificación de desempeño medio: 115%
   Suplemento por la máquina (alimentación automática): 10%
   Suplemento por fatiga: 15%
   ¿Cuál es el tiempo estándar de la operación?

8. Un analista de medición del trabajo en la Dorben Company tomó 10 observaciones de un trabajo con producción alta. Calificó el desempeño de cada ciclo y después calculó el tiempo medio normal de cada elemento. El elemento con la mayor dispersión tenía una media de 0.30 minutos y una desviación estándar de 0.03 minutos. Si se desea tener datos de la muestra dentro de ± 5% de los datos reales, ¿cuántas observaciones debe tomar el analista de estudio de tiempos para esta operación?

9. En la Dorben Company, el analista de medición del trabajo realizó un estudio de tiempo detallado de la fabricación de moldes. El tercer elemento del estudio tenía la mayor variación en tiempo. Después de estudiar nueve ciclos, el analista calculó la media y la desviación estándar de ese elemento, con los siguientes resultados:

$$\bar{x} = 0.42, \quad s = 0.08$$

   Si el analista quiere tener una confianza de 90% para que el tiempo medio de la muestra esté dentro del ± 10% de la media de la población, ¿cuál es el total de observaciones que debió tomar? ¿Dentro de qué porcentaje del promedio de la población total está $\bar{x}$ con 95% de nivel de confianza y con las observaciones medidas?

10. Según los datos proporcionados en la figura 9–8, ¿cuál sería la eficiencia de un operario que prepara la máquina y produce una orden de 5 000 piezas en una semana de 40 horas?

11. Establezca la tasa salarial por cada cien piezas a partir de los datos siguientes:
   Tiempo de ciclo (tiempo medido promediado): 1.23 minutos.
   Tasa base: $8.60 por hora
   Piezas por ciclo: 4.
   Tiempo de máquina (alimentación automática): 0.52 minutos por ciclo.
   Suplemento: 17% en tiempo de esfuerzo, 12% en tiempo de alimentación automática.
   Calificación de desempeño: 88%.

12. Los siguientes datos se obtuvieron en un estudio de una fresadora horizontal:
   Piezas producidas por ciclo: 8.
   Tiempo de ciclo medido promedio: 8.36 minutos.
   Tiempo de esfuerzo medido promedio: 4.62 minutos.
   Tiempo de avance lateral rápido promedio: 0.08 minutos.
   Tiempo de corte promedio con alimentación automática: 3.66 minutos.
   Calificación de desempeño: 115%.
   Suplemento (tiempo de máquina): 10%.
   Suplemento (tiempo de esfuerzo): 15%.
   El operario trabaja en la tarea 8 horas al día y produce 380 piezas. ¿Cuántas horas estándar gana el operario? ¿Cuál es la eficiencia del operario durante las 8 horas de trabajo?

13. Exprese el estándar de 5.761 minutos en horas por cien piezas. ¿cuál sería la eficiencia del operario si terminara 92 piezas en un día de trabajo? ¿Cuál sería su eficiencia si preparara la máquina (estándar de preparación = 0.45 horas) y produce 80 piezas en una jornada de 8 horas?
14. Encuentre los tiempos observado, normal y estándar para los siguientes trabajos mostrados en el CD. Suponga que un desempeño estándar y suplemento de 10%.
    a. Sellar extrusiones terminales (stamping end extrusions)
    b. Sellar acoplamientos terminales (stamping end couplings)
    c. Ensamble de lámpara de mano (flashlight assembly)
    d. Ensamble de unión (union assembly)
    e. Ensamble de riel de cama de hospital (hospital bed rail assembly)
    f. Costura de prendas de ropa (stiching garments)
    g. Etiquetado (labeling)
    h. Corte e hilvanado de prendas de ropa (Cut and tack garments)

REFERENCIAS

Barnes, Ralph M., *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*, 7a. ed., Nueva York: John Wiley & Sons, 1980.

Gomberg, William, *A Trade Union Analysis of Time Study*, 2a. ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1955.

Griepentrog, Carl W. y Gilbert Jewell, *Work Measurement: A Guide for Local Union Bargaining Committees and Stewards*, Milwakee, WI: International Union of Allied Industrial Workers of America, AFL-CIO, 1970.

Lowry, S. M., H. B. Maynard y G. J. Stegemerten, *Time and Motion Study and Formulas for Wage Incentives*, 3a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1940.

Mundel, M. E., *Motion and Time Study: Improving Productivity*, 5a. ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1978.

Nadler, Gerald, *Work Design: A Systems Concept*, ed. rev., Homewood, IL: Richard D. Irwin, 1970.

Rotroff, Virgil H., *Work Measurement*, Nueva York: Reinhold Publishing, 1959.

Smith, George, L., *Work Measurement—A Systems Approach*, Columbus, OH: Grid, 1978.

United Auto Workers, *Time Study—Engineering and Education Departments. Is Time Study Scientific?*, Publicación Núm. 325, Detroit, MI: Solidarity House, 1972.

SOFTWARE SELECCIONADO

CITS/APR, C-Four, P.O. Box 808, Pendelton, SC 29670 (http//www.c-four.com/)

Design Tools (incluido en este libro), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

MVTA, Nexgen Ergonomics, 3400 de Maisonnueve Blvd. West, Suite 1430, Montreal, Quebec, Canadá, H3Z 3B8 (http//www.nexgenergo.com/).

PalmCITS, C-Four, P.O. Box 808, Pendelton, SC 29670 (http//www.c-four.com/)

QuickTimes, Applied Computer Services, Inc., 7900 E. Union Ave., Suite 1100, Denver, CO 80237 (http//www.acsco.com/).

QuickTS (incluido en este libro), Nueva York:McGraw-Hill, 2002.

TimStudy, Royal J. Dosset Corp., 2795 Pheasant Rd., Excelsior, MN 55331.

VIDEOCINTAS SELECCIONADAS

Time Study Fundamentals, 1/2" VHS, C-Four, P.O. Box 808, Pendelton, SC 29670.

CAPÍTULO 10

Calificación del desempeño

Universidad de Occidente • Biblioteca
Unidad Los Mochis

PUNTOS CLAVE:

- Usar las calificaciones para ajustar los tiempos observados con los esperados para el desempeño estándar.
- La calificación de velocidad es el método más rápido y sencillo.
- Para estudios con elementos de larga duración, se califica cada uno por separado.
- Calificar al operario antes de registrar el tiempo.
- Para estudios con elementos de corta duración, se califica todo el estudio.
- Práctica y calificación de la práctica.

Durante el estudio, los analistas de tiempos observan con cuidado el desempeño del operario. El desempeño que se lleva a cabo pocas veces es igual a la definición exacta de *estándar*. Así, deben hacerse algunos ajustes al tiempo medio observado requerido por un operario calificado para hacer la tarea cuando trabaja a un paso promedio. Para obtener el tiempo requerido por un trabajador calificado, los analistas deben aumentar el tiempo si se trata de operarios superiores al estándar y disminuirlo si se seleccionaron operarios abajo del estándar. Sólo de esta manera se puede establecer un estándar real para los operarios calificados.

La calificación del desempeño es tal vez el paso más importante en todo el procedimiento de medición del trabajo. También es el paso más sujeto a críticas, ya que se basa por completo en la experiencia, capacitación y juicio del analista de medición del trabajo. Sin importar si el factor de calificación se basa en la velocidad o el ritmo de salida o en el desempeño del operario comparado con el del trabajador calificado, el juicio es el criterio para determinar el factor de calificación. Por esta razón, los analistas deben ser personas íntegras en todos sentidos.

Debido a la importancia de la calificación del desempeño, este capítulo no sólo describe las técnicas más aceptadas y en uso en la actualidad, sino revisa algunos de los métodos históricos importantes. Entender las filosofías históricas y los métodos resultantes será de gran ayuda para desarrollar una apreciación de esta importante etapa.

DESEMPEÑO ESTÁNDAR

El desempeño estándar se define como el nivel de desempeño logrado por un operario con amplia experiencia que trabaja en las condiciones acostumbradas a un paso no muy rápido ni muy lento, pero representativo de uno que se puede mantener durante todo el día. Para definir mejor este desempeño, se usan ejemplos de punto de comparación (*benchmark*) que nos son familiares. Sin embargo, deben definirse con cuidado los métodos y requerimientos del trabajo. Por ejemplo, si se establece el punto de comparación para repartir 52 cartas en 0.50 minutos, debe darse una descripción específica completa de la distancia al crupier de las cuatro manos repartidas, lo mismo que de la técnica para tomar, mover y dejar las cartas. De la misma manera, si se establece un punto de comparación de 0.38 minutos para caminar 100 pies (3 millas por hora o 4.83 km/h), la definición debe especificar si el suelo está nivelado, si se lleva una carga y qué tan pesada es. Cuanto más clara y específica sea la definición de estándar, es mejor.

Los ejemplos de puntos de comparación deben complementarse con una descripción clara de las características de un empleado que desarrolla un desempeño estándar. Una descripción representativa de este tipo de empleado puede ser como sigue: un trabajador que se adapta al trabajo y ha adquirido suficiente experiencia para realizar el trabajo de una manera eficiente sin supervisión o con muy poca. El(la) trabajador(a) posee cualidades de coordinación mental y física, que le permiten pasar de un elemento a otro sin dudas o retrasos, de acuerdo con los principios de economía de movimientos. El trabajador mantiene un buen nivel de eficiencia a través del conocimiento y uso de todas las herramientas y equipo relacionados con el trabajo. Él o ella coopera y realiza el trabajo al paso más adecuado para el desempeño continuo. Sin embargo, existen diferencias individuales entre los trabajadores. Las diferencias inherentes al conocimiento, la capacidad física, la salud, el conocimiento del oficio, la destreza física y la capacitación pueden ser causa de que un operario sea mucho mejor que otro en forma consistente y progresiva.

La variación en el desempeño para cada individuo se aproxima a la razón de 1 a 2.25. Por ejemplo, en la selección aleatoria de 1 000 empleados, la distribución de frecuencia de los resultados se aproxima a una curva normal, con un promedio inferior a tres casos que quedan fuera de los límites de tres sigma (99.73% de las veces). Si debe tomarse el 100% como estándar, entonces según la razón de 2.25 a 1 para el operador más lento, $x - 3\sigma$ puede ser igual a 0.61, y entonces $x + 3\sigma$ sería igual a 1.39. Esto significa que 68.26% de las personas estarán dentro del límite de más o menos una sigma, o entre los valores de calificación de desempeño de 0.87 y 1.13 (Presgrave, 1957). En forma gráfica, la distribución total esperada de las 1 000 personas se ve como se muestra en la figura 10–1.

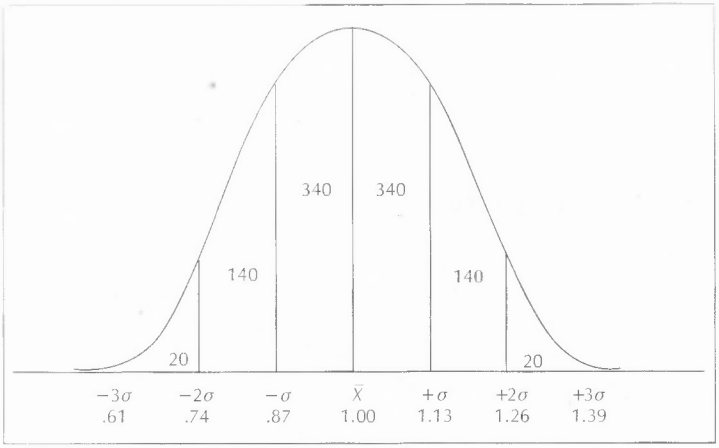


Figura 10–1 Distribución esperada del resultado de 1 000 personas seleccionadas al azar.

Como los departamentos de personal suelen realizar un escrutinio cuidadoso de los empleados antes de asignarlos a trabajos específicos, la media de cualquier grupo seleccionado puede exceder la cifra de 100% representativa de una muestra arbitraria tomada de una población, y la dispersión de los resultados puede ser mucho menor que la razón 2.25 a 1. De hecho, algunos piensan que con un programa de pruebas minucioso para seleccionar a la persona adecuada y la capacitación intensiva del empleado en el método correcto de desempeño, se obtienen resultados similares de los distintos operarios asignados al mismo trabajo. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, prevalecen diferencias significativas en la producción de quienes están asignados a una clase de trabajo dada. Por lo tanto, los analistas deben ajustar el desempeño del operario que estudian a un concepto de normal predeterminado.

CARACTERÍSTICAS DE CALIFICACIONES RAZONABLES

La primera y más importante característica de cualquier sistema de calificaciones es la exactitud. Dado que casi todas las técnicas para calificar se basan en el juicio del observador del estudio de tiempos, es imposible obtener una consistencia perfecta en las calificaciones. Aun así, se consideran adecuados los procedimientos de calificación que permiten a los analistas estudiar a diferentes operarios con el mismo método para llegar a estándares que no se desvían más de 5% del estándar promedio establecido por el grupo. Los planes de calificaciones con variaciones mayores que ±5% deben mejorarse o bien reemplazarse.

Los analistas de estudio de tiempos que encuentran dificultad para calificar con consistencia después de la capacitación, tal vez no deban realizar esos estudios. No es difícil corregir los hábitos de una analista que califica siempre alto o siempre bajo, pero es muy difícil corregir la habilidad de un analista inconsistente, que califica alto hoy y bajo mañana. La inconsistencia, más que cualquier otro aspecto, destruye la confianza

del operario en el procedimiento de estudio de tiempos. Por último, un sistema de calificaciones sencillo, conciso, fácil de explicar y anclado a puntos de comparación bien establecidos tiene más éxito que un sistema complejo que requiere factores de ajuste elaborados y técnicas de cálculo que confunden al empleado promedio de la planta.

CALIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO

La calificación del desempeño debe realizarse durante la observación de los tiempos elementales. Conforme un operario procede de un elemento al siguiente, usando el método prescrito, los analistas deben evaluar con cuidado, la velocidad, la destreza, los movimientos falsos, el ritmo, la coordinación, la efectividad y otros factores que influyen en la producción. En este punto, el desempeño del operario comparado con el desempeño estándar es más evidente. Una vez juzgado y registrado el desempeño, no debe cambiarse. Sin embargo, esto no implica que el observador haga siempre un juicio perfecto. Si la calificación se pone en duda, el trabajo o la operación deben volver a estudiarse para probar o desaprobar la evaluación registrada.

Justo después de terminar el estudio y registrar el factor final de desempeño (si se usó la calificación global), el observador debe comunicar al operario su calificación de desempeño. Incluso cuando se usa la calificación de elementos, el analista puede aproximar el desempeño del operario. Esto da al operario la oportunidad de expresar su opinión sobre la justicia del factor de desempeño y hacerlo con la persona responsable de su desarrollo. Es de esperarse que el operario entienda la calificación y sus implicaciones antes de calcular el estándar. Cuando se pone en práctica este procedimiento, los analistas de estudio de tiempos encuentran que obtienen un mayor respeto de los operarios y que tienden a ser más cuidadosos en la forma de calificar el desempeño. Además, surgen menos resentimientos, debido a que la mayor parte de las calificaciones se acordaron, o al menos tuvieron una explicación satisfactoria, antes de emitirse.

CALIFICACIÓN DE ELEMENTOS CONTRA ESTUDIO GLOBAL

A menudo surge la pregunta respecto a la frecuencia con que se debe evaluar el desempeño durante el curso de un estudio. Aunque no existe una regla establecida en cuanto a los límites del periodo que permite obtener calificaciones concisas, cuanto mayor sea la frecuencia con que se califica, mayor será la exactitud de la evaluación del desempeño mostrado por el operario.

Las operaciones repetitivas de ciclos cortos, tienen poca desviación en el desempeño del operario durante la longitud promedio de un estudio (15 a 30 minutos). En esos casos, es perfectamente satisfactorio evaluar el desempeño del estudio completo y registrar el factor de calificación para cada elemento. No obstante, debe recordar que los elementos con alimentación automática o controlados por la máquina se califican como normales, o con 100, pues su velocidad no puede cambiar o modificarse a la voluntad de los operarios. En estudios de ciclos cortos, un observador que se esfuerza en calificar el desempeño de cada elemento en el estudio estará tan ocupado registrando valores que no podrá observar, analizar y evaluar con efectividad el desempeño del operario.

Cuando el estudio es relativamente largo (más de 30 minutos), o está constituido por varios elementos largos, el desempeño del operario puede variar durante el estudio. En estos casos, los analistas deben evaluar y calificar periódicamente dicho desempeño. Pueden calificar con consistencia y precisión elementos de duración mayor que 0.10 minutos conforme ocurren. Sin embargo, si un estudio comprende una serie de elementos más cortos que 0.10 minutos, no debe intentarse evaluar cada elemento de cada ciclo del estudio, pues el tiempo no lo permitirá. Es satisfactorio calificar el tiempo global de cada ciclo o grupo de ciclos. Como ejemplos, en los estudios de tiempos mostrados en las figuras 9–4, 9–6 y 9–7 se calificó cada elemento, mientras que en el estudio mostrado en la figura 9–8 se calificó todo el estudio.

MÉTODOS PARA CALIFICAR

CALIFICACIÓN DE VELOCIDAD

La *calificación de velocidad o rapidez* es un método de evaluación del desempeño que sólo considera la tasa de trabajo logrado por unidad de tiempo. Con este método, el observador mide la efectividad del operario contra el concepto de un operario calificado que realiza el mismo trabajo, y después asigna un porcentaje para indicar la razón del desempeño observado entre el normal o estándar.

Este método hace un énfasis específico en que el observador tiene un conocimiento completo del trabajo antes de realizar el estudio. Para ilustrarlo, el paso de los operarios de máquinas en una planta que produce partes de motor para aviones parecería mucho más lento que el paso de trabajadores de máquinas que producen componentes para maquinaria agrícola. La mayor precisión del trabajo en aviones requiere tales cuidados que los movimientos de los operarios pueden parecer muy lentos a quien no esté familiarizado con este tipo de trabajo.

En el método de calificación de velocidad, el analista primero valora el desempeño para determinar si está arriba o abajo de lo normal. Después intenta colocar el desempeño en la posición precisa de la escala de calificaciones que evalúa la diferencia numérica entre el desempeño estándar y el demostrado. Entonces, 100% suele considerarse normal. Una calificación de 110% indica que el operario tenía una velocidad 10% mayor que lo normal y 90% significa que su velocidad era 10% menor de lo normal.

Todos los analistas, con años de experiencia, desarrollan un modelo mental del desempeño estándar. Sin embargo, puede ser útil que el analista novato tome en cuenta el desempeño de varias tareas comunes a fin de desarrollar un modelo mental inicial. Presgrave (1957) sugirió dos tipos de tareas: 1) caminar a 3 millas por hora (4.83 km/h), es decir, 100 pies (30.5 m) en 0.38 minutos, y 2) repartir un juego de 52 cartas en cuatro montones iguales colocados cerca en medio minuto (observe que el pulgar opuesto alimenta las cartas a la mano que reparte). La tabla 10–1 presenta una guía con puntos ancla para varios niveles.

También puede resultar útil para el analista novato comenzar por calificar de 10 en 10, es decir, 80, 90, 100, etcétera y con el tiempo hacerlo de 5 en 5, y así sucesivamente. Además, es muy importante que el analista registre la calificación en la columna C de la

Tabla 10–1 Guía para calificar la velocidad

Calificación	Puntos ancla verbales	Velocidad de caminata (mph)	Cartas repartidas por ½ minuto
0	Sin actividad	0	0
67	Muy lento, torpe	2	35
100	Firme, deliberado	3	52
133	Activo, negociante	4	69
167	Muy rápido, alto grado de destreza	5	87
200	Límite superior por un periodo corto	6	104

forma de estudio de tiempos antes de iniciar las lecturas de cronómetro; de otra manera, es posible que se le acuse de *calificar contra reloj*.

Algunas compañías usan una técnica de calificación de velocidad normalizada a un estándar de 60%. Esto se basa en el enfoque de la hora estándar, esto es, producir 60 minutos de trabajo cada hora. Con esta base, una calificación de 80 significaría que el operario trabajó con una velocidad de 80/60, o sea 133%, que es 33% arriba de lo normal. Una calificación de 50 indicaría una velocidad de 50/60, es decir 83.3% de lo normal.

La industria básica del acero ha dedicado mucha atención a una forma de calificar la velocidad conocida como *calificación del paso*. En un esfuerzo por contar con una identificación completa del paso normal en distintas tareas, la industria proporcionó puntos de comparación para una amplia variedad de trabajos, que incluyen operaciones de esfuerzo como palear arena, fabricar núcleos, manejar ladrillos y caminar. Todas se han identificado con claridad en cuanto al método y se han cuantificado respecto a la tasa normal de producción. Una vez que el analista se familiariza con una serie de puntos comparativos que tienen una relación estrecha con el trabajo que estudia, tiene más herramientas para evaluar la velocidad del desempeño.

Los analistas de estudio de tiempos usan la calificación de velocidad para calificar elementos, ciclos o el global. Por ejemplo, todos los estudios de tiempos mencionados en el capítulo 9 usaron calificación de velocidad.

EL SISTEMA WESTINGHOUSE

Uno de los sistemas de calificación más antiguos y con mayor aplicación fue desarrollado por la Westinghouse Electric Corporation. Se describe con detalle en Lowry, Maynard y Stagemerten (1940). Este método considera cuatro factores para evaluar el desempeño del operario: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia.

Lowry, *et al.* define la habilidad como el "nivel de competencia para seguir un método dado", y la relaciona con la experiencia demostrada por la coordinación adecuada de la mente y las manos. La habilidad de un operario es el resultado de la experiencia y las aptitudes inherentes de coordinación natural y ritmo. La práctica desarrolla y contribuye a la habilidad, pero no compensa todas las deficiencias en la aptitud natural.

La habilidad de una persona en una operación dada aumenta con el tiempo, debido a que al familiarizarse con el trabajo, tendrá más rapidez, movimientos más suaves y mayor libertad en cuanto a titubeos y movimientos falsos. Una disminución en la habilidad suele ser el resultado de algún impedimento en sus aptitudes debido a factores

Tabla 10–2 Sistema de calificación de habilidades de Westinghouse

+ 0.15	A1	Superior
+ 0.13	A2	Superior
+ 0.11	B1	Excelente
+ 0.08	B2	Excelente
+ 0.06	C1	Bueno
+ 0.03	C2	Bueno
0.00	D	Promedio
− 0.05	E1	Aceptable
− 0.10	E2	Aceptable
− 0.16	F1	Malo
− 0.22	F2	Malo

Fuente: Lowry, *et al.* (1940), pág. 233.

físicos o psicológicos, como la vista que falla, menores reflejos y la pérdida de la fuerza o coordinación muscular. Por lo tanto, la habilidad de una persona puede variar de un trabajo a otro e incluso de una operación a otra dentro del mismo trabajo.

El *sistema de calificación de Westinghouse* enumera seis grados o clases de habilidad que representan un grado de competencia aceptable para la evaluación: malo, aceptable, promedio, bueno, excelente y superior. El observador evalúa la habilidad desplegada por el operario y la clasifica en una de estas seis clases. La tabla 10–2 ilustra las características de los distintos grados de habilidad, con sus valores porcentuales equivalentes. Después se traduce la calificación a su valor porcentual equivalente, que va de +15% para la habilidad superior a −22% para la pésima. Este porcentaje se combina de manera algebraica con las calificaciones del esfuerzo, las condiciones y la consistencia para llegar a la calificación final, o factor de calificación del desempeño.

Este método para calificar define el esfuerzo como una "demostración de la voluntad para trabajar con efectividad". El esfuerzo es representativo de la velocidad con la que se aplica la habilidad, y el operario puede controlarla en un grado alto. Al evaluar el esfuerzo del operario, el observador debe tomar en cuenta sólo el esfuerzo "efectivo". Para explicar esto, en ocasiones el operario aplica un esfuerzo rápido mal dirigido para aumentar el tiempo de ciclo del estudio y al mismo tiempo conservar un factor de calificación alto.

Las seis clases de esfuerzo para asignar calificaciones son: malo, aceptable, promedio, bueno, excelente y excesivo. El esfuerzo excesivo tiene un valor de +13% y el malo, uno de −17%. La tabla 10–3 proporciona los valores numéricos para los distintos grados de esfuerzo y describe las características de las categorías.

Las condiciones a las que se refiere este procedimiento de calificación del desempeño afectan al operario y no a la operación. Los analistas califican las condiciones como normal o promedio en la mayoría de los casos, ya que las condiciones se evalúan con una comparación con la forma en que es usual encontrarlas en la estación de trabajo. Los elementos que afectan las condiciones de trabajo incluyen temperatura, ventilación, luz y ruido. Entonces, si la temperatura en una estación de trabajo dada es 60°F, pero es costumbre mantenerla entre 68°F y 74°F, las condiciones se califican más bajo de lo normal. Los factores que afectan la operación, como herramientas o materiales

Tabla 10–3 Sistema de calificación de esfuerzo de Westinghouse

+ 0.13	A1	Excesivo
+ 0.12	A2	Excesivo
+ 0.10	B1	Excelente
+ 0.08	B2	Excelente
+ 0.05	C1	Bueno
+ 0.02	C2	Bueno
0.00	D	Promedio
− 0.04	E1	Aceptable
− 0.18	E2	Aceptable
− 0.12	F1	Malo
− 0.17	F2	Malo

Fuente: S. M. Lowry, *et al.* (1940) p. 233.

Tabla 10–4 Sistema de calificación de condiciones de Westinghouse

+ 0.06	A	Ideal
+ 0.04	B	Excelente
+ 0.02	C	Bueno
0.00	D	Promedio
− 0.03	E	Aceptable
− 0.07	F	Malo

Fuente: S. M. Lowry, et al. 1940, p233.

en malas condiciones, no se toman en cuenta al aplicar el factor de desempeño para las condiciones de trabajo.

Las seis clases generales de condiciones de trabajo con valores que van de +6% a −7% son: ideal, excelente, bueno, promedio, aceptable y malo. La tabla 10–4 proporciona los valores respectivos para estas condiciones.

El último de los cuatro factores que influyen en la calificación del desempeño es la consistencia del operario. A menos que el analista use el método de regresos a cero, o realice y registre las restas sucesivas durante el estudio, la consistencia del operario debe evaluarse mientras está trabajando. Los valores de tiempos elementales que se repiten constantemente tendrán una consistencia perfecta. Esta situación ocurre rara vez, pues siempre tiende a haber una dispersión debida a muchas variables, como la dureza de los materiales, el filo de la herramienta de corte, los lubricantes, la habilidad y esfuerzo del operario, las equivocaciones en las lecturas de cronómetro y los elementos extraños. Los elementos que tienen un control mecánico también tendrán una consistencia casi perfecta, pero esos elementos no se califican.

Las seis clases de consistencia son: perfecta, excelente, buena, promedio, aceptable y mala. La consistencia perfecta se califica con +4% y la mala con −4%, y los valores de las otras clases están entre estos dos. La tabla 10–5 resume estos valores.

No se puede citar una regla fija para calificar la consistencia. Algunas operaciones de corta duración no requieren manipulaciones delicadas de posicionamiento y dan

Tabla 10-5 Sistema de calificación de consistencia de Westinghouse

+ 0.04	A	Perfecta
+ 0.03	B	Excelente
+ 0.01	C	Buena
0.00	D	Promedio
− 0.02	E	Aceptable
− 0.04	F	Mala

Fuente: S. M. Lowry, *et al.* (1940) p. 233.

resultados bastante consistentes de un ciclo a otro. Estas operaciones exigirán una consistencia promedio mayor respecto a los trabajos de larga duración que involucran elementos de gran habilidad en su posicionamiento, sujeción y alineación. Los conocimientos del analista de estudio de tiempos sobre el trabajo determinan, en alto grado, el intervalo de variación justificado para una operación en particular.

Algunos operarios son consistentes en un mal desempeño porque se esfuerzan en engañar a los observadores. Es sencillo que lo logren si cuentan en voz baja y establecen un paso que se puede seguir con precisión. Los operarios familiarizados con el procedimiento de calificación del desempeño, en ocasiones funcionan con un paso consistente que está por debajo de la curva de calificación del esfuerzo. En otras palabras, pueden tener un desempeño a un paso peor que el que se califica como malo. En esos casos debe calificarse al operario. El estudio debe detenerse y llamar la atención del operario, del supervisor o de ambos, respecto a la situación.

Una vez que se ha asignado una calificación de habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia de la operación y se han establecido los valores numéricos, se debe determinar el factor de desempeño global mediante la suma aritmética de los cuatro valores y agregando la unidad a esa suma. Por ejemplo, si un trabajo dado se califica como C2 en habilidad, C1 en esfuerzo, D en condiciones y E en consistencia, el factor de desempeño sería el siguiente:

Habilidad	C2	+ 0.03
Esfuerzo	C1	+ 0.05
Condiciones	D	+ 0.00
Consistencia	E	− 0.02
Suma aritmética		+ 0.06
Factor de desempeño		1.06

El factor de desempeño sólo se aplica a los elementos de esfuerzo o los realizados en forma manual; todos los elementos controlados por máquinas se califican con 100%.

Muchas compañías han modificado el sistema de Westinghouse e incluyen sólo los factores de habilidad y esfuerzo en la calificación global. Afirman que la consistencia es un aliado cercano de la habilidad y que las condiciones se califican como promedio en la mayor parte de los casos. Si las condiciones se desvían de manera sustancial de lo normal, el estudio puede posponerse o debe tomarse en cuenta el efecto de las condiciones no usuales en la aplicación de suplementos (capítulo 11).

El sistema de calificación de Westinghouse requiere una amplia capacitación para diferenciar los niveles de cada atributo. La capacitación implica un curso de 30 horas de las cuales cerca de 25 horas se dedican a la calificación de videograbaciones y películas, y a analizar los atributos y el grado en el que se despliegan cada uno. En general, el procedimiento seguido es:

1. Se muestra una grabación y se explica la operación.
2. Se vuelve a mostrar la grabación y se califica.
3. Se comparan las calificaciones individuales y se discuten.
4. Se muestra de nuevo la grabación y se señalan y explican los atributos.
5. Se repite el paso 4 con la frecuencia necesaria hasta lograr comprensión y consenso.

Los procedimientos de calificación de Westinghouse son adecuados tanto para la calificación por ciclos como para calificar un estudio completo. Estos sistemas no son prácticos para calificar los elementos. Excepto en el caso de elementos de larga duración, los analistas no tienen tiempo de evaluar la destreza, efectividad y aplicación física de cada elemento.

CALIFICACIÓN SINTÉTICA

En un afán por desarrollar un método de calificación que no se base en el juicio de un observador de estudio de tiempos, y proporcione resultados consistentes, Morrow (1946) estableció un procedimiento conocido como *calificación sintética*. El procedimiento de calificación sintética determina un factor de desempeño para elementos de esfuerzo representativos del ciclo de trabajo, mediante la comparación de los tiempos observados elementales reales con los tiempos desarrollados a través de los datos de movimientos fundamentales (capítulo 13). Así, el factor de desempeño se puede expresar en forma algebraica como:

$$P = \frac{F_t}{O}$$

donde: P = factor de desempeño o de calificación,
F_t = tiempo del movimiento fundamental,
O = tiempo elemental medio observado para los elementos usados en F_t.

Una vez obtenido, este factor se aplica al resto de los elementos con control manual que comprende el estudio. Una vez más, los elementos controlados por las máquinas no se califican. Una ilustración típica de la calificación sintética aparece en la tabla 9-6.

Para el elemento 1,

$$P = 0.096/0.08 = 120\%$$

y para el elemento 4,

$$P = 0.278/0.22 = 126\%$$

La media de estos es 123%, que es el factor de calificación usado para todos los elementos de esfuerzo.

Tabla 10–6 Ejemplos de calificaciones sintéticas

Elemento núm.	Tiempo promedio observado en minutos	Tipo de elemento	Tiempo de movimiento fundamental en minutos	Factor de desempeño
1	0.08	Manual	0.096	123
2	0.15	Manual	—	123
3	0.05	Manual	—	123
4	0.22	Manual	0.278	123
5	1.41	Automático	—	100
6	0.07	Manual	—	123
7	0.11	Manual	—	123
8	0.38	Automático	—	100
9	0.14	Manual	—	123
10	0.06	Manual	—	123
11	0.20	Manual	—	123
12	0.06	Manual	—	123

Debe usarse más de un elemento para establecer el factor de calificación sintética, pues la investigación ha demostrado que el desempeño del operario varía mucho de un elemento a otro, en especial en tareas complejas. Por desgracia, una objeción fuerte a este procedimiento es el tiempo requerido para construir un diagrama bimanual de los elementos seleccionados para establecer los tiempos de los movimientos básicos.

CALIFICACIÓN OBJETIVA

El método de *calificación objetiva*, desarrollado por Mundel y Danner (1944), elimina la dificultad de establecer un criterio de paso normal para todo tipo de trabajo. Este procedimiento establece una sola asignación de trabajo con la que se compara el paso del resto de las tareas. Después de juzgar el paso, se asigna un factor secundario al trabajo, que indica su dificultad relativa. Los factores que influyen en el ajuste según la dificultad son: 1) extensión de cuerpo que se usa, 2) pedales, 3) bimanualidad, 4) coordinación ojo-mano, 5) requerimientos sensoriales o de manejo y 6) peso manejado o resistencia encontrada.

Se asignan valores numéricos, como resultado de experimentos, para un intervalo de cada factor. La suma de los valores numéricos para cada uno de los seis factores forma el ajuste secundario. La calificación (C) se puede expresar como:

$$C = P \times D$$

donde P = factor de calificación del paso,
D = factor de ajuste por dificultad de la tarea.

Este procedimiento de calificación del desempeño proporciona resultados consistentes. Si el observador compara el paso de la operación en estudio con el de una operación con la que está familiarizado por completo, esto es mucho más sencillo que juzgar al mismo tiempo todos los atributos de una operación y compararlos con un concepto de

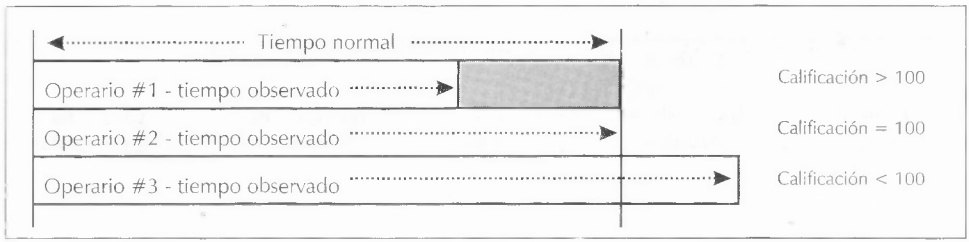


Figura 10–2 Relaciones de tiempo observado, calificación y tiempo normal.

normal para la tarea específica. El factor secundario no afecta la inconsistencia, ya que sólo ajusta el tiempo calificado con un porcentaje. Mundel y Danner (1994) publicaron tablas de porcentajes para los efectos de varios niveles de dificultad en la operación.

APLICACIÓN DE LA CALIFICACIÓN

El valor de una calificación se escribe en la columna *C* de la forma de estudio de tiempos. Casi siempre se omite el punto decimal y se escribe un entero (porcentaje) para ahorrar tiempo. Al terminar la etapa del cronómetro, se multiplica el tiempo observado (*TO*) por la calificación (*C*) en una escala de 100, para obtener el tiempo normal (*TN*):

$$TN = TO \times C/100$$

En efecto, esto califica el desempeño del operario en comparación con el de un operario calificado que trabaja a un paso estándar de desempeño, sin esfuerzo adicional, y con el método correcto (figura 10–2).

ANÁLISIS DE CALIFICACIONES

Como ocurre con todos los procedimientos que requieren el juicio subjetivo, cuanto más sencillo y conciso sea el plan, más fácil será usarlo y más válidos serán los resultados. El plan de calificación del desempeño cuya aplicación es más sencilla, su explicación más fácil y sus resultados más válidos es la calificación de velocidad con puntos de comparación sintéticos. Como ya se dijo, 100 se considera normal en este procedimiento, y un desempeño más alto se indica con valores directamente proporcionales a 100. La escala de calificación de velocidad casi siempre cubre un intervalo de 50 a 150. Puede estudiarse a operarios cuyo desempeño está fuera de este intervalo 3 a 1 de productividad, pero no se recomienda. Mientras más cercano sea el desempeño al estándar, mejor oportunidad se tendrá de lograr un tiempo normal justo.

Cuatro criterios determinan si los analistas de estudio de tiempos que usan la calificación de velocidad pueden establecer valores consistentes dentro de 5% del promedio de calificaciones calculadas por el grupo de analistas capacitados. Estos criterios son:

1. Experiencia en el tipo de trabajo realizado.
2. Uso de puntos comparativos en al menos dos de los elementos realizados.

3. Selección de un operario que tiene desempeños entre 85 y 115% del paso estándar.
4. Uso del valor medio de tres o más estudios independientes y/o diferentes operarios.

Lo más importante de estos criterios es la experiencia en el tipo de trabajo realizado. De la experiencia personal, ya sea en la observación o en la operación, los analistas deben tener la suficiente familiaridad con el trabajo para entender todos los detalles del método que se usa. Por ejemplo, en un trabajo de ensamble que tiene lugar en un dispositivo, el observador debe conocer la dificultad en el posicionamiento de las componentes en ese dispositivo, ha de entender la clase de ajuste entre todas las partes que se ensamblan y debe tener una comprensión clara de la relación entre el tiempo y el tipo de ajuste. También ha de conocer la secuencia adecuada de los eventos y el peso de todas las partes que se manejan. Esto no necesariamente significa que el analista debe haber sido un operario en el trabajo que estudia, aunque sería deseable. Por otro lado, un analista con 10 años de experiencia en el oficio de metales tendría muchos problemas para establecer estándares en una fábrica de zapatos de mujer.

Siempre que se disponga de más de un operario para el estudio, el analista debe seleccionar al que tiene más experiencia en el trabajo, con una reputación de ser receptivo a las prácticas de estudios de tiempos y tener un desempeño consistente a un paso cercano o un poco mejor que el estándar. Mientras más se acerque el desempeño del operario al paso normal, más sencillo será calificarlo. Por ejemplo, si el paso normal para repartir un juego de cartas en cuatro manos de bridge es 0.50 minutos, sería sencillo identificar un desempeño con ±15% de este estándar. Sin embargo, un desempeño 50% más rápido o más lento que el normal causará varias dificultades al establecer un factor de calificación preciso para el desempeño demostrado.

La exactitud de la calificación del analista se puede verificar mediante los estándares sintéticos. En el estudio de tiempos de la figura 9–8, el promedio del tiempo observado para el elemento #1 es 2.07/15 = 0.138 minutos. Cuando se divide 0.138 minutos entre el factor de conversión MTM de 0.0006, se obtiene un tiempo observado de 230 TMU (capítulo 13). El tiempo de movimiento fundamental para el elemento #1 es 255 TMU, lo que lleva a una calificación sintética de 255/230 = 111%. En este estudio particular, el analista tenía una calificación de velocidad de 110% y usó la calificación sintética para validar su juicio.

Para calificar un estudio global, el analista debe tomar tres muestras independientes o más antes de llegar al estándar. Estas pueden ser del mismo operario en diferentes momentos del día o de diferentes operarios. El punto es que si aumenta el número de muestras, los errores de compensación disminuyen el error global. Un ejemplo reciente aclara este concepto. Uno de los autores, junto con otros dos ingenieros industriales capacitados, revisaron películas de capacitación para calificar el desempeño incluyendo a 15 operarios diferentes. Los resultados se muestran en la tabla 10–7. Las calificaciones estándar no se dieron a conocer hasta que calificaron a los 15 operarios. La desviación promedio de los tres ingenieros para las 15 operaciones diferentes fue sólo 0.9 en una escala de calificación de velocidad de 50 a 150 puntos. Aun así, el ingeniero C estaba 30 puntos arriba en la operación 7 y el ingeniero B, 20 puntos abajo en la operación 2. Las calificaciones conocidas estaban dentro del intervalo de 70 a 130, la calificación

Tabla 10–7 Calificaciones de desempeño de tres ingenieros diferentes que observaron 15 operaciones distintas

Operación	Calificación estándar	Ingeniero A		Ingeniero B		Ingeniero C		Promedio de ing. A, B, C	
		Calif.	Desv.	Calif.	Desv.	Calif.	Desv.	Calif.	Desv.
1	110	110	0	115	+ 5	100	− 10	108	− 2
2	150	140	− 10	130	− 20	125	− 25	132	− 18
3	90	110	+ 20	100	+ 10	105	+ 15	105	+ 15
4	100	100	0	100	0	100	0	100	0
5	130	120	− 10	130	0	115	− 15	122	− 8
6	120	140	+ 20	120	0	105	− 15	122	+ 2
7	65	70	+ 5	70	+ 5	95	+ 30	78	+ 13
8	105	100	− 5	110	+ 5	100	− 5	103	− 2
9	140	160	+ 20	145	+ 5	145	+ 5	150	+ 10
10	115	125	+ 10	125	+ 10	110	− 5	120	+ 5
11	115	110	− 5	120	+ 10	115	0	115	0
12	125	125	0	125	0	115	− 10	122	− 3
13	100	100	0	85	− 15	110	+ 10	98	− 2
14	65	55	− 10	70	+ 5	90	+ 25	72	+ 7
15	150	160	+ 10	140	− 10	140	− 10	147	− 3
Promedio de las 15 operaciones	112	115.0		112.3		111.3		112.9	
Desviación promedio	0	+ 3.0		+ 0.3		− 0.7		+ 0.9	

promedio de los tres analistas excedía ±5 puntos de la calificación conocida sólo en un caso (operación 3).

CAPACITACIÓN PARA CALIFICAR

Para tener éxito, los analistas deben desarrollar registros de seguimiento para establecer estándares correctos que sean aceptados por la fuerza de trabajo y por la administración. Para tener el respeto de ambas partes, los estándares deben ser consistentes. Esto es cierto en especial al calificar la velocidad.

En general, cuando estudian a operarios con un desempeño en el intervalo de 0.70 a 1.30 de lo normal, los buenos analistas deben establecer regularmente estándares dentro de ±5% de la tasa real. Así, si varios operarios realizan el mismo trabajo, y varios analistas, que estudian cada uno a un operario diferente, establecen estándares de tiempo para el trabajo, entonces el estándar obtenido de cada estudio debe estar dentro de ±5% de la media del grupo de estudio.

Para asegurar la consistencia en las calificaciones, tanto entre las propias como entre las establecidas por otros, los analistas deben participar en forma continua en los programas de capacitación. Esta capacitación debe ser más intensa para los analistas nuevos de estudio de tiempos. Uno de los métodos de capacitación que más se usa es la observación de videograbaciones o películas que ilustran diversas operaciones realiza-

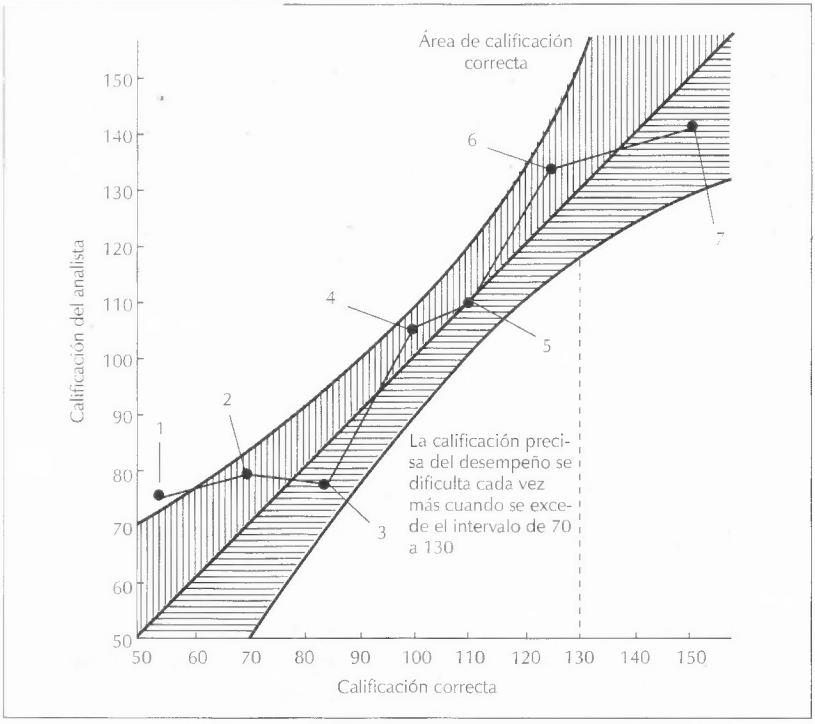


Figura 10–3 Gráfica que muestra un registro de siete estudios, donde el analista tiende a calificar un poco alto en los estudios 1, 2, 4 y 6, y un poco bajo en los estudios 3 y 7.
Sólo el estudio 1 fue calificado fuera del intervalo de exactitud deseado.

das a diferentes niveles de producción. Cada película tiene un nivel de desempeño conocido. (Al final del capítulo se enumeran algunas videograbaciones útiles para capacitación.) Después de mostrar la película, la calificación de velocidad correcta se compara con los valores independientes establecidos por los capacitados. Si los valores de los analistas tienen una desviación sustancial del valor correcto, entonces debe proporcionarse información específica para justificar la calificación. Por ejemplo, el analista puede haber calificado bajo al operario debido a una secuencia de movimientos en apariencia sin esfuerzo, mientras que la mezcla rítmica y suave de movimientos del operario en realidad son señal de la alta destreza y habilidad de manipulación.

Al revisar operaciones sucesivas, los analistas deben graficar sus calificaciones contra los valores conocidos (figura 10–3). Una línea recta indica la perfección, mientras que las altas irregularidades a ambos lados de la recta indican inconsistencia y, por supuesto, falta de habilidad para evaluar el desempeño. En la figura 10–3, el analista calificó la primera película con 75, pero la calificación correcta era 55. El segundo obtuvo una calificación de 80, y la adecuada era de 70. En todos menos el primer caso, el analista estuvo dentro del área de calificaciones correctas establecida por la compañía.

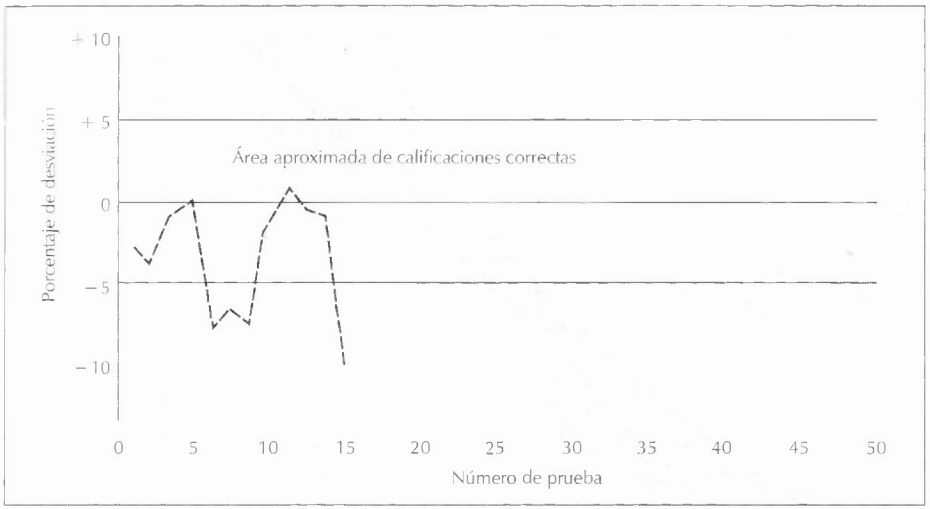


Figura 10–4 Registro de los factores de calificación de un analista para 15 estudios.

Observe que debido a la naturaleza de los intervalos de confianza, el criterio de ±5% de exactitud es válido sólo alrededor del 100%, o el nivel normal de desempeño. Cuando el desempeño está por debajo de 70% o arriba de 130% del estándar, un analista experimentado esperará un error mucho mayor que 5%.

También es útil graficar las calificaciones sucesivas en el eje x e indicar la magnitud positiva o negativa de la desviación de la calificación normal conocida en el eje y (figura 10–4). Mientras más cerca del eje x estén las calificaciones del analista, más cerca estará de lo correcto.

Para determinar en forma cuantitativa la habilidad de un analista para calificar el desempeño, se calcula el porcentaje de sus calificaciones contenido dentro de los límites especificados de las calificaciones conocidas. Esto se puede hacer como sigue:

1. Se calcula la diferencia media ($\bar{x}_d$) entre las calificaciones del analista y la calificación correcta para n pruebas (n debe ser igual o mayor que 15 observaciones).
2. Se calcula la desviación estándar s_d de las diferencias en calificaciones.
3. Se calcula la desviación normal z_1, donde:

$$z_1 = \frac{+5 \text{ (o alguna otra cifra de exactitud)} - \bar{x}_d}{s_d}$$

4. Se calcula la desviación normal z_2, donde:

$$z_2 = \frac{-5 \text{ (o alguna otra cifra de exactitud)} - \bar{x}_d}{s_d}$$

5. Se calcula el área bajo la curva de la distribución normal entre ±5 (o alguna otra cifra de exactitud) centrada en $\bar{x}_d$, que se supone igual a μ_d, y s_d, que se supone es igual a σ_d.

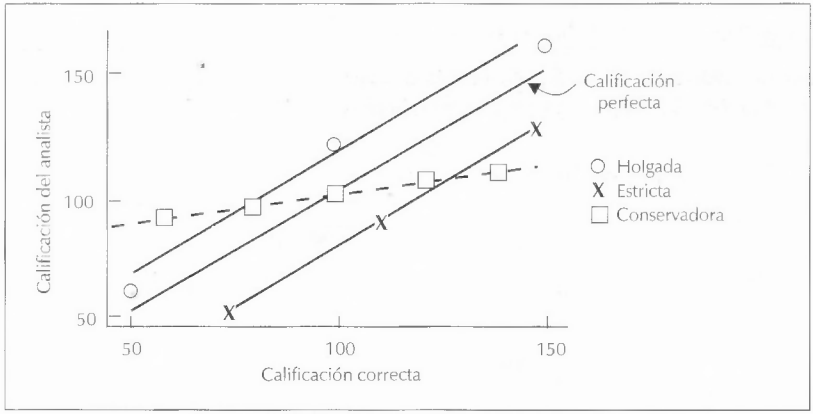


Figura 10–5 Ejemplo de un calificador holgado, estricto y conservador.

Un estudio estadístico reciente sobre la calificación del desempeño con 6 720 operaciones individuales por un grupo de 19 analistas en un periodo de cerca de dos años, confirmó varios hechos que la mayor parte de los ingenieros industriales habían aceptado. Este estudio concluyó que el "nivel de desempeño" es un factor que afecta de manera significativa los errores al calificarlo. Los analistas califican alto los niveles bajos de desempeño y bajo los niveles altos. Esto es común en analistas novatos que tienden a ser conservadores al calificar y temen desviarse demasiado del desempeño estándar. En aplicaciones estadísticas, esta tendencia recibe el nombre de *regresión hacia la media* y el resultado es una línea cercana a la horizontal y no la línea esperada con pendiente de uno (figura 10–5). El calificador novato que califica más alto que el valor real los desempeños más bajos que el estándar produce *calificaciones holgadas*. El resultado es tiempos estándar que los operarios logran con demasiada facilidad, lo que quiere decir que la compañía perderá dinero en esa operación. Para los desempeños más altos que el estándar, un calificador novato que los califica más bajo que el valor correcto produce *calificaciones estrictas*, y el resultado es tiempos que los operarios logran con mucha dificultad. Algunos analistas, incluso después de años de experiencia, tienden siempre a ser holgados o estrictos (figura 10–6).

El estudio estadístico también concluyó que la operación que se examina tiene un efecto sobre los errores en la calificación del desempeño. La tendencia es que es más difícil calificar las operaciones complejas que las sencillas, aun para los analistas experimentados. Con bajos niveles de desempeño, es más común que se califique alto a las operaciones difíciles que a las sencillas, mientras que con altos niveles de desempeño, ocurre más la calificación baja en las operaciones sencillas de realizar.

En la actualidad, no se conocen pruebas que puedan evaluar con precisión la habilidad de una persona para calificar el desempeño. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que sólo los analistas con una tendencia a la consistencia y experiencia después del periodo de capacitación puede realizar un trabajo de calificación aceptable.

EJEMPLO 10–1 Cálculo de la habilidad para calificar

Suponga que un analista califica 15 grabaciones de capacitación con los resultados mostrados en la tabla 9-9. Se realizan los siguientes cálculos:

$$\bar{x}_d \text{ (diferencia media)} = \frac{\sum d}{n} = \frac{50}{15} = 3.33$$

$$s_d \text{ (desviación estándar)} = \sqrt{\frac{\sum d^2 - \frac{(\sum d)^2}{n}}{n-1}} = 7.7$$

$$z_1 = \frac{5.00 - 3.33}{7.7} = 0.217$$

y

$$P(z_1) = \int_0^{z_1} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{r^2}{2}} dz = 0.0859$$

$$z_2 = \frac{-5 - 3.33}{7.7} = -1.08$$

y

$$P(z_2) = \int_0^{z_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{r^2}{2}} dz = 0.3597$$

$$P(z_1) + P(z_2) = 0.4456$$

En este ejemplo, el analista recibe una calificación de 0.4456. Ésta representa la porción de las calificaciones que está dentro de ± 5 puntos de calificación de las calificaciones ideales. Esta área de calificaciones correctas, junto con la distribución de la diferencia entre la calificación del analista y la correcta se muestra en la figura 10–5. Si el número de películas observadas es menor que 30, se usa la distribución *t*.

Tabla 10–8 Comparación de las calificaciones del analista con las correctas

Película núm.	Calificación correcta	Calificación del analista	Diferencia (d)	Cuadrado de la diferencia
1	115	105	−10	100
2	125	120	−5	25
3	85	95	+ 10	100
4	105	105	0	0
5	100	105	+ 5	25
6	95	110	+ 15	225
7	120	125	+ 5	25
8	140	150	+ 10	100
9	100	105	+ 5	25
10	60	75	+ 15	225
11	100	100	0	0
12	110	105	−5	25
13	90	90	0	0
14	130	125	−5	25
15	80	90	+ 10	100

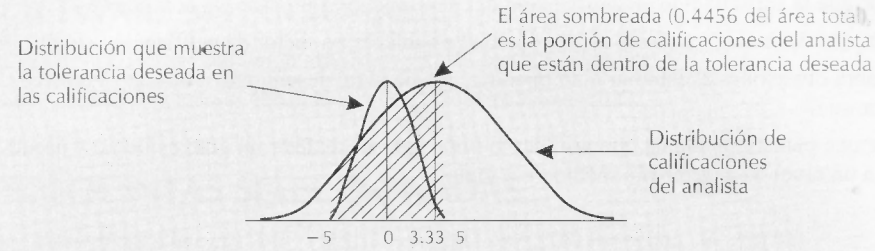


Figura 10–6 Representación gráfica de las calificaciones correctas del analista (±5) y la distribución de todas sus calificaciones

RESUMEN

La calificación del desempeño es un medio para ajustar el tiempo promedio observado de una tarea, con el fin de obtener el tiempo que requiere un operario calificado para realizar la tarea si trabaja a paso normal. Sólo de esta manera se puede establecer un estándar verdadero de tiempo. Como el estándar se basa por completo en la experiencia, capacitación y juicio subjetivo del analista de estudio de tiempos, puede estar sujeto a crítica. En consecuencia, se han desarrollado muchos sistemas de calificación diferentes en el intento de obtener un sistema "objetivo". Sin embargo, cada sistema de calificaciones depende de todas maneras de la subjetividad y honestidad de quien califica. Entonces, es importante capacitar ampliamente al analista de estudio de tiempos para que asigne calificaciones adecuadas y consistentes. Muchos estudios han demostrado que esto se puede lograr.

PREGUNTAS

1. ¿Por qué la industria no ha podido desarrollar una concepción universal de "desempeño normal"?
2. ¿Qué factores contienen grandes varianzas en el desempeño del operario?
3. ¿Cuáles son las características de un sistema de calificaciones razonable?
4. Durante un estudio de tiempos, ¿en qué momento debe calificarse? ¿Por qué es esto importante?
5. ¿Qué gobierna la frecuencia de calificaciones de desempeño durante un estudio dado?
6. Explique el sistema Westinghouse de calificaciones.
7. Con el sistema de calificaciones Westinghouse, ¿por qué se evalúan las condiciones?
8. ¿Qué es la calificación sintética? ¿Cuál es su debilidad principal?
9. ¿Cuál es la base de la calificación de velocidad y en qué difiere este método del sistema de calificación Westinghouse?
10. ¿Cuáles son los cuatro criterios fundamentales para realizar un buen trabajo de calificación de velocidad?

11. ¿Por qué la capacitación en calificación del desempeño es un proceso continuo?
12. ¿Por qué debe usarse más de un elemento al establecer un factor de calificación sintético?
13. ¿Habrá objeciones al estudiar a un operario que tiene un desempeño a un paso excesivo? ¿Por qué?
14. ¿De qué manera puede un operario dar la impresión de realizar un gran esfuerzo y producir a un nivel de desempeño mediocre o malo?

PROBLEMAS

1. El analista de medición del trabajo a cargo de la capacitación de los analistas de estudio de tiempos decidió que los capacitados revisaran 20 ciclos de películas, donde se conocía la calificación de cada ciclo. Cada capacitado calculó su registro que se basa en una porción de calificaciones que quedó dentro ±5 de las calificaciones conocidas. Un analista calculó su diferencia promedio de calificaciones como −4.08 puntos para las 20 películas. La desviación estándar fue 6.4. ¿Qué porcentaje de las calificaciones de este analista estaba contenido en el intervalo deseado? (Nota: suponga que los valores de las muestras son los valores de la población.)
2. Con los datos de la figura 10-3, determine el porcentaje promedio de calificaciones correctas dentro de ±5 puntos de calificación.
3. Califique el estudio global de cada una de las siguientes tareas mostradas en el CD
   a. Sellar extrusiones terminales (stamping end extrusions)
   b. Sellar acoplamientos terminales (stamping end couplings)
   c. Ensamble de lámpara de mano (flashlight assembly)
   d. Ensamble de unión (union assembly)
   e. Ensamble de riel de cama de hospital (hospital bed rail assembly)
   f. Costura de prendas de ropa (stiching garments)
   g. Etiquetado (labeling)
   h. Corte e hilvanado de prendas de ropa (Cut and tack garments)

REFERENCIAS

Barnes, Ralph M., *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*, 7a. ed., Nueva York: John Wiley & Sons, 1980.

Hancock, Walton M., "The Learning Curve", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Lowry, S. M., H. B. Maynard y G. J. Stegemerten, *Time and Motion Study and Formulas for Wage Incentives*, 3a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1940.

Morrow, R. L., *Time Study and Motion Economy*, Nueva York: Ronald Press, 1946.

Mundel, Marvin E. y David L. Danner, *Motion and Time Study: Improving Productivity*, 7a. ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1994.

Nadler, Gerald, *Work Design: A Systems Concept*, ed. rev., Homewood, IL: Richard D. Irwin, 1970.

Presgrave, R. W., *The Dynamics of Time Study*, 4a. ed., Toronto, Canada: The Ryerson Press, 1957.

SOFTWARE SELECCIONADO

Design Tools (incluido en este libro), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

Quick TS (incluido en este libro), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

VIDEOCINTAS SELECCIONADAS

Fair Day's Work Concepts, 1/2" VHS, C-Four, P.O. Box 808, Pendelton, SC 29670.

Workplace Fundamentals, 1/2" VHS, C-Four, P.O. Box 808, Pendelton, SC 29670.

Workplace Rating Exercises, 1/2" VHS, C-Four, P.O. Box 808, Pendelton, SC 29670.

CAPÍTULO 11



Suplementos

PUNTOS CLAVE:

- Usar suplementos para compensar la fatiga y las demoras en el trabajo.
- Determinar suplementos a través de la observación directa o del muestreo del trabajo.
- Proporcionar un mínimo de 9 a 10% de suplemento constante para necesidades personales y fatiga básica.
- Agregar el suplemento al tiempo normal como porcentaje de éste.

Después de calcular el tiempo normal, debe realizarse un paso más para llegar a un estándar justo. Este último paso es agregar un suplemento para tomar en cuenta las muchas interrupciones, demoras y disminuciones en el paso causadas por fatiga en toda tarea asignada. Por ejemplo, al planear un viaje de 1 000 millas en carretera, se sabe que no se puede hacer en 20 horas de manejo a una velocidad de 65 millas por hora. Debe agregarse un suplemento por paradas periódicas para necesidades personales, fatiga de manejo, paradas inevitables debidas a congestiones de tránsito y semáforos, posibles desviaciones y las vías en mal estado, problemas con el automóvil, etcétera. Entonces, en realidad se puede estimar que el viaje tomará 25 horas, con 5 horas adicionales para retrasos. De manera similar, los analistas deben proporcionar un suplemento si el estándar obtenido ha de ser justo y fácil de cumplir por un trabajador promedio a un paso normal y constante.

USOS DE LOS SUPLEMENTOS

Las lecturas del cronómetro en un estudio de tiempos se toman en un periodo relativamente corto. Por lo tanto, el tiempo normal no incluye las demoras inevitables, que quizá no fueron observadas ni algunos otros tiempos perdidos legítimos. En consecuencia, los analistas deben hacer algunos ajustes para compensar esas pérdidas. La aplicación de estos ajustes, o *suplementos*, puede ser mucho más amplia en unas compañías que en

Tabla 11–1 Suplementos industriales típicos

Factor de suplemento	Núm. de empresas	Porcentaje de empresas
1. Fatiga	39	93
A. General	19	45
B. Periodos de descanso	13	31
No especificado por A o B	7	17
2. Tiempo requerido de aprendizaje	3	7
3. Demora inevitable	35	83
A. Hombre	1	2
B. Máquina	7	17
C. Ambos, hombre y máquina	21	50
No especificado en A, B o C	6	14
4. Necesidades personales	32	76
5. Operaciones de preparación	24	57
6. Operaciones irregulares o poco usuales	16	38

Fuente: J. O. P. Hummel (1935).

otras. Por ejemplo, la tabla 11–1 contiene los conceptos por los que 42 compañías incluyen suplementos.

Los suplementos se aplican a tres partes del estudio: 1) al tiempo de ciclo total; 2) sólo al tiempo de máquina, y 3) sólo al tiempo de esfuerzo manual. Los suplementos aplicables al tiempo de ciclo total se expresan como porcentaje del mismo y compensan demoras como necesidades personales, limpieza de la estación de trabajo y lubricación de la máquina. Los suplementos de tiempo de máquina incluyen el tiempo para mantenimiento de herramientas y variaciones en la energía, mientras que las demoras que representan los suplementos por esfuerzo son fatiga y ciertos retrasos inevitables.

Con frecuencia, se usan dos métodos para desarrollar los datos de suplementos estándar. Uno es el estudio de la producción, que requiere que los observadores estudien dos, o quizá tres operaciones durante un periodo largo. Éstos registran la duración y razón de cada intervalo ocioso (figura 11–1). Después de establecer una muestra representativa, el observador resume sus datos para determinar el porcentaje de suplemento para cada característica aplicable. Los datos obtenidos de esta manera, igual que los del estudio de tiempos, deben ajustarse al nivel de desempeño normal. Como los observadores deben pasar mucho tiempo vigilando una o más operaciones, este método es muy tedioso, no sólo para los analistas, también para los operarios. Otra desventaja es la tendencia a tomar muestras demasiado pequeñas, lo que puede dar resultados sesgados.

La segunda técnica incluye estudios de muestreo del trabajo (capítulo 14). Este método requiere tomar un número grande de observaciones aleatorias, por lo que se necesita sólo tiempo parcial o intermitente del observador. En este método no se usa el cronómetro, pues el observador sólo camina por el área en estudio en tiempos aleatorios y anota lo que hace el operario. El número de demoras registradas entre el número total de observaciones durante las que el operario realiza trabajo productivo, se aproxima al suplemento requerido por el operario para tomar en cuenta las demoras normales.

ANÁLISIS DEL TIEMPO PERDIDO EN EL ESTUDIO DE TIEMPOS

Dibujo _____ Parte _____ Fecha _____
Operación _____
Símbolo _____
A. Personal _____
B. Iniciar tarde el trabajo _____
C. Terminar temprano el trabajo _____
D. Hablar con supervisor o instructor _____
E. Hablar con otras personas _____
F. Buscar herramientas _____
G. Buscar dibujos _____
H. Retrabajo por falla del operario _____
I. Retrabajo por falla de otro operario _____
J. Retrabajo por falla de máquina o dispositivo _____
K. Espera inactiva por la grúa (más de lo asignado) _____
L. Espera inactiva por inspector (más de lo asignado) _____
M. Espera en cola en depósito de herramientas (más de lo asignado) _____
N. Espera en cola en la oficina del despachador (más de lo asignado) _____
O. Espera en cola en la estación B/P _____
P. Mantenimiento de herramientas _____
Q. Lubricar maquinaria _____
R. Limpiar estación de trabajo _____
S. Lecturas con círculo (lect. con círc. menos prom. de elem.) _____
T. Retrasos menores diversos _____
U. Tiempo perdido en desarrollo de métodos durante el estudio _____
V. _____
W. _____
X. _____
Y. _____
Total _____

1. Total global _____ minutos _____ horas _____
2. Total perdido _____ " _____ " _____
3. % de tiempo perdido comparado con el real neto (2 + 4) _____
4. Real neto o productivo _____ minutos _____ horas
5. Tiempo asignado _____ " _____ "

Nota: se coloca el símbolo del tiempo perdido en el renglón correspondiente a su descripción y esta tarjeta se engrapa a la forma del estudio.

Figura 11–1 Forma de análisis del tiempo perdido

Al usar estudios de muestreo del trabajo para determinar suplementos, los observadores deben tomar algunas medidas precautorias. Primero, no deben predecir sus observaciones y sólo anotarán lo que ocurre en realidad. Segundo, un estudio dado no debe cubrir trabajos no similares, debe limitarse a operaciones parecidas en el mismo tipo general de equipo. Tercero, mientas más grande sea el número de observaciones y más largo el periodo de recolección de datos, más validez tendrán los resultados. Los analistas deben realizar observaciones diarias en un lapso de al menos dos semanas.

La figura 11–2 intenta proporcionar un esquema para ordenar los distintos tipos de suplementos según su función. La división principal son suplementos por fatiga y especiales. Los *suplementos por fatiga*, como su nombre lo implica, proporcionan tiempo al trabajador para recuperarse de la fatiga causada por la tarea o por el entorno de trabajo; estos suplementos se dividen en suplementos por *fatiga constante* o *variable*. Los

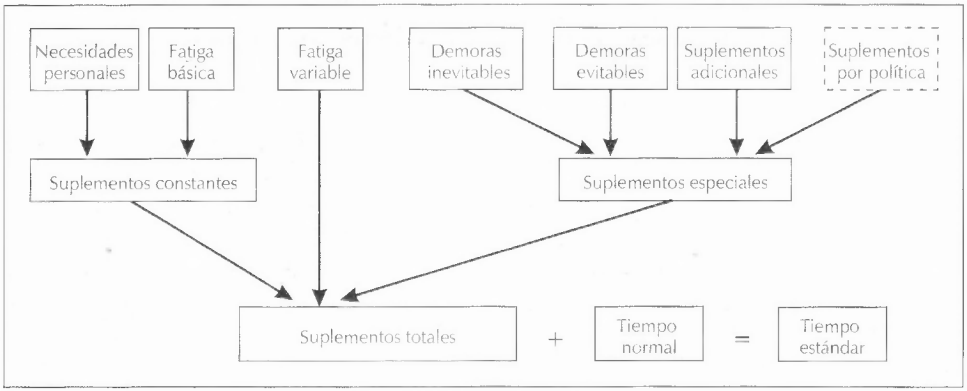


Figura 11–2 Suplementos según su función

suplementos especiales incluyen muchos factores diferentes relacionados con el proceso, el equipo, los materiales, etcétera y se conocen como suplementos por demoras inevitables, *adicionales*, y *por política*.

SUPLEMENTOS CONSTANTES

NECESIDADES PERSONALES

Las *necesidades personales* incluyen suspensiones del trabajo para mantener el bienestar del empleado, por ejemplo, beber agua e ir al sanitario. Las condiciones generales de trabajo y el tipo de tarea influyen en el tiempo necesario para las demoras personales. Por ejemplo, condiciones que incluyen trabajo pesado realizado a altas temperaturas, como en el cuarto de prensas de un departamento de moldeo de hule o en un taller de forja caliente, donde se requerirán suplementos mayores para necesidades personales que cuando se realiza trabajo ligero en áreas con temperatura agradable.

No existe una base científica para asignar un porcentaje numérico; sin embargo, la verificación detallada de la producción ha demostrado que un suplemento de 5% para tiempo personal, o cerca de 24 minutos en 8 horas, es adecuado en condiciones de trabajo de un taller típico. Lazarus (1968) encontró que en 235 plantas de 23 industrias el suplemento personal va de 4.6 a 6.5%. Entonces, la cifra de 5% parece ser adecuada para la mayoría de los trabajadores.

FATIGA BÁSICA

El *suplemento por fatiga básica* es una constante que toma en cuenta la energía consumida para llevar a cabo el trabajo y aliviar la monotonía. Se considera adecuado asignar 4% del tiempo normal para un operario que hace trabajo ligero, sentado, en buenas condiciones, sin exigencias especiales de sus sistemas motrices o sensoriales (ILO, 1957).

Con 5% por necesidades personales y 4% por fatiga básica, la mayor parte de los operarios tienen 9% de suplemento inicial básico, al que se pueden agregar otros suplementos, si es necesario.

SUPLEMENTOS POR FATIGA VARIABLE

PRINCIPIOS BÁSICOS

El suplemento por fatiga tiene una relación estrecha con las necesidades personales, aunque en general se aplica sólo a las porciones de esfuerzo del estudio. Los suplementos por fatiga no han alcanzado el estado en el que sus características se basan por completo en teorías racionales. En consecuencia, al calificar el desempeño, el suplemento por fatiga es el que tiene una defensa más débil y está sujeto a mayor discusión entre todos los factores que componen un tiempo estándar. Por ejemplo, quienes apoyan el sistema MTM (capítulo 13) piensan que no deben usarse suplementos por fatiga en el desarrollo de la mayor parte de los estándares, ya que los valores de MTM se basan en una tasa de trabajo que el empleado sano promedio puede mantener durante la jornada de 8 horas. Sin embargo, es posible obtener aproximaciones empíricas de suplementos por fatiga justos para distintos tipos de trabajo.

La fatiga no es homogénea en ningún sentido. Tiene razones estrictamente físicas por un lado y puramente psicológicas por el otro, e incluye combinaciones de ambas. Además, puede influir mucho en unas personas y tener poco o ningún efecto en otras.

Ya sea física o mental, los resultados de la fatiga son similares; se experimenta una disminución en la voluntad para trabajar. Los factores más importantes que afectan la fatiga se conocen bien y están establecidos. Estos factores incluyen: las condiciones de trabajo, en especial ruido, calor y humedad; la naturaleza del trabajo, como postura, cansancio muscular y tedio, y la salud general del trabajador. Aunque el trabajo manual pesado y, por lo tanto la fatiga muscular, ha disminuido en la industria con la automatización, otras componentes de la fatiga, como estrés mental y monotonía, pueden ir en aumento. Como la fatiga no puede eliminarse, deben asignarse los suplementos adecuados para las condiciones de trabajo dadas y las tareas repetitivas.

Un método para determinar el suplemento por fatiga es medir la disminución en la producción a lo largo del periodo de trabajo. Se mide la tasa de producción cada cuarto de hora de la jornada. Cualquier disminución en la producción no atribuible a un cambio de método o a demoras personales o inevitables se puede atribuir a la fatiga y se expresa como un porcentaje. Brey (1928) expresó los coeficientes de fatiga como sigue:

$$F = (T - t) \times 100/T$$

donde: F = coeficiente de fatiga,
T = tiempo requerido para realizar la operación al término del trabajo continuo,
t = tiempo requerido para realizar la operación al principio del del trabajo continuo.

Se han hecho muchos intentos de medir esta fatiga a través de varios medios físicos, químicos y psicológicos, pero ninguno ha tenido un éxito completo hasta la fecha. La oficina internacional del trabajo en Estados Unidos (*International Labour Office* –ILO, 1957) cuenta con valores tabulados para diversas condiciones de trabajo, para

obtener los factores de suplemento adecuados (tabla 11–2) y un sistema de puntos más detallado que el introducido en la edición anterior (ILO, 1979). Estos factores incluyen: de pie contra sentado, posiciones anormales, uso de fuerza, iluminación, condiciones atmosféricas, atención requerida para la tarea, nivel de ruido, tensión mental, monotonía y tedio. Para usar esta tabla, el analista debe determinar los factores de suplemento para cada elemento del estudio y después sumar los valores para obtener el suplemento por fatiga global, que luego se suma al suplemento de fatiga constante.

Estas recomendaciones de ILO se desarrollaron a través de acuerdos por consenso entre administradores y trabajadores en muchas industrias y no tienen un sustento directo. Por otro lado, desde los años 60, se ha dedicado mucho esfuerzo al desarrollo de estándares específicos para la salud y seguridad del trabajador estadounidense. Se examinará si estos estándares son comparables con los suplementos por fatiga de ILO.

POSTURA ANORMAL

Los suplementos de postura se basan en consideraciones del metabolismo y se pueden basar en modelos metabólicos que se han desarrollado para distintas actividades (Garg, Chaffin y Herrin, 1978). Se pueden usar tres ecuaciones básicas para trabajo sentado, de pie y agachado para predecir y comparar la energía consumida en diversas posturas. Si se usa un peso promedio del cuerpo adulto (de mujer y de hombre) de 152 libras (69 k) y se agrega un consumo de energía adicional de 2.2 kcal/min para el trabajo manual (Garg, *et al.*, 1978), se obtienen consumos de energía de 3.8 kcal/min, 3.86 kcal/min y 4.16 kcal/min para las respectivas posiciones sentado, de pie y agachado. Como sentado es una postura básica cómoda que puede mantenerse durante periodos prolongados, las otras posturas se comparan con la de sentado. La razón de los consumos de energía sentado entre los de estar de pie es 1.02, es decir un suplemento de 2%, mientras que la razón de los consumos de energía sentado entre estar agachado es 1.10, o sea un suplemento de 10%. El primer suplemento es idéntico al recomendado por ILO. El segundo es un poco mayor que el valor de ILO de 7%, pero puede representar un caso extremo en que la postura no se puede mantener por un periodo prolongado.

FUERZA MUSCULAR

La fatiga, mejor conocida como *suplemento de descanso*, se puede formular a partir de dos principios fisiológicos importantes: la fatiga muscular y la recuperación del músculo después de la fatiga. El resultado inmediato de la fatiga muscular es una reducción significativa en la fuerza muscular. Rohmert (1960) cuantificó estos principios:

1. La reducción en la fuerza máxima ocurre si la fuerza de levantamiento excede 15% de la fuerza máxima.
2. Cuanto más prolongada sea la contracción muscular estática, mayor es la reducción en la fuerza muscular.
3. Las variaciones individuales o específicas del músculo se minimizan si las fuerzas se normalizan según la fuerza máxima individual de ese músculo.
4. La recuperación es una función del grado de fatiga; es decir, un porcentaje dado de disminución en la fuerza máxima requiere una cantidad dada de recuperación.

Tabla 11–2 Suplementos recomendados por ILO

A. Suplementos constantes:	
1. Suplemento personal	5
2. Suplemento por fatiga básica	4
B. Suplementos variables:	
1. Suplemento por estar de pie	2
2. Suplemento por posición anormal:	
a. un poco incómoda	0
b. incómoda (agachado)	2
c. muy incómoda (tendido, estirado)	7
3. Uso de la fuerza o energía muscular (levantar, jalar o empujar): Peso levantado, en libras:	
5	0
10	1
15	2
20	3
25	4
30	5
35	7
40	9
45	11
50	13
60	17
70	22
4. Mala iluminación:	
a. un poco abajo de la recomendada	0
b. bastante menor que la recomendada	2
c. muy inadecuada	5
5. Condiciones atmosféricas (calor y humedad) – variable	0-100
6. Atención requerida:	
a. trabajo bastante fino	0
b. trabajo fino o preciso	2
c. trabajo muy fino y muy preciso	5
7. Nivel de ruido:	
a. continuo	0
b. intermitente –fuerte	2
c. intermitente –muy fuerte	5
d. de tono alto –fuerte	5
8. Estrés mental:	
a. proceso bastante complejo	1
b. atención compleja o amplia	4
c. muy compleja	8
9. Monotonía:	
a. nivel bajo	0
b. nivel medio	1
c. nivel alto	4
10. Tedio:	
a. algo tedioso	0
b. tedioso	2
c. muy tedioso	5

Rohmert (1973) cuantificó aún más estos conceptos de fatiga y recuperación como una serie de curvas para los suplementos de descanso (*SD*) en función de la fuerza y el tiempo de levantamiento (figura 11–3):

$$SD = 1800 \times (t/T)^{1.4} \times (f/F - 0.15)^{0.5}$$

donde: SD = suplemento de descanso como porcentaje de tiempo, t
t = duración del levantamiento (minutos),
f = fuerza de levantamiento (libras),
F = fuerza máxima de levantamiento (libras),
T = tiempo máximo de levantamiento para la fuerza ejercida f (minutos), definida como:

$$T = 1.2/(f/F - 0.15)^{0.618} - 1.21$$

La fuerza máxima de levantamiento (F) se puede aproximar con base en los datos recolectados de 1522 trabajadores industriales hombres y mujeres (Chaffin, *et al.*, 1987). El promedio de las tres fuerzas de levantamiento estandarizadas (brazo, pierna y torso) es alrededor de 100 libras (45.5 kg). Con este valor de fuerza máxima de levantamiento para levantamientos no frecuentes (menos de uno cada cinco minutos) de corta duración, se obtienen los suplementos presentados en la tabla 11–3. Para levantamien-

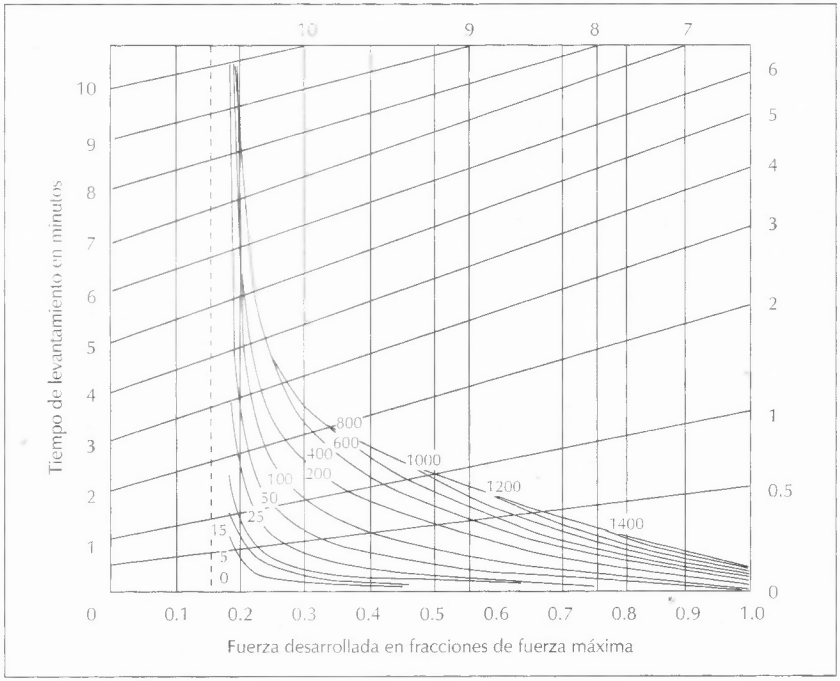


Figura 11–3 Porcentaje de suplementos de descanso para distintas combinaciones de fuerza ejercida y tiempo (*Tomado de:* Rohmert, 1973).

Tabla 11–3 Comparación de suplementos de y calculados para uso de fuerza muscular

Carga (lb)	ILO	Calculado
5	0	0
10	1	0
15	2	0
20	3	0.5
25	4	1.3
30	5	2.7
35	7	4.5
40	9	7.0
45	11	10.2
50	13	14.4
60	17	ND
70	22	ND

tos más frecuentes (más de uno cada cinco minutos), predominan las consideraciones metabólicas, y deben utilizarse las guías de levantamiento de NIOSH (capítulo 4) para determinar las limitaciones. Además, según estas guías de NIOSH, no se permiten cargas mayores que 51 libras (23.2 k).

Para energía muscular, se considera la fórmula para determinar la cantidad de descanso requerida para trabajo pesado presentada en el capítulo 4:

$$D = (W - 5.33)/(W - 1.33)$$

donde: D = tiempo requerido de descanso, como porcentaje del tiempo total,
W = consumo promedio de energía durante el trabajo (kcal/min).

Esta expresión se puede formular de nuevo como un suplemento de descanso:

$$SD = (\Delta W/4 - 1) \times 100$$

donde: SD = suplemento de descanso como porcentaje agregado al tiempo normal,
ΔW = incremento en consumo de energía por trabajo = $W - 1.33$ kcal/min.

Medir el ritmo cardiaco es más sencillo que medir el consumo de energía. Entonces, el suplemento de descanso se puede expresar en función del ritmo cardiaco:

$$SD = (\Delta RC/40 - 1) \times 100$$

donde: SD = suplemento de descanso, porcentaje agregado al tiempo de trabajo,
ΔRC = diferencia entre el ritmo cardiaco al trabajar y al descansar.

EJEMPLO 11–1 Cálculo de suplementos de descanso para uso no frecuente de fuerza muscular

Considere un trabajador que levanta una carga de 40 lb (18.2 kg) menos de una vez cada cinco minutos. Primero, se calcula el tiempo máximo de levantamiento para una carga que tiene 40/100 = 40% de la capacidad de fuerza máxima de una persona promedio:

$$T = 1.2/(0.4 - 0.15)^{0.618} - 1.21 = 1.62 \text{ min}$$

Después se sustituye una fuerza de corta duración de 0.05 min y un tiempo máximo de levantamiento de 1.62 min en la ecuación de descanso:

$$SD = 1800 \times (0.05/1.62)^{1.4} \times (0.4 - 0.15)^{0.5}$$
$$= 1800 \times (0.0768) \times (0.5) = 6.96 \approx 7\%$$

El suplemento variable de descanso de 7% se agrega al 9% típico de suplemento constante y se obtiene un suplemento total de 16%.

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Modelar el cuerpo humano y sus respuestas a las condiciones atmosféricas es una tarea difícil. Se han hecho muchos intentos para combinar las manifestaciones fisiológicas y los cambios de diversas condiciones ambientales en un índice sencillo (Freivalds, 1987). Sin embargo, ese tipo de índice no es suficiente y puede obtenerse una variabilidad considerable en los suplementos. Los suplementos del ILO se basan en un concepto obsoleto del poder de enfriamiento y se quedan cortos en la predicción de los suplementos de descanso. Así, existe una desviación considerable en los suplementos de ILO de los niveles reales de estrés. Estos se explica con detalle en Freivalds y Goldberg (1988).

Un mejor enfoque se presenta en la guía más reciente desarrollada por NIOSH (1986), que utiliza la temperatura de bulbo húmedo (TGBH, descrita en el capítulo 6) y los consumos de energía en el trabajo. Los suplementos de descanso que se obtienen (de la figura 6–11) se pueden cuantificar mediante regresiones de mínimos cuadrados, de donde se obtiene:

$$SD = e^{(-41.5 + 0.0161W + 0.497\,\mathrm{TGBH})}$$

donde: W = consumo de energía al trabajar,
TGBH = temperatura global de bulbo húmedo (°F).

EJEMPLO 11–2 Cálculo de suplementos de descanso por fatiga global

Considere la tarea extenuante presentada en el capítulo 4 de palear carbón a una tolva de alto horno, con un consumo de energía de 9.33 kcal/min. El suplemento de descanso requerido SD es:

$$SD = [(9.33 - 1.33)/4 - 1] \times 100 = 100\%$$

Por lo tanto, para proporcionar un tiempo adecuado de recuperación de la fatiga, el trabajador deberá pasar 4 horas de cada turno de 8 descansando. Observe que el ΔW aceptable para hombres es $5.33 - 1.33 = 4$ kcal/min. (Para mujeres, se sustituye el valor de 4.0 en lugar de 5.33 y 1.0 en lugar de 1.33.)

NIVEL DE RUIDO

La administración de la salud y seguridad ocupacional (*Occupational Safety and Health Administration* –OSHA, 1983) estableció las exposiciones al ruido permisibles en la industria. Los niveles permitidos dependen de la duración de la exposición como se muestra en la tabla 11–4.

Tabla 11–4 Niveles de ruido permisibles según OSHA

Nivel de ruido (dBA)	Tiempo permisible (horas)
80	32
85	16
90	8
95	4
100	2
105	1
110	0.5
115	0.25
120	0.125
125	0.063
130	0.031

En caso de que la exposición diaria total consista en exposiciones a varios niveles de ruido, entonces se calcula la exposición combinada mediante la ecuación:

$$D = C_1/T_1 + C_2/T_2 + \cdots \leq 1$$

donde: D = dosis de ruido (valor decimal),
C = tiempo que pasa a un nivel específico de ruido (horas),
T = tiempo permitido (tabla 11-4) al nivel específico de ruido (horas),

y el suplemento de descanso requerido (%) es sólo:

$$SD = 100 \times (D - 1)$$

EJEMPLO 11–3 Cálculo de suplementos de descanso por condiciones atmosféricas

Un trabajador que realiza, sentado, un ensamble manual en una estación de trabajo y consume alrededor de 200 kcal/min. Si el $TGBH_{ADENTRO}$ es 88.5 °F, entonces:

$$SD = e^{[-41.5 + 0.0161(200) + 0.497(88.5)]} + e^{[5.7045]} \approx 300\%$$

Con base en el suplemento de descanso, el trabajador necesitará 45 minutos de descanso por cada 15 minutos de trabajo.

Así, la exposición total a distintos niveles de ruido no puede exceder una dosis de 100%. Por ejemplo, un trabajador puede estar expuesto a 95 dBA durante tres horas y a 90 dBA durante cinco. Aunque cada exposición por separado es permisible, la dosis combinada no lo es:

$$D = \tfrac{3}{4} + \tfrac{5}{8} = 1.375 > 1$$

Por lo tanto, el suplemento de descanso requerido para cumplir con OSHA es:

$$SD = 100 \times (1.375 - 1) = 37.5\%$$

Entonces, 90 dBA es el nivel máximo permisible para una jornada de 8 horas, y cualquier nivel arriba de 90 dBA requiere un suplemento de descanso.

Para calcular la dosis de ruido, deben incluirse todos los sonidos entre 80 y 130 dBA (aunque los niveles continuos arriba de 115 dBA no se permiten del todo). Como la tabla 11–4 proporciona sólo ciertos tiempos clave, se puede usar la siguiente fórmula para el cálculo de niveles de ruido intermedio:

$$T = \frac{32}{2^{\left(\frac{L-80}{5}\right)}}$$

donde: L = nivel de ruido (dBA).

NIVELES DE ILUMINACIÓN

La conciliación de los suplementos de ILO (1957) y de las recomendaciones de IES (1981) para niveles de iluminación (capítulo 6) se pueden aproximar como sigue. Para suplementos de descanso, se puede considerar que una tarea que está por abajo de la recomendación está dentro de la misma subcategoría de iluminación, quizá un poco abajo del estándar, en el límite inferior del intervalo y se asigna un suplemento de 0. Una tarea que se encuentra por debajo de la iluminación adecuada se puede definir como en una subcategoría abajo de la recomendación y se le asigna un suplemento de 2%. Una tarea con iluminación bastante inadecuada se define como dos o más subcategorías abajo del nivel recomendado y recibe un suplemento de 5%. Estas definiciones son bastante realistas, ya que la percepción humana de la iluminación es logarítmica; es decir, al aumentar la iluminancia, se requiere una mayor diferencia de intensidad antes de notar el cambio (IES, 1981).

EJEMPLO 11–4 Cálculo de un suplemento de descanso por ruido

Un trabajador está expuesto a los niveles de ruido mostrados en la tabla 11–5 durante una jornada de 8 horas.

El último elemento se obtiene como sigue:

$$T = \frac{32}{2^{\left(\frac{96-80}{5}\right)}} = 3.48$$

La dosis de ruido es:

$$D = 1/32 + 4/8 + 3/3.48 = 1.393$$

y el suplemento para descanso es:

$$SD = 100 \times (1.393 - 1) = 39.3\%$$

Como la dosis de exposición al ruido en 8 horas excede los requerimientos de OSHA, el trabajador debe contar con un suplemento de descanso de 39.3%. Observe que, de nuevo, los valores recomendados por ILO subestiman por mucho los suplementos requeridos.

Tabla 11–5 Niveles de trabajo para una jornada de 8 horas

Nivel de ruido (L) dBA	Tiempo que transcurre (C) h	Tiempo permitido (T) h
80	1	32
90	4	8
96	3	3.48

La literatura contiene cierta evidencia de que al aumentar la iluminación para la tarea el resultado es un desempeño más hábil. La medida de desempeño más pertinente es el tiempo de terminación de la tarea bajo diversas condiciones de iluminación. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la precisión del desempeño también es importante. Por ejemplo, Bennett, Chitlnagio y Pangrekar (1977) encontraron que el tiempo para leer un artículo escrito a mano con lápiz de 450 palabras es una función cúbica de la iluminación de la tarea:

$$\text{Tiempo} = 251.8 - 33.96 \log FC + 6.15 (\log FC)^2 - 0.37 (\log FC)^3$$

donde: Tiempo = tiempo de lectura promedio (segundos),
FC = iluminación de la tarea (pies-candela).

La iluminación recomendada por IES (1981) para leer este material escrito con lápiz es la categoría E (de la tabla 6-2), 50-100 pies-candela (500-1000 lux). El factor de ponderación da un total de cero (de la tabla 6-3), de manera que la iluminación recomendada es 75 pies-candela (750 lux), el valor medio en la categoría E. La tabla 10-6 compara los tiempos de lectura modelados como función de la iluminación decreciente y los suplementos. Si la iluminación disminuye a la siguiente subcategoría los tiempos de desempeño aumentan entre 3 y 5%, que no está lejos del 2% de suplemento de ILO para niveles de iluminación muy abajo. La siguiente subcategoría de iluminación produjo tiempos 6 a 8% mayores que los de niveles recomendados, que es un poco mayor que el 5% de suplemento para iluminación inadecuada. En general, el estudio (vea la tabla 11-6) obtuvo resultados bastante cercanos a los suplementos de ILO.

Tabla 11–6 Tiempos modelados

Iluminación (fc)	Tiempo modelado (s)	% de cambio a partir de 75 fc	Categoría de ILO	Suplemento (%)
75	207.3	—	(recomendado)	0
50	210.0	1.3	un poco abajo	0
30	213.9	3.2	muy abajo	2
20	217.2	4.8	muy abajo	2
15	219.8	6.0	inadecuado	5
10	223.6	7.9	inadecuado	5

(*Tomado de:* Bennett *et al.*, 1977)

TENSIÓN VISUAL

El suplemento de descanso para tensión visual de ILO no proporciona suplementos para trabajo cercano al fino, un suplemento de 2% para trabajo fino y preciso y 5% para trabajo muy fino y de alta precisión. Estos suplementos sólo se refieren a la precisión de los requerimientos visuales de la tarea, sin mencionar otras condiciones que tienen efecto importante en los requerimientos visuales: iluminación (o luminancia), reflejos, parpadeo, color, tiempo y contraste. Por lo tanto, los suplementos de ILO son sólo aproximaciones burdas. Se pueden determinar valores más específicos según lo detectable del objeto, como lo cuantificó Blackwell (1959) en sus curvas de visibilidad (capítulo 6 y figura 6–2). Cuatro factores tienen el mayor efecto para determinar qué tan visible será el objeto durante la tarea:

1. *Luminancia del fondo de la tarea.* Es la magnitud de luz reflejada desde el fondo del objeto a los ojos de un observador, medido en pies-Lambert.
2. *Contraste.* Es la diferencia entre los niveles de luminancia del objeto y el fondo. El contraste también necesita ajustarse (dividirse) entre los siguientes factores: condiciones del mundo real (2.5), movimiento del objeto (2.78) e incertidumbre en la localización (1.5).
3. *Tiempo disponible para la observación.* Va de unos cuantos milisegundos a varios segundos y puede afectar la velocidad y exactitud del desempeño.
4. *Tamaño del objeto, medido como ángulo visual en arco-minutos.*

Las curvas de visibilidad de Blackwell se pueden modelar con la ecuación siguiente (con intervalos permisibles):

$$\%\text{Det} = 81 \times C^{2} \times L^{0.045} \times T^{-0.003} \times A^{0.199}$$

donde: %Det = % de objetos detectados (0-100%),
C = contraste (0.001-1.8),
L = luminancia del fondo (1-100 pies-Lambert),
T = tiempo para ver (0.01-1 segundo),
A = ángulo visual (1-64 arco-minutos).

El porcentaje de objetos detectados puede usarse para verificar los suplementos por estrés visual si se especifica un intervalo de percentiles para la descripción de las habilidades de la población. Como los intervalos de percentiles que más se usan son el percentil 50 y el 95, éstos también se pueden aplicar a la detección de objetos, para definir las categorías de suplementos de descanso. Una detección de al menos 95% define una tarea visual sin problemas significativos y puede, entonces, definir la categoría de trabajo cercano al fino de ILO con el suplemento asociado de 0%. Al menos 50% de detección de objetos define la categoría de trabajo fino o preciso con el suplemento de 2%. Por último, una detección de menos de la mitad de los objetos puede definir el trabajo muy fino o muy preciso con su 5% de suplemento asociado.

Debe notarse que el modelo de Blackwell no define en forma directa el suplemento de descanso. Más bien maneja la habilidad absoluta de detección de objetos, que a su vez se puede usar para definir los suplementos. Entonces, el suplemento de descanso debe ser inversamente proporcional al porcentaje esperado de detección de objetos.

En general, los ángulos de visión pequeños producen los niveles más bajos de desempeño, mientras que el tiempo para ver sólo afecta el desempeño para los niveles de contraste más altos.

TENSIÓN MENTAL

El estrés mental es muy difícil de medir con claridad para muchos tipos de tareas. No se han definido con exactitud medidas estandarizadas de desempeño para la carga de trabajo mental, y la variabilidad entre individuos que realizan la misma tarea es alta. Además, dar una definición de estrés mental significa entender los factores que componen una tarea compleja, aspecto que los modelos no tienen. Entonces, la investigación de los fundamentos y lo adecuado de los suplementos de descanso necesariamente requieren: 1) un indicador independiente de la complejidad de la tarea y 2) evidencia objetiva del cambio en la producción del trabajo con la fatiga o el tiempo que transcurre en ella. Aun con esta información, las diferencias experimentales en la motivación pueden afectar mucho los resultados observados y conducir a comparaciones inútiles entre estudios. El hecho de que los suplementos de descanso de ILO sean vagos complica las cosas aún más: 1% para procesos bastante complejos; 4% para procesos que requieren un lapso de atención amplio o complejo, y 8% para un proceso muy complejo. En el mejor de los casos, un estudio controlado con medida de lecturas o tareas aritméticas mentales, como los realizados por Okogbaa y Shell (1986), pueden servir como una verificación gruesa de estos suplementos. Las dos tareas se pueden considerar complejas y requieren atención amplia por lo que ameritan 4% de suplemento de descanso. Sin embargo, el desempeño en la lectura disminuye a una tasa de 3.5% por hora, mientras que el aritmético disminuye a una tasa cercana a 2% por hora. Entonces, la guía de ILO (1957) justifica decrementos en el desempeño por tensión mental durante una hora, pero son inadecuados para periodos más largos y es posible que deban modificarse.

EJEMPLO 11–5 Cálculo del suplemento de descanso por estrés visual

La inspección de resistores en tarjetas de circuitos electrónicos puede considerarse una tarea de exactitud que requiere un suplemento de 2% según la guía de ILO. Para confirmar esto, se usan los siguientes cálculos. La tarjeta se observa a una distancia de 12 pulgadas, sin aumento, y las bandas de cada resistor son de 0.02 pulgadas. El ángulo visual requerido es $3\,438 \times 0.02/12 = 5.73$ arco-minutos. El cuerpo del resistor (fondo de la tarea) tiene una luminancia de 10 pies-Lambert y el contraste entre la banda y el fondo es 0.5. El contraste se divide entre un factor de $1.5 \times 2.5 = 3.75$ para ajustar la detección real y la incertidumbre de la localización (Frievalds y Goldberg, 1988). El tiempo medio para fijar la vista es 0.2 segundos. Al sustituir estos valores en la ecuación de la habilidad de detección se obtiene:

$$\%\text{Det} = 81 \times (0.5/3.73)^{0.2} \times 10^{0.045} \times 0.2^{-0.003} \times 5.73^{0.199}$$
$$= 81 \times 0.668 \times 1.109 \times 1.005 \times 1.414 = 85.3\%$$

Una habilidad de detección de 85.3% está por debajo del 95% y requerirá un suplemento de descanso de 2%.

MONOTONÍA

La asignación de suplementos por descanso debido a la monotonía, según lo define ILO (1957), es apropiada como "resultado del uso repetido de ciertas facultades mentales, como en la aritmética mental". Las tareas con poca monotonía no reciben suplemento adicional; las tareas con monotonía mediana tienen 1% y las tareas altamente monótonas reciben 4% de suplemento. Como las tareas cognitivas de Okagbaa y Shell (1986) se realizaron durante cuatro horas, quizá también deban recibir un suplemento por monotonía. Sin embargo, agregar el suplemento máximo de 4% sólo se extendería el periodo adecuado de dos horas. Las tareas de vigilancia presentan otro ejemplo de trabajo monótono. Baker, Wake y Sipowicz (1962) observaron que los sujetos detectaron 90% de interrupciones cortas de luz en una lámpara después de una hora de pruebas continuas. Al final de las 10 horas, los sujetos sólo detectaban alrededor de 70% de las señales, es decir, una disminución en el desempeño de 2% por hora. De nuevo, el suplemento de ILO no es suficiente para compensar los decrementos en el desempeño que ocurren en el turno completo y es necesario desarrollar otros mejores.

TEDIO

Los suplementos para tareas tediosas (o tareas repetitivas) son 0% para una tarea algo tediosa, 2% para una tarea tediosa y 5% para una muy tediosa. Como se define en ILO (1957), este suplemento se aplica a elementos en los que existe "uso repetido de ciertos miembros del cuerpo, como dedos, manos, brazos o piernas". En otras palabras, una tarea tediosa utiliza repetidas veces los mismos movimientos físicos, mientras que una tarea monótona usa repetidas veces las mismas facultades mentales. Un estudio de métodos realizado para simplificar el trabajo y hacerlo más eficiente, también tiende a hacerlo más tedioso o repetitivo para trabajadores capacitados, y hace más probable que los operarios estén más expuestos a desórdenes óseomusculares relacionados con el trabajo (capítulo 5).

Con el trabajo de desarrollo de modelos para la evaluación del riesgo de DTA (ANSI, 1995; Seth, Weston y Freivalds, 1998) se encontró que la frecuencia de movimientos, posturas de la mano y muñeca, y las fuerzas ejercidas por la mano son los factores clave del riesgo creciente de DTA. Sin embargo, estos modelos, un poco burdos, están lejos de ser confiables y no se validaron para una variedad amplia de trabajos e industrias. Aún así, datos epidemiológicos de NIOSH (1989) han indicado que 10 000 movimientos de muñeca por turno es un punto límite en el que es notorio el aumento de casos de DTA, y que en 20 000 movimientos el número de casos aumenta de manera

significativa. Esto parecería implicar que 10 000 movimientos es un límite para que empeore el desempeño y para asignar suplementos de descanso hasta de 100%, que es mucho mayor que lo recomendado por ILO (1957). Es obvio que la mayor parte de estos modelos se encuentran en las etapas de desarrollo y que debe realizarse una amplia validación antes de establecer valores específicos para los suplementos.

SUPLEMENTOS ESPECIALES

DEMORAS INEVITABLES

Este tipo de demoras se aplica a los elementos de esfuerzo e incluye: interrupciones del supervisor, despachador, analista de estudio de tiempos y otros; irregularidades en los materiales; dificultad para cumplir con las tolerancias y especificaciones y demoras de interferencia cuando se hacen asignaciones de máquinas múltiples .

Como es de esperarse, todos los operarios experimentan numerosas interrupciones en el curso del día de trabajo. El supervisor o líder del grupo puede interrumpir para dar instrucciones o aclarar cierta información escrita. El inspector puede interrumpir para señalar las razones del trabajo defectuoso que pasó por la estación de trabajo de éste. Las interrupciones también se deben a quienes planean el trabajo, lo expeditan, a compañeros de trabajo, a personal de producción y otros.

Las demoras inevitables con frecuencia son resultado de irregularidades en el material. Por ejemplo, éste puede estar en el lugar equivocado; tal vez es demasiado suave o duro, o demasiado largo o corto; puede contener un exceso de desechos, como en la forja cuando el dado se desgasta o en el moldeo por limpieza deficiente. Cuando hay desviaciones sustanciales de las especificaciones estándar en el material, quizá el suplemento normal por demoras inevitables no sea adecuado. El analista debe estudiar de nuevo el trabajo y dar tiempo para los elementos adicionales que introducen estas irregularidades.

Como se vio en el capítulo 2, si se asigna más de una máquina a un operario durante la jornada de trabajo, una o más máquinas tendrán que esperar hasta que el operario termine su trabajo con otra máquina. Cuantas más máquinas se asignen al operario, más aumentará el tiempo de intereferencia de máquinas. El ejemplo 11–6 muestra la aplicación de la fórmula de Wright (del capítulo 2) para calcular los suplementos para esas interferencias de máquinas.

EJEMPLO 11–6 Suplemento por interferencia de máquinas

En la producción de mangos se asigna a un operario 60 pernos. El tiempo medio de producción por paquete, determinado en un estudio con cronómetro, es 150 minutos. El tiempo medio de atención estándar por paquete, también desarrollado en el estudio de tiempos, es 3 minutos. El tiempo de la interferencia de máquinas, calculado con la fórmula de Wright (capítulo 2, p. 54) se calculó como 1 160% del tiempo medio de atención.

Entonces se tiene:

Tiempo de producción de máquina		150.00 min
Tiempo de servicio		3.00 min
Tiempo de interferencia de la máquina	(11.6)(3.00) =	34.80 min
Tiempo estándar para 60 paquetes		187.80 min
Tiempo estándar por paquete	$\frac{187.80}{60}$ =	3.13 min

De manera alternativa, el tiempo de interferencia de máquinas se puede calcular como un suplemento en porcentaje, al cual se agregan otros suplementos:

$$\% \text{ suplemento} = \frac{34.8}{152} \times 100 = 22.75\%$$

La cantidad de interferencia también se relaciona con el desempeño del operario. Así, el operario que muestra un nivel de esfuerzo bajo experimenta más interferencia de máquina que el operario que, con un esfuerzo alto, reduce el tiempo dedicado a atender las máquinas paradas. El analista determina el tiempo de interferencia normal calculado con los métodos presentados en el capítulo 2. Si el tiempo de interferencia normal es menor que el tiempo de interferencia observado en la máquina, entonces una proporción del doble llevará a una medida del desempeño del operario.

DEMORAS EVITABLES

No es costumbre asignar suplementos por retrasos evitables, como son visitas a otros operarios por motivos sociales, detenciones sin razón y ociosidad que no corresponde al descanso para recuperarse de la fatiga. Aunque los operarios pueden tomar estas demoras a costa de la producción, no se asignan suplementos por estas detenciones de trabajo en el desarrollo de los estándares.

SUPLEMENTOS ADICIONALES

En el oficio de metales y operaciones relacionadas, es común que el suplemento por demoras personales inevitables y fatiga se acerque a 15%. Sin embargo, en ciertos casos puede ser necesario un suplemento adicional para obtener un estándar justo. Por ejemplo, para un lote de materia prima abajo del estándar, tal vez el analista deba agregar un suplemento adicional para tomar en cuenta el alto número de rechazos no esperado. Puede surgir una situación en la que debido a la descompostura de una grúa de brazo, el operario tenga que colocar un molde de 50 libras en el sujetador de la máquina. Será necesario un suplemento adicional para la fatiga extra por el manejo manual del trabajo.

Siempre que sea práctico, el analista debe establecer suplementos por el trabajo adicional, para esto divide la operación en elementos y después incluye los tiempos de suplemento en los elementos específicos. Si esto no es práctico, el analista debe proporcionar el suplemento adicional para toda la operación.

Un suplemento adicional que se usa a menudo, en especial en la industria del acero, es un porcentaje agregado a una parte o a todo el ciclo para tomar en cuenta el tiempo que el operario observa el proceso para mantener una operación efectiva. Esta holgura

se conoce como suplemento de "tiempo de atención" y puede cubrir situaciones como un inspector que observa una placa de aluminio que sale de la línea, un primer ayudante que observa las condiciones de un recubrimiento fundido o que recibe instrucciones del fundidor, o el operador de una grúa que recibe instrucciones del colocador de la carga. Por ejemplo, la compañía USX (antes US Steel) agrega 35% de suplemento de atención al tiempo real requerido.

Este suplemento adicional proporciona un incentivo al operario para mantener su maquinaria en producción durante todo el periodo de trabajo; sin él, sería imposible que los operarios ganaran lo mismo que sus compañeros trabajadores. Por ejemplo, si la porción controlada por la máquina en un ciclo es 2 minutos y la controlada por el operario es 1 minuto normal, éstos tendrían que trabajar a un paso 25% más alto que lo normal para obtener un incremento de 7% en la productividad, de la siguiente manera:

$$\frac{3 \text{ minutos (tiempo de ciclo normal)}}{2 \text{ min (control de máq.)} + \dfrac{1 \text{ min (tiempo de esfuerzo normal)}}{1.25 \text{ (desempeño del operario)}}} = 1.07$$

$$1.07 - 1.00 = 0.07$$

que es el incremento en productividad cuando el operario trabaja 25% más rápido que lo normal en la parte de esfuerzo del ciclo. Si la administración agrega un suplemento adicional de 25% a la parte del ciclo controlada por la máquina, los operarios pueden lograr un incentivo del 25% si trabajan a un paso 25% arriba del normal y no usan más suplementos que los proporcionados para demoras personales, inevitables y fatiga.

Tiempo de limpieza de estación de trabajo y lubricación de máquina. El tiempo requerido para limpiar la estación de trabajo y lubricar la máquina del operario se puede clasificar como demora inevitable. Cuando estos elementos son responsabilidad del operario, la administración debe aplicar un suplemento. A menudo, los analistas incluyen este tiempo como suplemento del tiempo de ciclo total cuando el operario realiza estas funciones. El tipo y tamaño de equipo y el material que se fabrica tienen un efecto considerable en el tiempo requerido para estas tareas. Una compañía desarrolló una tabla de suplementos que cubren estos aspectos (tablas 11–7, 11–8 y 11–9). Los supervisores con frecuencia dan al operario 10 o 15 minutos al final del día para ejecutar dichos elementos. Cuando es así, los estándares establecidos no incluyen suplementos por limpieza y lubricación de la máquina.

Tiempo de máquina de alimentación automática. El suplemento necesario para los elementos de alimentación automática difiere del requerido para los elementos de esfuerzo. Considere los dos factores siguientes en la alimentación automática: descomposturas de máquinas y mantenimiento de herramientas. Se asignan suplementos por descomposturas debidas a problemas menores. Si es necesaria una reparación mayor, se proporcionará un suplemento adicional. Éste no se aplicará dentro del estándar, sino será un estándar independiente que cubre la reparación de la máquina.

El mantenimiento de la herramienta proporciona un suplemento al operario para realizar esta operación después de la preparación original. En el tiempo de preparación,

Tabla 11–7 Valores de suplementos para limpieza de máquinas

Aspecto	Porcentaje por máquina		
	Grande	Mediana	Pequeña
1. Limpiar máquina cuando se usan lubricantes	1	¾	½
2. Limpiar máquina cuando no se usa lubricante	¾	½	¼
3. Limpiar y guardar grandes cantidades de equipo y herramientas	½	½	½
4. Limpiar y guardar pequeñas cantidades de equipo y herramientas	¼	¼	¼
5. Apagar máquina para limpieza (este porcentaje es para máquinas equipadas con recogedores de virutas, que se detienen a intervalos para limpiarlas)	1	¾	½

Tabla 11–8 Clasificación de máquinas

Máquina grande	Máquina mediana
1. Torno revólver (con mandril de 20 pulg o más)	1. Torno revólver (mandril de 10 a 20 pulg)
2. Taladro (60 pulg o más)	2. Taladro (menos de 60 pulg)
3. Troquel (100 ton o más)	3. Troquel (40 a 100 ton)
4. Cepillo (más de 48 pulg)	

Tabla 11–9 Suplementos para lubricación de máquinas

Aspecto	Porcentaje por máquina		
	Grande	Mediana	Pequeña
1. Máquina lubricada o engrasada a mano	1½	1	½
2. Máquina de lubricación automática	½	½	½

se espera que el operario tenga herramientas de primera en la posición correcta. En general, el mantenimiento de herramientas pequeñas tiene lugar durante la corrida de producción normal. En corridas largas, las herramientas deben afilarse periódicamente. El porcentaje de suplemento para dicho mantenimiento varía directamente con el número de herramientas perecederas en la preparación. Como ejemplo, en la tabla 11–10 se muestra el suplemento de mantenimiento para una máquina.

SUPLEMENTOS POR POLÍTICA

Un suplemento por política se usa para proporcionar un nivel satisfactorio de ingresos por un nivel especificado de desempeño en circunstancias excepcionales. Tales suplementos pueden comprender empleados nuevos, discapacidades, empleados para trabajo ligero y otros. Lo normal es que la administración decida estos suplementos quizá en las negociaciones con el sindicato.

Tabla 11–10 Suplementos para mantenimiento de herramientas

	Porcentaje
1. Una o más herramientas colocadas en el depósito	1
2. Una herramienta afilada por el operario	3
3. Dos o más herramientas de corte afiladas una vez por el operario	6

APLICACIONES DE LOS SUPLEMENTOS

El objetivo fundamental de todos los suplementos es agregar tiempo suficiente al tiempo normal de producción para que el trabajador promedio cumpla con el estándar cuando tiene un desempeño estándar. Existen dos maneras de aplicar los suplementos. La más común es añadir un porcentaje al tiempo normal, de forma que el suplemento se base sólo en un porcentaje del tiempo productivo. También es costumbre expresarlo como un multiplicador, para que el tiempo normal (*TN*) se ajuste al tiempo estándar (*TE*).

$$\text{TE} = \text{TN} + \text{TN} \times \text{suplemento} = \text{TN} \times (1 + \text{suplemento})$$

donde: TE = tiempo estándar,
TN = tiempo normal.

Entonces, si se proporciona un suplemento de 10% en una operación dada, el multiplicador será $1 + 0.1 = 1.1$.

Por ejemplo, el cálculo para un suplemento total puede ser:

Necesidades personales	5.0 %
Fatiga básica	4.0
Demora inevitable	1.0
Total	10.0 %

Después, el tiempo normal se multiplica por 1.1 para determinar el tiempo estándar. Para el ejemplo del estudio de tiempos de la figura 9–6, el tiempo normal promedio de 0.177 minutos para el elemento #1 se multiplica por 1.1, que corresponde al suplemento de 10% para llegar a un tiempo estándar de 0.195 minutos. De una jornada de trabajo de 480 minutos, el operario trabajaría $480/1.1 = 436$ minutos y contaría con 44 minutos de descanso. (La localización adecuada de este descanso se expone en el capítulo 4.)

Algunas compañías aplican el porcentaje de suplemento al día completo de trabajo, ya que tal vez no se conozca el tiempo de producción real. Para el ejemplo anterior, el multiplicador de los tiempos normales se convierte en $100/(100 - 10) = 1.11$ (en lugar de 1.1), y el tiempo estándar del elemento 1 se convierte en 0.196. De la jornada de trabajo de 480 minutos, $480 \times 0.1 = 48$ minutos (en lugar de 44 minutos) se asignarán al descanso. Aunque la diferencia entre los dos enfoques no es grande, puede sumar más de un año para varios cientos de trabajadores. Ésta sería, entonces, una decisión de políticas de una compañía.

RESUMEN

Al establecer los valores de los suplementos de un estudio de tiempos, el analista debe tener el mismo cuidado que en los estudios individuales. Sería inútil dividir con cuidado la tarea en elementos, medir con precisión la duración de cada uno en centésimas de minuto, evaluar con exactitud el desempeño del operario, y después asignar un suplemento arbitrario al azar. Si los suplementos son demasiado altos, los costos de manufactura se inflan de manera indebida. Si son demasiado bajos, se obtienen estándares estrechos, que causan malas relaciones con la mano de obra y la falla eventual de los sistemas de producción.

Los suplementos típicos usados en la industria se encuentran en la investigación industrial de 42 plantas diferentes mencionada al inicio del capítulo. El suplemento total promedio más pequeño fue 10%, en una planta fabricante de electrodomésticos. El suplemento mayor total fue 35%, de hecho, en dos plantas distintas de la industria del acero. El promedio de todas las plantas fue 17.7%.

La tabla 11–11 proporciona una guía para asignar suplementos de una manera más cuantitativa que como se ha hecho hasta ahora. Esta guía es adecuada en especial para posiciones anormales, uso de fuerza, condiciones atmosféricas y otras condiciones del entorno de trabajo. Los suplementos de estrés visual, tensión mental, monotonía y tedio son, en la actualidad, menos confiables y deben desarrollarse con mayor detalle.

PREGUNTAS

1. ¿Qué áreas principales intentan cubrir los suplementos?
2. ¿Cuáles son los dos métodos usados en el desarrollo de los datos de suplementos estándar? Dé una explicación breve de la aplicación de cada técnica.
3. Proporcione varios ejemplos de demoras personales. ¿Qué porcentaje de suplemento parece adecuado para las demoras personales en las condiciones normales de una planta?
4. ¿Cuáles son algunos de los factores más importantes que afectan la fatiga?
5. ¿Por qué quienes defienden el sistema MTM de datos de movimientos fundamentales afirman que no deben asignarse suplementos por fatiga?
6. ¿Qué interrupciones del operario forman parte de los suplementos por retrasos inevitables?
7. ¿Qué porcentaje de suplemento es normal asignar para retrasos inevitables?
8. ¿Cuáles son los suplementos adicionales que se asignan?
9. ¿Por qué el suplemento por fatiga se aplica con frecuencia a las áreas de esfuerzo del ciclo de trabajo?
10. ¿Por qué los suplementos se basan en un porcentaje del tiempo productivo?
11. ¿Cuáles son las ventajas de que los operarios limpien y lubriquen sus propias máquinas?
12. ¿Cuándo sería adecuado agregar los suplementos mostrados en la tabla 11-2?
13. Explique varias razones para no aplicar suplementos adicionales a las operaciones, si la mayor parte del ciclo es un proceso controlado por la máquina y el tiempo del elemento es pequeño comparado con el tiempo de ciclo.

Tabla 11–11 Tabla de suplementos revisados

SUPLEMENTOS CONSTANTES	
Necesidades personales	5
Fatiga básica	4
SUPLEMENTOS VARIABLES DE DESCANSO	
Suplementos por postura	
De pie	2
Incómoda (agachado, acostado, en cuclillas)	10
Niveles de iluminación	
Un nivel (una subcategoría de IES) abajo de lo recomendado	1
Dos niveles abajo de lo recomendado	3
Tres niveles abajo de lo recomendado (categoría IES completa)	5
Estrés visual (atención estrecha)	
Trabajo fino o de precisión	2
Trabajo muy fino con mucha precisión	5
Estrés mental	
Primera hora	2
Segunda hora	4
Cada hora sucesiva	+2
Monotonía	
Primera hora	2
Segunda hora	4
Cada hora sucesiva	+2
Uso de fuerza o energía muscular	
Tomar repetidas veces o levantamientos poco frecuentes (<1 levantamiento cada 5 minutos)	$SD = 1800 \times (t/T)^{1.4} \times (f/F - 0.15)^{0.5}$, donde $T = 1.2/(f/F - 0.15)^{0.618} - 1.21$
Levantamientos frecuentes (>1 levantamiento cada 5 minutos)	Usar guía de levantamiento de NIOSH con LI < 1.0
Actividades de todo el cuerpo	$SD = (\Delta RC/40 - 1) \times 100$ o $SD = (\Delta W/4 - 1) \times 100$
Condiciones atmosféricas	$SD = \exp(-41.5 + 0.0161W + 0.497\ TGBH)$
Nivel de ruido	$SD = 100 \times (D - 1)$, donde $D = C_1 / T_1 + C_2 / T_2 + \cdots$
Repetitividad (tedio)	
Estándar no establecido aún	Usar análisis de riesgo de DTA y mantener índice de riesgo < 1.0

PROBLEMAS

1. Desarrolle un factor de suplemento para un elemento de ensamble donde el operario está de pie en una posición un poco incómoda, levanta un peso de 15 libras con regularidad y tiene buena luz y condiciones atmosféricas. La atención requerida es fina, el nivel de mu-

do es continuo a 70 dBA y el estrés mental es bajo, igual que la monotonía y el tedio de la tarea.

2. Calcule el suplemento por fatiga para una operación en la que el operario carga y descarga un molde de hierro para fundición de 25 libras una vez cada cinco minutos, a una altura de 30 pulgadas.
3. ¿Cuál sería el suplemento en el problema 2 si la frecuencia aumentara a 5 por minuto?
4. En la compañía XYZ, un estudio de un día reveló las siguientes fuentes de ruido: 0.5 h, 100 dBA; 1 h, menos de 80 dBA; 3.5 h, 90 dBA; 3 h, 92 dBA. Calcule el suplemento de descanso.
5. ¿Qué suplemento por fatiga debe asignarse a una tarea que toma 1.542 minutos ejecutarla al final de un periodo de trabajo continuo, pero sólo toma 1.480 minutos al principio del trabajo continuo?
6. Con base en la tabla de ILO, ¿cuál sería el factor de suplemento para un elemento de trabajo que requiere una fuerza para jalar 42 libras, con luz adecuada para el trabajo de precisión que se requirió?
7. Calcule los suplementos por fatiga para un trabajador que palea material de desperdicio en un contenedor. El ritmo cardiaco del operario al trabajar es alrededor de 130 pulsaciones/min y el ritmo cuando descansa es 70 pulsaciones/min.
8. Calcule el suplemento por fatiga para un operario que pesa 200 libras que supervisa un alto horno de acero estando de pie cerca del horno. El índice de TGBH indica 92 °F.
9. Compare el suplemento por demora debida a interferencia con el modelo de teoría de colas y la ecuación de interferencia de máquina, si N = 20, el tiempo medio de producción de la instalación es 120 minutos y el tiempo de atención es 3 minutos.

REFERENCIAS

Åberg, V., K. Elgstrand, P. Magnus y A. Lindholm, "Analysis of Components and Prediction of Energy Expenditure in Manual Tasks", *The International Journal of Production Research*, 6, núm. 3 (1968), pp. 189–196.

ANSI, *Control of Work-Related Cumulative Trauma Disorders -Part 1: Upper Extremities*, ANSI Z-365 Working Draft. Itasca, NY: American National Standards Institute, 1995.

Baker, R. A., J. R. Ware y R. R. Sipowicz, "Signal Detection by Multiple Monitors", *Psychological Record*, 12, núm. 2 (abril 1962), pp. 133–137.

Bennett, C. A., A. Chitlangia y A. Pangrekar, "Illumination Levels and Performance of Practical Visual Tasks", *Proceedings of the 21st Annual Meeting of the Human Factors Society* (1977), pp. 322–325.

Blackwell, H.R., "Development and Use of a Quantitative Method for Specifications of Interior Illumination Levels on the Basis of Performance Data, *Illuminating Engineering*, 54 (junio de 1959), pp. 317-353.

Brey, E. E., "Fatigue Research in Its Relation to Time Study Practice", *Proceedings, Time Study Conference*, Chicago, IL: Society of Industrial Engineers, febrero 14, 1928.

Chaffin, D. B., A. Freivalds y S. R. Evans. "On the Validity of an Isometric Biomechanial Model of Worker Strengths." *IIE Transactions*, 19, núm. 3 (septiembre, 1987), pp. 280–288.

Davis, H. L., T. W. Faulkner y C. L. Miller, "Work Physiology", *Human Factors*, 11, núm. 2 (abril, 1969), pp. 157–165.

Freivalds, A., "Development of an Intelligent Knowledge Base for Heat Stress Evaluation", *International Journal of Industrial Engineering*, 2, núm. 1 (noviembre, 1987), pp. 27–35.

Freivalds, A. y J. Goldberg, "Specification of Bases for Variable Relaxation Allowances", *The Journal of Methods-Time Measurement*, 14 (1988), pp. 2–29.

Garg, A., D. B. Chaffin y G. D. Herrin, "Prediction of Metabolic Rates for Manual Materials Handling Jobs", *American Industrial Hygiene Association Journal*, 39, núm. 12 (diciembre, 1978), pp. 661–674.

Hummel, J. O. P., *Motion and Time Study in Leading American Industrial Establishments* (tesis de maestría), University Park PA: Pennsylvania State University, 1935.

IES, *IES Lighting Handbook Reference Volume*, Nueva York: Illuminating Engineering Society of North America, 1981.

ILO, *Introduction to Work Study*, 1a. ed., Geneva, Switzerland: International Labour Office, 1957.

ILO, *Introduction to Work Study*, 3a. ed., Geneva, Switzerland: International Labour Office, 1979.

Konz, S. y S. Johnson, *Work Design*, 5a. ed., Scottsdale, AZ: Holcomb Hathaway Publishers, 2000.

Lazarus, I., "Inaccurate Allowances Are Crippling Work Measurements", *Factory* (abril, 1968), pp. 77–79.

Moodie, Colin L., "Assembly Line Balancing", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

MTM Association, *Work Measurement Allowance and Survey*, Fair Lawn, NJ: MTM Association, 1976.

Murrell, K.F.H., *Human Performance in Industry*, Nueva York: Reinhold Publishing, 1965.

NIOSH, *Criteria for a Recommended Standard for Occupational Exposure to Hot Environments*, Washington, DC: National Institute for Occupational Safety and Health, Superintendent of Documents, 1986.

NIOSH, *Health Hazard Evaluation - Eagle Convex Glass Co.*, HETA 89-137-2005, Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, 1989.

Okogbaa, O.G. y R. L. Shell, "The Measurement of Knowledge Worker Fatigue", *IIE Transactions*, 12, núm. 4 (diciembre, 1986), pp. 335–342.

OSHA, "Occupational Noise Exposure: Hearing Conservation Amendment", *Federal Register*, 48 (1983), (Washington, DC: Occupational Safety and Health Administration), pp. 9738-9783.

Rohmert, W., "Problems in Determining Rest Allowances, Part I: Use of Modern Methods to Evaluate Stress and Strain in Static Muscular Work", *Applied Ergonomics*, 4, núm. 2 (junio, 1973), pp. 91–95.

Rohmert, W., "Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Mensche." *Internationale Zeitschrift für Angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie*, 18 (1960), pp. 123–140.

Seth, V., R. Weston y A. Freivalds, "Development of a Cumulative Trauma Disorder Risk Assessment Model", en *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23, núm. 4 (marzo, 1999), pp. 281-291.

Silverstein, B. A., L. J. Fine y T. J. Armstrong, "Occupational Factors and Carpal Tunnel Syndrome", *American Journal of Industrial Medicine*, 11, núm. 3 (1987), pp. 343–358.

Stecke, Kathryn E., "Machine Interference: Assignment of Machines to Operators", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

CAPÍTULO 12

Datos y fórmulas de estándares



PUNTOS CLAVE:

- Usar datos de estándares que comprendan una colección de tiempos normales gráficos o tabulados para los movimientos de los elementos del trabajo.
- Mantener separados los elementos de preparación y cíclicos.
- Mantener separados los elementos constantes y variables.
- Usar fórmulas para obtener tiempos normales rápidos y consistentes para los elementos variables.
- Mantener las fórmulas claras, concisas y sencillas hasta donde sea posible.
- Después de sumar los tiempos normales, agregar los suplementos para obtener los nuevos tiempos estándar.

Los datos de tiempos estándar son los tiempos de los elementos obtenidos en estudios que se guardan para usarlos después. Por ejemplo, el tiempo de una preparación elemental que se repite con regularidad no debe medirse para cada operación. El principio de la aplicación de los datos estándares fue establecido hace muchos años por Frederick W. Taylor, quien propuso que cada tiempo de elemento establecido se indexara de manera que pudiera usarse para establecer tiempos estándar en trabajos futuros. En la actualidad, cuando se habla de datos estándar se hace referencia a todos los estándares de elementos tabulados, curvas, gráficas de alineación y tablas que permiten la medición de una tarea específica sin el uso de un cronómetro o reloj.

Los datos de estándares pueden tener varios niveles de refinamiento: movimiento, elemento y tarea. Cuanto más refinado sea el dato del estándar, más amplio será su uso. Entonces, los datos de estándares de movimiento tienen la mayor aplicación, pero toma más tiempo desarrollarlo que los estándares de las tareas o de los elementos. El dato del estándar del elemento tiene una aplicación amplia y permite un desarrollo más rápido

del estandar que los datos de movimiento. Este capítulo está dedicado a los datos de estándares de los elementos, y en el capítulo 13 se estudian los datos de movimientos estándar y su uso al predeterminar sistemas de tiempo estándar.

Una fórmula de estudio de tiempos es una presentación alternativa y más sencilla del dato estándar, en especial para los elementos variables. Las fórmulas tienen aplicaciones específicas en el trabajo no repetitivo donde no es práctico establecer estándares para cada tarea con un estudio de tiempos individual. Desarrollar una fórmula incluye diseñar una expresión algebraica que establece un tiempo estándar antes de la producción sustituyendo valores conocidos para los elementos variables propios de la tarea.

Los estándares de trabajo calculados a partir de los datos de estándares son relativamente consistentes ya que los elementos calculados son el resultado de muchos estudios probados con cronómetro. Como los valores están tabulados, sólo es necesario acumular o calcular los elementos requeridos para establecer un estándar, y los integrantes del equipo de estudio de tiempos en una compañía deben llegar a estándares de desempeño idénticos para un método dado. Entonces, se asegura la consistencia en los estándares establecidos por diferentes analistas en una planta, al igual que para los diferentes estándares calculados por un observador de estudio de tiempos.

Casi siempre es más rápido calcular los estándares para una tarea nueva a través de los datos de estándares que con un estudio de tiempos con cronómetro. Esto permite establecer estándares de operaciones de mano de obra indirecta para las que es menos práctico realizar estudios con cronómetro. Un analista de medición del trabajo puede establecer cinco calificaciones por día con los métodos de cronómetro. Si se usan los datos o fórmulas de estándares se pueden calcular 25 calificaciones por día. Además, los datos de estándares permiten establecer el tiempo estándar para una gran variedad de tareas.

DESARROLLO DE DATOS DE TIEMPO ESTÁNDAR

ENFOQUE GENERAL

Para desarrollar datos de tiempo estándar, debe distinguirse entre los elementos constantes y los variables. Un elemento constante es aquel cuyo tempo permanece casi igual de un ciclo a los siguientes. Para un elemento variable el tiempo varía dentro de un intervalo específico de trabajo. Así, el elemento "iniciar la máquina" sería constante mientras que el elemento "hacer un barreno de ¾ de pulgada" varía con la profundidad del agujero, la alimentación y la velocidad del taladro.

Los datos de estándares se indexan y archivan conforme se desarrollan. También, los elementos de preparación se separan de los elementos incorporados a cada porción de tiempo y los elementos constantes se separan de los variables. Los datos de estándares comunes para la operación de máquinas se tabulan de la siguiente manera: 1) preparación, *a*) constantes y *b*) variables; 2) cada pieza, *a*) constantes y *b*) variables.

Los datos de estándares se compilan a partir de los distintos elementos en los estudios de tiempos de un proceso dado en periodo determinado. Sólo los estudios válidos, probados por medio de su utilización se incluyen en los datos. Al tabular datos de estándares deben definirse con cuidado y claridad los puntos terminales. De otra manera, puede haber un traslape de tiempo en los datos registrados. Por ejemplo, en el elemento

"detener por falta de material" en un torno revólver Warner & Swasey núm. 3 alimentado con barras, el elemento puede incluir alcanzar la palanca de alimentación, tomar la palanca, deslizar la barra por la boquilla hasta el tope de la torre hexagonal, cerrar la boquilla y alcanzar la manija de la torreta. Por otro lado, este elemento puede incluir sólo pasar la barra por la boquilla hasta el tope. Como los elementos de los datos de estándares se reúnen a partir de un gran número de estudios tomados por diferentes observadores, deben estar bien definidos los límites o puntos terminales de cada elemento. La figura 12–1 ilustra una forma para resumir los datos tomados en estudios individuales para desarrollar los datos de estándares para máquinas de moldeo con matriz.

Los valores que falten en una tabulación de datos de estándares deberán medirse, por lo general, con un estudio de tiempos con cronómetro (capítulo 9). En ocasiones, debido a la brevedad de los elementos individuales, es difícil medir cada uno. Sin embargo, se pueden determinar sus valores individuales tomando tiempos a grupos de elementos y al mismo tiempo usando las ecuaciones para obtenerlos de manera individual, como se muestra en el ejemplo 12–1.

Al determinar los elementos de datos de estándares con ecuaciones simultáneas, tiene que haber consistencia en las lecturas del cronómetro en los puntos terminales de los elementos establecidos. Como se afirmó, la inconsistencia al establecer los puntos terminales da como resultado elementos incorrectos para los datos de estándares.

EJEMPLO 12–1 Cálculo de los tiempos de elementos breves

El elemento a es "tomar una pequeña pieza fundida", el b es "colocarla en la plantilla", el c es "cerrar la cubierta", el d es "posicionar la plantilla", el e es "avanzar el husillo", y así sucesivamente. Estos elementos se pueden cronometrar en grupo, como sigue:

$$a + b + c = \text{elemento 1} = 0.070 \text{ min} = A \quad (1)$$

$$b + c + d = \text{elemento 3} = 0.067 \text{ min} = B \quad (2)$$

$$c + d + e = \text{elemento 5} = 0.073 \text{ min} = C \quad (3)$$

$$d + e + a = \text{elemento 2} = 0.061 \text{ min} = D \quad (4)$$

$$e + a + b = \text{elemento 4} = 0.068 \text{ min} = E \quad (5)$$

Primero, se suman estas cinco ecuaciones:

$$3a + 3b + 3c + 3d + 3e = A + B + C + D + E$$

Después, sea

$$A + B + C + D + E = T$$

$$3a + 3b + 3c + 3d + 3e = T = 0.339 \text{ min}$$

y

$$a + b + c + d + e = \frac{0.339}{3} = 0.113 \text{ min}$$

Por lo tanto,

$$A + d + e = 0.113 \text{ min}$$

Entonces,

$$d + e = 0.113 \text{ min} - 0.07 \text{ min} = 0.043 \text{ min}$$

como

$$c + d + e = 0.073 \text{ min}$$

$$c = 0.073 \text{ min} - 0.043 = 0.03 \text{ min}$$

De la misma manera,

$$d + e + a = 0.061$$

(continúa en la página 461)

MÁQUINA DE MOLDEO CON MATRIZ

Parte núm. _____ Máq. núm. y tipo _____ Operario _____ Fecha _____

De _____ Núm. de partes en bandeja _____ Método para colocar partes en bandeja _____ Peso total de piezas y molde _____

_____ Núm de partes por inyección _____ Metal líquido _____ Metal plástico _____ Enfriam. _____ Limpieza _____ Vaciado _____

Capacidad en lb del depósito _____ Descripción del engrase _____

Descripción de aflojado de la pieza _____

Descripción de localización _____

ELEMENTOS	TIEMPO	PUNTOS TERMINALES
Colocar metal en depósito	_____	Todo el tiempo de espera mientras se vacía el metal
Enfriar metal	_____	Desde que el operario comienza a agregar metal frío al metal líquido en el depósito, hasta que deja de hacerlo
Quitar escoria del metal	_____	Desde que el operario comienza la limpieza hasta que haya quitado toda la escoria
Llenar cucharón con metal	_____	Desde que el cucharón comienza a sumergirse en el metal hasta que llega a la orilla de la máquina o hasta que el cucharón comienza a inclinarse para el vaciado
Vaciar metal	_____	Desde que el cucharón comienza a inclinarse para el vaciado hasta que llega lleno a la orilla de la máquina
Vaciar el metal del cucharón en la máquina	_____	Desde que el cucharón lleno llega a la orilla de la máquina hasta que el pie comienza a accionar la prensa
Iniciar la acción de la prensa	_____	Desde que el pie comienza a moverse hacia el pedal hasta que la prensa comienza a bajar
Prensado	_____	Completar el accionamiento de la prensa
Sostener el émbolo abajo	_____	Desde que el émbolo se detiene abajo hasta que comienza a moverse hacia arriba
Presionar botón y elevar el lingote	_____	Desde que el émbolo deja de moverse hasta que se saca el lingote de la cavidad
Sacar el lingote, soltarlo, levantar	_____	Desde que se levanta el lingote de la cavidad hasta que se empuja a la bandeja o al depósito
Accionar el pedal para abrir la matriz	_____	Desde que el pie comienza a moverse hacia el pedal hasta que la matriz comienza a abrirse
Esperar a que se abra la matriz	_____	Desde que la matriz comienza a abrirse hasta que deja de moverse
Quitar la pieza de la matriz	_____	Desde que la matriz deja de moverse hasta que la pieza sale de la cavidad
Colocar pieza en bandeja	_____	Desde que la pieza se libera de la cavidad hasta que está colocada en la bandeja

Figura 12–1 Forma del desarrollo de datos de estándares

y $$a = 0.061 \text{ min} - 0.043 = 0.018 \text{ min}$$

Al sustituir estos valores en la ecuación 1 se obtiene:

$$b = 0.070 - (0.03 + 0.018) = 0.022 \text{ min}$$

Con la sustitución en la ecuación 2 se ve que

$$d = 0.067 - (0.022 + 0.03) = 0.015 \text{ min}$$

y al sustituir en la ecuación 3 se obtiene

$$e = 0.073 - (0.015 + 0.03) = 0.028 \text{ min}$$

DATOS TABULARES

Por ejemplo, cuando se desarrollan los tiempos de los datos de estándares para los elementos de una máquina, tal vez el analista necesite calcular los caballos de fuerza requeridos para los distintos materiales en relación con la profundidad de corte, las velocidades de corte y la alimentación. Para evitar sobrecargar el equipo existente, el analista debe tener información de la carga de trabajo asignada a cada máquina para las condiciones en las que se elimina el material. Por ejemplo, en el maquinado de forjas de acero de alta aleación en un torno capaz de desarrollar 10 caballos de fuerza, no sería factible hacer un corte de 3/8 pulg de profundidad si se alimentan 0.011 pulg por revolución y se tiene una velocidad de 200 pies de superficie por minuto. Los datos tabulares, ya sea del fabricante de la máquina herramienta o de los estudios empíricos (vea la tabla 12–1, encuentra requerimientos más detallados en la tabla A3–12 del apéndice 3), indican un requerimiento de 10.6 caballos de fuerza para estas condiciones. En consecuencia, debe planearse el trabajo para una alimentación de 0.009 pulg a una velocidad de 200 pies superficie; esto sólo requerirá una calificación de potencia de 8.7. Estos datos tabulares se almacenan, recuperan y acumulan en una tiempo estándar final usando los programas de hojas de cálculo disponibles (como Microsoft Excel).

USO DE NOMOGRAMAS Y GRÁFICAS

Debido a limitaciones de espacio, no siempre es conveniente tabular valores para los elementos variables. Con la gráfica de una curva o un sistema de curvas, el analista puede expresar en forma gráfica muchos datos de estándares en una página.

La figura 12–2 ilustra un nomograma para determinar el tiempo de torneado y refrentado. Por ejemplo, si el problema es determinar la producción en piezas por hora para tornear 5 pulgadas lineales de una barra de 4 pulgadas de diámetro de acero al carbono medio en una máquina con un avance de 0.015 pulgadas por revolución y que tiene un tiempo de corte de 55% del tiempo de ciclo, es sencillo determinar la respuesta mediante una gráfica. La velocidad de corte recomendada de 150 pies por minuto para acero de carbono medio, mostrada en la escala 1, se une con el punto de 4 pulgadas de diámetro del trabajo, mostrado en la escala 2, lo que da una velocidad de 143 rpm, mostrada en la escala 3. Este punto de 143 rpm se une con el punto de 0.015 pulgadas de avance por revolución, mostrado en la escala 4. Esta línea prolongada hasta la escala 5 muestra un avance de 2.15 pulgadas por minuto. Este punto de alimentación se une con

Tabla 12–1 Requerimientos de potencia para torneado de acero forjado de alta aleación para cortes de ⅜ pulg y ½ pulg de profundidad, a diversas velocidades y avances

Pies de superf.	Corte de ⅜" de prof. (avance, pulg/rev)						Corte de ½" de prof. (avance, pulg/rev)					
	0.009	0.011	0.015	0.018	0.020	0.0022	0.009	0.011	0.015	0.018	0.020	0.022
150	6.5	8.0	10.9	13.0	14.5	16.0	8.7	10.6	14.5	17.3	19.3	21.3
175	8.0	9.3	12.7	15.2	16.9	18.6	10.1	12.4	16.9	20.2	22.5	24.8
200	8.7	10.6	14.5	17.4	19.3	21.3	11.6	14.1	19.3	23.1	25.7	28.4
225	9.8*	11.9	16.3	19.6	21.7	23.9	13.0	15.9	21.7	26.1	28.9	31.8
250	10.9	13.2	18.1	21.8	24.1	26.6	14.5	17.7	24.1	29.0	32.1	35.4
275	12.0	14.6	19.9	23.9	26.5	29.3	15.9	19.4	26.5	31.8	35.3	39.0
300	13.0	16.0	21.8	26.1	29.0	31.9	17.4	21.2	29.0	34.7	38.6	42.5
400	17.4	21.4	29.1	34.8	38.7	42.5	23.2	28.2	38.7	46.3	51.5	56.7

la longitud de corte en la escala 6 (5 pulgadas) y se obtiene el tiempo de corte requerido en la escala 7. Por último, el tiempo de corte de 2.35 minutos, unido con el porcentaje de tiempo de corte en la escala 8 (en este caso 55%), proporciona las piezas por hora de producción en la escala 9 (16 en este caso).

La figura 12–3 muestra una gráfica que expresa el tiempo de formado en horas por cientos de piezas para cierto material en un conjunto de tamaños expresados en pulgadas cuadradas. Cada uno de los 12 puntos representa un estudio de tiempos individual. Los puntos graficados indican una relación lineal que se puede expresar como:

$$\text{Tiempo estándar} = 50.088 + 0.00038\ \text{Área}$$

Los detalles para obtener este tipo de fórmulas se encuentran adelante en la sección de construcción de fórmulas a partir de datos empíricos.

El uso de nomogramas o gráficas tiene desventajas evidentes. Primero, es fácil cometer errores al leer la gráfica por la cantidad de interpolación que suele requerirse. Segundo, existe la posibilidad de errores absolutos por la lectura incorrecta o la mala alineación de las intersecciones en las diferentes escalas.

DESARROLLO DE FÓRMULAS A PARTIR DE DATOS EMPÍRICOS

IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

El primer paso básico en el desarrollo de una fórmula es identificar las variables críticas involucradas. Este proceso incluye la separación de las variables que son independientes de las dependientes y la determinación del intervalo de cada variable. Como el analista está preocupado por establecer tiempos estándar, la variable dependiente casi siempre será el tiempo. Por ejemplo, quizá se desarrolló una fórmula para partes de hule vulcanizado entre 2 y 8 onzas de peso. La variable independiente es el peso del hule, mientras que la variable dependiente es el tiempo de vulcanizado. El intervalo de la variable dependiente sería sería entre 2 y 8 onzas, y la variable dependiente tiempo tendría que cuantificarse a partir de los estudios.

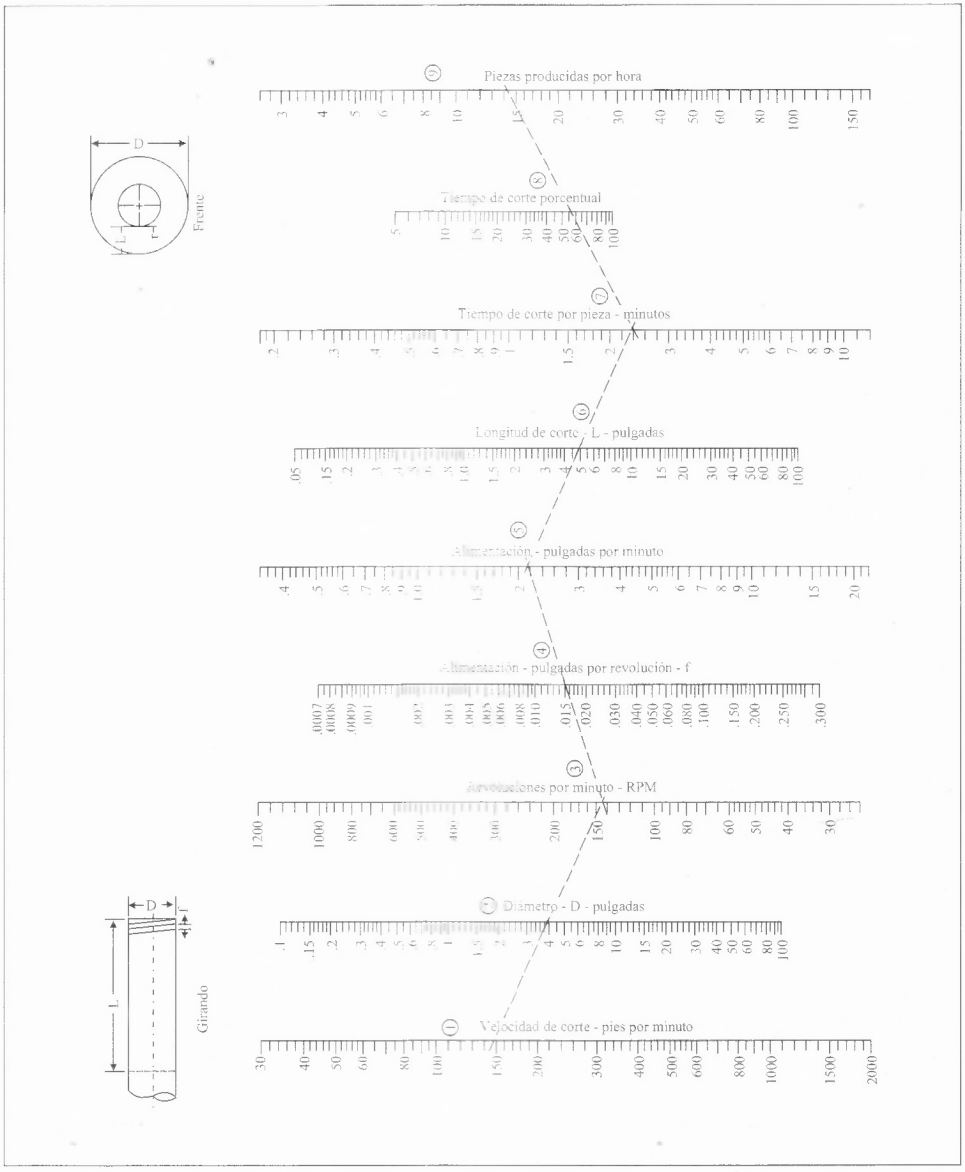


Figura 12–2 Nomograma para determinar el tiempo de torneado y giro (Crobalt, Inc.)

ANÁLISIS DE ELEMENTOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Una vez terminada la identificación inicial, el siguiente paso es recolectar los datos para la fórmula. Este paso incluye recopilar estudios anteriores con elementos de trabajo estandarizados (aplicables a la fórmula deseada), al igual que realizar nuevos estudios para obtener una muestra suficientemente grande para cubrir el intervalo de trabajo

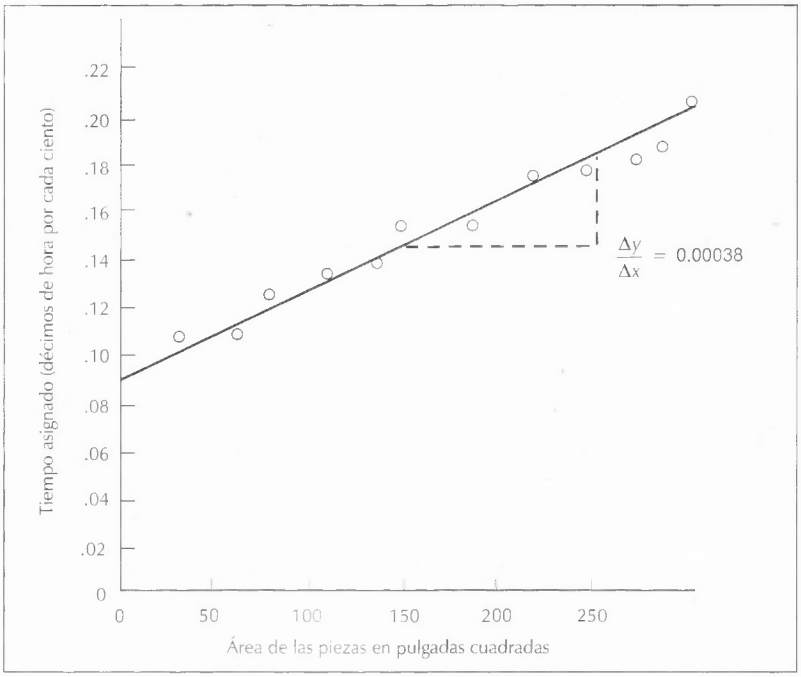


Figura 12–3 Tiempo de formado para distintos tamaños de materiales

de la fórmula. Es importante que los elementos parecidos en distintos estudios tengan puntos terminales consistentes. Esto es esencial para determinar las variables que influyen en el tiempo, al igual que para lograr un valor preciso para cualquiera de los elementos constantes.

Puede ocurrir cierta cantidad de variación, incluso para los elementos constantes, debido a inconsistencia en los métodos del operario o a la calificación del desempeño. No obstante, en general, los elementos constantes no se desvían demasiado. El tiempo estándar para cada constante se determina con el promedio de los valores de los diferentes estudios. Es claro que los elementos variables tienden a cambiar en proporción a algunas características del trabajo, como tamaño, forma y dureza. Estos elementos deben estudiarse con cuidado para determinar qué factores influyen el tiempo y en qué grado.

El número de estudios necesario para desarrollar una fórmula depende del intervalo de trabajo para el que se usará la fórmula, la consistencia relativa de los elementos constantes similares en los distintos estudios y el número de factores que afectan el tiempo requerido para ejecutar los elementos variables. Es importante contar con al menos 10 estudios antes de desarrollar una fórmula. Si se usan menos de 10, la exactitud de la fórmula puede disminuir con modelos que no se ajustan. Además, es posible que los datos no sean representativos del desempeño típico. Mientras más estudios se usen, mayor será el número de datos disponibles y más normales las condiciones reflejadas. En resumen, el analista debe recordar la máxima de "entra basura - sale basura". La fórmula logrará la exactitud que tengan los datos que se usan para desarrollarla.

GRÁFICA DE DATOS Y CÁLCULO DE EXPRESIONES DE VARIABLES

Los datos se despliegan en una hoja de cálculo (como Microsoft Excel) para analizar las constantes y variables. Se identifican y combinan las contantes y se analizan las variables para extraer los factores que influyen en el tiempo expresados en forma algebraica. Al graficar la curva del tiempo contra la variable independiente, el analista puede deducir las relaciones algebraicas potenciales. Por ejemplo, los datos graficados pueden tomar cualquier número de formas: una línea recta, una tendencia creciente no lineal, una tendencia decreciente no lineal o sin una forma geométrica obvia. Si se trata de una línea recta, entonces la relación es bastante directa:

$$y = a + bx$$

donde las constantes a y b se determinaron del análisis de regresión de mínimos cuadrados. Si la gráfica muestra una tendencia creciente no lineal, entonces deben probarse las relaciones de potencias de la forma x^2, x^3, x^n o e^x. Para las tendencias decrecientes no lineales, deben intentarse relaciones de potencias negativas o exponenciales negativas. Las tendencias asintóticas tal vez se ajusten a exponenciales negativas de la forma:

$$y = I - e^{-x}$$

Observe que agregar términos adicionales al modelo siempre producirá un modelo mejor con un porcentaje más alto de variancia (expresada como r^2) en los datos explicados. Sin embargo, tal vez la mejora del modelo no sea estadísticamente significativa, es decir, en el sentido estadístico, no hay diferencia en la calidad del valor que se predice en ambos modelos. Más aún, cuanto más sencilla sea la fórmula, mejor se podrá comprender y aplicar. Deben evitarse las expresiones complejas con muchos términos de potencias. Debe identificarse el intervalo de cada variable. Deben explicarse con detalle las limitaciones de la fórmula en cuanto al intervalo de aplicación.

Existe un procedimiento formal para calcular el mejor modelo, llamado *prueba lineal general*. Calcula el decremento en la variancia no explicada entre el modelo más sencillo, llamado *modelo reducido*, y el modelo más complejo, o *modelo completo*. La disminución en la variancia se prueba estadísticamente y sólo se usará el modelo más complejo si la disminución es significativa (ejemplo 12–2). Se pueden encontrar más detalles acerca de ajuste de curvas y desarrollo de modelos en varios libros de estadística, como Neter *et al.* (1996) o Rawling (1998).

EJEMPLO 12–2

En el elemento "formar el arco y soldar" el analista obtuvo los siguientes datos de 10 estudios detallados:

Estudio núm.	Tamaño de soldadura	Min/pulg de soldadura
1	1/8	0.12
2	3/16	0.13
3	1/4	0.15
4	3/8	0.24

Estudio núm.	Tamaño de soldadura	Min/pulg de soldadura
5	1/2	0.37
6	5/8	0.59
7	11/16	0.80
8	3/4	0.93
9	7/8	1.14
10	1	1.52

Al graficar los datos se obtuvo la curva suave mostrada en la figura 12–4. Una regresión lineal simple de la variable dependiente "minutos" contra la variable independiente "soldadura" llevó a:

$$y = -0.245 + 1.57x \tag{1}$$

con $r^2 = 0.928$ y la suma de cuadrados de los errores (SCE) = 0.1354.

Como la figura 12–4 indica una tendencia no lineal definitiva para los datos, parece razonable agregar una componente cuadrática al modelo. La regresión ahora da:

$$y = 0.1 - 0.178x + 1.61x^2 \tag{2}$$

con $r^2 = 0.993$ y $SCE = 0.012$. El incremento en r^2 parece indicar una mejora definitiva en el ajuste del modelo. Esta mejora se puede probar estadísticamente con la prueba lineal general:

$$F = \frac{[SCE(R) - SCE(F)]/(gl_R - gl_F)}{SCE(F)/gl_F}$$

donde: $SCE(R)$ = suma de cuadrados del error en el modelo reducido (sencillo)
$SCE(F)$ = suma de cuadrados del error en el modelo completo (complejo)
gl_R = grados de libertad para el modelo reducido
gl_F = grados de libertad para el modelo completo

Al comparar los dos modelos se tiene:

$$F = \frac{(0.1354 - 0.012)/(8 - 7)}{0.012/7} = 71.98$$

Como 71.98 es mucho más grande que $F_{(1,7)} = 5.59$, el modelo completo es significativamente un mejor modelo.

El proceso se puede repetir agregando otro término con una potencia más alta (como x^3), que lleva al siguiente modelo:

$$y = 0.218 - 1.14x + 3{,}59x^2 - 1.6x^3 \tag{3}$$

con $r^2 = 0.994$ y $SCE = 0.00873$. Sin embargo, en este caso, la prueba lineal general no lleva a una mejora estadísticamente significativa:

$$F = \frac{(0.12 - 0.00873)/(7 - 6)}{0.00873/6} = 2.25$$

El valor $F = 2.25$ es menor que el valor crítico $F_{(1,6)} = 5.99$.

Es interesante que al usar un modelo cuadrático sencillo de la forma:

$$y = 0.0624 + 1.45x^2 \tag{4}$$

con $r^2 = 0.993$ y la suma de cuadrados $SCE = 0.0133$ se obtiene el modelo mejor y más sencillo. Al compararlo (ec. 4) con el segundo modelo (ec. 2), se llega a:

$$F = \frac{(0.133 - 0.012)/(8 - 7)}{0.012/7} = 0.758$$

El valor F no es significativo y el término lineal adicional en x no proporciona un modelo mejor.

Este modelo cuadrático de mejor ajuste se puede verificar si se sustituye una soldadura de 1 pulgada para obtener:

$$y = 0.0624 + 1.45(1)^2 = 1.51$$

Esto coincide muy de cerca con el valor del estudio de tiempos de 1.52 minutos.

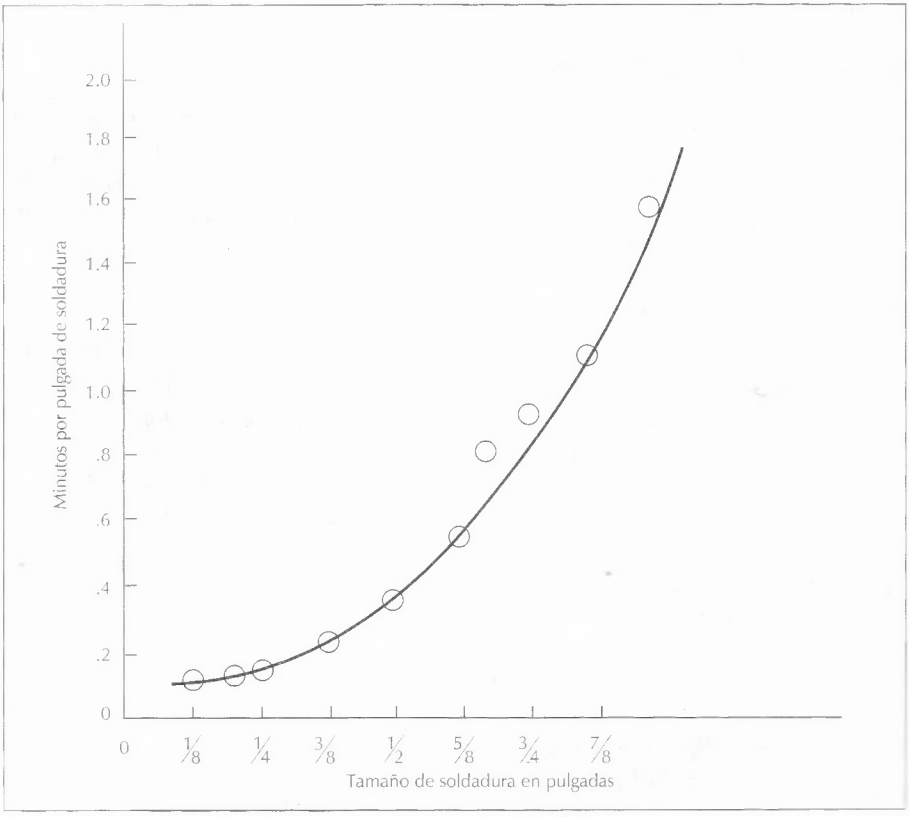


Figura 12–4 La curva graficada en papel coordenado rectangular tiene forma cuadrática

En ocasiones, el analista puede reconocer que más de una variable independiente influye en el tiempo y que esa expresión final puede consistir en una combinación múltiple de varias potencias de las variables independientes. Si es así, deben aplicarse las técnicas de regresión múltiple. Estos cálculos son tediosos por lo que habrá que utilizar paquetes de software especializados de estadística, como MINITAB o SAS.

VERIFICAR LA EXACTITUD Y TERMINAR

Una vez terminada la fórmula, los analistas deben verificarla antes de liberarla para su uso. La manera más fácil y rápida de probar una fórmula es usarla para examinar los estudios de tiempo existentes. Cualesquiera de las diferencias encontradas (alrededor de 5%) entre el valor de la fórmula y el del estudio de tiempos deben investigarse. Si la fórmula no tiene la validez esperada, el analista debe acumular datos adicionales usando el cronómetro y/o los estudios de datos de estándares.

El último paso del proceso de desarrollo de la fórmula es escribir su informe. El analista debe consolidar todos los datos, cálculos, derivaciones y aplicaciones de la fórmula y presentar esta información en un informe completo antes de ponerla en uso. Estos hará que estén disponibles todos los hecho respecto al proceso empleado, las condiciones de operación y el alcance de la fórmula.

FÓRMULAS ANALÍTICAS

Los tiempos estándar se pueden calcular usando las fórmulas analíticas encontradas en los manuales técnicos o en la información proporcionada por los fabricantes de máquinas herramienta. Al encontrar las alimentaciones y velocidades adecuadas para los distintos tipos y grosores de materiales, los analistas pueden calcular los tiempos de corte para las diferentes operaciones de maquinado.

TRABAJO CON TALADRO

Una broca es una herramienta en forma de espiga estriada con punta cortante usada para hacer o agrandar un agujero en un material sólido. En las operaciones de perforación en superficie plana, el eje de la broca está a 90 grados con la superficie. Cuando una perforación atraviesa una pieza, el analista debe sumar la saliente (punta) de la broca a la longitud del agujero para determinar la distancia total que debe recorrer la broca para hacer el agujero. Cuando se perfora un agujero ciego, la distancia desde la superficie hasta la mayor penetración de la broca es la distancia que debe recorrer la broca (figura 12–5).

Como el estándar comercial para el ángulo incluido de puntas de broca es 118 grados, la saliente de la broca se calcula con la siguiente expresión:

$$l = \frac{r}{\tan A}$$

donde: l = saliente de la broca,
r = radio de la broca,
$\tan A$ = tangente de la mitad del ángulo de la punta de la broca.

Calcule la saliente de una broca de propósito general de 1 pulgada de diámetro:

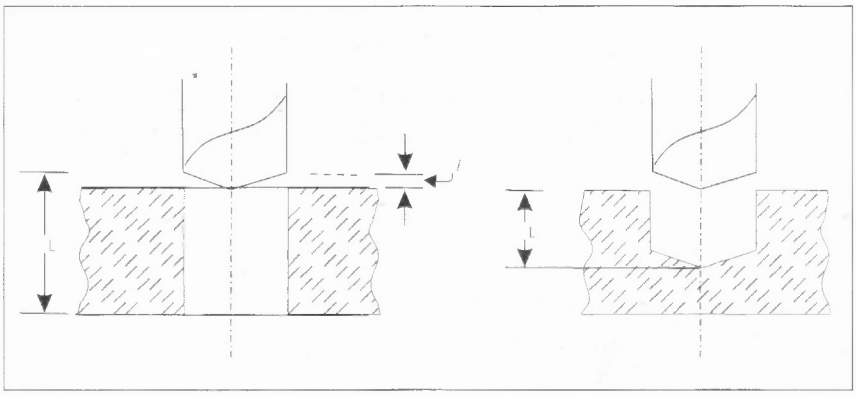


Figura 12–5 Distancia de recorrido de la broca.
La distancia L indica lo que recorre la broca cuando la perforación atraviesa (ilustración de la izquierda) y cuando se perfora un hoyo ciego (ilustración de la derecha) (la distancia *l* muestra la punta o saliente de la broca).

$$l = \frac{0.5}{\tan 59^\circ}$$

$$l = \frac{0.5}{1.6643}$$

$$l = 0.3 \text{ pulgadas de saliente}$$

Después de determinar la longitud total que debe moverse una broca, esta distancia se divide entre el avance de la broca en pulgadas por minuto, para encontrar el tiempo de corte en minutos.

La velocidad de la broca se expresa en pies por minuto (pie/min) y el avance en milésimos de pulgada por revolución. Para cambiar el avance a pulgadas por minuto cuando se conocen el avance por revolución y la velocidad en pies por minuto, se usa la siguiente ecuación:

$$F_m = \frac{3.82 f S_f}{d}$$

donde: F_m = avance en pulgadas por minuto,
f = avance en pulgadas por revolución,
S_f = pies de superficie por minuto,
d = diámetro de la broca en pulgadas.

Por ejemplo, para determinar el avance en pulgadas por minuto de una broca de 1 pulgada al perforar a una velocidad de superficie de 100 pies por minuto y un avance de 0.013 pulgadas por revolución, se tiene:

$$F_m = \frac{(3.82)(0.013)(100)}{1} = 4.97 \text{ pulgadas por minuto}$$

Para determinar el tiempo que tarda esta broca de 1 pulgada trabajando a esa velocidad y avance para perforar 2 pulgadas de fierro colado maleable se usa la ecuación:

$$T = \frac{L}{F_m}$$

donde: T = tiempo de corte en minutos,
L = longitud total que debe recorrer la broca,
F_m = avance en pulgadas por minuto,

que conduce a:

$$T = \frac{2 \text{ (espesor del colado)} + 0.3 \text{ (punta de la broca)}}{4.97}$$

$$= 0.464 \text{ minutos de corte}$$

El tiempo de corte calculado así no incluye un suplemento, que puede agregarse para determinar el tiempo estándar. El suplemento debe incluir tiempo para variaciones en el espesor del material y tolerancias para preparar los topes, ya que ambos aspectos afectan el tiempo de ciclo del corte. Los suplementos por demoras personales e inevitables también deben agregarse para obtener un tiempo total estándar equitativo.

Quizá no todas las velocidades estén disponibles en la máquina que se usa. Por ejemplo, la velocidad del husillo recomendada para un trabajo dado puede ser 1550 rpm, pero la máquina sólo cuenta con 1200 rpm. En ese caso, deben usarse 1200 rpm como base para calcular los tiempos asignados.

TRABAJO EN TORNO

Muchas variaciones de máquinas herramienta se clasifican como tornos. La clasificación incluye el torno común, el torno revólver y el torno automático (destornillador automático). En principio, todos estos tornos se usan con herramientas estacionarias o con herramientas que se trasladan sobre la superficie para mover el material de la pieza trabajada, que puede ser forjada, fundida o tipo barra. En algunos casos, la herramienta gira mientras el trabajo se mantiene estacionario, como en ciertas estaciones de maquinado en torno automático. Por ejemplo, la ranura de la cabeza de un tornillo se puede maquinar en el aditamento de ranurado de un torno automático.

Muchos factores alteran la velocidad y avance, como las condiciones y diseño de la máquina herramienta, el material que se corta, la condición y diseño de la herramienta de corte, el refrigerante usado en el corte, el método de sujeción del material y el método de montaje de la herramienta de corte.

De la misma manera que en el trabajo de prensa, el avance se expresa en milésimos de pulgada por revolución y las velocidades en pies de superficie por minuto. Para determinar el tiempo de corte de L pulgadas, la longitud de corte en pulgadas se divide entre el avance en pulgadas por minuto, es decir:

$$T = \frac{L}{F_m}$$

donde: T = tiempo de corte en minutos,
L = longitud total de corte,
F_m = avance en pulgadas por minuto,

y

$$F_m = \frac{3.82(Sf)(f)}{d}$$

donde: f = avance en pulgadas por revolución,
Sf = avance en pies de superficie por minuto,
d = diámetro de trabajo en pulgadas.

TRABAJO EN FRESADORA

El fresado es la remoción de material con una cortadora o sierra circular giratoria de dientes múltiples. Mientras que la herramienta de corte gira, el trabajo se hace pasar por la sierra circular. Este método es diferente al del taladro, donde la pieza de trabajo permanece estacionaria. Además de maquinar superficies planas e irregulares, la fresadora se usa para cortar roscas, hacer ranuras y tallar engranes.

En las operaciones de fresado, como en las de perforación y torneado, la velocidad de corte se expresa en pies de pies de superficie por minuto. En general el avance o recorrido de la mesa se expresa en milésimas de pulgada por diente. Para determinar la velocidad de la sierra en revoluciones por minuto, a partir de los pies de superficie por minuto y el diámetro de la cortadora, se usa la siguiente expresión:

$$N_r = \frac{3.82 S_f}{d}$$

donde: N_r = velocidad de la sierra circular en revoluciones por minuto,
S_f = velocidad de la sierra circular en pies por minuto,
d = diámetro exterior de la sierra circular en pulgadas.

Para determinar el avance del trabajo a través de la sierra en pulgadas por minuto se usa la expresión:

$$F_m = f n_t N_r$$

donde: F_m = avance del trabajo a través de la sierra en pulgadas por minuto,
f = avance de la sierra en pulgadas por diente,
n_t = número de dientes en la cortadora,
N_r = velocidad de la sierra en revoluciones por minuto.

El número de dientes de la sierra circular adecuados para una aplicación específica se puede expresar como:

$$n_t = \frac{F_m}{F_t N_r}$$

donde: F_t = grueso de la viruta.

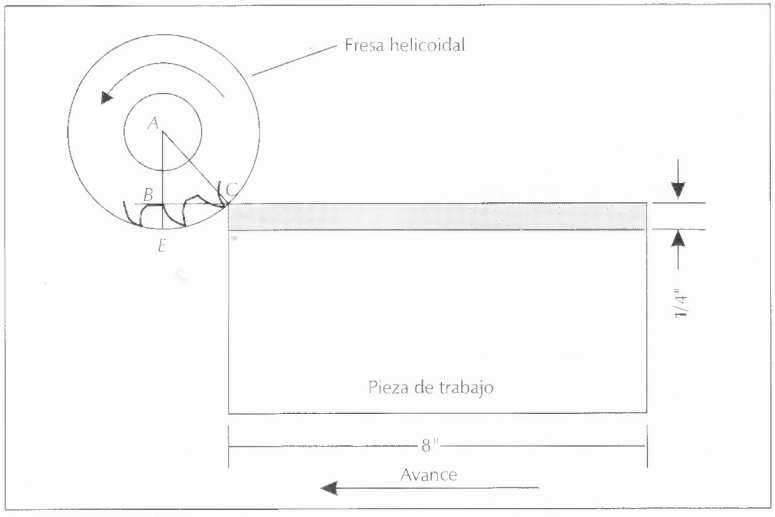


Figura 12-6 Fresado plano en una pieza fundida de 8 pulgadas de longitud.

Para calcular el tiempo de corte en operaciones de fresado, debe tomarse en cuenta la punta de los dientes de la sierra al calcular la distancia total de corte con alimentación automática. Esto se puede determinar por triangulación, como se ilustra en la figura 12–6 que muestra el fresado de una superficie plana.

En este caso, para obtener la longitud total que debe hacerse pasar por la sierra, se suma la medida *BC* de los dientes a la longitud del trabajo (8 pulgadas). El espacio libre para retirar la pieza después del maquinado se considera como un elemento separado, ya que se usa una mayor alimentación con el movimiento rápido de la mesa. Si se conoce el diámetro de la sierra, es posible determinar *AC* como el radio y después calcular la altura del triángulo rectángulo *ABC* con la resta del radio *AE* menos la profundidad de corte *BE* como sigue:

$$BC = \sqrt{AC^2 - AB^2}$$

En el ejemplo anterior, suponga que el diámetro de la sierra es 4 pulgadas y que tiene 22 dientes. El avance por diente es 0.008 pulgadas y la velocidad de corte es 60 pies por minuto. La ecuación para calcular el tiempo de corte es:

$$T = \frac{L}{F_m}$$

donde: T = tiempo de corte en minutos,

L = longitud total de corte con avance automático,

F_m = avance en pulgadas por minuto.

Entonces, L será igual a (8 pulgadas + BC) y

$$BC = \sqrt{4 - 3.06} = 0.975$$

Por tanto:

$$L = 8.975$$
$$F_m = fn_t N_r$$
$$F_m = (0.008)(22)N_r$$

o
$$N_r = \frac{3.82\,S_f}{d} = \frac{(3.82)(60)}{4} = 57.3 \text{ rpm}$$

Entonces,
$$F_m = (0.008)(22)(57.3) = 10.1 \text{ pulgadas por minuto}$$

y
$$T = \frac{8.975}{10.1} = 0.888 \text{ minutos de corte}$$

Si se conocen el avance y las velocidades se puede determinar el tiempo requerido de corte o procesamiento para las tareas realizadas en una planta. Los datos presentados para trabajos en taladro, torno y fresadora son representativos de las técnicas usadas para establecer los tiempos de corte brutos. Deben agregarse a estos valores los suplementos aplicables para desarrollar los valores totales del elemento justos.

USO DE DATOS DE ESTÁNDARES

Para tener una referencia sencilla, las constantes de los datos de estándares se tabulan y archivan según la máquina o el proceso. Los datos de las variables se tabulan o se expresan como una curva o ecuación, y se archivan según el tipo de máquina o de operación.

En algunas situaciones, donde los datos de estándares se dividen para cubrir una máquina y un tipo de operación dados, lo ideal es combinar las constantes con las variables y tabularlas en el resumen. Estos datos de referencia rápida expresan el tiempo asignado para realizar cierta operación completa. La figura 12–7 ilustra datos de soldadura donde las constantes "cambiar electrodo" y "arco" se combinan con las variables "limpiar soldadora" y "soldar". El resultado es horas-trabajo requeridas para soldar 1 pulgada de diversos tamaños de soldaduras.

La tabla 12–2 ilustra datos de estándares para una instalación y tipo de operación dados con los elementos combinados. Al identificar el trabajo de acuerdo con la distancia que se mueve la tira de lámina por pieza, el analista puede encontrar el tiempo asignado a la operación completa.

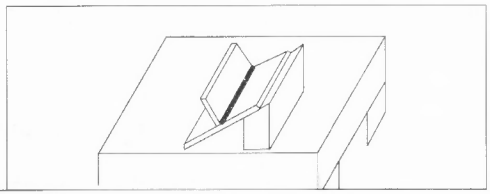
Con frecuencia, los elementos de preparación se combinan o tabulan en combinaciones, para disminuir el tiempo requerido para resumir una serie de elementos. La tabla 12–3 ilustra datos de preparaciones estándar para tornos revólver Warner & Swasey núm. 5 en una planta específica. Para determinar el tiempo de preparación con estos datos, el analista deberá observar el herramental en la torreta cuadrada y hexagonal y consultar la tabla. Por ejemplo, si cierta tarea requiere una herramienta para biselar, una para tornear y otra para revestir en la torreta cuadrada y dos herramientas para mandrilar, un escariador y un escariador retráctil en la torreta hexagonal, el tiempo estándar de preparación sería 69.70 minutos más 25.89 minutos, es decir, 95.59 minutos. Para llegar a esto, el analista encuentra el valor del herramental relevante en la columna de la

CLASIFICACIÓN

CLASE Filete

TIPO Posición plana

ELECTRODO E-6020 D.H.



PROCEDIMIENTO GENERAL DE SOLDADURA

PROCESO DE SOLDADO Arco metálico recubierto POSICIÓN Plana

MATERIAL Acero suave a acero suave P.D.S. 1550, 1555 S.A.E. 1010

ELECTRODO E-6020 D.H. Convexo Pesado

CLASE A.W.S. TIPO FORMA DE SOLD. RECUBR.

FUENTE DE ENERGÍA (CA o CD – Y POLARIDAD SI CD) CD común

RESPALDO Ninguno MARTILLADO Ninguno DESREBABADO Ninguno

PRECALENTADO Ninguno ALIVIO DE TENSIÓN Ninguno

DETALLES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Tamaño de soldadura	Tamaño de electrodo	Espesor de placa	Número de pasadas	Corriente (amperes)	Voltage (@ arco)	* Horas-hombre por pulg soldada	* Velocidad de soldadura pie/h
1/8	1/8	1/8	1	160-190	26-28	.0025	33.3
3/16	3/32	3/16	1	160-190	26-28	.0028	29.8
1/4	3/16	1/4	1	180-230	32-36	.0033	25.3
3/8	1/4	3/4	1	280-330	32-36	.0050	16.7
1/2	1/4	3/4	2	280-330	32-36	.0078	10.7
5/8	1/4	1"	2	280-330	32-36	.0123	6.8
3/4	1/4	1 1/2	4	280-330	32-36	.0196	4.3
1	1/4	1 1/2	6	280-330	32-36	.0318	2.6

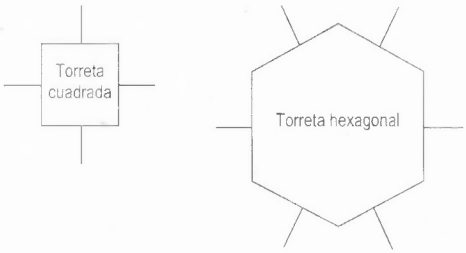
*NOTA: INCLUYE TIEMPO DE CAMBIO DE ELECTRODO, TIEMPO DEL ARCO, TIEMPO DE LIMPIEZA DE SOLDADORA Y TIEMPO DE SOLDADURA

Figura 12-7 Datos de estándares para soldadura

Tabla 12–2 Datos de estándares para cortar perfil y perforar tiras metálicas con alimentación manual y retiro de piezas automático en prensa de punzón Toledo 76

L (distancia en pulgadas)	T (tiempo en horas por cientos de golpes)
1	0.075
2	0.082
3	0.088
4	0.095
5	0.103
6	0.110
7	0.117
8	0.123
9	0.130
10	0.137

Tabla 12–3 Datos de preparaciones estándar para tornos revólver núm. 5



Herramental básico

		Torreta hexagonal						
Núm.	Torreta cuadrada	Parcial	Biselado	Tornea-do	Barre-nado	Escaria-do	Esc. retráctil	Esc. retráctil
1.	Parcial	31.5	39.6	44.5	48.0	47.6	50.5	58.5
2.	Biselado	38.2	39.6	46.8	49.5	50.5	53.0	61.2
3.	Revestir o cortar	36.0	44.2	48.6	51.3	52.2	55.0	63.0
4.	Torn., mandr., ranur., rad.	40.5	49.5	50.5	53.0	54.0	55.8	63.9
5.	Revestir y biselar	37.8	45.9	51.3	54.0	54.5	56.6	64.8
6.	Revestir y cortar	39.6	48.6	53.0	55.0	56.0	58.5	66.6
7.	Revestir y tornear o tornear y cortar	45.0	53.1	55.0	56.7	57.6	60.5	68.4
8.	Revest., tornear y biselar	47.7	55.7	57.6	59.5	60.5	69.7	78.4
9.	Revest., tornear y cortar	48.6	57.6	57.5	60.0	62.2	71.5	80.1
10.	Revest., tornear y ranurar	49.5	58.0	59.5	61.5	64.0	73.5	81.6

11.	Herram. básico marcado con círculo			=	_____
12.	Herram. adicional marcado con cuadro	4.20 ×	_____	=	_____
13.	Herram. adicional marcado con hexágono	8.63 ×	_____	=	_____
14.	Retirar y preparar tres mordazas	5.9			_____
15.	Prepara subensamble o dispositivo	18.7			_____
16.	Preparación entre centros	11.0			_____
17.	Cambiar tornillo de avance	6.6			_____
			Preparación total		_____ min

torreta cuadrada (renglón 8) y el herramental aplicable que consume el mayor tiempo en la sección de torreta hexagonal que, en este caso, es escariado. Se obtiene 69.7 minutos. Como las tres herramientas adicionales están en la torreta hexagonal (mandril 1, mandril 2 y escariador), el analista multiplica 8.63 por 3 y obtiene 25.89 minutos. Por último, al sumar 25.89 y 69.70 minutos se obtiene el tiempo de preparación total requerido.

Es más frecuente no combinar los datos de estándares, sino dejarlos en forma de elementos para tener mayor flexibilidad en el desarrollo de estándares de tiempo. Los datos de estándares representativos en una planta dada aparecerían como se muestra en la tabla 12–4. Los datos incluyen demoras personales aplicables y suplementos por fatiga. Estos datos de tiempo estándar se pueden usar, para establecer los tiempos permiti-

Tabla 12-4 Datos de estándares

Elementos de preparación:		Minutos
A.	Estudiar el dibujo	1.25
B.	Traer material y herramientas, regresar y colocar para trabajar	3.75
C.	Ajustar altura de la mesa	1.31
D.	Iniciar y detener la máquina	0.09
E.	Inspección de primera pieza (incluye tiempo normal de espera por inspector)	5.25
F.	Contar la producción y registrarla en la tarjeta	1.50
G.	Limpiar mesa y plantilla	1.75
H.	Montar la broca en el husillo	0.16
I.	Retirar la broca del husillo	0.14
Elementos para cada pieza:		
1.	Rectificar la broca	0.78
2.	Montar la broca en el husillo	0.16
3.	Montar la broca en el husillo (boquilla de cambio rápido)	0.05
4.	Preparar el husillo	0.42
5.	Cambiar la velocidad del husillo	0.72
6.	Retirar la herramienta del husillo	0.14
7.	Retirar herramienta del husillo (boquilla de cambio rápido)	0.035
8.	Tomar la pieza y colocarla en la plantilla	
	a. con sujetador de acción rápida	0.070
	b. con tornillo de mariposa	0.080
9.	Retirar la pieza de la plantilla	
	a. con sujetador de acción rápida	0.050
	b. con tornillo de mariposa	0.060
10.	Posicionar la pieza y avanzar el taladro	0.042
11.	Avanzar el taladro	0.035
12.	Sacar la broca	0.023
13.	Sacar la broca, reposicionar la pieza y avanzar el taladro (mismo husillo)	0.048
14.	Sacar la broca, reposicionar la pieza y avanzar el taladro (husillo adyacente)	0.090
15.	Montar el buje de la broca	0.046
16.	Quitar buje de la broca	0.035
17.	Dejar a un lado la pieza	0.022
18.	Soplar para quitar virutas de la plantilla y dejar a un lado la pieza	0.081
19.	Revisar la pieza con el calibrador	0.12 por agujero

Aplicación: Allen de 17 pulgadas vertical con broca de un solo husillo. *Tamaño del trabajo:* pieza pequeña –peso hasta 4 libras y de tal forma que se puedan manejar dos piezas o más en cada mano.

dos de preparación y por pieza, para perforar dos agujeros para tornillos sujetadores en la pieza de fierro colado que se muestra en la figura 12–8.

El tiempo asignado de preparación sería

$$B + C + D + F + G + H + I = 8.70 \text{ minutos}$$

El elemento A no está incluido en este tiempo debido a la sencillez del trabajo. No se envía el dibujo al operario, porque la tarjeta de operación contiene el número de plantilla de perforación, el tamaño de la broca, el número del calibrador y el avance y velocidad del husillo. El elemento E tampoco está incluido porque, en este caso, el inspector

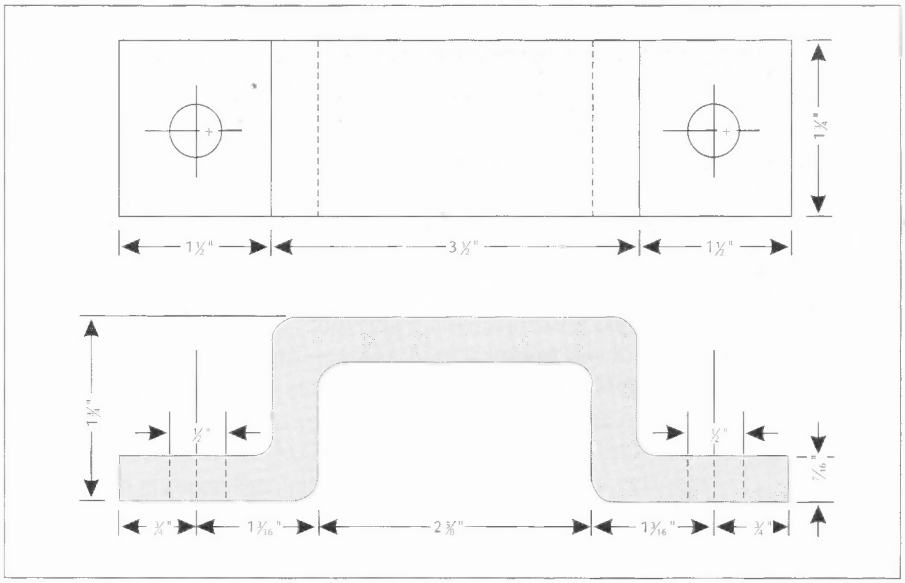


Figura 12–8 Pieza (cubierta) de fierro fundido

no realiza la inspección de la primera pieza. Según la tarjeta de operación, el operario inspecciona una de cada 10 piezas con el calibrador de tipo "pasa, no pasa" que se le proporciona. Como la pieza de trabajo pesa menos de 4 libas y se pueden manejar con facilidad dos piezas con una mano, es posible aplicar los datos descritos.

Después de investigar el diseño de la plantilla que se usará y realizar el estudio analítico de movimientos de la tarea para determinar los elementos requeridos para ejecutar la operación, el analista obtiene un resumen de elementos, como el de la tabla 12–5.

El tiempo real para barrenar dos agujeros debe sumarse al tiempo de 0.278 minutos. Como se describió, es sencillo determinarlo. Con una broca de ½ pulgada de diámetro para barrenar fierro colado, se usaría una velocidad de superficie de 100 pies por minuto y un avance de 0.008 pulgadas por revolución. Cien pies de superficie por minuto equivalen a 746 revoluciones por minuto.

$$\text{rpm} = \frac{12S_f}{\pi d}$$

donde: S_f = pies de superficie por minuto,

d = diámetro de la broca en pulgadas.

Sin embargo, la investigación sobre el taladro para el que se diseñó este trabajo revela que las velocidades disponibles más cercanas a 764 rpm son 600 y 900 rpm. El analista propone usar la velocidad más lenta debido a la condición de la máquina y determina el tiempo de barrenado como sigue:

Tabla 12–5 Resumen de datos de estándares de elementos de plantillas

Número de elemento	Elemento	Tiempo asignado (minutos)
8	Tomar, colocar en plan. (suj. de acc. rápida)	0.070
9	Retirar de plant. (suj. de acc. rápida)	0.050
10	Posicionar pza. y avanzar taladro	0.042
13	Retirar taladro, repos. y avanzar taladro	0.048
12	Retirar taladro	0.023
17	Dejar pieza a un lado	0.022
19	Revisar pieza con calibrador (10%)	0.012
1	Rectificar broca (una vez c/100 pzas)	0.008
2	Montar broca en husillo (una vez c/100 .)	0.002
6	Retirar herram. del husillo (una vez c/100 pzas.)	0.001
		0.278 min

$$T = \frac{L}{F_m} \times 2$$

$$L = 0.437 + \frac{0.25}{\tan 59^\circ} = 0.588 \text{ pulgadas}$$

$$F_m = (600)(0.008)$$

$$= 0.48 \text{ pulgadas por minuto}$$

$$T = \left(\frac{0.588}{4.8}\right)2 = 0.244 \text{ minutos}$$

Es necesario agregar un suplemento adecuado a este tiempo de corte de 0.244 min. Si se usa 10% de suplemento en el tiempo real de maquinado, el tiempo de corte sería 0.268 minutos y el de manejo 0.278 minutos, que daría un tiempo total de 0.546 minutos para perforar una pieza fundida en la prensa de un husillo disponible. Este estándar con el suplemento de tiempo de preparación de 8.70 minutos, se liberaría como:

Preparación: 0.145 horas,
Cada pieza: 0.91 horas por cada ciento.

Así, un operario que prepara su tarea y produce 1 000 piezas en una jornada de 8 horas tendrá un desempeño con una eficiencia de 116%:

$$\frac{(0.91)(10) + 0.145}{8} = 116\%$$

RESUMEN

Si su aplicación es correcta, los datos de estándares permiten establecer tiempos estándar precisos antes de que se realice el trabajo. Esta es la característica más atractiva de su utilización para estimar el costo de un nuevo trabajo, con propósitos de presupuesto

y subcontratación. Los estándares de tiempo se pueden calcular mucho más rápido con los datos de estándares y asegurar su consistencia. Los estándares desarrollados a partir de los datos de estándares tienden a ser equitativos tanto para el trabajador como para el administrador en cuanto a que se obtienen de estándares probados. Los valores de los elementos usados para llegar al estándar ya se han probado de manera satisfactoria como componentes de estándares establecidos y aceptados, en uso en la planta.

El uso de datos de estándares simplifica muchos problemas gerenciales y administrativos en las plantas donde los sindicatos operan como agentes de negociación. Los contratos colectivos contienen muchas cláusulas relativas a asuntos como el tipo de estudio que se llevará acabo (continuo o con regresos a cero), el número de ciclos a estudiar, los operarios que participarán y el observador que lo realizará. Estas restricciones, con frecuencia dificultan que el analista llegue a un estándar equitativo para la compañía y el trabajador. Con el uso de la técnica de datos de estándares, los analistas evitan los detalles restrictivos. No sólo se simplifica la determinación de estándares, también disminuyen algunas fuentes de tensión entre obreros y patrones.

En general, mientras más refinados son los tiempos de los elementos, mayor es la cobertura de los datos. En consecuencia, es factible tener en los talleres valores de los elementos individuales, lo mismo que valores agrupados y combinados de forma que los datos para una instalación dada tengan suficiente flexibilidad para permitir que se califique todo tipo de trabajo programado en una máquina. En tareas de ciclo corto, los datos de movimientos fundamentales son útiles para establecer estándares.

Una fórmula de estudio de tiempos puede establecer los estándares en una fracción del tiempo requerido para los estudios individuales. Sin embargo, antes de liberar una fórmula, deben verificarse con cuidado las matemáticas usadas en su desarrollo para asegurar que la expresión es correcta. Además, deben realizarse varias pruebas para garantizar que se establecen estándares consistentes y veraces. El intervalo de aplicación de la fórmula ha de identificarse con claridad y los estándares establecidos no deben basarse en datos fuera del alcance de la fórmula, ya que los valores pueden no ser válidos.

Una ventaja de las fórmulas sobre los datos de estándares es que una persona menos capacitada (menos costosa) puede introducir los datos en las fórmulas con mayor rapidez que sumar los datos de estándares de los elementos. Dado que las columnas de cifras deben sumarse en el método de datos de estándares, existe mayor posibilidad de omisiones o errores aritméticos al establecer un estándar que al usar la fórmula.

PREGUNTAS

1. ¿Qué significa "datos de estándares"?
2. ¿Cuál es la razón aproximada del tiempo requerido para establecer estándares con los métodos de cronómetro y el tiempo requerido para los métodos de datos de estándares?
3. ¿Cuáles son las ventajas de establecer estándares de tiempo usando datos de estándares en lugar de realizar estudios individuales?
4. ¿De qué depende el tiempo para el elemento "ranurar"?
5. ¿Cómo se expresa, en general, el avance de un trabajo en un torno?
6. ¿Cuáles son algunas desventajas de usar curvas en lugar de datos de estándares tabulados?

7. ¿Cuáles son las ventajas de las fórmulas sobre los datos de estándares al establecer los estándares de tiempo?
8. ¿El uso de fórmulas de estudio de tiempos se restringe a plantas con máquinas donde se ha demostrado analíticamente que el avance y la velocidad influyen en los tiempos? Explique.
9. ¿Cuáles son las características de una fórmula de estudio de tiempos acertada?
10. ¿Cuál es el peligro de usar muy pocos estudios al derivar una fórmula?
11. Explique con detalle cómo se puede desarrollar una fórmula con el mejor ajuste.

PROBLEMAS

1. ¿Cuáles serán los requerimientos de potencia para tornear una barra de acero suave de 3 pulgadas de diámetro si se establece un corte de 1/4 de pulgada con un avance de 0.022 pulgadas por revolución, a una velocidad de husillo de 250 rpm?
2. ¿Cuánto tiempo tomaría tornear 6 pulgadas de una barra de 1 pulgada en un torno revólver W & S núm. 3 que trabaja a 300 pies por minuto y avanza a una tasa de 0.005 pulgadas por revolución?
3. Una sierra circular sencilla de 3 pulgadas de diámetro con un ancho de cara de 2 pulgadas se usa para cortar una pieza de acero laminado en frío de 1.5 pulgadas de ancho y 4 pulgadas de largo. La profundidad de corte es 3/16 pulgada. ¿Cuánto tiempo tomaría hacer el corte si el avance por diente es 0.010 pulgadas y se usa una sierra de 16 dientes que trabaja a una velocidad de superficie de 120 pies por minuto?
4. Calcule los tiempos para los elementos a, b, c, d y e cuando: el tiempo observado de $a + b + c$ es 0.057 minutos; el de $b + c + d$ es 0.078 minutos; $c + d + e$ es igual a 0.097 minutos; $d + e + a$ es igual a 0.095 minutos, y $e + a + b$ es igual a 0.069 minutos.
5. ¿Cuál sería la saliente de una broca de 3/4 de pulgada con un ángulo incluido de 118°?
6. ¿Cuál sería el avance en pulgadas por minuto de una broca de 3/4 que trabaja a una velocidad de superficie de 80 pies por minuto y un avance de 0.008 pulgadas por revolución?
7. ¿Cuánto tiempo tardaría la broca del problema anterior para barrenar una pieza fundida de 2.25 pulgadas de grueso?
8. El analista en la Dorben Company realizó 10 estudios de tiempos independientes en la sección de pintura con pistola manual del departamento de terminados. La línea de productos en estudio reveló una relación directa entre el tiempo de pintura con pistola y el área de la superficie del producto. Se recolectaron los siguientes datos.

Estudio núm.	*Factor de calificación*	*Área de la superficie*	*Tiempo estándar*
1	0.95	170	0.32
2	1.00	12	0.11
3	1.05	150	0.31
4	0.80	41	0.14
5	1.20	130	0.27
6	1.00	50	0.18
7	0.85	120	0.24
8	0.90	70	0.23
9	1.00	105	0.25
10	1.10	95	0.22

Calcule la pendiente y la ordenada al origen constante, mediante las ecuaciones de la recta de regresión. ¿Cuánto tiempo asignaría a la pintura de una parte nueva con un área de superficie de 250 pulgadas cuadradas?

9. El analista de medición del trabajo en la Dorben Company desea desarrollar una ecuación precisa para estimar el corte de diversas configuraciones en una hoja de metal con una sierra vertical o de cinta. Los datos de los ocho estudios de tiempo para el elemento de corte real proporcionaron la siguiente información:

Núm.	Pulgadas lineales	Tiempo estándar
1	10	0.40
2	42	0.80
3	13	0.54
4	35	0.71
5	20	0.55
6	32	0.66
7	22	0.60
8	27	0.61

¿Cuál sería la relación entre la longitud de corte y el tiempo estándar? Utilice la técnica de mínimos cuadrados.

10. El analista de medición del trabajo en la compañía XYZ desea desarrollar datos de estándares que incluyan movimientos rápidos y repetitivos para usarlos en el departamento de ensamble de focos. Debido a que los elementos de los datos de estándares son muy cortos, el analista se ve obligado a medirlos en grupos, a medida que se ejecutan en la fábrica. Durante cierto estudio, el analista intenta desarrollar los datos de estándares para cinco elementos denotados por A, B, C, D y E. Con un cronómetro decimal (0.001) rápido, estudia varias operaciones de ensamble y obtiene los siguientes datos:

$$A + B + C = 0.131 \text{ min}$$
$$B + C + D = 0.114 \text{ min}$$
$$C + D + E = 0.074 \text{ min}$$
$$D + E + A = 0.085 \text{ min}$$
$$E + A + B = 0.118 \text{ min}$$

Calcule los valores de los datos de estándares para cada elemento A, B, C, D y E.

11. El analista de medición del trabajo en la Dorben Company está en el proceso de desarrollar los datos de estándares para presupuestar un trabajo en el departamento de tornos. Con base en las siguientes velocidades y alimentaciones recomendadas, calcule el tiempo de corte con alimentación automática de brocas de alta velocidad de 1/2 pulgada con un ángulo incluido de 118° para barrenar un material de 1 pulgada de espesor. Incluya un suplemento de 10% para necesidades personales y fatiga.

Material	Velocidades recomendadas (pie/min)	Alimentación (pulg/rev)
Al (aleación de cobre)	300	0.006
Fierro fundido	125	0.005
Metal monel (R)	50	0.004
Acero (112)	150	0.005

12. Se obtuvieron los siguientes datos de los tiempos estándar y el área de blanqueado de varias piezas de piel de vaca. Derive una fórmula para la relación entre ellos.

Estudio núm.	Área de piel ($pulg^2$)	Tiempo estándar (minutos)
1	5.0	0.07
2	7.5	0.10
3	15.5	0.13
4	25.0	0.20
5	34.0	0.24

13. Desarrolle una fórmula para la relación entre el tiempo y el área a partir de los siguientes datos:

Estudio núm.	Tiempo	Área
1	4	28.6
2	7	79.4
3	11	182.0
4	15	318.0
5	21	589.0

REFERENCIAS

Brisley, C. L. y R. J. Dossett, "Computer Use and Non-Direct Labor Measurement Will Transform Profession in the Next Decade", *Industrial Engineering*, 12, núm. 8 (agosto, 1980), pp. 34–43.

Cywar, Adam W., "Development and Use of Standard Data", en *Handbook of Industrial Engineering*, Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1982.

Fein, Mitchell, "Establishing Time Standards by Parameters", *Proceedings of the Spring Conference of the American Institute of Industrial Engineers*, Norcross, GA: American Institute of Industrial Engineers, 1978.

Lowry, S. M., H. B. Maynard y B. J. Stegemerten, *Motion and Time Study*, 3a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1940.

Metcut Research Associates, *Machining Data Handbook*, Cincinnati, OH: Metcut Research Associates, 1966.

Neter, J., M. Wasserman, M. H. Kutner y C. J. Nachstein, *Applied Linear Statistical Models*, 4a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1996.

Pappas, Frank G. y Robert A. Dimberg, *Practical Work Standards*, Nueva York: McGraw-Hill, 1962.

Rawling, J. O., *Applied Regression Analysis*, Pacific Grove, CA: Wadsworth & Brooks, 1988.

Rotroff, Virgil H., *Work Measurement*, Nueva York: Reinhold Publishing, 1959.

SOFTWARE SELECCIONADO

MINITAB, 3081 Enterprise Dr., State College, PA. 16801.

SAS, SAS Institute, Cary, NC 27513.

CAPÍTULO 13

Sistemas de tiempos predeterminados

Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

PUNTOS CLAVE:

- Usar sistemas de tiempos predeterminados para predecir los tiempos estándar para tareas nuevas o existentes.
- Los sistemas de tiempos predeterminados son una colección de tiempos de movimientos básicos.
- Los sistemas precisos requieren más tiempo para completarse.
- Los sistemas sencillos y rápidos, en general son menos exactos.
- Considerar no sólo el movimiento principal, sino también las complejidades o interacciones con otros movimientos.
- Usar sistemas de tiempos predeterminados para mejorar los métodos de análisis.

Desde los tiempos de Frederick W. Taylor, la administración ha comenzado a apreciar la bondad de asignar tiempos estándar a los elementos básicos del trabajo. Estos tiempos se conocen como *tiempos de movimientos básicos*, *tiempos sintéticos* o *tiempos predeterminados*. Se asignan a los movimientos fundamentales y a grupos de movimientos que no es posible evaluar con precisión mediante los procedimientos normales de estudio de tiempos con cronómetro. También son el resultado del estudio de una muestra grande de diversas operaciones con un dispositivo de tiempos como una cámara de película o de videograbación, capaz de medir elementos muy cortos. Los valores de tiempo son sintéticos en cuanto a que con frecuencia son el resultado de las combinaciones lógicas de therbligs; son básicos en el sentido de que un mayor refinamiento es difícil y poco práctico; son predeterminados porque se usan para predecir los tiempos estándar para nuevas tareas que resultan al cambiar métodos.

Desde 1945, ha habido un creciente interés en el uso de tiempos de movimientos básicos como método para establecer tasas con rapidez y exactitud sin usar el cronóme-

tro u otros dispositivos para registrar tiempos. Un producto secundario de los tiempos estándar predeterminados ha sido el desarrollo de métodos de concientización asociados con los principios de la economía de movimientos y diseño del trabajo.

En la actualidad, los analistas de métodos pueden obtener información de alrededor de 50 sistemas diferentes de valores sintéticos establecidos. En esencia, estos sistemas de tiempos predeterminados son conjuntos de tablas de movimiento-tiempo con reglas explicativas e instrucciones sobre el uso de estos valores.

Es esencial una capacitación especializada exhaustiva para la aplicación práctica de estas técnicas. De hecho, la mayor parte de las compañías requieren certificación antes de que se permita a los analistas establecer estándares mediante los sistemas Work-Factor, MTM o MOST.

Un analista capacitado que establece un estándar para un método dado usando dos sistemas de tiempos predeterminados diferentes, quizá llegue a dos respuestas distintas. La razón es que se pueden haber utilizado diferentes conceptos de "desempeño normal" al desarrollar los datos estándar. Por ejemplo, el trabajo de Maynard, Stegemerten y Schwab (1948), quienes desarrollaron el método de medición de tiempo (MTM — *Methods Time Measurement*), se realizó para taladros sensibles. Cualquier persona familiarizada con las operaciones del oficio de metales reconoce que el desempeño normal ahí no es difícil y que con facilidad se logran desempeños de 125% si los operarios muestran un nivel de esfuerzo alto, están bien calificados y tienen una capacitación amplia.

Por otro lado, durante la gran depresión (principios de los años 30) cuando casi todas las personas sentían que no sólo era deseable sino necesario por completo trabajar duro para mantener un trabajo, los conceptos de desempeño normal eran más estrechos de lo que se consideró normal 15 años más tarde. Esto era cierto, en especial, en industrias como la del vestido y las que involucran trabajo de ensamble, como la fabricación de radios, lavadoras de ropa, refrigeradores y aparatos de línea blanca. Los estudios en ellas (Quick, Duncan y Malcom, 1962) dieron como resultado el sistema de tiempos predeterminados Work-Factor, basado en un concepto diferente de desempeño normal.

Todos los sistemas de tiempos predeterminados se clasifican en uno de tres grupos (Sellie, 1992):

1. *Sistemas de aceleración-desaceleración*. Estos sistemas reconocen que diferentes movimientos del cuerpo se ejecutan a velocidades diferentes. Los valores determinados con este enfoque sugieren que 40% del tiempo total se usa durante el periodo de aceleración, 20% para una velocidad constante y 40% para la desaceleración. En la actualidad los sistemas de aceleración-desaceleración no tienen un uso amplio para establecer estándares.
2. *Sistemas de movimiento promedio*. En estos sistemas se reconoce la dificultad de los movimientos promedio o representativos que es usual encontrar en las operaciones industriales.
3. *Sistemas aditivos*. Con estos sistemas se usan los valores de tiempo básico. Los porcentajes de tiempo para los movimientos difíciles encontrados se suman a estos valores básicos. Estas adiciones van del 10 al 50%.

Para proporcionar al lector un amplio panorama del campo de los tiempos de movimientos básicos, se revisará el MTM con cierto detalle, ya que es el pionero en la

clasificación de los sistemas de movimiento promedio, lo mismo que en el subsistema más rápido de MTM, llamado MTM-2. Además, se expondrá la técnica secuencial de operación Maynard (MOST — *Maynard Operation Sequence Technique*). El lector debe entender que MOST se deriva de MTM, de manera que sería representativo de los sistemas de movimiento promedio.

MTM-2 y MOST son los sistemas de tiempos predeterminados que más se usan, según una encuesta a 141 ingenieros industriales. La figura 13–1 ilustra el desarrollo de todos estos sistemas de tiempos predeterminados.

MÉTODOS DE MEDICIÓN DE TIEMPO (MTM)

MTM-1

El sistema MTM (Maynard *et al.*, 1948) proporciona valores de tiempo para los movimientos fundamentales de alcanzar, girar, agarrar o tomar, posicionar, soltar y dejar. Los autores definen MTM como "un procedimiento que analiza cualquier operación manual o método por los movimientos básicos requeridos para realizarlo y asigna a cada movimiento un tiempo estándar predeterminado que se establece según la naturaleza del movimiento y las condiciones en las que se realiza".

Los datos de MTM-1 son resultado del análisis de cuadro por cuadro de películas en diversas áreas de trabajo. Los datos tomados de varias filmaciones se calificaron mediante la técnica de Westinghouse (capítulo 10), se tabularon y analizaron para determinar el grado de dificultad causado por las características variables. Por ejemplo, tanto la distancia como el tipo de alcance afectan al tiempo de alcanzar. Un análisis más detallado clasificó cinco casos distintos de alcanzar, donde cada uno requería una asignación de tiempo diferente para una distancia dada. Éstos son:

1. Alcanzar el objeto en una localización fija, o el objeto en la otra mano, o el objeto en el que descansa la mano.
2. Alcanzar un solo objeto cuya posición puede variar ligeramente de un ciclo a otro.
3. Alcanzar un objeto mezclado con otros, requiere buscar y seleccionar.
4. Alcanzar un objeto muy pequeño, o uno que requiere agarre de precisión.
5. Alcanzar un objeto en una posición indefinida para la posición de la mano o el balance del cuerpo, o para el siguiente movimiento, o fuera del área de trabajo.

Además, encontraron que el tiempo de movimiento dependía tanto de la distancia como del peso del objeto que se movía, lo mismo que del tipo específico de movimiento. Los tres casos de movimiento son:

1. Mover un objeto a la otra mano, o contra un tope.
2. Mover un objeto para aproximarlo o a un lugar indefinido.
3. Mover un objeto a una localización exacta.

Por último, 2 casos de dejar y 18 casos de posicionar también afectan el tiempo.

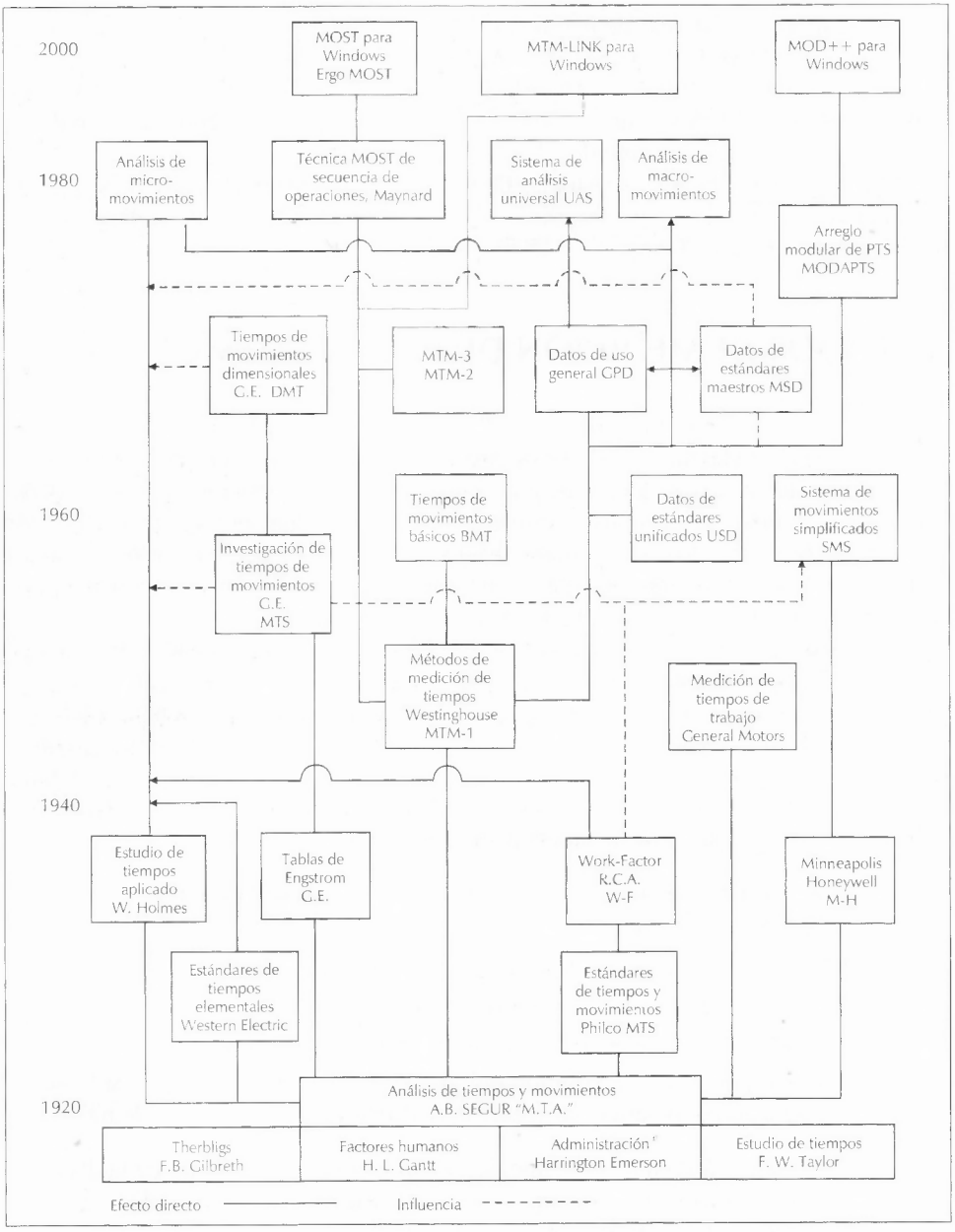


Figura 13–1 Árbol genealógico de tiempos predeterminados. (*Cortesía de:* Standards International, Chicago, Illinois)

La tabla 13–1 resume los valores de MTM-1. El tiempo del therblig tomar varía de 2.0 a 12.9 tmu (1 tmu [*time measurement unit* o unidad de medición de tiempo] es igual a 0.00001 h), dependiendo de la clase de agarrar o tomar.

Primero el analista resume todos los movimientos de la mano derecha y la mano izquierda requeridos para realizar el trabajo de manera adecuada. Después, determina los tiempos en tmu (unidad de movimiento-tiempo) para cada movimiento a partir de las tablas de datos de tiempo-método. Para establecer el tiempo que requiere un desempeño normal de la tarea, los valores del movimiento que no limitan se marcan con un círculo o se eliminan, ya que sólo se resumirán los movimientos limitantes, siempre que sea "fácil" ejecutar los dos movimientos en forma simultánea (vea la tabla X de la tabla 13-1). Por ejemplo, si la mano derecha debe alcanzar 20 pulgadas (50 cm) para tomar una tuerca, la clasificación sería R20C y el valor del tiempo sería 19.8 tmu. Si, al mismo tiempo, la mano izquierda debe alcanzar 10 pulgadas (25 cm) para tomar un tornillo plano, se designa como R10C con un valor tmu de12.9. El valor de la mano derecha sería el valor limitante, y el valor de 12.9 de la mano izquierda no se usaría en el cálculo del tiempo normal.

Los valores tabulados no incluyen suplementos por demoras personales, inevitables o fatiga. Cuando se usan estos valores para establecer tiempos estándar, se deben agregar los suplementos apropiados al resumen de tiempos de movimientos básicos sintéticos. Quienes defienden MTM-1 afirman que los suplementos por fatiga no son necesarios en la mayoría de los casos, porque los valores de MTM-1 se basan en una tasa de trabajo que es posible mantener en el estado estable de la vida productiva de empleados sanos.

Tabla 13–1 Resumen de datos de MTM-1

Tabla I — Alcanzar — AL							
Distancia recorrida (pulg)	Tiempo (tmu)				Mano en movimiento		CASO Y DESCRIPCIÓN
	A	B	C o D	E	A	B	
½ o menor	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6	1.6	A Alcanzar un objeto en localización fija, o un objeto en la otra mano o sobre el que descansa la otra mano.
1	2.5	2.5	3.6	2.4	2.3	2.3	
2	4.0	4.0	5.9	3.8	3.5	2.7	
3	5.3	5.3	7.3	5.3	4.5	3.6	
4	6.1	6.4	8.4	6.8	4.9	4.3	B Alcanzar un solo objeto en una localización que puede variar poco de un ciclo a otro.
5	6.5	7.8	9.4	7.4	5.3	5.0	
6	7.0	8.6	10.1	8.0	5.7	5.7	
7	7.4	9.3	10.8	8.7	6.1	6.5	C Alcanzar un objeto mezclado con otros en un grupo, de modo que ocurren buscar y seleccionar.
8	7.9	10.1	11.5	9.3	6.5	7.2	
9	8.3	10.8	12.2	9.9	6.9	7.9	
10	8.7	11.5	12.9	10.5	7.3	8.6	
12	9.6	12.9	14.2	11.8	8.1	10.1	D Alcanzar un objeto muy pequeño o que requiere agarrar con precisión.
14	10.5	14.4	15.6	13.0	8.9	11.5	
16	11.4	15.8	17.0	14.2	9.7	12.9	
18	12.3	17.2	18.4	15.5	10.5	14.4	E Alcanzar una localización indefinida para poner la mano en posición para equilibrar el cuerpo o para el movimiento siguiente o donde no estorbe.
20	13.1	18.6	19.8	16.7	11.3	15.8	
22	14.0	20.1	21.2	18.0	12.1	17.3	
24	14.9	21.5	22.5	19.2	12.9	18.8	
26	15.8	22.9	23.9	20.4	13.7	20.2	
28	16.7	24.4	25.3	21.7	14.5	21.7	
30	17.5	25.8	26.7	22.9	15.3	23.2	

Tabla 13–1 (continuación)

TABLA II — MOVER — M

Distancia recorrida (pulg)	Tiempo tmu A	B	C	Mano en mov. B	Suplemento por peso Peso (lb) hasta	Factor	tmu const.	CASO Y DESCRIPCIÓN
½ o menor	2.0	2.0	2.0	1.7	2.5	0	0	A Mover objeto a la otra mano o contra un tope.
1	2.5	2.9	3.4	2.3				
2	3.6	4.6	5.2	2.9				
3	4.9	5.7	6.7	3.6	7.5	1.06	2.2	
4	6.1	6.9	8.0	4.3				
5	7.3	8.0	9.2	5.0	12.5	1.11	3.9	
6	8.1	8.9	10.3	5.7				
7	8.9	9.7	11.1	6.5	17.5	1.17	5.6	B Mover objeto a una localización aproximada o indefinida
8	9.7	10.6	11.8	7.2				
9	10.5	11.5	12.7	7.9	22.5	1.22	7.4	
10	11.3	12.2	13.5	8.6				
12	12.9	13.4	15.2	10.0	27.5	1.28	9.1	
14	14.4	14.6	16.9	11.4				
16	16.0	15.8	18.7	12.8	32.5	1.33	10.8	
18	17.6	17.0	20.4	14.2				
20	19.2	18.2	22.1	15.6	37.5	1.39	12.5	C Mover objeto a una localización exacta.
22	20.8	19.4	23.8	17.0				
24	22.4	20.6	25.5	18.4	42.5	1.44	14.3	
26	24.0	21.8	27.3	19.8				
28	25.5	23.1	29.0	21.2	47.5	1.50	16.0	
30	27.1	24.3	30.7	22.7				

TABLA III — GIRAR Y APLICAR PRESIÓN — T & AP

Peso	Tiempo en tmu para grados de giro 30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
Pequeño – 0 a 2 lb	2.8	3.5	4.1	4.8	5.4	6.1	6.8	7.4	8.1	8.7	9.4
Mediano – 2.1 a 10 lb	4.4	5.5	6.5	7.5	8.5	9.6	10.6	11.6	12.7	13.7	14.8
Grande – 10.1 a 35 lb	8.4	10.5	12.3	14.4	16.2	18.3	20.4	22.2	24.3	26.1	28.2

Aplicar presión, Caso A – 10.6 tmu, aplicar presión, Caso B – 16.2 tmu

TABLA IV — AGARRAR, TOMAR — G

Caso	Tiempo (tmu)	Descripción
1A	2.0	**Agarrar, para recoger** — objeto pequeño, mediano o grande, fácil de tomar.
1B	3.5	Objeto muy pequeño o sobre una superficie plana.
1C1	7.3	Interferencia con agarrar en la base y un lado de un objeto casi cilíndrico. Diámetro mayor que ½".
1C2	8.7	Interferencia con agarrar en la base y un lado de un objeto casi cilíndrico. Diámetro de ¼" a ½".
1C3	10.8	Interferencia con agarrar en la base y un lado de un objeto casi cilíndrico. Diámetro menor que ¼".
2	5.6	**Agarrar de nuevo.**

Tabla 13–1 (continuación)

Caso	Tiempo (tmu) *	Descripción
3	5.6	**Agarrar para trasladar.**
4A	7.3	Objeto mezclado con otros por lo que ocurren alcanzar y seleccionar. Mayor que 1" × 1" × 1".
4B	9.1	Objeto mezclado con otros por lo que ocurren alcanzar y seleccionar. De ¼" × ¼" × ⅛" a 1" × 1" × 1".
4C	12.9	Objeto mezclado con otros por lo que ocurren alcanzar y seleccionar. Menor que ¼" × ¼" × ⅛".
5	0	Agarre de contacto, deslizamiento o agarre de gancho.

TABLA V — POSICIONAR* — P

Clase de ajuste		Simetría	De fácil manejo	De difícil manejo
1– Holgado	No requiere presión	S	5.6	11.2
		SS	9.1	14.7
		NS	10.4	16.0
2– Estrecho	Requiere presión ligera	S	16.2	21.8
		SS	19.7	25.3
		NS	21.0	26.6
3– Exacto	Requiere presión intensa	S	43.0	48.6
		SS	46.5	52.1
		NS	47.8	53.4

* Distancia de mover hasta que enganche — 1" o menos

TABLA VI — SOLTAR — RL

Caso	Tiempo (tmu)	Descripción
1	2.0	Soltar normal abriendo los dedos como movimiento independiente.
2	0	Soltar de contacto.

TABLA VII — DESENGANCHAR — D

Clase de ajuste	Manejo fácil	Manejo difícil
1-**Holgado**; esfuerzo muy ligero, se mezcla con mover subsecuente.	4.0	5.7
2-**Estrecho**; esfuerzo normal, retroceso ligero.	7.5	11.8
3-**Apretado**; esfuerzo considerable, retroceso manual muy notorio.	22.9	34.7

TABLA VIII — TIEMPO DE RECORRIDO DEL OJO Y ENFOQUE — ET & EF

Tiempo de recorrido del ojo $= 15.2 \times \frac{T}{D}$ tmu, con un valor máximo de 20 tmu

donde T = distancia entre los puntos límite de recorrido del ojo,
D = distancia perpendicular desde el ojo hasta la línea de recorrido T.

Tiempo de enfoque del ojo = 7.3 tmu.

Tabla 13–1 (continuación)

Tabla IX — Movimientos de cuerpo, pierna y pie

Descripción	Símbolo	Distancia	Tiempo, tmu
Movimiento de pie: con apoyo en el tobillo,	FM	Hasta 4"	8.5
con presión intensa.	FMP		19.1
Movimiento de pierna o muslo.	LM—	Hasta 6"	7.1
		Pulgada adicional	1.2
Paso lateral, caso 1: termina cuando la pierna que va delante hace contacto con el piso,	SS-C1	Menor que 12"	Emplear tiempo de ALCANZAR o MOVER
		De 12"	17.0
caso 2: la pierna de atrás debe hacer contacto con el piso antes del siguiente movimiento.	SS-C2	c/pulgada adicional	0.6
		De 12"	34.1
		c/pulgada adicional	1.1
Doblarse, ponerse de pie o apoyarse en una rodilla,	B,S,KOK		29.0
levantarse.	AB,AS,AKOK		31.9
Apoyarse en el piso con ambas rodillas,	KBK		69.4
levantarse.	AKBK		76.7
Sentarse.	SIT		34.7
Ponerse de pie desde la posición de sentado.	STD		43.4
Girar el cuerpo de 45° a 90°:			
caso 1: termina cuando la pierna que va delante hace contacto con el piso	TBC1		18.6
caso 2: la pierna retrasada debe hacer contacto con el piso antes del siguiente movimiento.	TBC2		37.2
Caminar	W-FT	Por pie	5.3
Caminar	W-P	Por paso	15.0

TABLA X — Movimientos simultáneos

Alcanzar			Mover			Agarrar				Posicionar			Desenganchar			
A, E	B	C, D	A, Bm	B	C	G1A G2 G5	G1B G1C	G4		P1S	P1SS P2S	P1NS P2SS P2NS	D1E D1D	D2	Caso	Movimiento
		* w|o	* w|o	* w|o	* w|o		* w|o	* w|o		* E|D	* E|D	* E|D		* E|D		
□	□	□□	□□	□□	××	□	□□	□□		□□	□×	××	□	□□	A,E	Alcanzar
□	□	□×	□□	□×	×■	□	□×	×■		××	×■	■■	□	□×	B	
		□×	×■	×■	■■	□	×■	■■		■■	■■	■■	×	■■	C,D	
			□□	□□	□□	□	□□	□□		□□	□×	××	□	□□	A,Bm	Mover
				□□	□□	□	□×	×■		××	×■	■■	□	□×	B	
					×■	□	×■	■■		■■	■■	■■	×	■■	C	
						□	□□	□□		□□	□■	■■	□	■■	G1A, G2, G5	Agarrar
							■■	×■		■■	■■	■■	■	■■	G1S, G1C	
								■■		■■	■■	■■	■	■■	G4	
										×■	■■	■■	■	■■	P1S	Posicionar
											■■	■■	■	■■	P1SS, P2S	
												■■	■	■■	P1NS, P2SS, P2NS	
													□	□□	D1E, D1D	Desenganchar
														□□	D2	

□ = FÁCIL de realizar simultáneo.

× = Se puede realizar simultaneo con PRÁCTICA.

■ = DIFÍCIL de realizar al mismo tiempo aun después de mucha práctica. Asignar ambos tiempos.

Tabla 13–1 (continuación)

MOVIMIENTOS NO INCLUIDOS EN LA TABLA ANTERIOR

GIRAR – en general es FÁCIL con todos los movimientos, excepto cuando GIRAR está controlado, o con DESENGANCHAR.

APLICAR PRESIÓN – puede ser FÁCIL, PRÁCTICO O DIFÍCIL; cada caso se debe analizar.

COLOCAR EN POSICIÓN – clase 3; siempre DIFÍCIL.

DESENGANCHAR – clase 3; casi siempre DIFÍCIL.

SOLTAR – siempre FÁCIL.

DESENGANCHAR – cualquier clase puede ser DIFÍCIL si deben tenerse cuidado de evitarse lesiones o daños al objeto.

* W = dentro de la zona de visión normal
O = fuera del área de visión normal

** E = de FÁCIL manejo
D = de DIFÍCIL manejo

Fuente: MTM Association for Standards and Research, Fair Lawn, Nueva Jersey.

En la tabla 13–2 se muestra un ejemplo de un análisis MTM-1 de una operación de ayudante de oficina (sustituir una página en una carpeta de tres argollas).

En la actualidad, MTM ha recibido reconocimiento mundial. En Estados Unidos, se administra, desarrolla y controla por la MTM Association for Standards and Research. Esta asociación no lucrativa es una de las 12 comprendidas en el International MTM Directorate. Gran parte del éxito del sistema MTM es el resultado de una estructura de comités activos formados hasta por 12 miembros de la asociación.

La familia de sistemas MTM continúa en crecimiento. Además de MTM-1, la asociación ha introducido MTM-2, MTM-3, MTM-V, MTM-C, MTM-M, MTM-Link, MTM-MET y MTM-UAS.

MTM-2

En un esfuerzo por aumentar las aplicaciones de MTM a las áreas de trabajo en las que el detalle de MTM-1 es un obstáculo económico para su uso, el International MTM Directorate inició un proyecto de investigación para desarrollar datos menos elaborados que fueran adecuados para la mayoría de las secuencias de movimientos. El resultado de este esfuerzo fue MTM-2. Definido por la MTM Association de Reino Unido, se trata de un sistema de datos MTM sintetizados y es el segundo nivel general de datos de MTM. Se basa exclusivamente en MTM y consiste en:

1. Movimientos MTM básicos simples.
2. Combinaciones de movimientos MTM básicos.

Los datos se adaptan al operario y son independientes del lugar de trabajo o el equipo usado. En general MTM-2 debe encontrar una aplicación en las asignaciones de trabajo donde:

1. La porción de esfuerzo en un ciclo de trabajo dura más de un minuto.
2. El ciclo no es altamente repetitivo.

Tabla 13–2 MTM-1 A1

Análisis MTM-1 de MTM-C			VALIDACIÓN
MTM Association for Standard and Research	TÍTULO DE ELEMENTO: Sustituir página en carpeta de 3 argollas INICIA: obtener carpeta de repisa a la izquierda INCLUYE: obtener carpeta, abrir cubierta, localizar página correcta abrir argollas, sustituir página antigua TERMINA: cerrar argollas, dejar carpeta a un lado en repisa	ANALISTA: FECHA:	

Descripción mano izquierda	F	Descr. M.I.		Descr. M.D.	F	Descripción mano derecha
1. OBTENER CARPETA, ABRIR CUBIERTA						
Alcanzar la carpeta		R30B	25.8			
Agarrar la carpeta		G1A	2.0			
Mover al escritorio		M30B	24.3			
Soltar		RL1	2.0			
Alcanzar cubierta		R7B	9.3			
Tomar orilla		G1A	2.0			
Abrir cubierta		M16B	15.8			
Soltar		RL1	2.0			
			83.2			
2. LOCALIZAR PÁGINA CORRECTA						
			14.6	EF	2	Leer datos primera página
Alcanzar orilla	3	R3D	21.9			
Tomar	3	G1B	10.5			
Mover hacia arriba	3	M4B	20.7			
Tomar de nuevo		G2	—			
			43.8	EF	2 × 3	Identificar páginas
Mover páginas hacia atrás		M8B	10.6			
Dejar		RL1	2.0			
Alcanzar para agarrar		R8B	10.1	R4B		A la orilla de página
Agarrar		G5	0.0	G5		Contacto
			8.0	MfB	4	Deslizar hacia atrás
Contacto	3	G5	0.0	RL2	4	Soltar
Mover	3	MfB	7.5	R1B	3	A la esquina
			0.0	G5	3	Contacto
Agarrar páginas de nuevo		G2	5.6			
			87.6	EF	4 × 3	Identificar páginas
Mover páginas hacia atrás		M8B	10.6			
Soltar		RL1	2.0			
			255.5			
3. SUSTITUIR PÁGINA						
A argollas		R7A	7.4	R7A		A argollas
Agarrar		G1A	2.0	G1A		Agarrar
Jalar para abrir		APB	16.2	APB		Jalar para abrir
Abrir		MfA	2.0	MfA		Abrir
Soltar		RL1	2.0	RL1		Soltar
A orilla de la página		R6D	10.1			
Agarrar		G1B	3.5			

Tabla 13–2 *(conclusión)*

Descripción mano izquierda	F	Mov. M.I.	tmu	Mov. M.D.	F	Descripción mano derecha
Al basurero		M30B	24.3	R-E		
Soltar		RL1	2.0			
			10.1	R6D		Para hoja nueva
			3.5	G1B		Agarrar
			15.2	M12C		A argollas
			16.2	P2SE		Alinear con argollas
			2.0	MíC		A argollas
			16.2	P2SE		Alinear
			2.0	MíA		Bajar en argollas
			2.0	RL1		Soltar
A argolla central		R4B	8.6	R6B		A argolla central
Agarrar		G1A	2.0	G1A		Agarrar
Presionar para cerrar		APB	16.2	APB		Presionar para cerrar
Cerrar		MíA	2.0	MíA		Cerrar
Soltar		RL1	2.0	RL1		Soltar
			167.5			
4. CERRAR CUBIERTA Y DEJAR CARPETA EN REPISA						
Alcanzar cubierta		R7B	9.3			
Agarrar orilla		G1A	2.0			
Cerrar cubierta		M16B	15.8			
Soltar		RL1	2.0			
Alcanzar carpeta		R6B	8.6			
Agarrar		G1A	2.0			
Agarrar de nuevo		G2	5.6			
Mover a repisa		M30B	24.3			
Dejar		RL1	2.0			
			71.6			
RESUMEN DE ELEMENTOS						
1. Obtener carpeta, abrir cubierta			83.2			
2. Localizar página correcta			255.5			
3. Sustituir página			167.5			
4. Cerrar cubierta y dejar carpeta			71.6			
		TOTAL	577.8			

3. La porción manual en el ciclo de trabajo no involucra un número grande de movimientos complejos o simultáneos de las manos.

La variabilidad entre MTM-1 y MTM-2 depende en un alto grado de la longitud del ciclo. Esto se refleja en la figura 13–2, que muestra el intervalo de desviación porcentual entre MTM-2 y MTM-1. Este intervalo de error se considera el intervalo esperado para el 95% del tiempo.

MTM-2 reconoce 11 clases de acciones, que se llaman categorías. Estas 11 categorías y sus símbolos son:

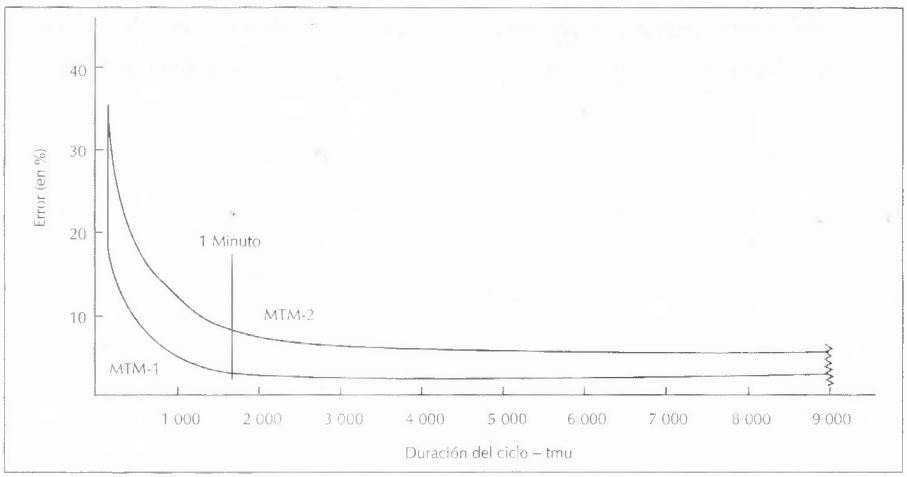


Figura 13–2 Porcentaje de variación de MTM-1 al compararlo con MTM-2 con longitudes de ciclo crecientes.
(*Cortesía de:* MTM Association)

GET (tomar)	G
PUT (poner)	P
GET WEIGHT (obtener con peso)	GW
PUT WEIGHT (poner con peso)	PW
REGRASP (agarrar otra vez)	R
APPLY PRESSURE (aplicar presión)	A
EYE ACTION (acción del ojo)	E
FOOT ACTION (acción del pie)	F
STEP (paso)	S
BEND & ARISE (doblarse y levantarse)	B
CRANK (acción de manivela)	C

Al usar MTM-2, los analistas estiman las distancias por clase; estas distancias afectan los tiempos de las categorías GET y PUT. Igual que en MTM-1, el analista basa la distancia de movimiento en la trayectoria recorrida por el nudillo de la base del dedo índice para movimientos de manos, y en la trayectoria recorrida por las puntas de los dedos, si sólo se mueven éstos. Los códigos para las cinco clases de distancias tabuladas corresponden a los cinco niveles de clasificación de movimientos que se presentaron en el capítulo 4 (tabla 13–3).

Tres variables afectan el tiempo requerido para realizar un GET: el caso involucrado, la distancia recorrida y el peso manejado. GET se puede considerar un compuesto de los therbligs alcanzar, tomar y dejar, mientras que PUT es una combinación de los therbligs mover y posicionar.

Los tres casos de GET son A, B y C. El caso A implica un tomar de contacto simple, como los dedos empujando un objeto encima de un escritorio. Si un objeto, como un lápiz, se toma nada más con los dedos alrededor en un solo movimiento, éste es el caso B. Si el tipo de agarrar no es A o B, entonces se trata del caso C de GET. Los analistas pue-

Tabla 13–3 Resumen de datos de MTM-2

MTM - 2							
INTERVALO	**Código**	**GA**	**GB**	**GC**	**PA**	**PB**	**PC**
Hasta 2"	–2	3	7	14	3	10	21
Entre 2" y 6"	–6	6	10	19	6	15	26
Entre 6" y 12"	–12	9	14	23	11	19	30
Entre 12" y 18"	–18	13	18	27	15	24	36
Más de 18"	–32	17	23	32	20	30	41
MTM ASSOCIATION ®		GW 1 - por 2 lb				PW 1 - por 10 lb	
		A	R	E	C	S	F	B
		14	6	7	15	18	9	61

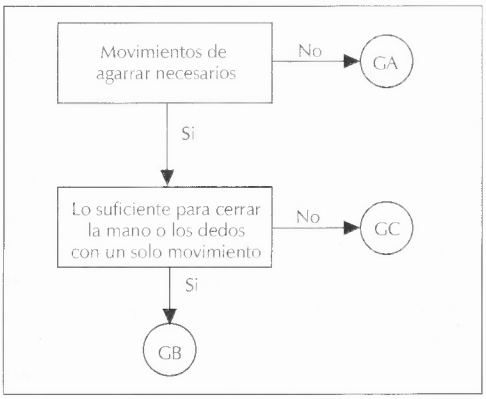


Figura 13–3 Algoritmo para determinar el caso de GET.
(*Cortesía de:* MTM Association)

den referirse al diagrama de decisiones (figura 13–3) como ayuda para determinar el caso correcto de GET. Los valores tabulados en tmu de los tres casos, según se aplican a cada una de las cinco distancias codificadas, aparecen en la tabla 13–3.

PUT incluye mover un objeto a un destino con la mano o los dedos. Comienza con un objeto que se toma cuando está bajo control del lugar inicial e incluye todos los movimientos de transporte y corrección para colocarlo en su destino. PUT termina cuando el objeto está quieto y bajo el control del nuevo lugar. Igual que para GET, las variables de distancia y peso afectan a PUT.

También para PUT existen tres casos. El caso de PUT depende del número de correcciones de movimiento requeridas. Una corrección es una detención, duda o cambio de dirección no intencional en el punto terminal.

1. *PA: sin corrección.* Éste es un movimiento suave de principio a fin y es la acción empleada para dejar un objeto a un lado, o colocarlo contra un tope o en un lugar aproximado. Éste es el PUT más común.
2. *PB: una corrección.* Este PUT ocurre al posicionar objetos de manejo fácil cuando se tiene un ajuste holgado. Es difícil reconocerlo. El diagrama de decisión mostrado en la figura 13–4 está diseñado para identificar este PUT por excepción.

3. *PC: más de una corrección.* En general, las correcciones múltiples o varios movimientos no intencionales pero muy cortos son evidentes. La causa de estos movimientos suele ser dificultad de manejo, ajustes estrechos, falta de simetría al embonar partes o posiciones de trabajo incómodas.

Los analistas identifican los casos de PUT mediante el modelo de decisión de la figura 13–4. Cuando existe duda, asignan la clase más alta. Si al embonado de partes sigue una corrección y la distancia de embonado excede 1 pulgada (2.5 cm), se usa un PUT adicional. Los valores tabulares para estos tres casos de PUT aplicados a las cinco distancias codificadas (las mismas que para GET) se dan en la tabla 13–3.

Un último aspecto técnico es que un PUT puede surgir en una de dos maneras: con una inserción o una alineación. Una inserción incluye colocar un objeto dentro de otro, como un eje en una camisa. Con la inserción, el punto terminal de una corrección es el punto de inserción. Una alineación involucra orientar una parte sobre una superficie, como colocar una regla sobre una línea. La tabla 13–4 es útil como ayuda para el analista al identificar el caso apropiado.

El peso en MTM-2 se determina de manera similar que en MTM-1. La adición al valor del tiempo para GET WEIGHT es 1 tmu por cada dos libras (1 kg). Así, si se maneja una carga de 12 libras (6 kg) con ambas manos, el tiempo adicional debido al peso sería 3 tmu, ya que el peso efectivo por mano sería 6 libras (3 kg). Para PUT WEIGHT, las adiciones son 1 tmu por cada 10 libras (5 kg) de peso efectivo, hasta un máximo de 40 libras (20 kg). Los pesos menores que 4 libras (2 kg) no se toman en cuenta.

La categoría de REGRASP es también similar en MTM-1. Sin embargo, en este caso se asigna un tiempo de 6 tmu. Los autores de MTM-2 señalan que para que tenga efecto un REGRASP, la mano debe retener el control.

APPLY PRESSURE tiene un tiempo de 14 tmu. Los autores señalan que esta categoría se puede aplicar a cualquier parte del cuerpo y que el movimiento máximo permisible para "aplicar presión" es 1/4 de pulgada (6.4 mm).

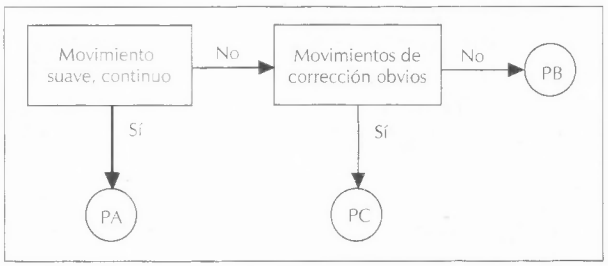


Figura 13–4 Algoritmo para determinar casos de PUT. (*Cortesía de:* MTM Association)

Tabla 13–4 Comparación de PUT de inserción y alineación [pulgadas (mm)]

	PA	PB	PC
Inserción	Claro > 0.4 pulg (10.2 mm)	Claro < 0.4 pulg (10.2 mm)	Ajuste estrecho
Alineación	Tolerancia > 0.25 pulg (6.3 mm)	0.0625 pulg (1.6 mm) < tolerancia < 0.25 pulg (6.3 mm)	Tolerancia < 0.0625 pulg (1.6 mm)

EYE ACTION se toma en cuenta en cualquiera de los siguientes casos:

1. Cuando los ojos se mueven para observar varios aspectos de la operación que abarca más de una sección específica del área de trabajo. Este movimiento del ojo se define como moverse más de un diámetro de 4 pulgadas (10 cm) a una distancia de visión típica de 16 pulgadas (40 cm). Observe que esto es equivalente al campo visual primario definido en el capítulo 4.
2. Cuando los ojos se concentran en un objeto para reconocer una característica distinguible.

El valor estimado de EYE ACTION es 7 tmu. Este valor sólo se asigna cuando la "acción del ojo" es independiente de los movimientos de manos o cuerpo.

CRANK ocurre cuando las manos o dedos mueven un objeto en una trayectoria circular de más de media evolución. Para menos de media revolución, se usa PUT. En MTM-2, la categoría de "acción de manivela" tiene sólo dos variables: el número de revoluciones y el peso o resistencia. Se asigna un tiempo de 15 tmu por cada revolución completa. Cuando el peso o resistencia es significativo, se aplica un PUT WEIGHT a cada revolución.

Los movimientos de FOOT son de 9 tmu y los de STEP tienen 18 tmu. El tiempo para un movimiento de STEP se basa en un paso de 34 pulgadas (85 cm). El diagrama de decisión (vea la figura 13–5) es útil para determinar si un movimiento dado es un "paso" o una "acción del pie".

La categoría BEND & ARISE ocurre cuando el cuerpo cambia su posición vertical. Los movimientos característicos de BEND & ARISE incluyen: sentarse, ponerse de pie y arrodillarse. Se asigna un valor de 61 tmu a esta categoría. Los autores indican que cuando un operario se arrodilla en ambas rodillas, el movimiento debe clasificarse como 2 B. La tabla 13–3 resume los valores de MTM-2 que se deben aplicar.

Existen varias situaciones especiales que debe cuidar el analista para realizar un análisis MTM-2 correcto. Los movimientos realizados con las dos manos simultáneas no siempre se pueden realizar en el mismo momento como si las realizara sólo una mano. La figura 13–6 refleja patrones de movimiento para los que el tiempo requerido para movimientos simultáneos es el mismo que el requerido para el movimiento de una sola mano. En estos casos, aparece un rectángulo abierto. Una X en el rectángulo indica que, con la práctica, se efectuarán los movimientos simultáneos. Un rectángulo sombreado indica que es difícil, aun con práctica, realizar los movimientos simultáneos. La figura 13–7 muestra cuánto tiempo adicional requieren estos movimientos simultáneos difíciles. Un ejemplo de la aplicación de este *principio de movimientos simultáneos*

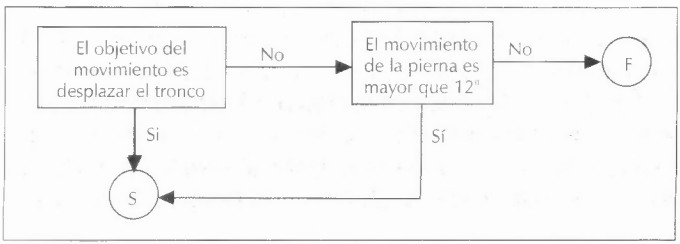


Figura 13–5 Algoritmo para diferenciar entre los movimientos de STEP (S) y FOOT (F) (*Cortesía de:* MTM Association)

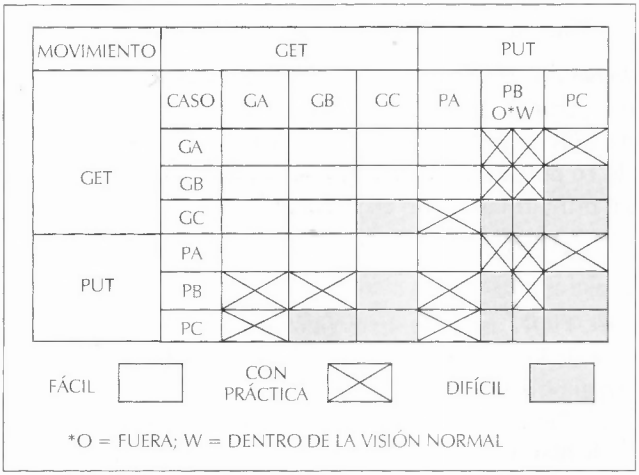


Figura 13–6 Movimientos simultáneos difíciles. (*Cortesía de:* MTM Association)

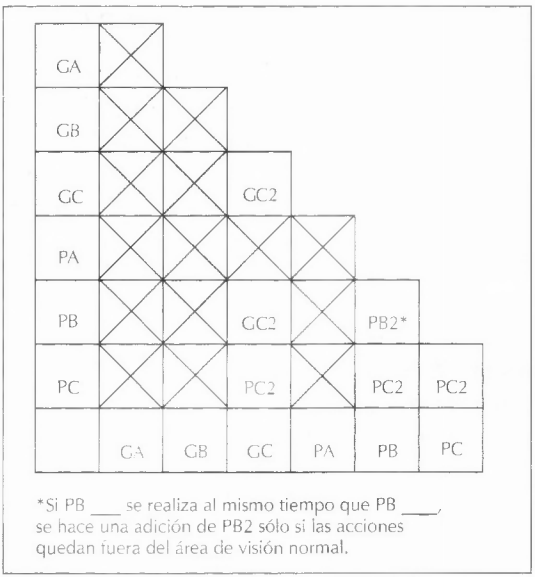


Figura 13–7 Asignaciones para movimientos simultáneos MTM-2 de las manos

está marcado con ① en la figura 13–8. Se agrega un PC2 al tiempo total debido a dos movimientos simultáneos PC en las manos derecha e izquierda.

Una segunda situación involucra el *principio de movimientos limitantes*, es decir, para dos movimientos simultáneos con las manos izquierda y derecha, el tiempo más largo predomina. Esto está marcado con ② en la figura 13–8, con un círculo en el elemento más corto (GB18). Un GC12 tiene 23 tmu, comparado con 18 tmu de un GB18.

Si una mano realiza dos movimientos simultáneos, el tiempo mayor predomina debido al *principio de movimientos combinados*. Esto se aplicaría al caso ③; un GB18 es más largo que un F. (Una raya curva conecta dos renglones para indicar un movimiento combinado).

Análisis por el método MTM Pag. de

Operación:	Comentarios:
Estudio No.:	
Fecha:	
Analista:	

Descripción	No.	MI	tmu	MD	No.	Descripción
①		PC6	26	PC6		
		PC2	21	PC2		
②		GC12	23	GB18		
③		GA2	18	GB18		
				F		
④		GC12	18	GB18		
		~~R~~	6	R		

Análisis por el método MTM Pag. de

Operación: Ensam. lámpara de mano	Comentarios:
Estudio No.: 1-2	
Fecha: 1-27-98	
Analista: AF	

Descripción	No.	LH	tmu	RH	No.	Descripción
CUERPO A ÁREA DE TRABAJO		GB6	10	GB6		BATERÍA 1 AL CUERPO
		PA6	15	PB6		
			6	R		
			10	GB6		BATERÍA 2 AL CUERPO
			15	PB6		
			6	R		
			10	GB6		TAPA AL CUERPO
			26	PC6		
				~~R~~		
			3	PA2		PRESIONAR RESORTE
			3	PA2		GIRAR ATRÁS
			12	PA2	4	PANTALLA ABAJO
			28	GB2	4	
			14	A		APRETAR TAPA
BAJAR		PA6	6			

Resumen	Total de tmu:	Conversión:	% Tolerancia	Tiempo estándar:
	164	0.0006	10	0.108

Figura 13–9 Análisis MTM-2 del ensamble de una lámpara de pilas

por completo se contaría. Para ilustrar esto, la figura 13–9 muestra un análisis completo MTM-2 para el ensamble de una lámpara de pilas.

MTM-3

El tercer nivel del Methods-Time Measurement es MTM-3. Este nivel se desarrolló para complementar MTM-1 y MTM-2. El MTM-3 es útil en situaciones de trabajo en

Tabla 13–5 Resumen de datos de MTM-3

		Manejo		Transporte	
Pulgadas	Código	HA	HB	TA	TB
6	6	18	34	7	21
6	32	34	48	16	29
		SF 18		B 61	

que el interés en ahorrar tiempo a costa de cierta precisión, lo convierte en la mejor alternativa. La exactitud de MTM-3 está dentro de ± 5%, con 95% de nivel de confianza si se compara con el análisis MTM-1 para ciclos de alrededor de 4 minutos. Se ha estimado que MTM-3 se puede aplicar en cerca de un séptimo del tiempo requerido para MTM-1. Sin embargo, MTM-3 no se puede usar para operaciones que requieren esfuerzo visual o tiempo de recorrido de la vista, ya que los datos no consideran estos movimientos.

El sistema MTM-3 consiste en sólo cuatro categorías de movimientos manuales:

1. *Manejo.* (H) Una secuencia de movimientos con el propósito de controlar un objeto con la mano o los dedos y colocarlo en un nuevo lugar.
2. *Transporte.* (T) Un movimiento con el propósito de mover un objeto a una nueva localización con la mano o los dedos.
3. *Movimientos de paso y pie.* (SF) Éstos se definen igual que en MTM-2.
4. *Doblarse y levantarse.* (B) Éstos también se definen igual que en MTM-2.

La tabla 13–5 presenta los datos de MTM-3. Diez tiempos estándar entre 7 y 61 tmu forman la base para el desarrollo de cualquier estándar sujeto a las limitaciones señaladas.

MTM-V

MTM-V fue desarrollado por Svenska MTM Gruppen, la asociación sueca de MTM, para usarlo en las operaciones de corte de metales. Su uso es específico para corridas cortas en talleres de producción intermitente. MTM-V proporciona elementos de trabajo incluidos en 1) traer el trabajo al dispositivo, plantilla o portaherramienta, remover el trabajo de la máquina y dejarlo a un lado; 2) operar la máquina; 3) verificar el trabajo para asegurar la calidad del producto, y 4) limpiar el área importante de la máquina para mantener la producción y la calidad del producto. MTM-V no cubre el tiempo del proceso que corresponde a alimentaciones y velocidades.

Los analistas usan este sistema para establecer los tiempos de preparación para todas las máquinas herramienta comunes. Por lo tanto, se pueden establecer los tiempos estándar de elementos como preparar y desmontar dispositivos, plantillas, topes, herramientas de corte e indicadores. Todos los ciclos manuales de 24 minutos (40 000 tmu) o más establecidos por MTM-V están dentro de ± 5% de los que se obtienen con MTM-1 a un nivel de confianza de 95%. MTM-V es alrededor de 23 veces más rápido que MTM-1.

MTM-C

MTM-C, con un amplio uso en el sector de la banca y seguros, es un sistema de datos de estándares de dos niveles usado para establecer tiempos estándar de tareas relacionadas con trabajo de oficina, como golpes de teclado, archivar, introducir datos y mecanografiar. Ambos niveles de MTM-C se pueden referir a datos de MTM-1.

El sistema proporciona tres intervalos diferentes para alcanzar y mover (Get Place). Un sistema de codificación numérica de seis lugares (similar al de MTM-V) proporciona la descripción detallada de la operación que se estudia.

MTM-C desarrolla estándares de la misma manera que los otros sistemas MTM. Los analistas los combinan con datos de estándares probados existentes o con datos de estándares desarrollados mediante otras fuentes o técnicas. MTM-C está disponible en forma manual o automatizada. Para la última, se puede incorporar un conjunto de datos MTM-C en MTM-Link.

Las nueve categorías de nivel 1 usadas en se muestran en la tabla 13–6, y son:

1. *Obtener/colocar.* Esta categoría incluye las divisiones de trabajo básicas requeridas para obtener un objeto, moverlo al lado sin ceder el control y dejarlo. Por ejemplo, el código y descripción de un elemento en esta categoría puede ser: 112210–obtener una pequeña cantidad de material con un movimiento medio.
2. *Abrir/cerrar.* Característicos de esta categoría son operaciones como abrir o cerrar libros, puertas, cajones, carpetas, objetos con cierre, sobres y archivos. Un ejemplo de código para una operación representativa sería: 212100–abrir cubierta con bisagra, medio.
3. *Unir/separar.* Esta categoría incluye poner y quitar clips de papel, sujetadores, ligas y grapas, todas usadas para unir materiales. Un código representativo para este elemento de trabajo sería: 312130–unir con clip grande para papel.
4. *Organizar/archivar.* Esta categoría incluye los elementos básicos involucrados en las actividades de archivar y parte del manejo organizacional del trabajo relacionado de manera directa o indirecta con el archivo. Un ejemplo de codificación y descripción de esta categoría es: 410400–arreglar una pila en orden cronológico.

Tabla 13–6 Elementos de nivel 1 de MTM-C

Elementos nivel 1	Símbolo
Obtener/colocar	1XXXX
Abrir/cerrar	2XXXX
Unir/separar	3XXXX
Organizar/archivar	4XXXX
Leer/escribir	5XXXX
Mecanografiar	6XXXX
Manejar	7XXXX
Caminar/movimientos del cuerpo	8XXXX
Máquinas	9XXXX

5. *Leer/escribir.* Esta categoría incluye la velocidad de lectura en prosa de 330 palabras por minuto. Los valores de tiempo para escribir se han desarrollado para cartas, números y símbolos. Los valores son promedios ponderados basados en la frecuencia de ocurrencia de cada tipo de carácter en la prosa normal. Un ejemplo de codificación y una descripción representativas es: 510600–leer prosa promedio, por palabra.
6. *Mecanografiar.* Esa categoría incluye todas las acciones relacionadas con la preparación para escribir a máquina, las funciones manuales de mecanografía y los tiempos de proceso de la máquina. Un ejemplo de codificación y descripción en esta categoría sería: 613530–insertar un solo objeto en la máquina de escribir, larga distancia.
7. *Manejar.* Esta categoría incluye todas las actividades de apoyo no cubiertas en otras categorías. Un ejemplo de codificación y descripción de un elemento sería: 760600– adherir la ceja del sobre.
8. *Caminar/movimientos del cuerpo.* Esta categoría incluye los valores de caminar, basados en el paso. Los movimientos del cuerpo incluyen sentarse, ponerse de pie y los movimientos horizontal y vertical del cuerpo al estar en una silla. Un ejemplo de codificación y descripción de un elemento en esta categoría es: 860002–moverse sentado en una silla con rodajas.
9. *Máquinas.* Los datos de la máquina son representativos de un grupo de equipos de tipo similar. Los datos para los teclados de las calculadoras y las perforadoras binarias son ejemplos típicos de esta categoría.

Los datos del nivel 2 se refieren de manera directa con el nivel 1 de . Los elementos del nivel 2 y sus símbolos se muestran en la tabla 13–7. Éstos son:

1. *Obtener/colocar/a un lado.* Estos elementos se aplican colectiva o individualmente. El ejemplo de codificación y elemento de esta categoría con divisiones colectivas básicas sería: G5PA2–obtener un lápiz para usarlo y dejarlo a un lado para usarlo después.

Tabla 13–7 Elementos del nivel 2 de MTM-C

Elementos de nivel 2	Símbolo
A un lado	A
Movimientos del cuerpo	B
Cerrar	C
Unir	F
Obtener	G
Manejar	H
Identificar	I
Localizar archivo	L
Abrir	O
Colocar	P
Leer	R
Mecanografiar	T
Separar	U
Escribir	W

2. *Abrir/cerrar*. Estos datos incluyen obtener el objeto que se abre o cierra. Los datos se aplican de manera individual o combinada, como sigue: C65–cerrar cordón, amarrar sobre; o bien, OC4–abrir y cerrar argollas de carpeta.
3. *Unir/separar*. Para unir (F), el elemento está formado por obtener los objetos para unirlos. Para separar (U), el elemento incluye obtener los objetos y separarlos.
4. *Identificar*. Los datos de este elemento incluyen los valores del recorrido de la vista, junto con el enfoque del ojo para identificar (I) palabras sencillas o múltiples y conjuntos de números.
5. *Localizar archivo*. Los datos para este elemento cubren las actividades típicas al archivar. La primera posición del código es L, para localizar. La segunda posición es una letra que corresponde también a la actividad de archivar, como LI (insertar), LR (remover), LT (inclinar y reemplazar).
6. *Leer/escribir*. Los datos de lectura incluyen leer palabras y números solos y/o caracteres. Leer también contiene datos de "leer y comparar" detallados y de "leer y transcribir". Los datos de escribir incluyen aspectos de apoyo comunes, como dirección, fecha, iniciales y nombres. El código y descripción del elemento para dos elementos representativos sería: RW20–leer 20 palabras; RCN25–leer y comparar 25 números.
7. *Manejo*. Este elemento incluye las actividades reales de manejo de papeles del nivel 1: organizar y manejar datos. En la mayoría de los elementos, los objetos se obtienen con GET y con los elementos de acción de manejar o manipular. En el código para los elementos de manejo, H es la primera posición del código. La segunda es la letra inicial de la actividad. Un ejemplo de codificación para doblar una hoja con dos dobleces sería: HF12.
8. *Movimientos del cuerpo*. Estos elementos incluyen caminar, sentarse y ponerse de pie, doblarse y levantarse y movimientos horizontales del cuerpo sólo o en una silla.
9. *Mecanografiar*. Estos elementos incluyen tres secciones de datos: manejo, golpes de teclado y corrección. Los ejemplos de códigos y descripciones son: TH132–colocar tres hojas de papel y dos de carbón en la máquina y quitarlas; TKE17E–mecanografiar un renglón de 7 pulgadas (17.5 cm) en una máquina eléctrica; TCL41–corregir un error en cuatro hojas con líquido blanco.

Es más rápido calcular el nivel 1 de MTM-C que MTM-2. También la velocidad del nivel 2 de MTM-C es mayor que la de MTM-3. Compare los estándares para reemplazar una página en una carpeta de tres argollas, desarrollados primero con MTM-1 (vea la tabla 13–2), después con MTM-C nivel 1 (tabla 13–8), y por último con MTM-C nivel 2 (tabla 13–9). Observe qué tan cercanos son los tres estándares (tabla 13–10).

MTM-M

MTM-M es un sistema de tiempos predeterminados para evaluar el trabajo del operario mediante un microscopio. En el desarrollo de MTM-M, no se usaron los tiempos básicos de MTM-1, aunque las definiciones de los puntos inicial y terminal de los elementos de movimientos son compatibles con MTM-1. Los datos usados fueron los datos

Tabla 13–8 Análisis de operación de MTM-C (nivel 1)

Análisis de operación MTM-C				Validación
MTM Association for standards and Research	MTM-C Nivel 1 Sustituir página en carpeta de tres argollas			Página de
DEPARTAMENTO: Apoyo de oficina	ANALISTA: CNR			FECHA: 11/77

Núm.	Descripción	Referencia	tmu del elemento	Ocurrencia por ciclo	tmu por ciclo
1.	ABRIR CARPETA				
	Obtener carpeta de la repisa	113 520	21	1	21
	Dejar a un lado en el escritorio	123 002	22	1	22
	Tomar la cubierta	112 520	14	1	14
	Abrir la cubierta	212 100	15	1	15
2.	LOCALIZAR PÁGINA CORRECTA				
	Leer la primera página	510 000	7	2	14
	Localización aproximada	451 120	16	3	48
	Identificar número de página	440 630	22	3	66
	Localizar página correcta	450 130	18	4	72
	Identificar páginas	440 630	22	3	66
3.	SUSTITUIR PÁGINAS				
	Tomar las argollas	112 520	14	1	14
	Abrir las argollas	210 400	21	1	21
	Tomar página que se quita	111 100	10	1	10
	Dejarla a un lado en basurero	123 002	22	1	22
	Tomar página nueva	111 100	10	1	10
	Insertar página en las argollas	462 104	64	1	64
	Tomar las argollas	112 520	14	1	14
	Cerrar las argollas	222 400	21	1	21
4.	CERRAR CUBIERTA Y DEJAR CARPETA A UN LADO				
	Tomar cubierta	111 520	8	1	8
	Cerrar cubierta	222 100	13	1	13
	Tomar carpeta	112 520	14	1	14
	Dejar a un lado en la repisa	123 002	22	1	22
				tmu TOTAL POR CICLO	571
				SUPLEMENTOS ____%	
			HORAS ESTÁNDAR POR ____ UNIDAD		
				UNIDADES POR HORA	

originales y se desarrollaron mediante el esfuerzo conjunto de las asociaciones MTM de Estados Unidos y Canadá. En general, MTM-M es un sistema de nivel más alto similar a MTM-2.

Este sistema tiene cuatro tablas principales y una subtabla. Los analistas deben considerar cuatro variables para seleccionar los datos adecuados: 1) tipo de herramienta; 2) condición de la herramienta; 3) características de terminación del movimiento, y 4) razón de distancia/tolerancia. Otros factores distintos a la dirección del movimiento y estas cuatro variables, que tienen impacto en el tiempo de desempeño del movimiento incluyen:

Tabla 13–9 Análisis de operación MTM-C (nivel 2)

Análisis de operación MTM-C				Validación
MTM Association for standards and Research	MTM-C Nivel 2 Sustituir página en carpeta de tres argollas			Página de
DEPARTAMENTO: Apoyo de oficina	ANALISTA: CNR			FECHA: 2/77

Núm.	Descripción	Referencia	tmu del elemento	Ocurrencia por ciclo	tmu por ciclo
	Tomar y dejar carpeta a un lado	G5A2	29	1	29
	Abrir cubierta	O1	29	1	29
	Leer primera página	RN2	14	1	14
	Localizar páginas	LC12	129	1	129
	Identificar páginas	I30	22	6	132
	Abrir argollas	O4	35	1	35
	Quitar hoja	G1A2	32	1	32
	Nueva página en argollas	HI14	84	1	84
	Cerrar argollas	C4	35	1	35
	Cerrar cubierta	C1	27	1	27
	Dejar a un lado	G5A2	29	1	29
			tmu TOTAL	POR CICLO	575

Tabla 13-10 Comparación de MTM-1, MTM-C (1) y MTM-C (2)

Técnica	Número de elementos	Estándar
MTM-1	57	577.8
MTMT-C nivel 1	21	577
MTM-C nivel 2	11	575

1. Estado de la carga de herramientas, vacío o cargado.
2. Potencia del microscopio.
3. Distancia del movimiento.
4. Tolerancia en el posicionamiento.
5. Propósito del movimiento, según lo determinan las manipulaciones involucradas en su terminación. (Por ejemplo, los trabajadores pueden usar pinzas para el agarre de contacto de un objeto, o tomar un objeto.)
6. Movimientos simultáneos.

Con la creciente cantidad de manufactura microminiatura, se extenderá la aplicación de datos fundamentales similares a MTM-M. Éstos permiten al analista establecer estándares justos, difíciles de determinar con los procedimientos del cronómetro. Es imposible establecer estándares elementales confiables mediante la observación directa. En el trabajo microscópico, sólo se puede llegar a estándares de operaciones elemen-

tales con sentido mediante los datos de estándares similares a MTM-M o con los procedimientos de micromovimientos.

OTROS SISTEMAS MTM ESPECIALIZADOS

Tres sistemas MTM especializados son: MTM-TE, MTM-MEK y MTM-UAS. El primero de ellos, MTM-TE, se desarrolló para pruebas electrónicas. Este sistema tiene dos niveles de datos obtenidos a partir de MTM-1 para la aplicación de pruebas básicas. El nivel 1 incluye los elementos: obtener, mover, movimientos del cuerpo, identificar, ajustar y datos varios. El nivel 2 incluye: obtener y colocar, leer e identificar, ajustar, movimientos del cuerpo y escribir. También se dispone de un tercer nivel de datos en la forma de datos sintéticos de nivel 1. Los datos de MTM-TE no cubren "solución de problemas" relativos a operaciones de pruebas electrónicas. Pero, proporcionan una guía para la investigación y recomendaciones para medir el trabajo dentro de esta actividad.

El segundo sistema especializado, MTM-MEK, se diseñó para medir producción de un solo producto y lotes pequeños. Este sistema de dos niveles desarrollado a partir de MTM-1 puede analizar todas las actividades manuales, siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

1. La operación no es altamente repetitiva u organizada, aunque puede contener elementos similares a los requeridos por otros métodos. El método usado para realizar una operación dada varía de un ciclo a otro.
2. El lugar de trabajo, herramientas y equipo usado son de carácter universal.
3. La tarea es compleja y necesita capacitación de los empleados; pero la falta de un método específico requiere un alto grado de versatilidad por parte del operario.

Los objetivos de MTM-MEK son:

1. Proporcionar una medición exacta de una actividad conectada con la producción de un solo producto o lotes pequeños.
2. Proporcionar una descripción que contenga una definición del trabajo no organizado, que identifique el procedimiento general.
3. Proporcionar una aplicación rápida.
4. Proporcionar una precisión relativa a MTM-1.
5. Requerir una capacitación mínima y práctica en la aplicación.

Los datos de MTM-MEK consisten en 51 valores de tiempo divididos en 8 categorías: obtener y colocar, manejo de herramientas, colocar, operar, ciclos de movimiento, asegurar o soltar, movimientos del cuerpo y control visual. Además, existen datos de estándares para una ampia variedad de tareas de ensamble en producción de un solo producto y lotes pequeños. Éstos consisten en 290 valores de tiempo de las siguientes categorías: asegurar, sujetar y soltar, limpiar y/o aplicar lubricante/adhesivo, ensamble de partes estándar, inspeccionar y medir, marcar y transportar.

El tercer sistema especializado, MTM-UAS, es de tercer nivel. Los autores lo desarrollaron para proporcionar una descripción de proceso y determinar los tiempos asignados en cualquier actividad relacionada con la producción por lotes. MTM-UAS se aplica a varias actividades si se tienen estas características de producción por lotes:

Tabla 13-11 Comparación de MTM-1, MTM-2 y MTM-3

Therbligs utilizados	MTM-1	MTM-2	MTM-3
	Soltar, Alcanzar, Tomar	GET	Manejar
	Mover, Posicionar	PUT	
Tiempo para analizar la tarea	250 × tiempo de ciclo	100 × tiempo de ciclo	35 × tiempo de ciclo
Rapidez relativa	1	2.5	7
Tiempo/exactitud - 100 tmu	15 min/± 21%	6 min/± 40%	2 min/± 70%
Tiempo/exactitud - 10 000 tmu	1500 min/± 2.1%	600 min/± 4%	200 min/± 7%

1. Tareas similares,
2. Lugar de trabajo con diseño específico para la tarea,
3. Buenos niveles de organización de trabajo,
4. Instrucciones detalladas,
5. Operarios bien entrenados.

El sistema de análisis MTM-UAS consiste en 77 valores de tiempo en las siete de las ocho categorías usadas en MTM-MEK: obtener y colocar, colocar, manejar herramienta, operar, ciclos de movimiento, movimiento del cuerpo y control visual. MTM-UAS es cerca de ocho veces más rápido que MTM-1. Para tiempos de ciclo de 4.6 minutos o más, el estándar producido por el sistema está dentro de ±5% del que produce MTM-1, con 95% de nivel de confianza.

COMPARACIÓN DE SISTEMAS MTM

La figura 13–10 ilustra la exactitud absoluta total, a un 90% de nivel de confianza de todos los sistemas MTM. La tabla 13–11 compara el nivel de detalle, como el número de therbligs utilizado, el tiempo para analizar un trabajo (expresado como un múltiplo del tiempo de ciclo de la tarea), y la exactitud, para los tres sistemas MTM básicos. En términos globales, MTM-2 puede ser una buena opción entre el tiempo excesivo requerido para MTM-1 y la falta de precisión de MTM-3. Toma cerca de 600 minutos analizar un trabajo de 6 minutos con MTM-2 y tendrá una desviación no mayor a 0.24 minutos.

TÉCNICA SECUENCIAL DE OPERACIÓN MAYNARD (MOST—*Maynard Operation Sequence Technique*)

Una extensión de MTM, llamada MOST, es un sistema simplificado desarrollado por Zandin (1980) y aplicado por primera vez en Saab-Scania en Suecia en 1967. Con MOST los analistas pueden establecer estándares al menos cinco veces más rápido que con MTM-1, con poco o ningún sacrificio en la exactitud.

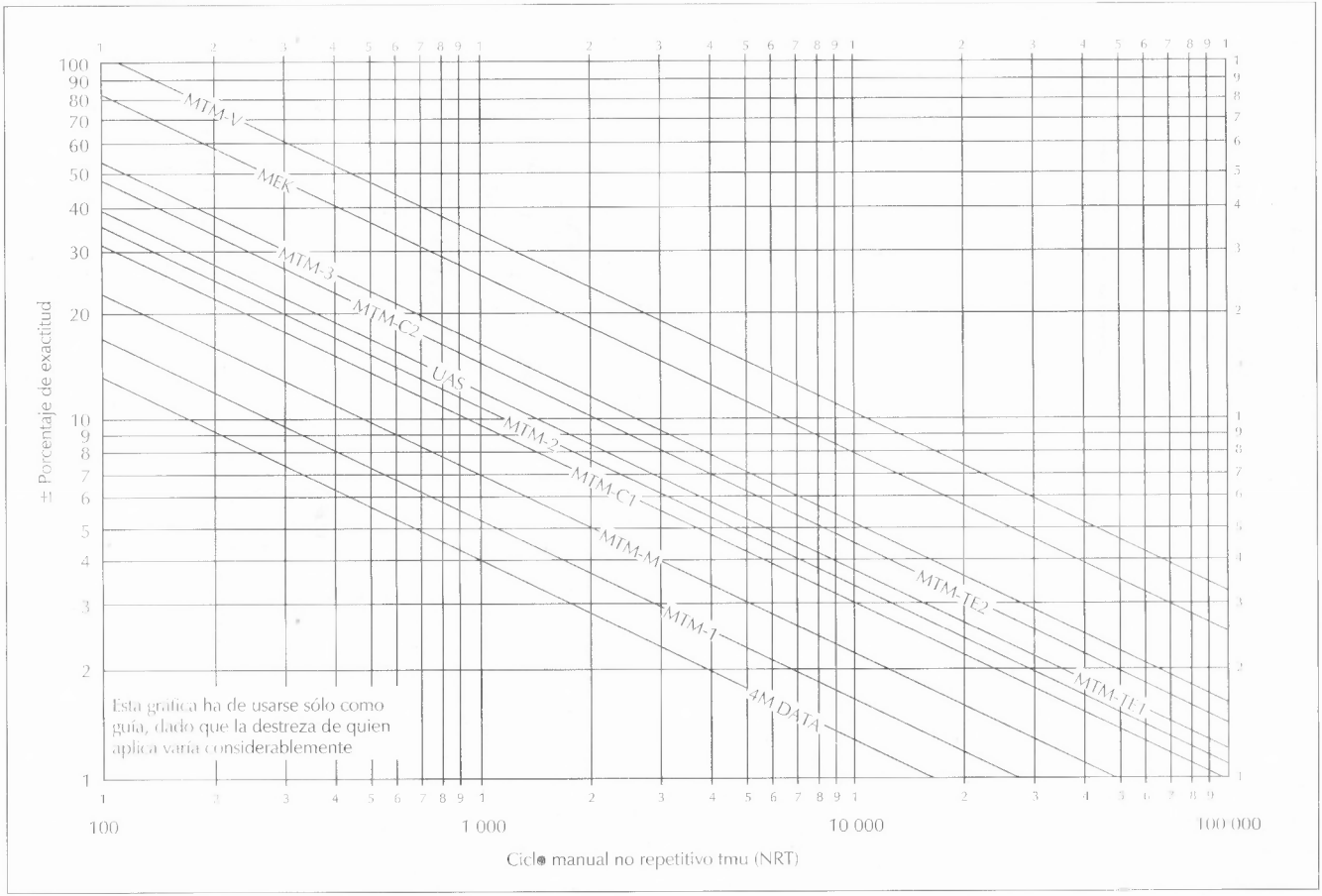


Figura 13–10 Exactitud absoluta total con nivel de confianza de 90% para los diversos sistemas MTM

El MOST básico usa bloques más grandes de movimientos fundamentales que MTM-2; en consecuencia, el análisis del contenido del trabajo de una operación se puede hacer más rápido. Al contrario que MTM-2, que está construido con alrededor de 37 valores de tiempo para describir el trabajo manual, MOST usa sólo 16 fragmentos de tiempo. Esta técnica identifica tres modelos básicos de secuencias: movimiento general, movimiento controlado y uso de herramienta.

La secuencia de movimiento general identifica el movimiento libre de un objeto en el espacio, por el aire, mientras que la secuencia controlada describe el movimiento de

Tabla 13–12 Tarjeta de datos básicos MOST®

ATKFVLVPTA — **Grúa manual**

Índice x 10	A Pasos distancia acción	T Transporte de hasta 2 ton. Pies (m) Vacío	L Transporte de hasta 2 ton. Pies (m) Cargado	K Enganchar y desenganchar	F Objeto libre	V Mov. vert. pulg (cm)	P Colocación	Índice x 10
3	2				Sin cambio de dirección	9 (20)	Sin cambio de dirección	3
6	4				Con un cambio de dirección	15 (40)	Alinear con una mano	6
10	7	5 (1.5)	5 (1.5)		Con doble cambio de dirección	30 (75)	Alinear con dos manos	10
16	10	13 (4)	12 (3.5)		Con uno o más cambios de dirección, cuidado en el manejo o al aplicar presión	45 (115)	Alinear y colocar con un ajuste	16
24	15	20 (6)	16 (5.5)	Gancho simple o doble		60 (150)	Alinear y colocar con varios ajustes	24
32	20	30 (9)	26 (8)	Expulsión			Alinear y colocar con varios ajustes y aplicar presión	32
42	26	40 (12)	35 (10)					42
54	33	50 (15)	45 (13)					54

Índice	Intervalo de la media de tmu	Límites de tmu del intervalo de MOST
0	0	0
1	10	1 - 17
3	30	18 - 42
6	60	43 - 77
10	100	78 - 126
16	160	127 - 196
24	240	197 - 277
32	320	278 - 366
42	420	367 - 476
54	540	477 - 601
67	670	602 - 736
81	810	737 - 881
96	960	882 - 1041
113	1130	1042 - 1216
131	1310	1217 - 1411
152	1520	1412 - 1621
173	1730	1622 - 1841
196	1960	1842 - 2076
220	2200	2077 - 2321
245	2450	2322 - 2571
270	2700	2572 - 2846
300	3000	2847 - 3146
330	3300	3147 - 3446

MOST
Work Measurement System

BasicMOST® DATA CARD

ADVERTENCIA

No intente aplicar los datos contenidos en estas tablas a menos que haya sido capacitado por un instructor certificado

MAYNARD

H.B. MAYNARD & COMPANY, INC.

Eight Parkway Center Pittsburgh, PA 15220
Phone: 412.921.2400 Fax: 412.921.4575
www.hbmaynard.com

1 tmu = .00001 hora = .0006 minuto = .036 segundo	1 hora = 100 000 tmu 1 minuto = 1 667 tmu 1 segundo = 27.8 tmu

Tabla 13–12 *(continuación)*

ABG GET ABP PUT * Usar ABG Dejar herr. A Regresar

Uso de herramientas

Índice x 10	F Asegurar: Acción dedos	Acción muñeca: Voltear	Girar	Desplazar o abanicar	Mover palanca	Golpear	Acción brazo: Girar	Girar	Desplazar o abanicar	Mover palanca	Golpear	Acción herram.: Desarmador	Índice x 10
		Dedos, desarmador	Mano, desarmador, matraca, llave de tuercas	Llave de tuercas, llave Allen	Llave de tuercas, llave Allen, matraca	Mano, martillo	Matraca y dados	Llave de tuercas, 2 manos	Llave de tuercas, llave Allen	Llave de tuercas, llave Allen, matraca	Mano, martillo	Llave mecánica	
1	1	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–		1
3	2	1	1	1	3	1	–	1	–	3	Mano (6 mm)		3
6	3	3	2	3	6	2	1	–	1	3	1 (3 mm)		6
10	8	5	3	5	10	4	–	2	3	5			10
16	16	9	5	8	16	6	3	3	3	5			16
24	25	13	8	11	23	9	6	4	5	12			24
32	35	17	10		30	12	8	5		16			32
42	47	23	13		39	15	11	8		21			42
54	61	29	17		50	20	15	10		27			54

P Posicionamiento de herramientas

Herramienta	Índice
Martillo	0(1)
Dedos o mano	1(2 o 6)
Cuchillo	1(3)
Tijeras	1(3)
Pinzas	1(3)
Instrumento de escritura	1
Equipo de medición	1
Dispositivo posicionamiento de suspensión	1
Desarmador	3
Serrucho	3
Llave de tuercas	3
Llave de medida fija	3
Llave Allen	3
Llave mecánica	3
Llave ajustable	6

I Alineación de máquinas herram.

Índ.	Alinear a
3	Lugar de trabajo
6	Marca de escala
10	Carátula indicadora

Alineación de objetos atípicos

Índ.	Método de posicionamiento
0	Contra tope
3	1 ajuste hasta el tope
6	2 ajustes hasta topes 1 ajuste hasta 2 topes
10	3 ajustes hasta topes 2-3 ajustes hasta marca interna

Características de objeto atípico
Plano, grande, material débil, áspero, manejo difícil

Uso de herramienta

Índice x 10	C Corte: Torcer/doblar	Trozar	Cortar	Rebanar	S Tratam. superficie: Limpiar c/aire	Limpiar c/cepillo	Limpiar c/trapo	M Medición	R Registro: Escribir		Marcar	T Concentración: Inspeccionar	Leer		Índice x 10
	Pinzas		Tijeras	Cuchillo	Boquilla	Cepillo	Tela	Escalas de medición	Lápiz		Marcador	Ojos, dedos	Ojos		
		Alambre	Corte(s)	Rebanada(s)	pies² (0.1 m²)	pies² (0.1 m²)	pies² (0.1 m²)	pulg (cm) (pie (m)	Dígitos	Palabras	Dígitos	Puntos	Dígitos, palabras	Texto de palabras	
1	Agarrar		1	—	—		—		1	—	Marca	1	1	3	1
3		Blando	2	1	—	—	1/2		2	—	1 renglón	3	3 medida	8	3
6	Torcer doblar lazo	Mediano	4	—	1 punto, cavidad	1 Objeto pequeño	—		4	1	2	5 Calor por tacto	6 Escala, fecha u hora	15	6
10		Duro	7	3	—	—	1	Patrón, calibrador	6	—	3	9 Defectos por tacto	12 Escala vernier	24	10
16	Doblar, chaveta		11	4	3	2	2	Escala fija Calibrador 12 pulg (30 cm)	9	2 Firma o fecha	5			38 Valor de tablas	16
24			15	6	4	3		Micrómetro de alcance 1 pulg (25 mm) Calibrador vernier	13	3	7			56	24
32			20	9	7	5	5	Cinta métrica 6 pies (2 m) micrómetro de profundidad	18	4	10			72	32
42			27	11	10	7	7	Micrómetro OD 4 pulg (10 cm)	23	5	13			94	42
54			33					Micrómetro ID 4 pulg (10 cm)	29	7	16			119	54

ABG Get ABP Put A Regreso

Movimiento general

Índice x 10	A Dist. de acción	B Movimiento del cuerpo	G Lograr control	P Posicionamiento	Índice x 10
0	≤ 2 pulg (5 cm)	Sin movimiento del cuerpo	Sin lograr control Sostener	Sin posicionamiento Sostener, Lanzar	0
1	Dentro del alcance		Tomar objetos ligeros Tomar objetos ligeros simultáneos	Dejar a un lado Ajuste holgado,	1
3	1 - 2 Pasos	Sentado sin ajustes De pie sin ajustes Doblarse y levantarse 50% ocurrencias	Get, no simultáneo Get, pesado/grande Get, sin ver Get, obstruido Liberar seguro Desenganchar, Recolectar	Ajuste holgado sin ver Colocar sin ajustes Colocar con presión ligera Colocar con posicionamiento doble	3
6	3 - 4 Pasos	Doblarse y levantarse		Posicionar con cuidado Posicionar con precisión Posicionar sin ver Posicionar obstruido Posicionar con mucha presión Posicionar con movimientos intermedios	6
10	5 - 7 Pasos	Sentarse, Ponerse de pie			10
16	8 - 10 Pasos	Doblarse y sentarse Subirse, Bajarse De pie y doblarse Pasar por la puerta			16

A Distancia de acción Valores extendidos

Índice	Pasos	Dist. (ft)	Dist. (m)
24	11 -15	38	12
32	16 -20	50	15
42	21 -26	65	20
54	27 -33	83	25
67	34 -40	100	30
81	41 -49	123	38
96	50 -57	143	44
113	58 -67	168	51
131	68 -78	195	59
152	79 -90	225	69
173	91 -102	255	78
196	103 -115	288	88
220	116 -128	320	98
245	129 -142	355	108
270	143 -158	395	120
300	159 -174	435	133
330	175 -191	478	146

Tabla 13–12 *(continuación)*

ABG Get	MXI Mover/Actuar	A Regresar	Movimiento controlado						
Índice x 10	M Movimiento controlado Empujar/jalar/girar		Manivela	X Tiempo de proceso Segundos	Minutos	Horas	I Alineación	Índice x 10
0	Sin Acción		Sin acción	Sin tiempo de proceso			Sin Alinear	0
1	Empujar/jalar/girar ≤ 12 pulg (30 cm) Empujar/oprimir botón Empujar o jalar interruptor Girar perilla			0.3 s	.01 min	.0001 h	Alinear a 1 punto	1
3	Empujar/jalar/girar ≤ 12 pulg (30 cm) Empujar/jalar con resistencia Sentarse Ponerse de pie Empujar/jalar con alto control Empujar/jalar 2 etapas ≤ 12 pulg (30 cm) Empujar/jalar 2 etapas ≤ 24 pulg total		1 rev.	1.5 s	.02 min	.0004 h	Alinear a 2 puntos ≤ 4 pulg (10 cm)	3
6	Empujar/jalar 2 etapas > 12 in (30 cm) Empujar/jalar 2 etapas > 24 pulg total Empujar con 1 o 2 pasos		2–3 rev.	2.5 s	.04 min	.0007 h	Alinear a 2 puntos > 4 pulg (10 cm)	6
10	Empujar/jalar con 3 o 4 pasos Empujar con 3 a 5 pasos		4–6 rev.	4.5 s	.07 min	.0012 h		10
16	Empujar con 6 a 9 pasos		7–11 rev.	7.0 s	.11 min	.0019 h	Alinear con precisión	16

M Jalar o empujar valores extendidos

Índice	Pasos
24	10 -13
32	14 -17
42	18 -22
54	23 -28
67	29 -34

Manivela valores extendidos

Índice	Revs.
24	12 -16
32	17 -21
42	22 -28
54	29 -36

X Tiempo de proceso valores extendidos

Índice	Segundos	Minutos	Horas
24	9.5	.16	.0027
32	13.0	.21	.0036
42	17.0	.28	.0047
54	21.5	.36	.0060
67	26.0	.44	.0073
81	31.5	.52	.0088
96	37.0	.62	.0104
113	43.5	.72	.0121
131	50.5	.84	.0141
152	58.0	.97	.0162
173	66.0	1.10	.0184
196	74.5	1.24	.0207
220	83.5	1.39	.0232
245	92.5	1.54	.0257
270	102.0	1.70	.0284
300	113.0	1.89	.0314
330	124.0	2.05	.0344

un objeto que permanece en contacto con una superficie o sujeto a otro objeto durante el movimiento. La secuencia total está dirigida al uso de herramientas manuales comunes.

Para identificar la manera exacta en que se realiza un movimiento, el analista considera cuatro parámetros: distancia de acción (A), primordialmente horizontal; movimiento del cuerpo (B) en esencia vertical; logro de control (G), y colocación (P). Una secuencia de movimiento específica consiste en tres etapas, cada una con un subconjunto de parámetros: get (A, B, G), put (A, B, P) y regresar (A). El analista asigna números indexados relacionados con el tiempo a los parámetros relevantes. MOST usa números indexados 0, 1, 3, 6, 10 y 16, correspondientes a la dificultad relativa del parámetro, como se muestra en la tabla 13–12.

Es más o menos sencillo memorizar estos valores y su aplicación a los cuatro parámetros de movimiento general. Todavía más, los números indexados, cuando se escalan por un factor de 10, dan los tmu adecuados. Por ejemplo, obtener una arandela a 5 pulgadas (12.5 cm) de distancia, colocar un tornillo localizado a 5 pulgadas y regresar a la posición original daría como resultado: $A_1B_0G_1A_1B_0P_1A_1$ con un tiempo total de $(1 + 0 + 1 + 1 + 0 + 1 + 1) \times 10 = 50$ tmu. El GET se define por A_1 = alcanzar la arandela como recorrido de 5 pulgadas, B_0 = ningún movimiento del cuerpo, G_1 = tomar la arandela; el PUT está definido por A_1 = colocar arandela con recorrido de 5 pulgadas, B_0 = ningún movimiento del cuerpo, P_1 = colocar arandela con ajuste holgado. La terminación A_1 = regresar a la posición original con recorrido de 5 pulgadas (figura 13–11).

Cerca de 50% del trabajo manual ocurre como un movimiento general. Un movimiento típico puede incluir los parámetros de caminar a un sitio, doblarse para recoger un objeto, alcanzar y controlar el objeto, levantarse y colocar el objeto.

La secuencia de movimiento controlado cubre operaciones manuales como girar una manivela, jalar la palanca de arranque, girar un volante o conectar un interruptor de inicio. En las secuencias controladas, prevalecen los siguientes parámetros: la distancia

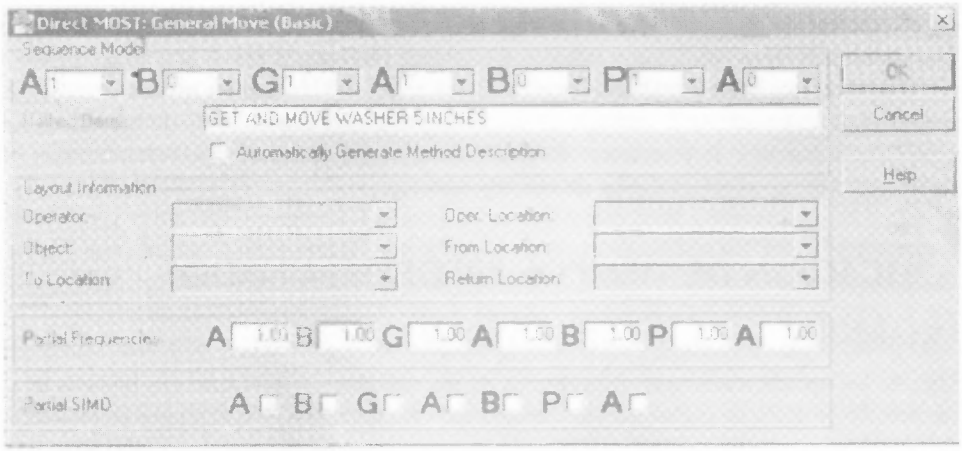


Figura 13–11 Ejemplo de una secuencia de movimiento general, obtener y mover una arandela a 5 pulgadas, en *Basic*MOST.
(Figura de BasicMOST®. Usada con permiso de H. B. Maynard and Co., Inc., Pittsburgh, PA.)

de la acción definida (A), el movimiento del cuerpo (B), lograr el control (G) y los nuevos parámetros, movimiento controlado (M), tiempo de proceso (X) y alineación (I). Los parámetros de movimiento controlado se definen con más detalle en la tabla 13-12.

La secuencia final de MOST es el uso de herramienta/equipo. Cortar, calibrar, asegurar y escribir con herramientas quedan cubiertos en esta secuencia. El modelo de uso de herramienta/equipo abarca una combinación de las actividades de movimiento general y movimiento controlado. Otros parámetros únicos de esta actividad incluyen: asegurar (F), desprender (L), cortar (C), tratamiento de superficie (S), registrar (R), pensar (T) y medir (M), cuya definición aparece en la tabla 13–12.

Los sistemas de medición del trabajo MOST tienen dos adaptaciones: Mini y Maxi MOST. MiniMOST mide operaciones idénticas de ciclos cortos, mientras que Maxi MOST mide las de ciclos largos con variaciones significativas en el método de un ciclo a otro.

MOST está disponible en versión manual y computarizada. La versión de computadora contiene datos de suboperaciones y realiza las operaciones aritméticas involucradas en el desarrollo de estándares de desempeño para las características de entrada del método en estudio.

Otra característica nueva de la versión de computadora de MOST es ErgoMOST, que permite al ingeniero analizar problemas ergonómicos en el lugar de trabajo. ErgoMOST usa un modelo biomecánico para calcular el estrés de empujar/jalar y levantar, para resaltar posturas incómodas y movimientos repetitivos del cuerpo y para cuantificar el riesgo relativo en el trabajo, mediante índices de estrés ergonómico. Además, identifica las correcciones ergonómicas y genera informes.

Se ha estimado que el uso de un sistema computarizado debe dar como resultado una rapidez de aplicación entre cinco y diez veces mayor que las aplicaciones manuales. Los estándares desarrollados por computadora también tienen menos errores, ya que el sistema no acepta la entrada de datos ilógicos e incorpora tabla de movimientos simultáneos, maneja la frecuencia de ocurrencia y calcula los tiempos elementales, lo mismo que tiempos acumulados de elementos sucesivos.

APLICACIÓN DE TIEMPOS PREDETERMINADOS

DESARROLLO DE DATOS DE ESTÁNDARES

Una de las aplicaciones más importantes de los tiempos de movimientos básicos es el desarrollo de datos de estándares de elementos. Con los datos de estándares es más rápido establecer los tiempos estándar para las operaciones, que mediante el laborioso procedimiento de sumar columnas de tiempos de movimientos fundamentales. Además, los datos de estándares reducen errores de cálculo, pues requieren menos aritmética.

Con buenos datos de estándares, es económicamente factible establecer estándares sobre el trabajo indirecto, como mantenimiento, manejo de materiales, documentación y oficina, inspección y operaciones similares. Así, con estos datos, los analistas pueden calcular, de manera económica, los tiempos de operaciones con ciclos largos y muchos elementos de corta duración. Por ejemplo, una compañía desarrolló datos de estándares para operaciones de perforación radial en su taller de herramientas. Los analistas de estudio de tiempos desarrollaron datos de estándares para los elementos requeridos para mover la herramienta de un agujero al siguiente y presentar y retirar la broca. Después combinaron estos datos de estándares elementales en una gráfica multivariada para facilitar las sumas.

Un ejemplo que ilustra la flexibilidad de los tiempos de movimientos básicos es el desarrollo de un tiempo estándar para una operación de oficina. La fórmula para ordenar las tarjetas de tiempo trabajado incluye los siguientes elementos:

1. Recoger las tarjetas del departamento y quitar la liga.
2. Ordenar las tarjetas en mano de obra directa (incentivos), indirecta y por jornada.
3. Registrar el número total de tarjetas.
4. Obtener un paquete de tarjetas, poner liga alrededor y dejar a un lado.
5. Obtener un paquete de tarjetas y juntarlas.
6. Ordenar tarjetas de incentivos en tarjetas de "partes".
7. Contar paquetes de tarjetas de incentivos de "partes".
8. Registrar el número de tarjetas de "partes" y el número de tarjetas de incentivos.
9. Ordenar tarjetas de "partes" en secuencia numérica.
10. Juntar paquetes de tarjetas numéricas y colocar en una pila sobre el escritorio.

Los analistas de métodos desglosan cada elemento en movimientos fundamentales. Una vez asignados los valores básicos y determinadas las variables, la ecuación algebraica que se obtiene permite el cálculo rápido del tiempo para la operación de oficina.

Con frecuencia, un cronómetro resulta útil al desarrollar los datos de estándares de los elementos. Quizá sea más sencillo determinar algunas partes de un elemento con los tiempos de movimientos básicos, y otras tal vez se adapten mejor a la medición del cronómetro. Además los estándares de los elementos se pueden verificar con el cronómetro. Los tiempos de movimientos básicos predeterminados se convierten en datos de estándares de elementos verificados, para establecer estándares justos que son más consistentes que los establecidos sólo con los procedimientos de cronómetro.

El analista no experimentado no debe establecer estándares de tiempo para usarse al calificar. Los analistas deben saber si la distancia de movimiento que recorre la mano es lineal o es de una circunferencia cuando la mano sigue un arco. Han de saber si la distancia se mide desde el centro de la mano, los nudillos o las puntas de los dedos. También saber cuándo prevalece la aplicación de presión y cuándo no. Entender con claridad de qué manera afectan los elementos de alineación y orientación al tiempo de posicionamiento. Estas y muchas otras consideraciones deben dominarse antes de esperar que el analista establezca estándares de tiempo consistentes y precisos.

ANÁLISIS DE MÉTODOS

Una aplicación con la misma importancia, de cualquier técnica de tiempos y movimientos básicos sintéticos es el análisis de métodos. Los analistas que valoran estas técnicas pueden ser más críticos en cada estación de trabajo, para detectar cómo se pueden hacer mejoras. Usar un sistema de tiempos predeterminados es sencillamente desarrollar un análisis de movimientos o métodos con mayor detalle numérico, con la identificación de mejores formas de eliminar los therbligs no efectivos y con la reducción de tiempos en los efectivos. Para esto se ha desarrollado otra lista de verificación (vea la figura 13–12) que ayuda al analista a mejorar el análisis de métodos. Las oportunidades clave para simplificar un método (con el sistema MTM-2, por ejemplo) incluyen:

1. Eliminar movimientos del cuerpo, como "doblarse y levantarse", con valores de tiempo grandes de 61 tmu.
2. Reducir los niveles de casos, en especial movimientos del caso C que resultan en 39% de disminución en el tiempo de movimientos básicos.
3. Minimizar distancias de alcance, con una disminución de 5 tmu para cada código de distancia más corta.
4. Evitar levantamientos de partes pesadas, donde cada 2 libras (1 kg) baja 1 tmu.
5. Eliminar operaciones que requieren recorrido y enfoque de los ojos, lo que elimina 7 tmu por cada uno.
6. Preposicionar herramientas, partes y materiales.

En una compañía se asignaron $40 000 para herramientas avanzadas que aumentaran la tasa de producción en una operación de soldadura con latón. Antes de decidir qué herramientas incluir, los analistas realizaron un estudio de medición del trabajo del método existente. Con los datos de movimientos fundamentales, descubrieron que si proporcionaban un dispositivo sencillo y rearreglaban el área de carga y descarga, la producción de la compañía podía aumentar de 750 a 1000 piezas por hora. El costo total

GET (G)	Sí	No
1. Se puede realizar GET simultáneo con otro GET o PUT sin sacrificar algo más.	❑	❑
2. Es posible realizar GET durante un ciclo de máquina.	❑	❑
3. Se pueden usar dispositivos, alimentación por gravedad o contenedores para simplificar GET (es decir, de GC a GB o GA).	❑	❑
4. Se puede usar GA y deslizamiento de objetos a la posición.	❑	❑
5. La transferencia de objetos de una mano a otra se puede evitar.	❑	❑
6. Las herramientas se pueden preposicionar para simplificar GET.	❑	❑
7. Se pueden empalmar las herramientas mientras se realiza otra tarea (en lugar de guardarlas y más tarde traerlas de nuevo).	❑	❑
8. Se puede tomar más de un objeto al mismo tiempo.	❑	❑
9. Las distancias recorridas se pueden reducir (para bajar el nivel de clasificación del movimiento).	❑	❑
10. Los movimientos de las manos están balanceados en términos de caso y distancia.	❑	❑
PUT (P)	**Sí**	**No**
1. Se puede realizar PUT simultáneo con otras GET o PUT, sin sacrificios.	❑	❑
2. Es posible evitar las tolerancias estrechas o la localización exacta de un objeto.	❑	❑
3. Es posible que el punto de entrega de un objeto tenga forma de chaflán o embudo.	❑	❑
4. Se pueden usar guías fijas o topes.	❑	❑
5. El objeto se puede hacer simétrico.	❑	❑
6. Se puede reducir la profundidad de inserción.	❑	❑
7. En un PUT complejo, la otra mano puede ayudar.	❑	❑
8. Los objetos se pueden poner juntos de manera mecánica.	❑	❑
9. Es posible usar entrega por gravedad para simplificar el PUT (de PC a PB o PA).	❑	❑
10. Los objetos se pueden deslizar a una localización (usar un PA).	❑	❑
11. Los puntos de destino están dentro del área normal de visión.	❑	❑
Aplicar presión (A)	**Sí**	**No**
1. Se puede evitar A con un diseño mejorado o mejor procesamiento (como eliminar rebabas o puntos estrechos).	❑	❑
2. Se puede evitar apretar de forma innecesaria en operaciones anteriores.	❑	❑
3. Se pueden evitar las tolerancias reducidas.	❑	❑
4. Es posible evitar la contaminación de partes por lijadura, polvo, tierra, etcétera, causa de A.	❑	❑
5. Puede aprovecharse el momento para eliminar A.	❑	❑
6. Se usan los grupos de músculos grandes para aplicar presión con eficiencia.	❑	❑
7. Se pueden usar dispositivos de sujeción o acciones mecánicas para eliminar A.	❑	❑
Tomar de nuevo (R)	**Sí**	**No**
1. Se puede tomar de nuevo durante el PUT.	❑	❑
2. Las herramientas se pueden preposicionar con la orientación deseada.	❑	❑
3. Es posible usar alimentación de magazín, conductos verticales, alimentación por vibración, etcétera, para presentar la parte en forma adecuada.	❑	❑
4. Las partes pueden ser simétricas para evitar R.	❑	❑
5. Las partes se pueden preposicionar durante un ciclo de máquina.	❑	❑

Figura 13–12 Lista de verificación para análisis de métodos con MTM-2. (*Adaptado de*: Brown, 1976.)

Acción del ojo (E)	Sí	No
1. Los objetos y pantallas se pueden colocar en el área normal de visión para evitar E.	❑	❑
2. Existe suficiente iluminación para evitar E.	❑	❑
3. Los contenedores y partes tienen la identificación correcta, quizá mediante colores.	❑	❑
4. Las partes pueden ser simétricas y colocarse en posición adecuada para evitar E.	❑	❑
5. Se evita la verificación visual de las partes del ensamble (con retenes y sensación del tacto).	❑	❑
6. Se evita la interpretación visual de posiciones de agujas (se usan indicadores de estado o de encendido/apagado).	❑	❑
7. Las E se pueden realizar durante los movimientos manuales anteriores sin sacrificios.	❑	❑
Acción de manivela (C)	Sí	No
1. La manivela o volante se puede girar.	❑	❑
2. Se puede reducir el número de revoluciones (con paso de rosca más grande).	❑	❑
3. Es posible eliminar la resistencia durante el giro.	❑	❑
4. La manivela puede funcionar con suministro de energía.	❑	❑
Paso (S)	Sí	No
1. Se usa la ruta más corta o la mejor distribución de planta.	❑	❑
2. La superficie del suelo es pareja y sin obstrucciones.	❑	❑
3. Las partes que más se usan se encuentran cerca.	❑	❑
4. La información y herramientas necesarias se localizan en la estación de trabajo (para evitar S innecesarios).	❑	❑
5. Los materiales y partes se pueden traer en forma mecánica (por transportadores) hacia y desde la estación de trabajo.	❑	❑
6. Se puede usar transporte vehicular (como carritos).	❑	❑
Movimiento del pie (F)	Sí	No
1. Se puede realizar F al mismo tiempo que otros movimientos.	❑	❑
2. El pie descansa en forma cómoda en el pedal durante la operación.	❑	❑
3. El peso del cuerpo está solventado por un banco (para no apoyarse en la pierna que opera).	❑	❑
4. Los dos pies alternados pueden operar el pedal.	❑	❑
Doblarse y levantarse (B)	Sí	No
1. Se pueden usar entregas por gravedad para evitar B.	❑	❑
2. Los materiales y productos se localizan a una altura entre el codo y los nudillos para minimizar B.	❑	❑
3. Se usan los procedimientos para levantar adecuados (levantamiento en cuclillas, etc.).	❑	❑
4. Se evita la entrada y salida demasiado frecuente de una estación de trabajo que se hace sentado.	❑	❑

Figura 13–12 *(continuación)*

EJEMPLO 13–1 Mejoramiento de métodos al voltear camisetas

Este ejemplo considera tanto aspectos de productividad como de salud/seguridad obtenidos a través del análisis MTM-2 del volteado de camisetas (Frievalds y Yun, 1994). Las prendas se cosen por el revés para poder hacer las bastillas. Una vez terminadas, deben voltearse al derecho.

Los trabajadores en esta tarea eran muy susceptibles a distintos desórdenes por trauma acumulado. Un análisis MTM-2 del método actual, mostrado en la figura 13–13*a*, indicó que el tiempo total era de 141 tmu. Una característica obvia de esta tarea era el uso excesivo de movimientos del caso C. ¿Era posible reducir los GET y PUT (preguntas #3 y #4 en la lista de verificación de la figura 13–12)?

La solución propuesta fue construir un dispositivo eléctrico tipo aspiradora para jalar la camiseta dentro de un tubo. Al apagarse la aspiradora la camiseta se sacaba en estado invertido. El análisis MTM-2 del método mejorado (figura 13–13*b*) dio un total de sólo 108 tmu. Para la operación completa de voltear, inspeccionar y doblar (360 tmu en total), esto significó una disminución de (141 − 108)/360 = 9.2% en el tiempo. En resumen, se eliminaron los movimientos difíciles y con riesgo de lesiones del caso C, y se obtuvo una mejora simultánea a la productividad.

Análisis de métodos MTM Pág de

Operación: *Voltear camiseta*	Observaciones: *Manejo manual* *Total de 141 tmu*
Estudio Núm.: *(manual)*	
Fecha: *2-12-99*	
Analista: *AE*	

Descripción	Núm.	MI	TMU	MD	Núm.	Descripción
Obtener camiseta		*GB18*	*18*	*GB18*		*Obtener camiseta*
Alcanzar dentro, pellizcar camiseta		*GC12*	*23*	*GC12*		*Alcanzar dentro, pellizcar camiseta*
Movimiento simultáneo		*GC2*	*14*	*GC2*		*Permitir movimiento simultáneo*
Jalar camiseta arriba y afuera		*PC32*	*41*	*PC32*		*Jalar camiseta arriba y afuera*
Permitir movimiento simultáneo		*PC2*	*21*	*PC2*		*Movimiento simultáneo*
Dejar camiseta a un lado		*PB18*	*24*	*PB18*		*Dejar camiseta a un lado*
			141			

a) Método actual

Figura 13–13 Análisis MTM-2 de voltear camisetas

del estudio de tiempos y movimientos sintéticos fue de $40. Como resultado del estudio, la compañía evitó un gasto de $40 000 en el programa de compra de nuevas herramientas.

RESUMEN

Este capítulo presenta varios de los sistemas de estudio de tiempos y movimientos básicos o predeterminados. Existen muchos otros, que incluyen varios sistemas privados

Análisis de métodos MTM Pág de

Operación: *Voltear camiseta*	Observaciones: *Uso de dispositivo de vacío*
Estudio Núm.: *(automatizado)*	*Total de 108 tmu*
Fecha: *2-12-99*	
Analista: *AF*	

Descripción	Núm.	MI	TMU	MD	Núm.	Descripción
Obtener camiseta		GB1B	16	GB1B		*Obtener camiseta*
Jalar camiseta por el tubo		PA32	20	PA32		*Jalar camiseta por el tubo*
			9	F		*Activar el pedal*
Jalar camiseta hacia abajo		PC32	30	PC32		*Jalar camiseta hacia abajo*
Contra resistencia		PM1C	1	PM1C		*Contra resistencia*
Dejar camiseta a un lado		PB32	30	PB32		*Dejar camiseta a un lado*
			108			

b) Método propuesto

Figura 13–13 Análisis MTM-2 de voltear camisetas

desarrollados por la industria. Hace muchos años, Frederick W. Taylor visualizó el desarrollo de estándares para las divisiones básicas del trabajo similares a los que todavía están en uso. En su artículo "Administración científica" predijo que llegaría el tiempo en que se desarrollaría un volumen suficiente de estándares básicos que haría que los estudios de tiempos no fueran necesarios. Casi se ha llegado a ese punto respecto a los elementos de esfuerzo. En la actualidad, la vasta mayoría de estándares se desarrollan a partir de datos de estándares y/o tiempos de movimientos básicos.

Los valores de los tiempos predeterminados son cada vez más precisos conforme se realizan estudios adicionales. Sin embargo, todavía existe la necesidad de mayor investigación, pruebas y refinamiento. Por ejemplo, existe duda sobre la validez de agregar tiempos de movimientos básicos para determinar los tiempos elementales, ya que los tiempos de los therbligs pueden variar si la secuencia cambia. Entonces, el tiempo para el elemento básico "alcanzar de 20 pulgadas" puede quedar afectado por los elementos anteriores y los que le siguen y quizá no dependan por completo de la clase de alcanzar y la distancia. En general, todas las técnicas de movimientos fundamentales exitosas han hecho esfuerzos por estudiar la aditividad de los elementos de movimiento. Por ejemplo, MTM ha proporcionado tres movimientos para las manos, además de varios casos, según la naturaleza del movimiento o alcance. Work-Force reconoce cinco elementos de dificultad. Observaciones similares se pueden hacer respecto a las otras técnicas de movimientos fundamentales.

Al analizar los patrones de movimiento con los datos existentes, el analista debe considerar el propósito general de ese patrón, al igual que su complejidad y características. Por ejemplo, si la mano está vacía cuando se mueve hacia un objeto, el movimiento se clasifica como alcance. Si la mano tiene un objeto mientras se mueve hacia otro, el analista debe tomar en cuenta, además del propósito general del movimiento, lo que la mano hace con el objeto mientras se mueve. Si la mano sujeta un objeto al mismo tiempo que alcanza algo más, no se puede clasificar como un alcance básico. El tiempo necesario para realizar el movimiento combinado depende de factores diferentes a la distancia. Uno de ellos es la característica física del movimiento. Si un objeto se empalma mientras la mano se mueve, se lleva a cabo una operación simultánea al movimiento. El resultado puede ser una reducción en la rapidez promedio. Esto permitiría a la mano establecer control del objeto a lo largo del recorrido. Cuanto más larga sea la distancia, más tiempo tiene la mano para empalmar el objeto. Así, si el movimiento combinado es más largo, el movimiento se acerca más al tiempo requerido para un alcance simultáneo de la misma distancia.

Es necesario un estudio adicional para operaciones que involucran movimientos simultáneos. De manera intuitiva, debe haber una relación entre el grado de bimanualidad del operario normal y el patrón de movimiento empleado.

Los sistemas de tiempos predeterminados tienen un lugar importante en el campo de medición del trabajo y los métodos. Existen varias razones poderosas para usarlos. Se pueden utilizar para definir un tiempo estándar antes de iniciar la producción y para estimar los costos de producción con antelación, cuando no existe el trabajo para su estudio. Sin embargo, estos sistemas sólo son tan buenos como la persona que los usa. El analista debe entender bien las suposiciones en que se apoyan los sistemas y usarlos de la manera apropiada. No deben implantarlos sin ayuda profesional o sin una comprensión completa de sus aplicaciones. Para ayudar y tal vez simplificar este proceso, algunos sistemas de tiempos predeterminados ofrecen paquetes de software asociados (enumerados al final de este capítulo).

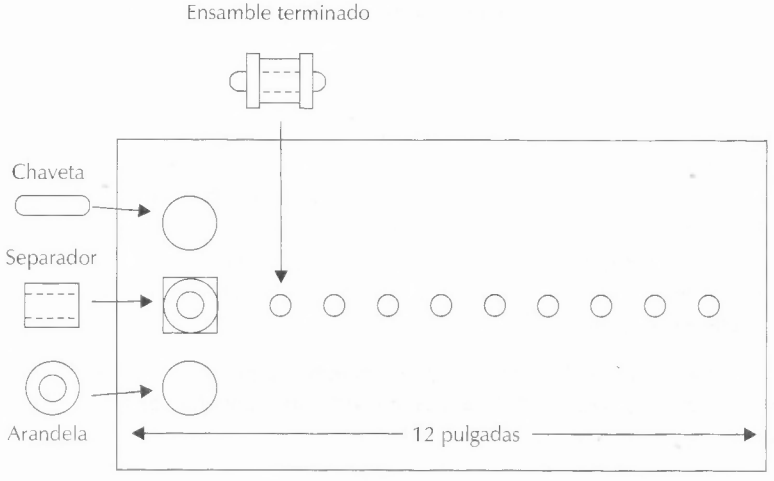
PREGUNTAS

1. ¿Quién es el responsable original de la idea en torno al desarrollo de estándares para las divisiones básicas del trabajo? ¿Cuál fue su contribución?
2. ¿Cuáles son las ventajas de usar tiempos predeterminados?
3. Qué otros dos términos suelen usarse para identificar los tiempos predeterminados?
4. ¿Quién es el pionero de los sistemas MTM?
5. ¿Cuál es el valor en tiempo de un tmu?
6. ¿Sería más sencillo o más difícil realizar un GET GB con la mano izquierda al mismo tiempo que se realiza un PC con la mano derecha? Explique.
7. ¿Por qué se desarrolló MTM-2? ¿Cuál es la aplicación específica de MTM-2?
8. ¿Son MTM-1 y MTM-2 consistentes en su manejo de movimientos simultáneos?
9. Si se usara MTM-3 para estudiar una operación con duración de alrededor de 3 minutos, ¿qué puede decir sobre la exactitud del estándar?

10. ¿Cuál es la relación entre MTM y el análisis de métodos?
11. Explique la relación de los tiempos de movimientos básicos y los datos de estándares.
12. Explique por qué la mayor parte de las compañías actuales requieren una certificación antes de usar tiempos de movimientos básicos para establecer sus estándares.

PROBLEMAS

1. Determine el tiempo para la componente dinámica de M20 B20.
2. Una cubeta de arena de 30 libras con un coeficiente de fricción de 0.40 se empuja 15 pulgadas alejándola del operario, con ambas manos. ¿Cuál sería el tiempo normal para el movimiento?
3. Una moneda de 3/4 de pulgada de diámetro se coloca dentro de un círculo de 1 pulgada. ¿Cuál sería el tiempo normal para posicionar el elemento?
4. Calcule el equivalente en tmu de 0.0075 horas por pieza, 0.248 minutos por pieza, 0.0622 horas por ciento de piezas, 0.421 segundos por pieza y 10 piezas por minuto.
5. El análisis MTM-2 (figura 13–14) describe una operación sencilla en la que cada mano obtiene una parte, la derecha vuelve a tomarla, y después la pone en un dispositivo. Se aplica presión para sellarla. Luego, se toma una chaveta, se vuelve a tomar y se inserta en el ensamble. Se gira (CRANK) un volante seis revoluciones con resistencia hasta que se alinea una aguja con precisión. Identifique los errores con un círculo. Reescriba el análisis correctamente y explique cada corrección.
6. La tarea Perdue Pegboard es una prueba estándar para habilidades motrices. Consiste en un tablero con una serie de agujeros y tres tipos de piezas: chavetas, arandelas y empates, almacenados en una depresión sobre el trablero. El ensamble, con el trablero rotado, perpendicular al torso del operario, es el siguiente:
   a. La mano derecha obtiene una chaveta y la inserta en un agujero con un claro ajustado.
   b. Al insertar la chaveta, la mano izquierda obtiene una arandela y la monta sobre la chaveta (0.01 pulgadas de claro).



Análisis de métodos MTM Hoja de

Operación: ENSAMBLE	Observaciones:
Estudio Núm.: Problema 5	
Fecha: 1-27-98	
Analista: AF	

Descripción	Núm.	MI	TMU	MD	Núm.	Descripción
		GC12	18	GB18		
Parte a dispositivo		R	6	R		Parte a dispositivo
		PC12	30	PC6		
Sentar parte		A	14	A		Sentar parte
		GC12	23	GC12		
Obtener, ensamblar chaveta		PC12	30	PC12		Obtener, ensamblar
		R	6	R		chaveta
			10	GB6		
			5	GW10		Girar contra
			90	C		resistencia
			5	PW5		
			21	PC2		Alinear aguja

Resumen	Total tmu:	Conversión:	% suplemento:	Tiempo estándar:
	259	.0006	10	.171

Figura 13-14 Análisis MTM-2 de un ensamble sencillo para el problema 5

c. Al sentar la arandela, la mano derecha obtiene un empate y lo monta en la chaveta inci-ma de la arandela (0.01 pulgadas de claro).

d. Al montar el separador, la mano izquierda obtiene otra arandela y la sienta en la chave-ta sobre el empate (0.01 pulgadas de claro).

e. Al colocar la arandela, la mano derecha obtiene otra chaveta e inicia un nuevo ensam-ble en el siguiente agujero. Las manos trabajan alternadas para obtener las piezas y completar los ensambles.

Desarrolle un análisis MTM-2 para el primer ensamble terminado. ¿Qué ocurre cuando el operario sigue trabajando en el trablero? ¿Por qué? ¿Qué razon hay para que MTM-2 no sea adecuado para esta tarea?

REFERENCIAS

Antis, William, John M. Honeycutt, Jr. y Edward N. Koch, *The Basic Motions of MTM*, 3a. ed., Pittsburgh, PA: The Maynard Foundation, 1971.

Baily, Gerald B. y Ralph Presgrave, *Basic Motion Time-Study*, Nueva York: McGraw-Hill, 1958.

Birn, Serge A., Richard M. Crossan y Ralph W. Eastwood, *Measurement and Control of Office Costs*, Nueva York: McGraw-Hill, 1961.

Brown, A. D., "Apply Pressure", *Journal of the Methods-Time Measurement Association*, 14, (1976).

Freivalds, A. y M. H. Yun, "Productivity and Health Issues in the Automation of T-Shirt Turning", *International Journal of Industrial Engineering*, 1, núm. 2 (junio, 1994), pp. 103–108.

Geppinger, H. C., *Dimensional Motion Times*, Nueva York: John Wiley & Sons, 1955.

Karger, Delmar W. y Franklin H. Bayha, *Engineered Work Measurement*, Nueva York: Industrial Press, 1957.

Karger, Delmar W. y Walton M. Hancock, *Advanced Work Measurement*, Nueva York: Industrial Press, 1982.

Maynard, Harold B., G. J. Stegemerten y John L. Schwab, *Methods Time Measurement*, Nueva York: McGraw-Hill, 1948.

Quick, Joseph H., James H. Duncan y James A. Malcolm, *Work-Factor Time Standards*, Nueva York: McGraw-Hill, 1962.

Sellie, Clifford N., "Predetermined Motion-Time Systems and the Development and Use of Standard Data", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Zandin, Kjell B., *MOST Work Measurement Systems*, Nueva York: Marcel Dekker, 1980.

SOFTWARE SELECCIONADO

Ergo MOST, H. B. Maynard and Co., Eight Parkway Center, Pittsburgh, PA 15220, 2001. (http://www.hbmaynard.com/)

MOD++, International MODAPTS Association, 3302 Shearwater Court, Woodbridge, VA 22192 (http://www.modapts.org/)

MOST, H. B. Maynard and Co., Eight Parkway Center, Pittsburgh, PA 15220, 2001. (http://www.hbmaynard.com/)

MTM Link, The MTM Association, 1111 East Touhy Ave., Des Plaines, IL 60018 (http://www.mtm.org/)

TimeData, Royal J. Dosset Corp., 2795 Pheasant Rd., Excelsior, MN 55331.

Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

CAPÍTULO 14



Muestreo del trabajo

PUNTOS CLAVE:

- El muestreo del trabajo es un método que permite analizar el trabajo mediante un número grande de observaciones tomadas en momentos aleatorios.
- Usar el muestreo del trabajo para:
  - determinar la utilización de las máquinas,
  - calcular los suplementos,
  - establecer los estándares de tiempo.
- Utilizar tantas observaciones como sea necesario.
- Tomar observaciones aleatorias durante dos semanas o más.

El *muestreo del trabajo* es una técnica usada para investigar las proporciones del tiempo total dedicadas a las diversas actividades que constituyen una tarea o una situación de trabajo. Los resultados del muestreo del trabajo son efectivos para determinar: la utilización de máquinas y personal; los suplementos aplicables a la tarea, y los estándares de producción. Aunque se puede obtener la misma información con los procedimientos de estudio de tiempos, el muestreo del trabajo con frecuencia la proporciona más rápido y a mucho menor costo.

Al realizar estudios de muestreo del trabajo, los analistas toman un número comparativamente grande de observaciones en intervalos aleatorios. La razón de las observaciones de una actividad dada entre el total de observaciones se aproxima al porcentaje de tiempo que el proceso está en estado de actividad. Por ejemplo, si 1 000 observaciones tomadas en intervalos al azar durante varias semanas muestran que una máquina automática estaba en producción en 700 de ellas, e inactiva por diferentes razones en 300 casos, el tiempo ocioso de la máquina sería 30% del día de trabajo.

El muestreo del trabajo se aplicó por primera vez en la fábrica textil British. Más tarde, con el nombre de *estudio de la razón de demora*, la técnica se llevó a Estados Unidos (Morrow, 1946). La exactitud de los datos determinados por el muestreo del trabajo depende del número de observaciones y el periodo en el que se realiza el estudio. A menos que el tamaño de la muestra sea suficientemente grande, y el periodo de muestreo represente condiciones típicas, se pueden obtener resultados inexactos.

El método de muestreo del trabajo tiene varias ventajas en comparación con el procedimiento convencional de estudio de tiempos:

1. No requiere la observación continua del analista durante largos periodos.
2. Los tiempos de trabajo de oficina disminuyen.
3. El total de horas-trabajo dedicadas por el analista, en general, son menos.
4. El operario no está sujeto a largos periodos cronometrados.
5. Un solo analista puede estudiar con facilidad las operaciones por brigadas.

TEORÍA DE MUESTREO DEL TRABAJO

La teoría de muestreo del trabajo se basa en la ley fundamental de probabilidad: en un momento dado, un evento puede estar presente o ausente. Los estadísticos han derivado las siguientes expresiones para mostrar la probabilidad de x ocurrencias de un evento en n observaciones:

$$(p + q)^n = 1$$

donde: p = probabilidad de una sola ocurrencia,
$q = (1 - p)$ = probabilidad de una ausencia de ocurrencia,
n = número de observaciones.

Si esta expresión, $(p + q)^n = 1$, se expande de acuerdo con el *teorema del binomio*, el primer término de la expansión da la probabilidad de $x = 0$, el segundo término la probabilidad de $x = 1$, y así sucesivamente. La distribución de estas probabilidades se conoce como *distribución binomial*. Los estadísticos han demostrado que la media de esta distribución es igual a np, y la variancia es npq. La desviación estándar es igual a la raíz cuadrada de la variancia.

Según la estadística elemental, cuando n crece, la distribución binomial se aproxima a la distribución normal. Como los muestreos del trabajo involucran tamaños de muestras grandes, la distribución normal es una aproximación satisfactoria de la binomial. En lugar de usar la distribución binomial, es más conveniente emplear la distribución de una proporción, con media p (es decir, np/n) y desviación estándar

$$\sqrt{\frac{pq}{n}} \quad \left(\text{es decir, } \frac{\sqrt{npq}}{n}\right)$$

como la variable aleatoria con distribución normal aproximada.

En los estudios de muestreo del trabajo, se toma una muestra de tamaño n para intentar estimar p. Se sabe de la teoría elemental de muestreo que no se puede esperar que el valor de $\hat{p}$ ($\hat{p}$ = la proporción basada en la muestra) para cada muestra sea el valor verdadero p. Sin embargo, se espera que la $\hat{p}$ de cualquier muestra esté dentro del intervalo $p \pm 1.96$ desviaciones estándar alrededor de 95% del tiempo. En otras palabras, si p es el porcentaje verdadero de una condición dada, se espera que la $\hat{p}$ de cualquier muestra quede fuera del intervalo $p \pm 1.96$ desviaciones estándar sólo cerca de 5 veces en 100 debido al azar.

Esta teoría se puede usar para estimar el tamaño de la muestra total necesario para lograr cierto grado de precisión. La expresión para la desviación estándar σ_p de una proporción muestral es:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{pq}{n}} = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \tag{1}$$

donde: σ_p = desviación estándar de un porcentaje,
p = porcentaje verdadero de ocurrencia del elemento que se busca, expresado como decimal,
n = número total de observaciones aleatorias en las que se basa p.

Con base en el concepto del intervalo de confianza, considere el término $z_{\alpha/2}\sigma_p$, como límite aceptable de error ℓ con un error en elporcentaje de confianza $(1-\alpha)100$, donde:

$$\ell = z_{\alpha/2}\sigma_p = z_{\alpha/2}\sqrt{pq/n} \tag{2}$$

Elevando al cuadrado ambos lados y despejando n se tiene:

$$n = z_{\alpha/2}^2 pq/\ell^2 = z_{\alpha/2}^2 p(1-p)/\ell^2 \tag{3}$$

Para una aplicación típica que usa un intervalo de confianza de 95%, $z_{\alpha/2}$ es 1.96 y n se convierte en

$$n = 3.84\,pq/\ell^2$$

EJEMPLO 14–1 Aproximación normal a la distribución binomial

Para aclarar la teoría fundamental de muestreo del trabajo, será útil interpretar los resultados de un experimento. Suponga las siguientes circunstancias: una máquina con descomposturas aleatorias se observó durante 100 días. En este periodo, se tomaron 8 observaciones aleatorias por día.

Sean: n = número de observaciones por día,
k = número total de días que se tomaron observaciones,
x_i = número de descomposturas observadas en n observaciones aleatorias en el día i ($i = 1, 2, \ldots, k$),
N = número total de observaciones aleatorias,
N_x = número de días que el experimento mostró un número de descomposturas igual a x ($x = 0, 1, 2, \ldots, n$).

La probabilidad, $P(x)$, de que la máquina esté descompuesta x veces en n observaciones está dada por la distribución binomial:

$$P(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{n-x}$$

donde: p = probabilidad de que la máquina esté descompuesta,

q = probabilidad de que la máquina opere,

y $$p + q = 1$$

Para este ejemplo, $n = 8$ observaciones por día, $k = 100$ días de observación y $N = 800$ observaciones en total. Un estudio de tiempos de todo el día, durante varios días, reveló que $p = 0.5$. La siguiente tabla muestra el número de días en que se observaron x descomposturas en un muestreo del trabajo ($x = 0, 1, 2, 3, \ldots, n$), y el número esperado de descomposturas dado por el modelo binomial, con $p = 0.5$ obtenidos en el estudio.

X	N_x	$P(x)$	$100P(x)$
0	0	0.0039	0.39
1	4	0.0312	3.12
2	11	0.1050	10.5
3	23	0.2190	21.9
4	27	0.2730	27.3
5	22	0.2190	21.9
6	10	0.1050	10.5
7	3	0.0312	3.12
8	0	0.0039	0.39
	100	1.00*	100*

* Valor aproximado

Existe coincidencia entre los días observados en que ocurrió un número específico de descomposturas (N_x) y el número esperado calculado según la teoría como $kP(x)$.

$\overline{P_i} = \frac{x_i}{n}$ = proporción observada de descomposturas en el día i, donde

$i = 1, 2, 3, \ldots, k$

$$\hat{P} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \overline{P_i}}{k} = \frac{\sum_{i=1}^{k} x_i}{n \cdot k}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{k} x_i}{N} = \text{proporción estimada de descomposturas de máquina, basada en un experimento de muestreo del trabajo}$$

La hipótesis es que la información teórica muestra una concordancia suficientemente cercana con la información observada para aceptar el binomio teórico. Esto se puede probar con la distribución chi-cuadrada (χ^2). La distribución χ^2 prueba si las frecuencias de la distribución observada difieren en forma significativa de las frecuencias esperadas.

En el ejemplo, la frecuencia observada es N_x y la frecuencia esperada es $kP(x)$, y se tiene:

$$\chi^2 = \sum_{x=0}^{k} \frac{[N_x - 100P(x)]^2}{100P(x)}$$

La cantidad dentro de la suma tiene una distribución aproximada χ^2 para k grados de libertad. En este ejemplo, $\chi^2 = 0.206$.

Los analistas deben determinar si el valor calculado de χ^2 es suficientemente grande para negar la hipótesis nula, es decir, la diferencia entre las frecuencias observadas y las calculadas se debe sólo al azar. Este valor experimental de χ^2 es tan pequeño que con facilidad pudo ocurrir por azar. Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que los datos experimentales se "ajustan" a la distribución binomial teórica.

En situaciones industriales típicas, el analista desconoce p (que aquí tenía un valor conocido de 0.5). La mejor estimación de p es $\hat{p}$, que se puede calcular como $\frac{\sum_{i=1}^{k} x_i}{N}$. Conforme aumenta el número de observaciones aleatorias por día (n) y/o el número de días, $\hat{p}$ se acerca a p. Sin embargo, con un número limitado de observaciones, la preocupación del analista es la exactitud de $\hat{p}$.

Si se traza una gráfica de $P(x)$ contra x con los datos del ejemplo, se obtiene la gráfica que se muestra en la figura 14–1.

Cuando n es suficientemente grande, sin importar el valor real de p, la distribución binomial se aproxima muy de cerca a la distribución normal. Esta tendencia se puede ver en el ejemplo cuando p tiene un valor aproximado de 0.5. Si p es cercana a 0.5, entonces n puede ser pequeña y la normal puede ser una buena aproximación a la binomial.

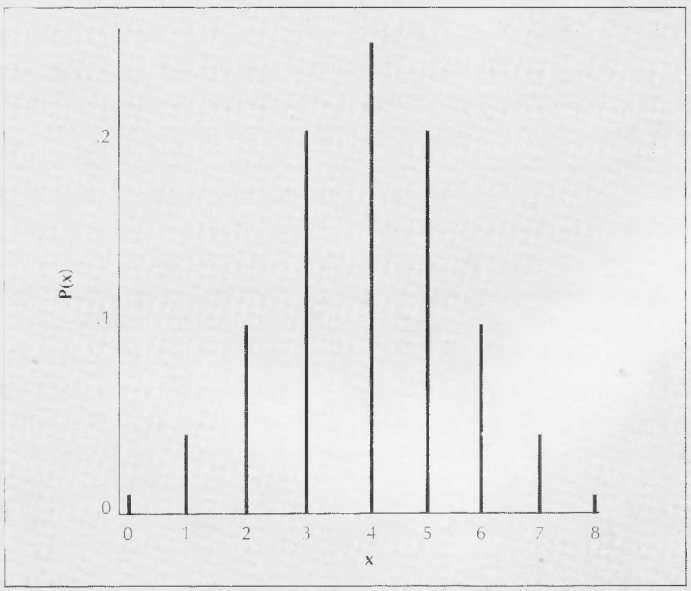


Figura 14–1 Distribución de probabilidad de las observaciones de descomposturas

Al usar la aproximación normal, se hace

$$\mu = p$$

y

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{pq}{n}}$$

Para aproximar la distribución binomial, se usa la variable z como entrada para la distribución normal (tabla A3–2, apéndice 3) y toma la siguiente forma:

$$z = \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\frac{pq}{n}}}$$

Aunque en el caso práctico p no se conoce, se puede estimar a partir de $\hat{p}$ y determinar el intervalo dentro del que se encuentra p mediante los límites de confianza. Por ejemplo, imagine que el intervalo definido por

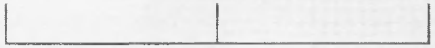
$$\hat{p} - 1.96\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}$$

y

$$\hat{p} + 1.96\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}$$

contiene a p 95% del tiempo.

Esto se puede representar con una gráfica como:



$$\hat{p} - 1.96\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}} \qquad \hat{p} \qquad \hat{p} + 1.96\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}$$

Se deriva una expresión para encontrar un intervalo de confianza para p como sigue: suponga que se quiere un intervalo que 95% del tiempo contiene a p; es decir, un intervalo de confianza de 95%. Para n suficientemente grande, la expresión

$$z = \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}}$$

se aproxima a una variable normal estándar. Por lo tanto, se establece la probabilidad

$$P\left(z_{0.025} < \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}} < z_{0.975} \right) = 0.95$$

Al rearreglar las desigualdades y recordar que $-z_{0.025} = z_{0.975} = 1.96$, el intervalo con aproximadamente 95% de probabilidad de contener a p es entonces:

$$\hat{p} - 1.96\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}} < p < \hat{p} + 1.96\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}$$

Estos límites implican que el intervalo definido contiene a p con 95% de confianza, ya que se ha seleccionado z con un valor de 1.96.

Las suposiciones de apoyo de la binomial son que p, la probabilidad de un éxito (la ocurrencia de una descompostura) es constante para cada instante aleatorio que se observa en el proceso. Entonces, siempre es necesario tomar observaciones aleatorias al realizar un estudio de muestreo del trabajo. Esto reduce cualquier sesgo que el trabajador introduce cuando puede anticipar los tiempos de observación.

ACEPTACIÓN DEL MUESTREO DEL TRABAJO

Antes de iniciar un programa de muestreo del trabajo, el analista debe "vender" su utilización y confiabilidad a todos los miembros de la organización a quienes puedan afectar los resultados. Si el programa va a establecer suplementos, debe venderse al sindicato y al supervisor igual que a la administración de la compañía. Esto se puede lograr con varias sesiones cortas con los representantes de las distintas partes interesadas para explicar ejemplos de la ley de probabilidades e ilustrar por qué funcionan los procedimientos de razón-demora. Tanto los trabajadores como los sindicatos favorecen las técnicas de muestreo del trabajo una vez que se explica el procedimiento, ya que es completamente impersonal, no usa el cronómetro y se basa en métodos matemáticos y estadísticos aceptados.

En la sesión inicial, el analista debe crear un estudio sencillo lanzando monedas al aire. Todos los participantes reconocerán pronto que al lanzar una sola moneda no cargada, cada resultado, cara o cruz, tienen la mitad de la oportunidad. Si se les pregunta cómo determinaría la probabilidad de cara contra cruz, sin duda propondrán lanzar una moneda unas cuantas veces para ver qué ocurre. Al preguntar si dos veces es suficiente, seguro dirán que no. Tal vez sugieran diez veces, pero podría pensar que todavía no es suficiente. Al sugerir números más grandes, quizá estén de acuerdo en que 100 veces o más es suficiente para lograr el resultado deseado con cierto grado de seguridad. Este ejemplo establece con firmeza el principio del muestreo del trabajo: un tamaño de muestra adecuado asegura la significancia estadística.

Después, el analista debe presentar los resultados probables al lanzar cuatro monedas no cargadas. En este caso, sólo existe un arreglo en el que no salen caras en las monedas que caen y sólo uno en el que todas son caras. Sin embargo, tres caras o una son el resultado de cuatro arreglos posibles. Seis arreglos dan dos caras. Con las 16 posibilidades descritas, cuatro monedas no cargadas se distribuyen al caer como se muestra en la figura 14–2.

Después de esta explicación y una demostración de la distribución con varios lanzamientos y el registro de los resultados, la audiencia deberá estar de acuerdo en que 100 lanzamientos pueden mostrar una distribución normal. Mil lanzamientos tal vez se acerquen más a esa distribución y 100 000 darán una casi perfecta. Sin embargo, esa distribución no necesariamente es más exacta que la de 1000 lanzamientos, y en el sentido económico no vale la pena el esfuerzo adicional. Esto establece la idea de que primero es rápido el acercamiento a una precisión significativa y después esta velocidad disminuye.

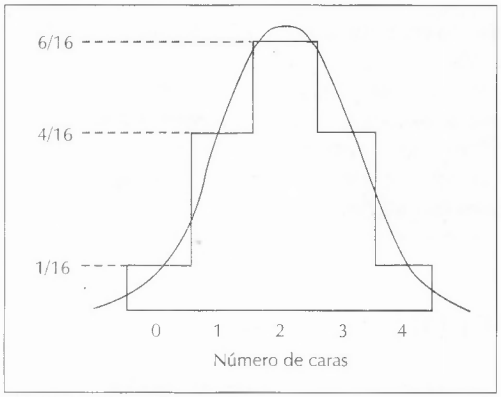


Figura 14–2 Distribución del número de caras con un número infinito de lanzamientos, usando cuatro monedas no cargadas.

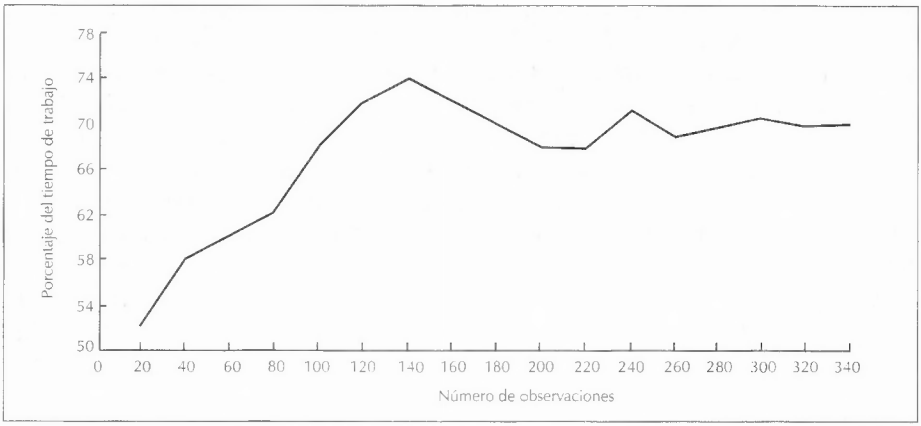


Figura 14–3 Porcentaje acumulado de tiempo de operación

En seguida, el analista debe señalar que una máquina u operario pueden estar de manera figurada en estado de cara o cruz. Por ejemplo, una máquina puede estar en operación (caras) o inactiva (cruz). Una gráfica acumulada de "en operación" se equilibraría al tomar suficientes datos, y daría indicación de cuándo estaría bien detener las lecturas (figura 14–3). Además, el estado de máquina "inactiva" podría desglosarse en los diferentes tipos de interrupciones y demoras, para entender con más detalle lo que ocurre en ese tiempo.

PLANES DE ESTUDIOS DE MUESTREO DEL TRABAJO

Antes de tomar las observaciones reales del estudio de muestreo del trabajo debe realizarse una planeación detallada. Los planes inician con una estimación preliminar de las actividades para las que se busca información. Esta estimación puede incluir una o más actividades, y a menudo se hace a partir de datos históricos. Si el analista no puede hacer una estimación razonable, deberá muestrear el área durante uno o dos días y usar esa información como base de sus estimaciones.

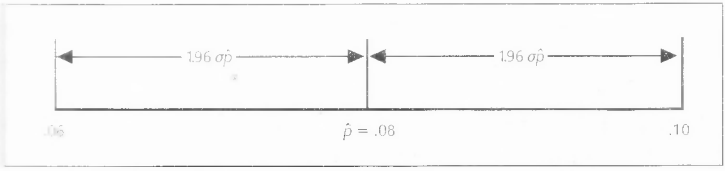


Figura 14-4 Intervalo de tolerancia del porcentaje de suplementos por demoras inevitables requeridas en una sección específica de la planta.

Una vez hechas las estimaciones preliminares, el analista puede determinar la exactitud deseada de los resultados. Esta se puede expresar como tolerancia o límite de error dentro del nivel de confianza establecido. Luego, debe estimar el número de observaciones que tomará y determinar la frecuencia de esas observaciones. Por último, debe diseñar la forma de muestreo del trabajo para el registro de datos, lo mismo que las gráficas de control que usará en el estudio.

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE OBSERVACIONES NECESARIO

Para determinar el número de observaciones necesario, el analista debe conocer la exactitud deseada en los resultados. Cuantas más observaciones, mayor validez tendrá la respuesta final. Tres mil observaciones darían un resultado mucho más confiable que 300. Sin embargo, debido al costo de obtener tantas observaciones y la mejora marginal en exactitud, 300 observaciones pueden ser suficientes.

Por ejemplo, suponga que se quiere determinar el número de observaciones requeridas para obtener 95% de confianza, tal que la proporción verdadera del tiempo de demoras personales e inevitables se encuentre dentro del intervalo de 6 a 10%. Se espera que este tiempo de demoras sea 8%. Estas suposiciones se expresan en forma gráfica en la figura 14–4.

En este caso, $\hat{p}$ sería igual a 0.08 y ℓ tendría un valor de 2%, o 0.02. Con estos valores, se puede despejar n como sigue:

$$n = \frac{3.84 \times 0.08 \times (1 - 0.08)}{0.02^2} = 736 \text{ observaciones}$$

Si el analista no tiene el tiempo o la capacidad para recolectar 736 observaciones y sólo puede recolectar 500 datos, la ecuación anterior se puede invertir para obtener el límite de error que resulta.

$$\ell = \frac{\sqrt{3.84p(1-p)}}{n} = \frac{\sqrt{3.84(0.092)(0.08)}}{500} = 0.024$$

Entonces, con 500 observaciones la exactitud del estudio sería ±2.4%. Así, existe un trueque directo entre el error o exactitud del estudio y el número de observaciones tomadas. Observe que este 2.4% es una exactitud absoluta. Algunos analistas pueden expresar esto como una exactitud relativa de 30% (0.024/0.08).

En la actualidad se dispone de paquetes de software para determinar el número de observaciones requerido para un estudio de muestreo del trabajo. Estos programas realizan todos los cálculos estadísticos que implica determinar tamaños de muestras e intervalos de confianza. Por ejemplo, es posible calcular intervalos de confianza de 90, 95 y 99% para una muestra. También pueden proporcionar el número de muestras necesario para lograr esa confianza de 90, 95 y 99% para un grado de exactitud establecido.

Note que si se observan varios trabajadores al mismo tiempo, las observaciones no se pueden considerar independientes. Richardson y Pape (1992) estudiaron este problema de observaciones correlacionadas y el resultado es un intervalo de confianza corregido que se calcula después de recolectar los datos. En lugar de la ecuación (1), la desviación estándar del intervalo de confianza se calcula como:

$$\sigma = \left[\frac{\sum y(i)^2 / n(j) - np^2}{n(m-1)} \right]^{1/2}$$

donde: m = número de observaciones agrupadas
$n(j)$ = número de trabajadores en la observación j
n = número total de observacoines
$y(j)$ = número de trabajadores "inactivos" (o en otra categoría de interés) en la observación j

DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE LAS OBSERVACIONES

La frecuencia de las observaciones depende, en su mayor parte, del número de observaciones requerido y el tiempo disponible para desarrollar los datos. Por ejemplo, para reunir 3 600 observaciones en 20 días calendario, será necesario obtener alrededor de 3 600/20 = 180 observaciones por día.

EJEMPLO 14–2 Determinación del número de observaciones requerido

Un analista desea determinar el tiempo de descomposturas debido a problemas con herramientas en un área que incluye 10 centros de maquinado CNC, donde se realiza un barrenado muy fino. Un estudio piloto inicial indicó que de 25 observaciones, sólo una CNC se descompuso, lo que proporcionó una $\hat{p}$ de 0.04. El analista desea una exactitud mayor en el estudio con una estimación dentro de ±1% del valor real, con 99% de confianza. Como $Z_{0.005}$ es 2.58, el número de observaciones necesario es

$$n = \frac{2.58^2 \times 0.04 \times (1 - 0.04)}{0.01^2} = 2557$$

Observe que el analista haría 256 viajes a la planta y tomaría 10 observaciones simultáneas en cada viaje. Éste es un número grande y el analista tal vez reconsidere un nivel de confianza menor.

Por supuesto, el número de analistas disponible y la naturaleza del trabajo que se estudia también influyen en la frecuencia de las observaciones. Por ejemplo, si sólo se

cuenta con un analista para acumular los datos del ejemplo anterior, no sería práctico que esa persona tomara 180 observaciones diarias.

Una vez determinado el número de observaciones por día, deben seleccionarse los tiempos reales necesarios para registrar las observaciones. Para obtener una muestra representativa, las observaciones se toman a todas horas del día. Existen muchas formas de hacer aleatoria la ocurrencia de las observaciones. Con un enfoque, se pueden elegir nueve números cada día de una tabla estadística de números aleatorios, que están entre 1 y 48 (apéndice 3, tabla A3–4). Si cada número se asocia con un valor en minutos, equivalente a 10 veces su tamaño, el número seleccionado establece la hora de observación, en minutos, a partir del inicio del día. Por ejemplo, el número aleatorio 20 significaría que el analista debe hacer una serie de observaciones 200 minutos después de iniciado el turno.

Otro enfoque considera los cuatro dígitos adyacentes en la tabla de números aleatorios, el dígito #1 identifica el día, con los números 1 a 5 correspondientes a los días de lunes a viernes. El dígito #2 es el identificador de horas, con números de 0 a 8 sumados a la hora de inicio (como las 7:00 am). Los dígitos #3 y #4 identifican los minutos, con números entre 0 y 60 como aceptables. Es evidente que el enfoque más sencillo es escribir un pequeño programa que use un generador de números aleatorios o cualquiera de las hojas de cálculo comerciales, o usar la característica incluida en DesignTools.

El estudio debe ser suficientemente largo para incluir las fluctuaciones normales en la producción. Cuanto mayor sea su duración, más posibilidades existirán de observar las condiciones promedio. En general, los estudios de muestreo del trabajo se realizan durante periodos que van de dos a cuatro semanas.

Otra alternativa que puede ayudar a decidir cuándo tomar las observaciones diarias es un recordatorio aleatorio. Este instrumento de bolsillo suena una alarma en tiempos aleatorios, para indicar al analista cuándo tomar la siguiente observación. El usuario preselecciona una tasa promedio de muestreo (observaciones por hora, observaciones por día) y responde con un viaje al área de recolección de datos cuando escucha la alarma. En general, este instrumento puede prestablecerse para cualquiera de los siguientes promedios por hora: 0.64, 0.80, 1.0, 1.3, 1.6, 2.0, 2.5, 3.2, 4.0, 5.0, 6.4 y 8.0. Es en especial útil para la autobservación, que se analiza más adelante en este capítulo. Una tabla con tiempos preparada de antemano puede requerir tiempo del analista cuando intente registrar los datos con precisión en los tiempos enumerados.

DISEÑO DE LA FORMA DE MUESTREO DEL TRABAJO

El analista debe diseñar una forma de observación para registrar los datos recolectados durante el estudio. Es común que una forma estándar no sea aceptable, ya que cada estudio de este tipo es único desde el punto de vista de las observaciones totales necesarias, los tiempos aleatorios en que se realizan y la información que se busca. La mejor forma se hace a la medida de los objetivos del estudio.

La figura 14–5 es un ejemplo de una forma para un estudio de muestreo del trabajo. Un analista diseñó esta forma a fin de determinar el tiempo de utilización para varios estados productivos y no productivos en un taller de mantenimiento. La forma acepta 20 observaciones aleatorias durante una jornada. Algunos analistas prefieren usar tarjetas

de diseño especial que facilita la observación sin llamar la atención como ocurre con la tabla y el cronómetro. La tarjeta puede ser pequeña de manera que se puede llevar en el bolsillo de la camisa o el saco. Por ejemplo, es sencillo dividir la forma mostrada en la figura 14–5 en dos secciones e imprimir por los dos lados una tarjeta de 3 por 5 pulgadas que se puede llevar en el bolsillo.

USO DE GRÁFICAS DE CONTROL

Las técnicas de gráficas de control usadas en el control estadístico de la calidad se pueden aplicar en estudios de muestreo del trabajo. Como estos estudios manejan sólo porcentajes o proporciones, la que se usa con más frecuencia es la gráfica p.

El primer problema al establecer una gráfica de control es la elección de los límites. En general, debe encontrarse un balance entre el costo de buscar causas atribuibles cuando no existen y el costo de no buscarlas si las hay. Como elección arbitraria, se usan los límites de control de $\pm 3\sigma$ en la gráfica p. Al sustituir 3σ por 1.96σ en la ecuación (1) se obtiene

$$\ell = 3\sigma = 3\sqrt{p(1-p)/n}$$

Suponga que p para una condición dada es 0.10 y que cada día se toman las 180 observaciones. Al despejar l se tiene

$$\ell = 3 \times [0.1 \times 0.9/180]^{1/2} = 0.067 \approx 0.07$$

Entonces se puede construir una gráfica de control similar a la figura 14–6, y los valores p' para cada día estarían en esa gráfica.

En el trabajo de control de calidad, la gráfica de control indica si el proceso está o no bajo control. De manera similar, en el muestreo del trabajo, el analista considera los puntos fuera de los límites de $\pm 3\sigma$ de p como fuera de control. Así, se supone que una muestra que da un valor p' se obtuvo de una población con un valor esperado de p si p' se encuentra dentro de los límites $\pm 3\sigma$ de p. Dicho de otra manera, si una muestra tiene un valor p' fuera de estos límites, se supone que viene de alguna población diferente a la población original, o que la población ha cambiado.

Igual que en control de calidad, los puntos distintos a los que están fuera de control pueden tener alguna significancia estadística. Por ejemplo, es más probable que un punto esté fuera de los límites $\pm 3\sigma$ que el hecho de que dos puntos sucesivos estén dentro de los límites $\pm 2\sigma$ y $\pm 3\sigma$. Por lo tanto, dos puntos sucesivos entre estos límites indicarían que la población cambió. Se ha derivado una serie de conjuntos de puntos significativos. Esta idea se estudia en la mayoría de los libros de control estadístico de la calidad con el nombre de "corridas".

EJEMPLO 14–3 Uso de gráficas de control en el muestreo del trabajo

La compañía Dorben desea medir el porcentaje de descomposturas de máquinas en el departamento de tornos. Una estimación inicial mostró que las descomposturas se aproximan a 0.20. Los resultados deseados deben estar dentro de $\pm 5\%$ de p, con un nivel

ESTUDIO DE MUESTREO DEL TRABAJO

TALLER PRINCIPAL DE REPARACIONES Número de observadores en este estudio _____ Fecha _____ Por _____

Notas _____

Obs Núm.	Tiempo aleatorio	Eventos productivos							Eventos no productivos							Total de observaciones	Porcentaje productivo	Porcentaje no productivo
		Maqdo.	Soldadura	Ajuste tubos	Obra general	Electr.	Carpint.	Conserj.	Sacar herram.	Afilar herram.	Espera tarea	Espera grúa	Consulta superv.	Pers.	Inactividad			
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
	Totales																	

Figura 14–5 Forma para muestreo del trabajo.

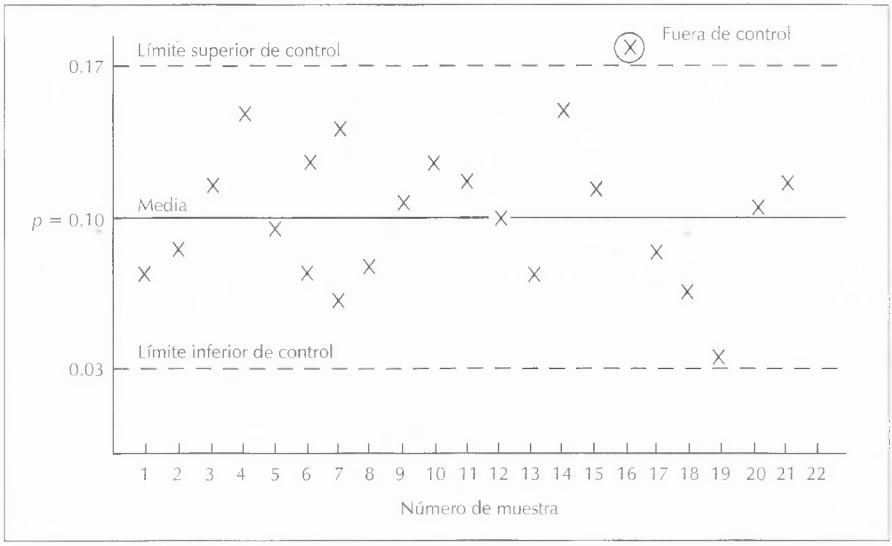


Figura 14–6 Gráfica de control de la muestra.

de confianza de 0.95. Los analistas tomaron 6 400 lecturas durante 16 días a una tasa de 400 lecturas diarias. Calcularon un valor p' para cada muestra diaria y elaboraron una gráfica p para $p = 0.20$ y tamaños de submuestras de $N = 400$ (figura 14–7).

Cada día tomaron lecturas y graficaron p'. En el tercero, el valor de p' quedó fuera de los límites de control. Una investigación reveló que después de un accidente en la planta, los trabajadores dejaron sus máquinas para ayudar al compañero lesionado. Al descubrir una causa asignable de error, descartaron el punto del estudio. Si no hubieran usado una gráfica de control, estas observaciones se hubieran incluido en la estimación final de p.

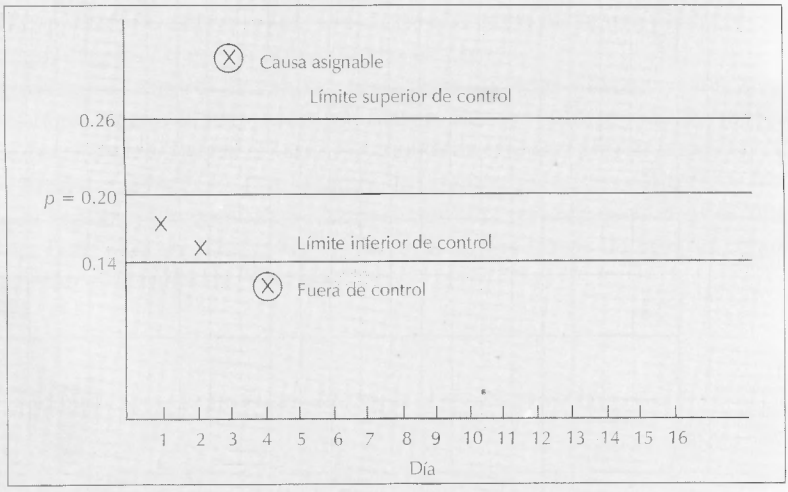


Figura 14–7 Gráfica de control para el ejemplo 14–3.

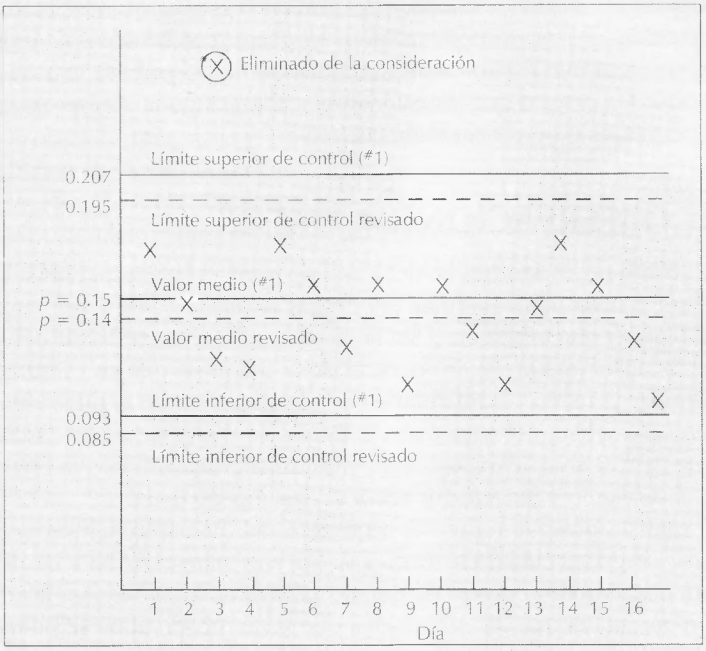


Figura 14–8 Gráfica de control revisada para el ejemplo 14–3.

El cuatro día, el punto p' fue menor que el límite inferior de control. No se encontró causa asignable para este evento. El ingeniero industrial a cargo del proyecto notó que los valores de p' de los dos primeros días estaban abajo de la media p y decidió calcular un nuevo valor de p con los valores de los días 1, 2 y 4. La nueva estimación de p fue 0.15. Entonces, para obtener la exactitud deseada, n dio igual a 8830 observaciones. Los límites de control también cambiaron (figura 14–8).

Los analistas tomaron observaciones 12 días más y graficaron los valores individuales de p' en la nueva gráfica. Como puede verse, todos los puntos están dentro de los límites de control. Después calcularon un valor más exacto de p, con las 6000 observaciones y determinaron que la nueva estimación de p era 0.14. Un nuevo cálculo de la exactitud lograda mostró que era un poco mejor que la deseada. Como verificación final, los analistas calcularon nuevos límites de control, con p igual a 0.14. Las líneas punteadas superimpuestas en la figura 14–8 muestran que todos los puntos se encuentran bajo control al usar los nuevos límites. Si un punto se hubiera salido de control, lo habrían eliminado y habrían calculado un nuevo valor de p. Este proceso hubiera tenido que repetirse hasta lograr la exactitud deseada y todos los valores de p' estuvieran bajo control.

No debe suponerse que el porcentaje de descomposturas permanecerá igual para siempre. La mejora debe ser un proceso continuo y el porcentaje debe disminuir. Uno de los objetivos del muestreo del trabajo es determinar las áreas susceptibles de mejo-

rar. Una vez descubiertas tales áreas, el analista debe intentar mejorar la situación. Las gráficas de control pueden mostrar el mejoramiento progresivo en las áreas de trabajo. Esta idea es importante en especial si los estudios de muestreo del trabajo se usan para establecer tiempos estándar, puesto que los estándares deben cambiar siempre que varíen las condiciones si se quiere que sean realistas.

REGISTRO DE OBSERVACIONES Y DATOS

Al acercarse al área de trabajo, el analista no debe anticipar los valores esperados. Debe llegar hasta una distancia dada de la máquina para hacer la observación y registrar los hechos. Quizá sea útil poner una marca en el suelo para mostrar el lugar donde debe pararse antes de hacer la observación. Si el operario de la máquina que se estudia está inactivo, debe determinar la razón y confirmarla con el supervisor de la línea antes de anotarla en la forma. El analista debe aprender a tomar las observaciones visuales y anotarlas una vez que dejó el área de trabajo. Esto minimiza el sentimiento del trabajador de que lo están observando y les permite tener el desempeño usual.

Aún cuando el analista observe todos los requisitos del muestreo del trabajo, los datos tienden a quedar sesgados cuando la técnica se usa sólo para estudiar a las personas. La llegada de un observador al centro de trabajo influye de inmediato en la actividad del operario. Lo común es que los empleados que serán observados se pongan a trabajar en cuanto ven que el analista se acerca al centro de trabajo. Además, existe una tendencia natural en el observador a registrar lo que acaba de ocurrir o lo que va a ocurrir, en lugar de lo que está sucediendo en realidad.

Una cámara de video puede ser útil para realizar un estudio de muestreo del trabajo no sesgado que incluye sólo personas. Los autores realizaron un muestreo del trabajo durante 10 días en una instalación de procesamiento de datos donde los trabajadores perforaban y verificaban diversas cantidades de tarjetas de datos. El estudio incluyó sólo los elementos "activo" e " inactivo". Las 2 520 observaciones recolectadas indicaron una diferencia ($p < 0.001$) estadísticamente significativa de un promedio "inactivo" de 12.3% mayor, con el análisis aleatorio mediante una cámara, que con el método de observación personal. Cuando hubo indecisión en los trabajadores respecto a indicar si estaban ociosos, la cámara de video registró con exactitud la actividad en progreso.

De manera similar, algunos paquetes de software para medición del trabajo que se describen más adelante incluyen computadoras personales portátiles *pocket PCs* o agendas digitales personales (PDA) para facilitar el registro de datos y su carga en la PC de escritorio para su análisis posterior. Además estos dispositivos se pueden configurar para que envíen una señal auditiva en los tiempos aleatorios adecuados para recolectar los datos. De otra manera, se puden utilizar dispositivos con recordatorios aleatorios independientes.

UTILIZACIÓN DE MÁQUINAS

Los observadores usan la técnica de muestreo del trabajo para determinar la utilización de máquinas de la misma manera que se usó para establecer los suplementos. El siguiente caso histórico proporciona los detalles de los pasos necesarios.

Se pidió a los analistas que reunieran información sobre la utilización de las máquinas en una sección determinada de un taller de maquinaria pesada. La administración estimaba que el tiempo real de corte en esta sección debía ser alrededor de 60% de la jornada de trabajo, para cumplir con los presupuestos que se someterían a aprobación. Se incluyeron 14 máquinas y los analistas debieron tomar cerca de 3 000 observaciones para obtener la exactitud deseada.

Los observadores diseñaron una forma de muestreo del trabajo (como la figura 14–9, pero con las celdas en blanco) para registrar los 16 estados posibles en los que podían encontrarse las 14 máquinas en el momento de la observación. Para asegurar que las observaciones fueran aleatorias, establecieron un patrón aleatorio de visitas al área del taller. Realizaron 6 observaciones de las 14 máquinas durante cada turno. Para obtener el número total requerido de observaciones, incluyeron 36 turnos distintos, con 84 observaciones en cada uno. Se colocó una marca en la celda apropiada para el estado de cada máquina en cada observación específica.

Como el objetivo principal del estudio era conocer el estado del tiempo de corte real en esta sección, mantuvieron actualizada una gráfica del porcentaje acumulado para el tiempo de corte (figura 14–10). Al inicio de cada día de estudio, los analistas calcularon la razón de todas las observaciones anteriores de corte entre el total de observaciones hasta ese día. Para el final del décimo día de estudio, el porcentaje de tiempo de corte comenzó a estabilizarse en 50.5%

Después de estudiar 36 turnos, los analistas dividieron la suma de todas las observaciones en cada categoría entre el número total de observaciones. Esto dio como resultado el porcentaje que representa la distribución del tiempo de corte, el tiempo de preparación y los diferentes tiempos de demora enumerados. La figura 14–9 ilustra la hoja de resumen para este estudio. El tiempo de corte llegó a 50.7%. El porcentaje de tiempo requerido por los retrasos indicó las áreas para el mejoramiento de métodos que ayudaría a incrementar el porcentaje de tiempo de corte.

DETERMINACIÓN DE SUPLEMENTOS

La determinación de suplementos debe ser correcta, si han de desarrollarse estándares justos. Antes de introducir el muestreo del trabajo, los analistas determinaban suplementos, con frecuencia por razones personales y demoras inevitables, mediante una serie de estudios durante todo el día de varias operaciones y el promedio de los resultados. De esta manera, registraban, tomaban tiempo y analizaban los viajes al baño, al bebedero, las interrupciones, etcétera, y determinaban un suplemento justo. Aunque este método proporcionaba una respuesta, era costoso y tardado, y resultaba cansado tanto para el analista como para el operario.

Por medio del estudio de muestreo del trabajo, los analistas pueden tomar mayor número de observaciones (en general más de 2000) en distintos tiempos del día y con diferentes operarios. Pueden dividir el número total de ocurrencias de inactividad legítimas que involucran a operarios normales entre el número total de observaciones de trabajo. El resultado es igual al porcentaje de suplemento que debe asignarse al operario para la clase de trabajo que se estudia. Los diversos elementos que entran en las demoras personales e inevitables pueden mantenerse separados y se puede determinar un suplemento justo para cada clase o categoría.

FECHA 7-15

OBSERVADOR R. Gómez

MAQUINA	DIB.	CORTE	PREPARACIÓN	INACTIVA	ESPERA GRÚA	ESPERA DE INSPECCIÓN	AYUDA A LA INSPECCIÓN	ESPERA -HERRAM. NO DISPONIBLE	ESPERA -DIFICULTA-DES C/HERRAM.	CONSULTA CON OTRO TURNO	MANEJO DE HERRAMIENTAS	SACAR O AFILAR HERRAMIENTAS	CONSULTAR CON SUPERV. O INSPEC.	ESPERA TRABAJO	QUITAR VIRUTAS LIMPIAR MESA	VARIOS	SIN OPERARIO	
Mandril vert. 20′		101	7	14	2	3		1		2	37	5	3			6	35	216
Mandril vert. 16′		102	34	14	15	3	1	1		1	28	5	1	7	4			216
Mandril vert. 28′		119	34	10	5	5	2				18	2	1	2			18	216
Mandril vert. 12′		109	24	12	13	6	1			3	26	6	2	3	3	2	6	216
Cepilladora 16′		127	17	6	9	2					22		2	15		4	12	216
Fresadora 8′		64	18	17	16	3				2	30	7	3			28	28	216
Mandril vert. 16′		147	19	10	14	3	1				15	2			1	1	3	216
Cepilladora 14′		140	8	5	7	2				2	17	3		3		11	18	216
Torno 72"		99	13	12	7	3				1	32	8	2			3	36	216
Torno 96"		89	9	29	18	11	1			2	29	8	3	4		3	10	216
Torno 96"		109	14	12	8	10		3	3		32	9	8	2		1	5	216
Torno 160"		72	34	13	14	6	2	1		4	21	3	3	1	1	4	37	216
Cepilladora 11 1/2′		106	35	11	10	4				1	11	4	5	3	2	8	16	216
Mandril. vert. 32′		151	23	8	7	1				1	10	2	1	5	2	5		216
		1535	289	173	145	62	8	6	3	19	328	64	34	45	13	76	224 = 3024	
	%	50.7	9.6	5.9	4.8	2.1	.3	.2	.1	.6	10.8	2.1	1.1	1.5	.4	2.5	7.4 = 100%	

Figura 14–9 Hoja de resumen de muestreo de trabajo

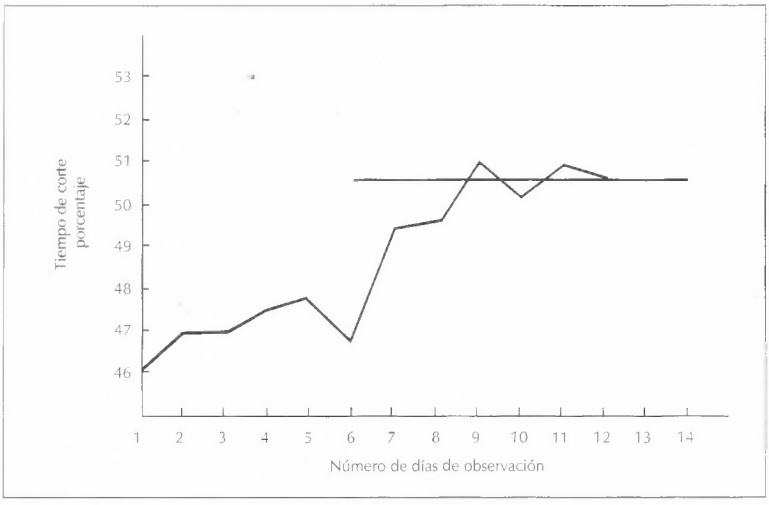


Figura 14-10 Porcentaje acumulado para el corte en máquina.

La figura 14–11 ilustra un resumen de un estudio de muestreo del trabajo para determinar suplementos por demoras inevitables sobre operaciones de banco, banco máquina, máquina y rociador. Hubo interferencias en 26 casos de 2895 observaciones realizadas en operaciones de banco. Esto indicó un suplemento por demoras inevitables de 0.95% en este tipo de trabajo.

DETERMINACIÓN DE TIEMPOS ESTÁNDAR

El muestreo del trabajo puede ser muy útil para establecer los estándares de tiempo en las operaciones de mano de obra directa e indirecta. La técnica es la misma que la usada para determinar suplementos. El analista debe tomar un gran número de observaciones aleatorias. El porcentaje del total de observaciones que la instalación o la operación trabaja se aproxima al porcentaje del tiempo total que en realidad pasa en ese estado.

De manera más específica, el tiempo observado (*TO*) para un elemento dado (vea el capítulo 9) se calcula a partir del tiempo de trabajo dividido entre el número de unidades producidas durante ese tiempo:

$$TO = \frac{T \times n_i}{P \times n}$$

donde: T = tiempo total,
n_i = número de ocurrencias para el elemento i,
n = número total de observaciones,
P = producción total por periodo estudiado.

El tiempo normal (*TN*) se encuentra multiplicando el tiempo observado por la tasa de producción promedio:

PRODUCTOS ELÉCTRICOS XYZ, INC.

PLANTA 26

DEPARTAMENTO 4 HOJA DE RESUMEN DE MUESTREO DEL TRABAJO FECHA 4/22

	NUMERO DE OBSERVACIONES											
OPERACIÓN	Ingeniería	Suministro	Calidad	Mecánico	Supervisión	Encendido de la luz	Diversos	En trabajo		Número de observaciones totales	TOTAL OBSER.	% DE SUPLEMENTO
Banco	1	11	1	0	12	1	119	2,750		26	2,895	.95
Banco máquina	0	2	0	0	5	0	69	984		7	1,060	.71
Máquina	0	1	6	11	9	0	29	1,172		27	1,228	2.30
Rociador	0	0	0	7	36	0	262	1,407		43	1,712	3.06
	NOTAS: *Hoja de resumen para suplementos por interferencia.* *Ver detalles en la hoja de observaciones de "diversos". Estos se incluyeron en la categoría de "trabajo" porque en todos los casos el tiempo inactivo se atribuyó a los operarios.*											
	NOTA IMPORTANTE: TODAS LAS OBSERVACIONES SE TOMAN AL AZAR											

Figura 14-11 Resumen de interrupciones de varias clases de trabajo tomado de un estudio de muestreo del trabajo para determinar los suplementos por demoras inevitables

$$TN = TO \times \bar{R}/100$$

donde: $\bar{R}$ = tasa promedio de desempeño = $\sum R/n_i$

Por último, el tiempo estándar se encuentra sumando los suplementos al tiempo normal.

El ejemplo 14–4 muestra este procedimiento para una sola operación, mientras que el ejemplo 14–5 lo hace para elementos múltiples.

AUTOOBSERVACIÓN

Los administradores conscientes realizan muestreos del trabajo periódicos de su propio trabajo para evaluar la efectividad del uso de su tiempo. En la mayoría de los casos, los administradores dedican menos tiempo de lo que creen a los aspectos importantes. También dedican más tiempo a aspectos sin importancia, como demoras personales e inevitables, de lo que ellos creen. Una vez que saben cuánto tiempo les toman las funciones que pueden delegar a sus subordinados y al personal de apoyo, pueden actuar en forma positiva.

Por ejemplo, un profesor universitario puede decidir llevar a cabo un muestreo de su trabajo personal para saber cómo utiliza su tiempo. Decide tomar muestras aleatorias durante 8 semanas del año académico. Este periodo debe proporcionar datos típicos no sujetos a variaciones estacionales. El profesor establece un recordatorio aleatorio para proporcionar 2.0 muestras por hora en promedio. Así, en el periodo de estudio de 8 semanas, el profesor tendrá 640 observaciones (8 semanas × 40 horas por semana × 2 observaciones por hora). El profesor pudo haber elegido una tasa más alta de muestreo en días seleccionados al azar dentro del intervalo de estudio. Por ejemplo, pudo optar por tomar 4 muestras por hora en 20 días aleatorios seleccionados en el periodo de 8 semanas. Esto también proporcionaría 640 observaciones.

EJEMPLO 14–4 Cálculo del tiempo estándar para una operación completa

La tabla 14–1 proporciona la información necesaria para los cálculos, las fuentes de información y los datos específicos usados en este ejemplo de un operario de barrenadora.

$$TO = \frac{T \times n_i}{P \times n} = \frac{480}{420} \times 0.85 = 0.971 \text{ min}$$

El tiempo normal (TN) se encuentra escalando el tiempo observado según la tasa promedio ($\bar{R}$):

$$TN = TO \times \bar{R}/100 = 0.971 \times 110/100 = 1.069 \text{ min}$$

Por último, el tiempo estándar se encuentra sumando los suplementos (con el enfoque del multiplicador) al tiempo normal:

$$TS = TN \times (1 + \text{suplemento}) = 1.069 \times (1.15) = 1.229 \text{min}$$

Tabla 14–1 Información sobre la operación de taladro

Información	Fuente	Datos
Día total de trabajo (activo + inactivo)	Tarjeta de tiempo	480 minutos
Número de unidades barrenadas	Departamento de inspección	420 unidades
Fracción trabajada	Muestreo del trabajo	85%
Tasa promedio	Muestreo del trabajo	110%
Suplementos	Muestreo del trabajo	15%

Para registrar los datos, el profesor diseñó una forma similar a la que se muestra en la figura 14–12. El diseño de la forma contiene una semana de observaciones aleatorias diarias. Cada vez que el recordatorio aleatorio suena la alarma, el profesor registra la letra del código que corresponde a la categoría y el tiempo.

Al final de las 8 semanas de estudio, resume las hojas de datos semanales y encuentra que 80 del total de 640 observaciones tenían código I (participación en comités), lo que significó alrededor de 12.5% del tiempo de trabajo dedicado a juntas de comités. El intervalo de confianza de 95% sería:

$$\pm 1.96 \sqrt{\frac{0.125(1 - 0.125)}{640}} = \pm 0.013$$

Nombre A. B. Jiménez. Semana 3/25 Estudio No. B-47

T	Clases	C	Educ. contínua	D	Personal
R	Investigación	A	Asesoría a estudiantes	I	Comité
P	Preparación	S	Desarrollo profesional		

LUNES		MARTES		MIERCOLES		JUEVES		VIERNES		SABADO		DOMINGO		NOTAS
TIEMPO	COD.	TIEMPO	COD.	TIEMPO	COD.	TIEMPO	COD.	TIEMPO	COD.	TIEMPO	COD.	TIEMPO	COD.	
8:17	T	8:06	C	8:58	P	8:02	I	8:49	T					I - COMITE EJECUTIVO
8:52	T	8:32	C	9:08	R	8:31	A	9:07	C					
9:04	D	8:58	A	9:25	R	8:45	S	9:17	C					
9:27	R	9:32	P	10:01	I	9:32	T	9:51	I					I - INVEST. + ACTIV. PERSONAL
9:50	R	10:11	T	10:50	S	10:17	T	10:11	R					
10:11	I	11:00	S	10:57	S	10:40	S	10:32	R					I - ACTIV. PERSONAL
10:18	A	11:05	S	11:26	A	11:35	P	10:53	A					
11:01	P	11:55	I	11:40	P	11:59	D	11:17	P					I - PLANES DE ESTUDIO
11:25	P	1:42	P	1:17	D	1:04	R	11:42	P					
1:05	P	1:59	P	2:05	T	1:27	R	1:11	I					I - PLANES DE ESTUDIO
2:01	T	2:11	R	2:35	T	1:47	I	1:47	I					I - PLANES DE ESTUDIO
2:35	T	2:37	R	3:00	I	2:17	R	2:15	T					I - COMITE DE RECREACION
2:55	S	3:25	R	3:24	S	2:46	A	2:45	T					
3:45	S	3:40	S	4:14	S	3:40	P	3:00	T					
4:11	P	3:57	R	4:38	P	4:11	S	4:02	S					
4:42	R	4:15	A	5:00	P	4:37	S	4:25	D					

RESUMEN SEMANAL

T	13	P	15	A	7	D	4		
R	14	C	4	S	14	I	9	TOTAL	80

Figura 14–12 Forma para muestreo del trabajo con diseño especial para autoobservación.

El profesor tiene 95% de confianza de que el trabajo de comités ocupa 12.5% ± 1.3% de su tiempo. El profesor siguió el mismo procedimiento para todas las actividades codificadas. Con base en los resultados de este estudio, alteró su calendario para utilizar su tiempo y energía en forma más positiva.

EJEMPLO 14–5 Cálculo de tiempos estándar para múltiples elementos

Un analista tomó 30 observaciones en un lapso de 15 minutos de una tarea asignada que incluye tres elementos, durante ese tiempo se produjeron 12 unidades. Los datos obtenidos aparecen en la tabla 14-2. Los respectivos tiempos observados fueron:

$$TO_1 = \frac{15 \times 9}{12 \times 30} = 0.375 \text{ min}$$

$$TO_2 = \frac{15 \times 7}{12 \times 30} = 0.292 \text{min}$$

$$TO_3 = \frac{15}{12} \times \frac{12}{30} = 0.500 \text{min}$$

Tabla 14–2 Datos de un estudio de muestreo del trabajo de tres elementos

Número de observaciones	Evaluación del desempeño observado			
	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3	Inactividad
1	90			
2				100
3		110		
4	95			
5	100			
6		100		
7			105	
8	90			
9			110	
10	85			
11			95	
12		90		
13			100	
14			95	
15	80			
16			110	
17		105		
18			90	
19	100			
20			85	
21			90	
22			90	
23	110			
24			100	
25		95		
26				100
27		105		
28		100		
29			110	
30	110			
Σ (tasas)	860	705	1180	100

$$TO_3 = \frac{15 \times 12}{12 \times 30} = 0.500 \text{min}$$

y los respectivos tiempos normales fueron:

$$TN_1 = 0.375 \times \frac{860}{9 \times 100} = 0.358 \text{min}$$

$$TN_2 = 0.292 \times \frac{705}{7 \times 100} = 0.294 \text{min}$$

$$TN_3 = 0.500 \times \frac{1180}{11 \times 100} = 0.492 \text{min}$$

Si se supone un suplemento constante de 10% para todos los elementos, el tiempo estándar final fue:

$$TE = (0.358 + 0.294 + 0.492)(1 + 0.10) = 1.258 \text{ min}$$

SOFTWARE PARA MUESTREO DEL TRABAJO

Se estima que usar una computadora puede ahorrar un 35% del costo total de un estudio de muestreo del trabajo debido al alto porcentaje de trabajo del personal de apoyo relacionado con el tiempo de observación real. La mayor parte del esfuerzo involucrado para resumir los datos de muestreo del trabajo es del personal de apoyo: calcular porcentajes y exactitudes, trazar datos en las gráficas de control, determinar el número de observaciones requeridas, las observaciones diarias requeridas, el número de visitas diarias al área de estudio, la hora del día para cada visita, entre otros.

Existen varios paquetes de software para muestreo del trabajo de los cuales el analista puede disponer, con una variedad de características. WorkSamp de Royal J. Dossett Corp. proporciona una alarma integrada para la entrada de datos en intervalos aleatorios, varios informes de resumen y una conexión RS233C para transferir los datos a una PC. Una pequeña desventaja es que usa un manejador de datos hecho a la medida para la recolección electrónica de datos. Otros paquetes usan las PC portátiles de mano más versátiles para recolectar datos y permiten que el analista los use para otras tareas. Por ejemplo, CAWS/E de C-Four Consulting permite un análisis de datos mucho más detallado, a través de un enlace de una hoja de cálculo directo a Excel. Sin embargo, las PC portátiles tradicionales han perdido terreno con las PDA (asistente digital personal). C-Four cuenta con una versión de PalmCAWS para trabajar en ellas, pero no tiene la capacidad de interactuar con Excel. Applied Computer Services, Inc., parece haber incorporado esta característica en su software TimerPalm. No obstante, cualquiera de estos producto sde sooftware proporciona los siguientes beneficios al analista:

1. La cantidad de tiempo disponible del ingeniero industrial se incrementa con la reducción del trabajo rutinario de oficina.
2. Los resultados del estudio se logran con mayor rapidez y la presentación de datos es más profesional.

3. El costo de realizar estudios de muestreo del trabajo se reduce en forma significativa.
4. Mejora la exactitud de los cálculos.
5. El analista comete menos errores.
6. El sistema automatizado proporciona un incentivo para hacer mayor uso de la técnica de muestreo del trabajo.

EJEMPLO 14–6 Análisis de la carga de trabajo en la industria de servicios

Un gran caso de estudio de las operaciones de servicio a la comunidad fue realizado por Sterling Associates (1999) para el Department of Social and Health Services (DSHS) del estado de Washington. Dado que la carga de casos de servicios a la comunidad había disminuido en los últimos años, los especialistas financieros y los empleados de las oficinas también disminuyen. Se proporcionó a 304 miembros del personal alarmas electrónicas que sonaban en intervalos aleatorios, en esos momentos debían registrar la tarea específica que realizaban, en un dispositivo electrónico en red. Este formato permitía un acceso rápido, la actualización constante y un análisis sencillo de los datos.

El estudio comprendió un periodo de dos meses (en particular, 90 385 horas-trabajador), se recolectaron 91 371 observaciones de 17 tareas diferentes en 15 programas distintos en seis oficinas del distrito. Si se supone un intervalo de confianza de 99%, el escenario del peor de los casos, con $p = 0.5$ para la tarea en estudio y usando la ecuación (3) invertida se obtiene:

$$\ell = \sqrt{\frac{(2.58)^2(0.5)(0.5)}{91\,371}} = 0.0042$$

Así, para una tarea que ocurre cerca de 50% del tiempo, la exactitud obtenida es ±0.41%. Para cualquier tarea que ocurra en un porcentaje de tiempo menor, la exactitud sera mucho mejor

El tiempo dedicado a una tarea dada (como auditorías del caso) se calculó de la siguiente manera. De 91 371 observaciones, 2 224 fueron auditorías, durante este tiempo se completaron 2 217 de ellas. Entonces, el tiempo por auditoría fue:

$$\text{Tiempo/auditoría} = \frac{90\,385}{2\,217} \times \frac{2\,224}{91\,371} = 0.99 \text{ horas/auditoría}$$

Los resultados principales incluyeron lo siguiente. Existía una gran disparidad (figura 14–13) entre la cantidad de tiempo dedicado a dar servicio a los diferentes programas y el número real de casos manejados por cada programa (según lo medido por las unidades de ayuda, UA). Esto puede significar que tal vez sea necesaria una redistribución del esfuerzo o de la fuerza de trabajo para mejorar el manejo de los diferentes programas. Para ayudar en esto, se desarrolló un modelo de asignación de personal. Aun cuando existían algunas diferencias, los resultados globales fueron similares para las distintas oficinas de los distritos. Por último, aunque no se resaltó la importancia de establecer estándares en este estudio, el tiempo ocioso total (alrededor de 4%) era bastante bajo. Sin embargo, este resultado debe moderarse por el hecho de que, igual que en los estudios de autobservación, los trabajadores pueden tener serias dudas en cuanto a indicar con exactitud que no estaban trabajando.

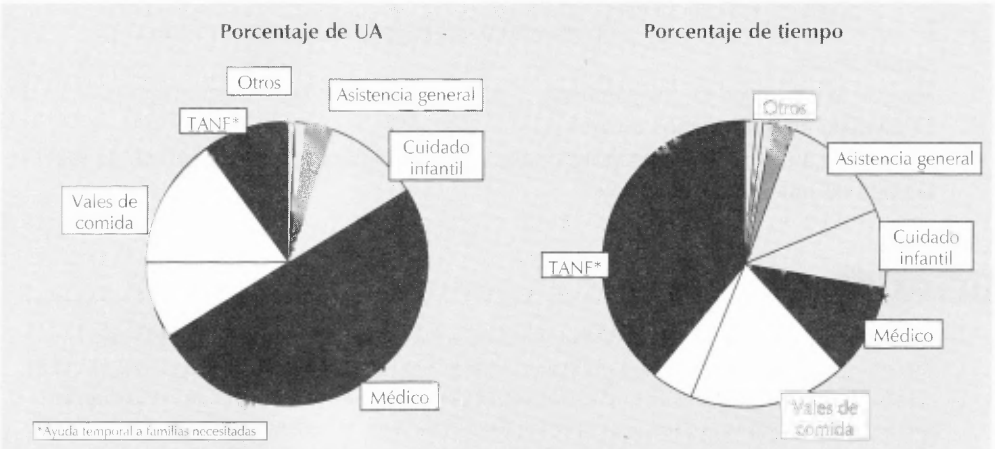


Figura 14–13 Unidades de Asistencia (UA) comparadas con el tiempo.

RESUMEN

El muestreo del trabajo es otra técnica que permite al analista de tiempos y métodos recabar los hechos de manera más sencilla y rápida. El muestreo del trabajo con tasas de desempeño es útil, en especial, para determinar la cantidad de tiempo que debe asignarse por retrasos inevitables, interrupciones y situaciones parecidas. El alcance de estas interrupciones es un área adecuada para mejorar la productividad. Por lo común, en la industria de maquinado, estas interrupciones alcanzan entre 24 y 45% del tiempo total. El muestreo del trabajo también se usa para establecer estándares en la mano de obra de apoyo a la producción, mantenimiento y servicios.

Quienes trabajan en el campo de estudios de métodos y tiempos y del pago de salarios deben familiarizarse con las ventajas, limitaciones, uso y aplicaciones de esta técnica. En resumen, deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Explicar y "vender" el método de muestreo del trabajo antes de usarlo.
2. Confinar los estudios individuales a grupos similares de máquinas u operaciones.
3. Usar un tamaño de muestra tan grande como sea práctico.
4. Tomar observaciones individuales en tiempos aleatorios, de manera que las observaciones se registren durante todas las horas del día.
5. Tomar observaciones durante dos semanas o más.

PREGUNTAS

1. ¿Dónde se usó el muestreo del trabajo por primera vez?
2. ¿Qué ventajas se atribuyen al procedimiento de muestreo del trabajo?

3. ¿En qué áreas se aplica el muestreo del trabajo?
4. ¿Cómo se puede determinar el momento del día en que deben tomarse las distintas observaciones, de manera que no se obtengan resultados sesgados?
5. ¿Qué consideraciones deben tenerse en cuenta al realizar estudios de muestreo del trabajo?
6. ¿Qué significa estratificar los datos recolectados? Explique cuándo es deseable estratificar los datos.
7. ¿Cuáles son las principales ventajas de usar un recordatorio aleatorio para reunir los datos de un estudio de muestreo del trabajo?
8. ¿Durante cuánto tiempo es deseable continuar la recolección de datos de muestreo?
9. ¿Qué tan sesgados se puede esperar que sean los datos de un muestreo del trabajo? ¿Variará este sesgo con la situación de trabajo? Explique.
10. ¿Cómo puede "venderse" la validez del muestreo del trabajo a los empleados que no están familiarizados con los procedimientos de probabilidad y estadística?
11. ¿Cuáles son los pros y contras de usar el muestreo del trabajo para establecer los estándares de desempeño?

PROBLEMAS

1. El analista en la biblioteca de referencias de la compañía Dorben decidió usar la técnica de muestreo del trabajo para establecer estándares. La biblioteca tiene 20 empleados. Las operaciones a realizar incluyen: catalogar, dar salida a los libros, regresar los libros a su lugar, limpiar libros, mantener registros, empacar libros para envíos y manejo de correspondencia. Una investigación preliminar dio una estimación de 30% del tiempo del grupo dedicado a catalogar. ¿Cuántas observaciones de muestreo del trabajo deben tomarse si se desea una confianza de 95% de que los datos observados están dentro de una tolerancia de $\pm 10\%$ respecto a los datos de la población? Describa cómo deben realizarse las observaciones aleatorias.

   La siguiente tabla ilustra algunos datos reunidos sobre 6 de los 20 empleados. El número de volúmenes catalogados es igual a 14 612. A partir de estos datos determine un estándar en horas por cada ciento, para catalogar. Después diseñe una gráfica de control basada en límites de $\pm 3\sigma$ para las observaciones diarias.

	Empleados					
Concepto	Suárez	Alba	Bravo	Verela	Báez	Torres
Horas trabajadas totales	78	80	80	65	72	75
Observaciones totales (todos los elementos)	152	170	181	114	143	158
Observaciones que incluyen catalogar	50	55	48	29	40	45
Tasa media	90	95	105	85	90	100

2. El analista de medición del trabajo en la Dorben Company planea establecer estándares para la mano de obra indirecta mediante la técnica de muestreo del trabajo. Este estudio proporcionará la siguiente información:

   T = tiempo total del operario representado en el estudio,

N = número total de observaciones en el estudio,
n = observaciones totales del elemento bajo estudio,
P = producción para el periodo de estudio,
R = factor de tasa de desempeño promedio durante el estudio.

Obtenga la ecuación para estimar el tiempo elemental normal para una operación.

3. El analista de la Dorben Company desea medir el porcentaje de tiempo de descompostura en la sección de martinetes del taller de forja. El superintendente estima un tiempo de descompostura cercano a 30%. Los resultados deseados para el estudio de muestreo del trabajo deben estar dentro de ±5% de p con un nivel de confianza de 0.95. El analista decide tomar 300 lecturas aleatorias al día durante 3 semanas. Desarrolle una gráfica p para $p = 0.30$ y tamaño de submuestras de $N = 300$. Explique el uso de esta gráfica p.

4. En la actualidad, la Dorben Company usa la técnica de muestreo del trabajo para establecer estándares en su equipo de mecanografía. Este equipo tiene diversas responsabilidades que incluyen transcribir cintas de sonido grabadas, archivar, colocar avisos y sacar copias. El equipo consta de 6 mecanógrafas que trabajan 40 horas a la semana. Se realizaron 1 700 observaciones aleatorias durante 4 semanas. En ese periodo, las mecanógrafas produjeron 1 852 páginas de mecanografía de rutina. De las observaciones aleatorias, 1 225 mostraron que se llevaba a cabo la actividad de mecanografiar. Suponga un suplemento de 20% y un factor de tasa de desempeño ajustada de 0.85 y calcule el estándar por hora para una página mecanografiada.

5. ¿Cuántas observaciones deben registrarse para determinar el suplemento por demoras personales en un taller de forja, si se espera que sea suficiente un suplemento de 5% y si este valor debe encontrarse entre 4 y 6% al 95% del tiempo?

6. Para obtener una precisión de ±5% en un trabajo que se estima toma 80% del tiempo de los trabajadores, ¿cuántas observaciones aleatorias se requieren para un nivel de confianza de 95%?

7. Si la actividad promedio de manejo de materiales durante un estudio con duración de 10 días es 82% y el número de observaciones diarias es 48, ¿qué tolerancia se puede asignar al porcentaje de actividad diaria?

8. Un empleado interno que trabaja en el Mole Hill Ski Resort recolectó los siguientes datos respecto a la eficiencia del motod Ford V-8 que se usa para mover la soga del transportador de la pendiente ligera. La administración desea conocer cuántas horas de servicio, de las 16 horas para esquiar cada día, puede esperar de ese motor que evidentemente falla. Después de estudiar los datos, se puede establecer con 95% de confianza que el motor podrá operar durante _____ horas ± _____ hora de un día de 16 horas.

Operando con 8 cilindros	|||||
Operando con 7 cilindros	||||| ||||| ||
Operando con 6 cilindros	||||| ||||| ||||| ||
Sin operar, motor atascado	||||| ||||| ||||| ||||| ||||| ||

9. En la tabla se muestran los datos de un muestreo del trabajo tomado durante 8 horas.
   a. ¿Qué porcentaje de tiempo opera la máquina?
   b. ¿Qué porcentaje de tiempo está descompuesta la máquina?
   c. ¿Cuál es el límite de exactitud de este estudio?
   d. ¿Cuál es el intervalo de confianza de 95% para la máquina operando?
   e. Su gerente opina que el intervalo del inciso d es demasiado grande para ser aceptable. Ella quiere reducirlo a ±1 minuto de tiempo de operación. ¿Cuántas observaciones debe recolectar para lograr lo anterior?

Operando	||||| ||||| |||| |||| ||	
Ocioso	Descompuesta	|||||
	Sin material	|||| |||| |
	Otros	|||| ||

REFERENCIAS

Barnes, R. M., *Work Sampling*, 2a. ed., Nueva York: John Wiley & Sons, 1957.

Morrow, Robert Lee, *Time Study and Motion Economy*, Nueva York: Ronald Press, 1946.

Richardson, W. J., *Cost Improvement, Work Sampling and Short Interval Scheduling*, Reston, VA: Reston Publishing, 1976.

Richardson, W. J. y Pape, E. S., "Work Sampling", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Sterling Associates LTD, *Community Service Office Workload Study*, 711 Capitol Way South, Suite 610, Olympia, WA 98501, 1999.

SOFTWARE SELECCIONADO

CAWS/E, C-Four, P.O. Box 808, Pendleton, SC 29670. (http://www.c-four.com/)

JD-7 Random Reminder, Divilbiss Electronics, 40321 Bluff Lake Rd., Antioch, IL 60002.

DesignTools (incluido en el libro), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

PalmCAWS, C-Four, P.O. Box 808, Pendleton, SC 29670. (http://www.c-four.com/)

TimerPalm, Applied Computer Services, Inc., 7900 E. Union Ave., Suite 1100, Denver, CO 80237.

WorkSamp, Royal J. Dosset Corp., 2795 Pheasant Rd., Excelsior, MN 55331.

VIDEOCINTAS SELECCIONADAS

Work Sampling Fundamentals, ½" VHS, C-Four, P.O. Box 808, Pendleton, SC 29670.

CAPÍTULO 15

Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

Estándares de mano de obra indirecta y general

PUNTOS CLAVE:

- Usar estudio de tiempos y sistemas de tiempos predeterminados para desarrollar estándares para una mano de obra indirecta relativamente predecible.
- Emplear clasificaciones o categorías de trabajos similares para establecer estándares en el caso de mano de obra indirecta y general relativamente impredecible.
- Utilizar muestreo del trabajo y registros históricos para establecer estándares para el trabajo general profesional.
- Aplicar teoría de colas para calcular tiempos de espera de los trabajos.
- Usar la simulación de Monte Carlo para predecir demoras o tiempos de descompostura en los trabajos.

Desde 1900, el incremento porcentual de empleados indirectos y generales es más del doble que el de los empleados de mano de obra directa. Los grupos que en general se clasifican como *mano de obra indirecta* incluyen: envío y recepción, flete, tiendas, inspección, manejo de materiales, depósitos de herramientas y mantenimiento. La *mano de obra general* incluye todos los puestos que no son directos o indirectos: trabajo de oficina, contabilidad, ventas, administración, ingeniería, etcétera.

El rápido crecimiento en el número de empleados de oficina, mantenimiento y otras actividades indirectas y generales se debe a varios factores. Primero, la creciente mecanización de la industria y la automatización completa de muchos procesos, incluido el uso de robots, ha disminuido la necesidad de operarios y artesanos. Esta tendencia hacia la mecanización ha dado como resultado una gran demanda de especialistas en electrónica , electricistas, fabricantes de instrumentos, técnicos en mecánica de fluidos y personal de otros servicios. También, el resultado del diseño de máquinas y controles complicados requiere una mayor demanda de ingenieros y diseñadores.

Segundo, el gran incremento en la documentación causado por la legislación federal, estatal y local es responsable, en un alto grado, del aumento en el número de empleados para trabajo de oficina. Tercero, el trabajo de oficina y mantenimiento no se ha sometido a los estudios de métodos y los avances técnicos que se han aplicado de manera tan efectiva a la mano de obra directa de los procesos industriales. Dado que una gran parte de la nómina actual está enmarcada en la mano de obra indirecta y general, las administraciones progresistas comienzan a darse cuenta de las oportunidades para aplicar estudios de métodos y establecer estándares en esta área.

ESTÁNDARES DEL TRABAJO INDIRECTO Y GENERAL

Es posible aplicar el enfoque sistemático de métodos, estándares y pago de salarios en las áreas de trabajo indirecto y general de la misma manera que en las de trabajo directo. Un análisis cuidadoso de los hechos, el desarrollo del método propuesto, la presentación, instalación y desarrollo del análisis del trabajo deben preceder a un programa para establecer estándares de mano de obra indirecta y general. El procedimiento mismo de análisis de métodos puede introducir ahorros.

El muestreo del trabajo es una buena técnica para determinar la severidad de un problema y el potencial de ahorro en estas áreas. Es usual encontrar que la fuerza de trabajo dedica sólo entre 40 y 50% de su tiempo a actividades productivas. Por ejemplo, en el trabajo de mantenimiento, que representa un alto porcentaje de los costos indirectos totales, los analistas suelen encontrar las siguientes razones para una gran parte del tiempo perdido durante una jornada de trabajo.

1. *Comunicación inadecuada.* Es muy común encontrar instrucciones de trabajo incompletas e incluso incorrectas en las órdenes de trabajo. Esto requiere viajes adicionales al depósito de herramientas y al almacén para obtener partes y herramientas que deben estar disponibles al iniciar el trabajo. Una orden de trabajo que sólo establece "reparar goteo en el sistema de aceite" indica una mala planeación y una comunicación inadecuada. El trabajador necesita saber si se requiere una nueva válvula o tubería, si una nueva junta será suficiente o si se necesitan empaques nuevos para la válvula.
2. *No disponibilidad de partes, herramientas o equipo.* Si un técnico no tiene las herramientas o las partes para hacer la tarea, está obligado a improvisar y esto casi siempre hace que se pierda tiempo y con frecuencia el resultado es un trabajo inferior. La planeación apropiada asegura que estén disponibles las herramientas y equipo correctos y que las partes necesarias se suministren en el lugar de trabajo.
3. *Interferencia de empleados de producción.* Con una programación inadecuada, tal vez los empleados de mantenimiento no tengan la oportunidad de comenzar una reparación o servicio menor o mayor debido a que los empleados de producción todavía se encuentran en la instalación. El resultado puede ser que los técnicos estén inactivos en espera de que el departamento de producción entregue el equipo.
4. *Personal de sobra en una tarea de mantenimiento.* Ésta ha sido una de las causas principales del tiempo perdido en trabajos de mantenimiento. Las más de las veces se asigna una brigada de tres o cuatro personas cuando sólo se necesitan dos.

5. *Trabajo insatisfactorio que necesita retrabajo.* La mala planeación, a menudo causa una actitud de "con esto basta" por parte del mecánico. La consecuencia quizá sea que el trabajo de reparación tenga que hacerse de nuevo.
6. *Instrucciones atrasadas para el siguiente trabajo.* Con la mala planeación el tiempo inactivo "en espera de trabajo" puede ser significativo. La buena planeación asegura que el técnico tenga una asignación de trabajo amplia y no espere.

Después de desarrollar métodos adecuados, deben estandarizarse y enseñarse a los trabajadores que los van a usar. Muchas veces la administración descuida este paso obvio. Dedicar la misma atención al mejoramiento de las operaciones del trabajo indirecto que la dedicada al trabajo directo puede disminuir los costos.

ESTÁNDARES DE MANO DE OBRA INDIRECTA

Los estándares para los departamentos de mano de obra indirecta, como trabajo de oficina, mantenimiento y fabricación de herramientas, deben desarrollarse a partir de datos de estándares o fórmulas. El tiempo no permitiría usar las técnicas de cronómetro para cada estándar desarrollado; pero se pueden usar tanto estudios de tiempos como datos de movimientos fundamentales.

Los analistas pueden calcular los estándares de tiempo para cualquier operación o grupo de operaciones cuantificables o medibles. Si se desglosan y estudian los elementos de trabajo realizados por electricistas, herreros, trabajadores de metales, pintores, carpinteros soldadores, plomeros, cargadores, y otros cuyo trabajo es indirecto, por lo común es posible que surjan estándares con la suma de los elementos directos, de transporte e indirectos. Los métodos usados para establecer los estándares para el trabajo indirecto y general son idénticos a los usados para el trabajo directo: estudio de tiempos, estándares de tiempo para movimientos predeterminados, datos de estándares, fórmulas de tiempos y muestreo del trabajo.

Así, los analistas pueden establecer estándares para tareas como colocar una puerta, rebobinar un motor de 1 caballo de fuerza, pintar un afilador de sin centro, barrer las virutas en un departamento o repartir 200 trabajos de forja. Para cada una de estas operaciones, los analistas establecen tiempos estándar con la medición del tiempo requerido para que el operario realice la tarea. Después califican el desempeño del estudio y aplican un suplemento adecuado.

El estudio y análisis minuciosos tal vez revelen que el equilibrio de las brigadas y la interferencia causan más demoras inevitables en el trabajo indirecto que en el directo. El equilibrio de la brigada es el tiempo de demora para un miembro de la brigada que espera a que otros integrantes realicen otros elementos de trabajo. El tiempo de interferencia es el que espera un trabajador para que otros terminen sus tareas. Tanto las demoras por equilibrio de brigada como por interferencia son inevitables; no obstante, son características sólo de operaciones de mano de obra indirecta, como las realizadas por los empleados de mantenimiento. La teoría de colas, explicada más adelante en el capítulo, es una técnica útil para estimar la magnitud del tiempo de espera.

Debido al alto grado de variabilidad característico de la mayor parte de las operaciones de mantenimiento y manejo de materiales, es necesario realizar suficientes estudios de tiempo independientes de cada operación para asegurar que el estándar ob-

tenido sea representativo del tiempo requerido por un operario normal para realizar el trabajo en condiciones promedio. Por ejemplo, si un estudio indica que toma 47 minutos barrer el piso de una máquina de 60 por 80 pies, los observadores deben estar seguros de que prevalecen las condiciones promedio durante el estudio. El trabajo del barrendero será mucho más tardado si en el taller se maquina hierro fundido en lugar de una aleación de acero, porque el acero es mucho más limpio y es más fácil manejar las virutas. Además, al usar velocidades y alimentaciones más lentas salen menos virutas. Por lo tanto, un estándar de 47 minutos establecido cuando el taller trabaja con aleaciones de acero será inadecuado cuando se trate de partes de hierro fundido. Otros estudios de tiempos asegurarán que prevalezcan las condiciones promedio y los estándares obtenidos representen esas condiciones.

De manera similar los analistas pueden establecer estándares para pintura. Un estándar de pintura completa se basa en los pies cuadrados. Pueden medir la aplicación de pintura vertical y en pisos y desarrollar tiempos estándar según los pies cuadrados.

Igual que la industria automotriz ha establecido estándares de tiempo para trabajos de reparación comunes como ajuste de válvulas, reemplazo de anillos de pistones y ajuste de frenos, los observadores pueden establecer estándares para operaciones de mantenimiento y reparación típicas realizadas en las máquinas herramienta de la planta. También pueden determinar tiempos estándar para rebobinado de un motor de $\frac{1}{8}$ hp, $\frac{1}{4}$ hp, $\frac{1}{2}$ hp, $\frac{3}{4}$ hp y así sucesivamente.

El trabajo en el almacén de herramientas es similar al de los talleres de producción intermitente. Los analistas determinan el método para producir un sujetador para taladro, un dispositivo de fresadora, una herramienta de formado o una matriz. Usan estudios de tiempos y/o tiempos predeterminados para establecer una secuencia de tiempos elementales y medir el tiempo normal requerido por cada elemento. El muestreo del trabajo proporciona una herramienta adecuada para determinar los suplementos que deben agregarse por demoras por fatiga, personales, inevitables y especiales. Los tiempos elementales estándar desarrollados de este modo se pueden tabular en la forma de datos de estándares y después usarse para diseñar fórmulas para evaluar trabajos futuros.

FACTORES QUE AFECTAN LOS ESTÁNDARES INDIRECTOS Y GENERALES

El trabajo indirecto y el general son una combinación de cuatro divisiones: 1) trabajo directo, 2) transporte, 3) trabajo indirecto y 4) trabajo innecesario y demoras.

El trabajo directo es ese segmento de la operación que avanza visiblemente con el progreso del trabajo. Por ejemplo, en la instalación de una puerta, los elementos de trabajo directo incluyen: cortar la puerta al tamaño aproximado, rebajar al tamaño, localizar y marcar las áreas de las bisagras, ranurar, marcar el lugar de los tornillos, instalar los tornillos, marcar el lugar de la chapa, barrenarlo e instalar la chapa. Es sencillo medir este trabajo directo con las técnicas convencionales como estudio de tiempos con cronómetro, datos de estándares o datos de movimientos fundamentales.

El transporte es el trabajo realizado al hacer movimientos durante la tarea o de una tarea a otra. Ese transporte puede ser horizontal, vertical o ambos. Los elementos de transporte típicos son: subir o bajar escaleras, subirse a un elevador, caminar, llevar una carga y manejar un vehículo de motor. También es sencillo medir los elementos de

transporte y establecerlos como datos de estándares. Por ejemplo, una compañía usa 0.50 minutos por zona de 100 pies como estándar para tiempo de viaje horizontal y 0.30 minutos como estándar por cada 10 pies para tiempo de viaje vertical.

Como regla general, los analistas no pueden evaluar la porción de mano de obra indirecta o general con evidencia física en el trabajo terminado, o en cualquier etapa durante la tarea, excepto por inferencia deductiva de ciertas características. Los elementos del trabajo indirecto pueden dividirse en tres categorías: a) herramientas, b) materiales y c) planeación.

Los elementos del trabajo de herramientas incluyen la adquisición, disposición y mantenimiento de todas las herramientas necesarias para realizar una operación. Los elementos típicos en esta categoría incluyen: obtener y verificar herramientas y equipo; regresar herramientas y equipo al terminar la tarea; limpiar, reparar, ajustar o afilar herramientas. Este tipo de elementos se mide con facilidad por los medios convencionales: los registros estadísticos proporcionan datos de la frecuencia de ocurrencia. La teoría de colas da información sobre el tiempo de espera estimado en los centros de abastecimiento.

Los elementos de trabajo con materiales comprenden la adquisición y verificación del material usado en una operación y la disposición del desperdicio. Hacer reparaciones menores a los materiales, recoger y disponer del desperdicio y obtener y verificar los materiales es característico de estos elementos. Igual que con las herramientas, los elementos de materiales se miden con facilidad y se puede determinar su frecuencia con exactitud mediante los registros históricos. La teoría de colas proporciona la mejor estimación del tiempo de espera para adquirir los materiales en los almacenes.

Los elementos de planeación representan el área más difícil para establecer estándares. Estos elementos incluyen: consultas con el supervisor, planeación de los procedimientos de trabajo, inspección, verificación y pruebas. Las técnicas de muestreo del trabajo proporcionan una base para determinar el tiempo requerido para realizar los elementos de planeación. Los analistas también miden con cronómetro estos elementos de planeación, pero es difícil determinar su frecuencia de ocurrencia; por lo tanto, el muestreo del trabajo es el método más práctico para este tipo de elementos.

La planeación y el mejoramiento de métodos puede eliminar trabajo innecesario y demoras, que llegan a representar hasta 40% de los gastos salariales indirectos y generales. Mucho del tiempo perdido tiene una orientación administrativa; por esta razón, los analistas deben hacer un seguimiento del procedimiento sistemático recomendado en el capítulo 1 antes de establecer los estándares. En este trabajo, deben obtener y analizar los hechos y desarrollar e instalar el método, antes de establecer el estándar.

Gran parte de las demoras que se encuentra en el trabajo indirecto y general se debe a las colas. Los trabajadores deben esperar su turno ante el depósito de herramientas o el almacén, esperan el montacargas, que una calculadora de escritorio u otro equipo esté libre. Con la aplicación de la teoría de colas, los analistas pueden casi siempre determinar el número de unidades de servicio requeridas para las circunstancias dadas.

TEORÍA DE COLAS BÁSICA

Los problemas de sistemas de colas ocurren cuando el flujo de llegadas (personas, equipos y otros) establece una demanda aleatoria de servicio en las instalaciones que tienen

una capacidad de servicio limitada. El tiempo entre una llegada y un servicio varía en relación inversa al nivel de la capacidad de servicio. Cuanto mayor es el número de estaciones de servicio y más rápida la tasa de servicio, menor es el tiempo que transcurre entre una llegada y un servicio.

Los analistas de métodos y medición del trabajo deben elegir un procedimiento operativo que minimice el costo total de la operación. Debe existir un equilibrio económico entre los tiempos de espera y la capacidad de servicio. Las siguientes cuatro características definen los problemas de colas:

1. *Patrón de la tasa de llegadas.* La tasa de llegadas (por ejemplo, una máquina que se descompone y espera reparación) puede ser constante o aleatoria. Si es aleatoria, el patrón es una distribución de probabilidad de los valores de los intervalos entre llegadas sucesivas. Además, es posible que la distribución de probabilidad del patrón aleatorio pueda definirse o no.
2. *Patrón de la tasa de servicio.* El tiempo de servicio también puede ser constante o aleatorio. Si es aleatorio, deberá definirse la distribución de probabilidad que se ajusta al patrón aleatorio.
3. *Número de unidades de servicio.* En general, los problemas de colas con servidores múltiples son más complejos que los sistemas de un solo servidor. Sin embargo, muchos problemas son del tipo de varios servidores, como el número de mecánicos requeridos para el mantenimiento de un conjunto de máquinas en operación.
4. *Patrón de la selección del servicio.* Es usual que el servicio se proporcione basado en la política de primero en entrar, primero en servir; sin embargo, en ocasiones, la selección puede ser aleatoria por completo o seguir un conjunto de prioridades.

Las soluciones a los problemas de colas se encuentran en dos grandes categorías: analíticos y de simulación. Los analíticos cubren una gama amplia de casos para los que la teoría de probabilidad y las técnicas analíticas proporcionan ecuaciones que representan los sistemas que cumplen varias suposiciones sobre las características de las colas. Una de las suposiciones más comunes del patrón de llegadas o el número de llegadas por unidad de tiempo es que siguen una distribución de probabilidad Poisson:

$$p(k) = \frac{a^k e^{-a}}{k!}$$

donde: a = tasa media de llegadas,
k = número de llegadas por unidad de tiempo.

En la figura 15–1 se ilustra una representación gráfica de las probabilidades Poisson acumuladas.

Una consecuencia adicional del patrón de llegadas Poisson es que la variable aleatoria tiempo entre llegadas obedece a una distribución exponencial con el mismo parámetro a. Al ser una distribución continua, la distribución exponencial tiene una función de densidad:

$$f(x) = ae^{-ax}$$

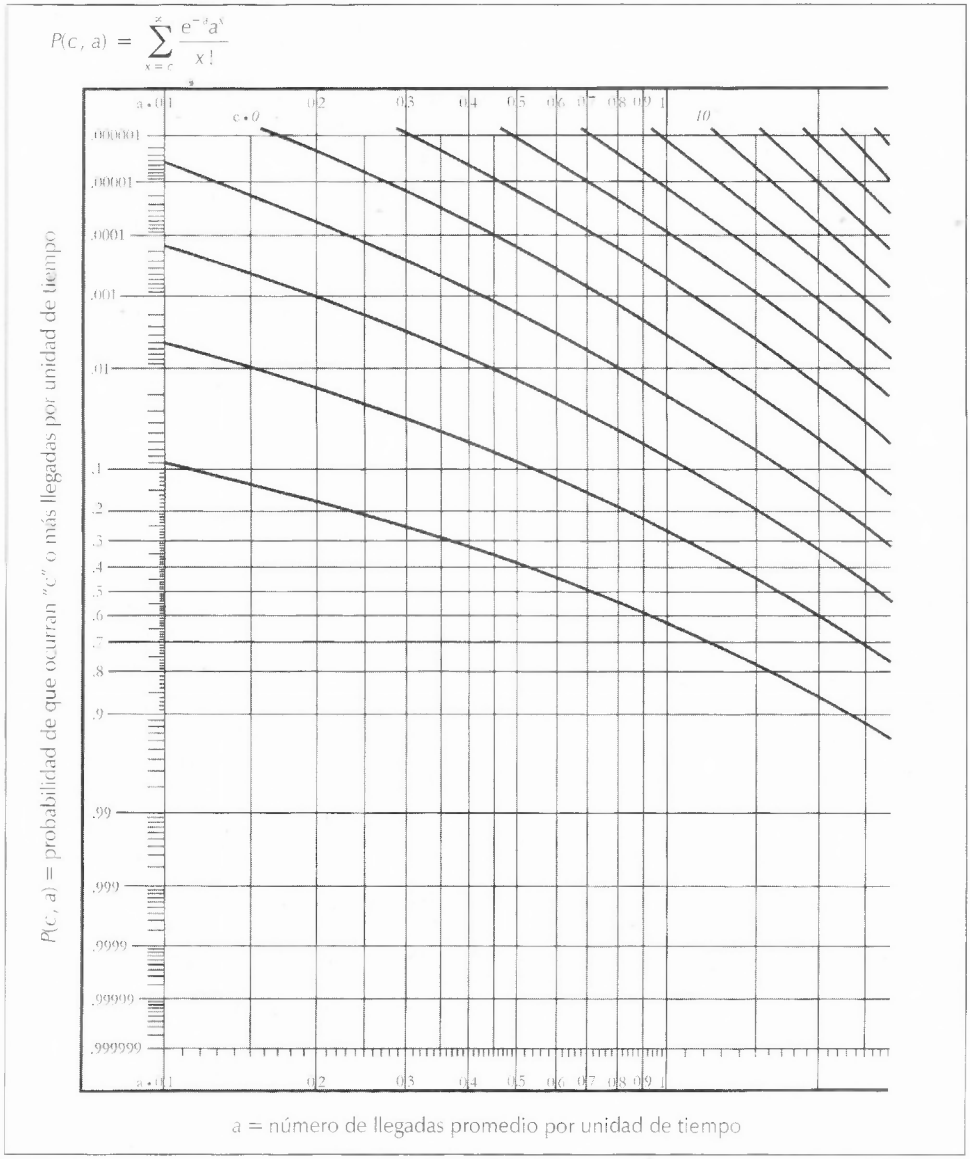


Figura 15–1 Distribución Poisson de llegadas

La distribución exponencial tiene media $\mu = 1/a$, y variancia $= 1/a^2$, y μ se puede reconocer como el tiempo medio entre llegadas. En algunos sistemas de colas, el número de servicios por unidad de tiempo puede seguir un patrón Poisson; los tiempos de servicio, por consiguiente, siguen una distribución exponencial. La figura 15–2 presenta la curva exponencial $F(x) = e^{-x}$, que muestra las probabilidades de exceder diferentes valores de un tiempo de servicio especificado.

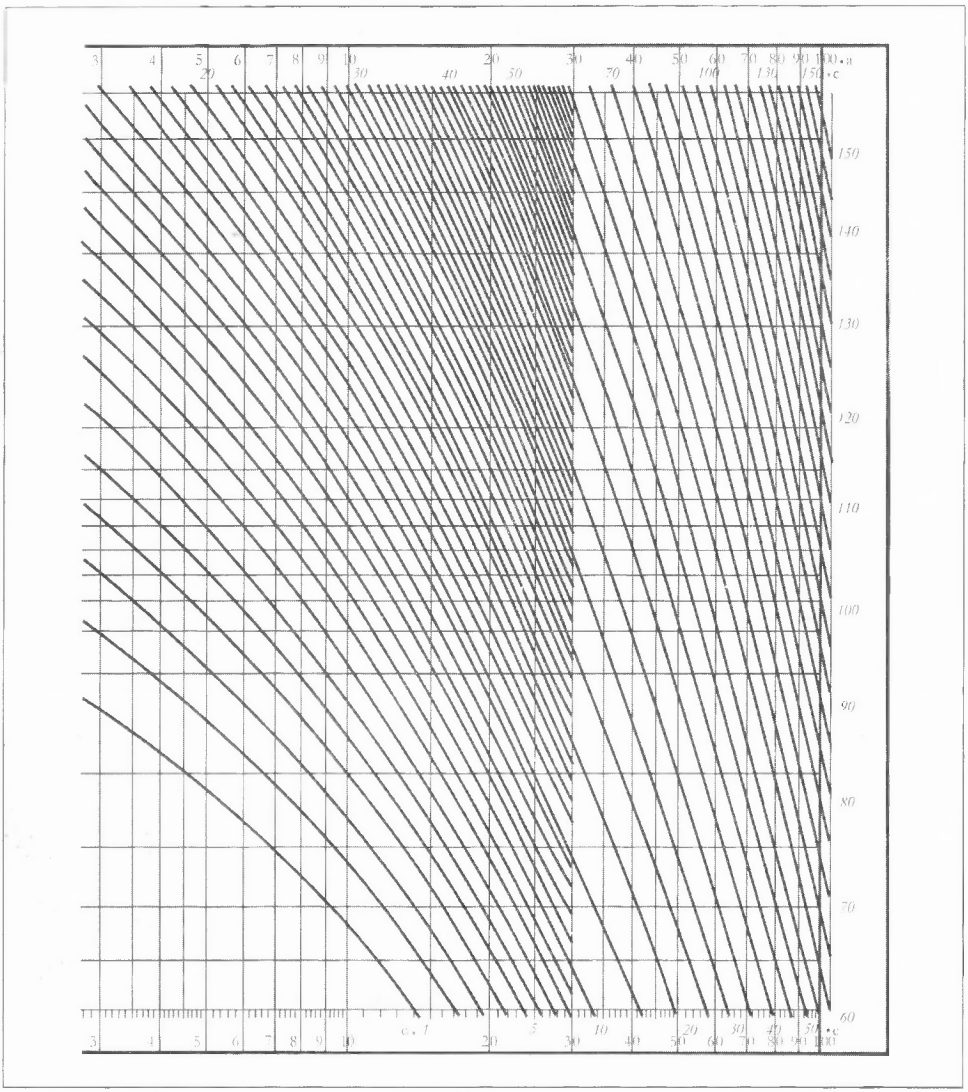
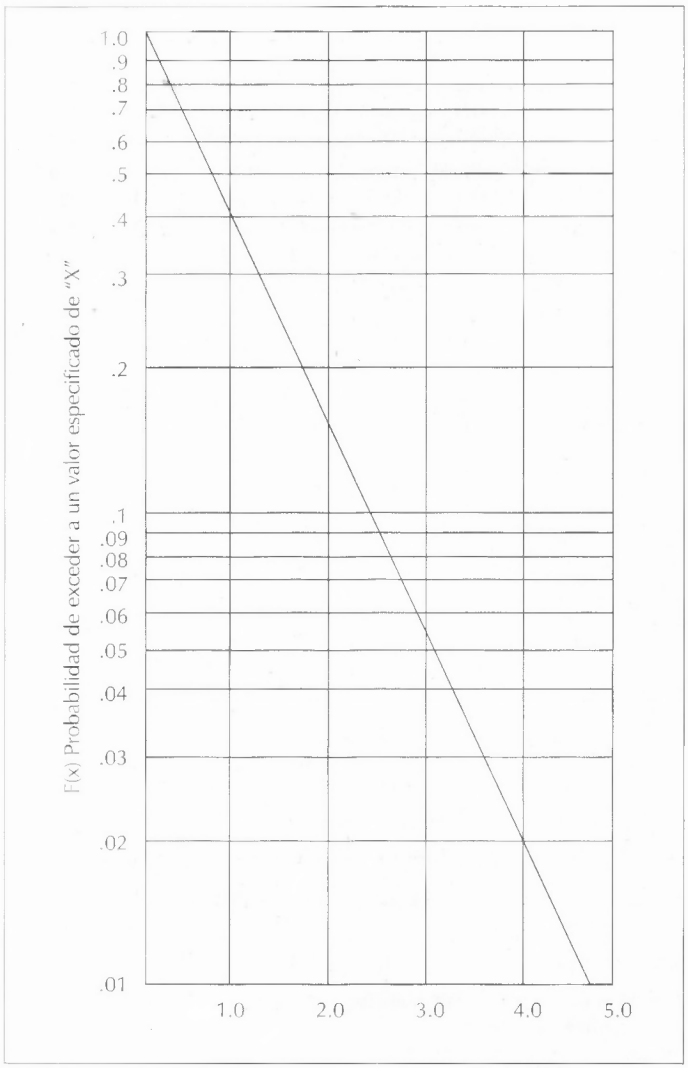


Figura 15–1 (*conclusión*)

Las ecuaciones básicas que gobiernan una cola que se aplica a llegadas y servicio Poisson, en orden de llegadas, se encuentran en una de estas cinco categorías:

1. Cualquier distribución de tiempos de servicio y un solo servidor
2. Tiempo de servicio exponencial y un solo servidor
3. Tiempo de servicio exponencial y un número finito de servidores
4. Tiempo de servicio constante y un solo servidor
5. Tiempo de servicio constante y un número finito de servidores.



Universidad de Occidente - Biblioteca Unidad Los Mochis

Figura 15-2 Distribución exponencial

Se han desarrollado ecuaciones para cada categoría. Estas ecuaciones proporcionan respuestas cuantitativas a problemas como el tiempo medio de demora en la línea de espera y el número promedio de llegadas a la cola.

Dos ejemplos demuestran la aplicación de teoría de colas. El primero (ejemplo 15–1) es la determinación de un estándar para un proceso de inspección. Se clasifica en la primera de las cinco categorías, un solo servidor con cualquier distribución de tiempos de servicio. El segundo (ejemplo 15–2) se aplica a las demoras en el depósito de herramientas y se clasifica en la segunda categoría, un servidor con tiempo de servicio exponencial. Muchos problemas industriales están en esta categoría.

EJEMPLO 15–1 Uso de teoría de colas para establecer un tiempo estándar de inspección

Un analista desea determinar un estándar para inspeccionar la dureza de las armaduras de motores grandes. El tiempo se compone de dos cantidades distintas: el tiempo que toma al inspector hacer sus observaciones y el tiempo que el operario debe esperar hasta que la siguiente armadura esté disponible para inspección. Deben aplicarse las siguientes suposiciones: 1) un solo servidor, 2) llegadas Poisson, 3) tiempos de servicio arbitrarios y 4) disciplina de servicio primero en entrar, primero en salir. Ésta es una situación que se ajusta a la primera categoría y se aplican las siguientes ecuaciones:

$$a)\ P>0 = u = \frac{ah}{s}$$

$$b)\ w = \left[\frac{uh}{2(1-u)}\right]\left[1+\left(\frac{\sigma}{h}\right)^2\right]$$

$$c)\ m = \frac{w}{P>0} = \frac{w}{u}$$

donde:

a = número promedio de llegadas por unidad de tiempo,

h = tiempo medio de servicio,

w = tiempo medio de espera para todas las llegadas,

m = tiempo medio de espera para llegadas demoradas,

n = número de llegadas presentes (en espera y en servicio) en cualquier momento dado,

s = número de servidores,

u = tasa de ocupación de los servidores $= \frac{ah}{s}$,

σ = desviación estándar del tiempo de servicio,

$P(n)$ = probabilidad de n llegadas presentes en cualquier tiempo aleatorio,

$P(\geq n)$ = probabilidad de al menos n llegadas presentes en cualquier tiempo aleatorio,

t = unidad de tiempo,

$P>t/h$ = probabilidad de un retraso mayor que t/h múltiplos del tiempo medio de espera,

$P(d>0)$ = probabilidad de cualquier demora (demora mayor que 0),

L = número promedio de individuos en espera entre todos los individuos.

Un estudio de tiempos con cronómetro establece un tiempo normal de 4.58 minutos por pieza para la prueba de dureza. La desviación estándar del tiempo de servicio es 0.82 minutos y se realizan 75 pruebas en una jornada de 8 horas. De estos datos se tiene:

$$s = 1$$

$$a = \frac{75}{480} = 0.156$$

$$h = 4.58$$

$$\sigma = 0.82$$

$$u = (0.156)(4.58) = 0.714$$

$$w = \left[\frac{(0.174)(4.58)}{2(1-0.714)}\right]\left[1+\left(\frac{0.82}{4.58}\right)^2\right]$$

$$= 5.95 \text{ minutos promedio de tiempo de espera de una llegada}$$

Así, el analista puede determinar un tiempo total de 4.58 + 5.95 = 10.53 minutos por armadura.

EJEMPLO 15–2 Uso de teoría de colas para establecer un tiempo estándar para el servicio en el depósito de herramientas

El servicio en el almacén de herramientas se puede modelar como un sistema de un servidor con llegadas Poisson y servicio exponencial. Las ecuaciones son:

$$a) \quad P>0 = u$$

$$b) \quad P>(t/h) = ue^{(u-1)(t/h)}$$

$$c) \quad P(n) = (1-u)(u)^n$$

$$d) \quad P(\geq n) = u^n$$

$$e) \quad w = \frac{h(P>0)}{(1-u)} = \frac{uh}{(1-u)}$$

$$f) \quad m = \frac{w}{(P>0)} = \frac{h}{(1-u)}$$

$$g) \quad L = \frac{m}{h} = \frac{1}{(1-u)}$$

Las llegadas al depósito de herramientas se consideran Poisson con un tiempo promedio de 7 minutos entre una llegada y la siguiente. El tiempo de servicio en la ventanilla del depósito tiene una distribución exponencial con media de 2.52 minutos determinada mediante un estudio de tiempos con cronómetro. El analista desea determinar la probabilidad de que una persona que llega al depósito tenga que esperar, y la longitud de las colas que se forman de vez en vez. Con esta información, el analista puede evaluar la conveniencia de abrir una segunda ventanilla de atención.

$a = 0.14$ número promedio de llegadas por minuto

$h = 2.52$ minutos promedio de servicio

$s = 1$ servidor

$P > 0 = u$

$u = \frac{ah}{s} = 0.35$, probabilidad de que una llegada tenga que esperar

$L = \frac{1}{(1-u)} = 1.52$, longitud promedio de la cola que se forma.

SIMULACIÓN MONTECARLO

El método de simulación usado para resolver problemas de teoría de colas no emplea modelos matemáticos formales. Tales modelos pueden ser demasiado complejos o quizá los sistemas tengan características únicas que no se ajustan a los modelos matemáticos existentes. En la simulación, una serie de declaraciones numéricas crea un modelo del sistema de colas. El analista introduce un conjunto muestra de valores de entrada tomados de distribuciones de llegadas y tiempos de servicio especificadas. Estos datos de entrada generan una distribución muestra de salida de los resultados de la cola para el periodo.

Una simulación Monte Carlo estima el tiempo de espera esperado y los tiempos esperados de servicio y desarrolla una solución óptima mediante el equilibrio adecuado de estaciones de servicio, tasas de servicio y tasas de llegadas. Esta técnica es muy útil para analizar los problemas de colas que se forman en lugares centralizados o descentralizados de almacenamiento de herramientas, suministros e instalaciones de servicio.

La técnica de simulación Monte Carlo también se aplica a problemas con un patrón de llegadas Poisson. Sin embargo por lo común se usa en casos para los que no es posible obtener fórmulas estándar o empíricas. El ejemplo 15–3 muestra el uso de la técnica para determinar el número mínimo de operarios necesario para preparar máquinas en una sección de taladros automáticos.

EJEMPLO 15–3 Uso de simulación Monte Carlo para determinar el número óptimo de operarios

Por el momento, tres operarios dan servicio a 15 máquinas. El costo de tmano de obra es $12.00 por hora, mientras que el de la máquina es $48.00 por hora. Un análisis de registros históricos revela las siguientes distribuciones de probabilidad para interrupciones por hora del trabajo y el tiempo requerido para dar servicio a una máquina.

Interrupciones del trabajo por hora	Probabilidad
0	0.108
1	0.193
2	0.361
3	0.186
4	0.082
5	0.040
6	0.018
7	0.009
8	0.003
	1.000

Horas para poner la máquina en operación	Probabilidad
0.100	0.111
0.200	0.254
0.300	0.009
0.400	0.007
0.500	0.005
0.600	0.008
0.700	0.105
0.800	0.122
0.900	0.170
1.000	0.131
1.100	0.075
1.200	0.003
	1.000

El tiempo requerido para poner una máquina en operación tiene una distribución bimodal y no se ajusta a ninguna distribución estándar. El analista asigna bloques aleatorios

de números de tres dígitos (000 a 999), en proporción directa a las probabilidades asociadas con los datos de las tasas de llegada y de servicio, para simular el comportamiento esperado en la sección de máquinas durante un periodo. También toma ocho observaciones aleatorias para simular las detenciones del trabajo durante un día de actividad (8 horas de trabajo) en la planta. Estos ocho números aleatorios conducen a lo siguiente:

Hora	Número aleatorio	Interrupciones de trabajo
1	221	1
2	193	1
3	167	1
4	784	3
5	032	0
6	932	5
7	787	3
8	236	1
9	153	1
10	587	2
11	573	2

Para estimar el tiempo requerido para poner una máquina en operación una vez que hay una interrupción, el analista selecciona un conjunto de números aleatorios distinto como datos para cada interrupción.

Hora	Número aleatorio	Horas para poner la máquina en operación
1	341	0.200
2	112	0.200
3	273	0.200
4	106	0.100
5	597	0.800
6	337	0.200
7	871	1.000
8	728	0.900
9	739	0.900
10	799	1.000
11	202	0.200
12	854	1.000
13	599	0.800
14	726	0.900
15	880	1.000

La tabla 15–1 muestra el tiempo de interrupción pronosticado debido a una cantidad de operarios insuficiente, según los resultados indicados para 8 horas de operación en el departamento de máquinas automáticas.

El modelo simulado indica 2.8 horas de interrupciones de máquinas cada día, debidas a la falta de operarios. A una tasa de máquina de $48 por hora, esto se convierte en un costo diario de $2.8 \times 48 = \$134.40$. Como un cuarto operario sólo tiene un costo diario adicional de mano de obra directa de $8 \times 12 = \$96$, parecería que tres trabajadores no son el óptimo económico para el servicio de la operación.

Tabla 15–1 Resultados de la simulación Monte Carlo de interrupciones de máquinas

Hora	Número aleatorio	Interrupciones de trabajo	Número aleatorio	Horas para poner la máquina en operación	Operarios disponibles para las siguientes interrupciones de trabajo	Tiempo muerto en horas por falta de operarios para servicio
1	221	1	341	0.200	2	
2	193	1	112	0.200	2	
3	167	1	273	0.200	2	
4	784	3	106	0.100	2	
			597	0.800	1	
			337	0.200	0	
5	032	0	—	—	3	
6	932	5	871	1.000	2	
			728	0.900	1	
			739	0.900	0	
			799	1.000	0	0.9
			202	0.200	0	0.9
7	787	3	854	1.000	0	
			599	0.800	0	0.9
			726	0.900	0	0.1
8	236	1	880	1.000	1	
9	153	1	495	0.700	2	
10	587	2	128	0.200	2	
			794	1.000	1	
					Total	2.8

Sin embargo, observe que ocho números aleatorios es una simulación muy corta y puede llevar a resultados incorrectos. Con un mayor número, la oportunidad de converger a una solución óptima será mayor. De hecho, con 80 números aleatorios, la situación actual de tres trabajadores que dan servicio a 15 máquinas automáticas parece ser la solución óptima, ya que sólo se pierden 19.6 horas (en lugar de las 28 extrapoladas) en el curso de las 80 horas de operación.

ESTÁNDARES GENERALES

Cada vez más, la administración reconoce su responsabilidad en la determinación precisa de la fuerza de trabajo adecuada en las oficinas para un volumen dado de trabajo. A fin de controlar la nómina administrativa, deben desarrollarse tiempos estándar, pues es la única medida confiable para evaluar el tamaño de una tarea.

Igual que para otras tareas, el análisis de métodos debe preceder a la medición del trabajo en todas las operaciones generales. La gráfica de flujo del proceso es ideal para presentar los hechos del método actual, lo que permite revisarlo con un sentido crítico. El analista usa los enfoques primordiales del análisis de operaciones, después toma en cuenta factores como el propósito de la operación, el diseño de formas, la distribución

de la oficina, la eliminación de las demoras causadas por mala planeación y programación y lo adecuado del equipo existente.

Una vez terminado el programa de métodos exhaustivo, puede iniciar el desarrollo de estándares. Muchos trabajos de oficina son repetitivos y, en consecuencia, no es muy difícil establecer estándares justos. Los centros de procesamiento de palabras, los grupos de facturación, los ayudantes de archivo y los operarios de las copiadoras son grupos representativos que se prestan gustosos a los métodos de medición del trabajo con cronómetro, de datos de estándares y técnicas de datos de movimientos básicos.

Al estudiar el trabajo de oficina, los analistas deben tener cuidado de identificar los puntos terminales de los elementos para poder establecer datos de estándares para obtener los costos de trabajos futuros. Por ejemplo, en el mecanografiado de órdenes de producción ocurren los siguientes elementos para cada página de mecanografía:

1. Tomar la orden de producción de una pila y colocarla en la máquina de escribir.
2. Tomar la forma de donde se copia y colocarla en el atril.
3. Leer instrucciones de orden de producto
4. Mecanografiar título de la orden:
   a. Fecha
   b. Número de piezas
   c. Material
   d. Departamento.

Una vez que los analistas han desarrollado datos de estándares para los elementos más comunes usados en una oficina, calculan los estándares de tiempo de manera rápida y económica. Por supuesto, muchos puestos de apoyo comprenden una serie de actividades diversas que no es sencillo medir. Ese tipo de trabajo no está constituido por una serie de ciclos estándar que se repiten de manera continua; en consecuencia, es más difícil medir el trabajo que en las operaciones de mano de obra directa. Debido a esta característica de algunas rutinas de oficina, es necesario realizar muchos estudios de tiempos; cada uno puede ser un ciclo de duración. Entonces, al calcular todos los estudios tomados, se puede desarrollar un estándar para las condiciones promedio o típicas. Por ejemplo, es posible calcular el tiempo estándar basado en una página de mecanografía. Es evidente que algunas páginas técnicas que requieren símbolos, raíces, fracciones, fórmulas y otros caracteres especiales o espaciamiento tomarán mucho más tiempo que las páginas de rutina. Pero si las páginas técnicas no son representativas de las condiciones promedio, el resultado no es una influencia injusta en el desempeño del operario durante un periodo; las páginas estándar más cortas y sencillas equilibran el tiempo adicional que necesitó para mecanografiar documentos complejos.

En general, no es práctico establecer estándares para puestos de oficina que requieren pensamiento creativo. Trabajos como diseño de herramientas o productos deben ser considerados con cuidado antes de intentar establecer tiempos estándar para ellos. En caso de que se establezcan, deben usarse para programación, control o presupuestación, no para el pago de salarios o incentivos. Presionar a este tipo de empleados retrasa la creatividad, de manera que el resultado puede ser diseños inferiores que en última instancia serán más costosos para el negocio que la cantidad ahorrada mediante el incremento en la productividad del diseñador.

ESTÁNDARES DE SUPERVISIÓN

Es posible establecer estándares para el trabajo de supervisión (ejemplo 15–4). La técnica de muestreo del trabajo es adecuada, en especial, para determinar cargas de supervisión equitativas y para mantener un balance apropiado entre los supervisores, las instalaciones, los empleados de apoyo y la mano de obra directa. Los observadores pueden obtener la misma información mediante estudios de tiempos de todo el día, pero el costo de datos confiables llega a ser prohibitivo. Los estándares de supervisión se pueden expresar en horas efectivas de operación de máquina o en alguna otra medida.

EJEMPLO 15–4 Establecimiento de estándares de supervisión

Un estudio realizado para un fabricante de tubos de vacío reveló que se requerían 0.223 horas de supervisión por máquina en operación en cierto departamento (vea la figura 15-3). El estudio de muestreo del trabajo mostró que de 616 observaciones, el supervisor trabajaba con las máquinas de rejillas, en la inspección de rejillas, en trabajo de escritorio, en el suministro de material, caminando o en actividades clasificadas como suplementos varios, un total de 519 veces. Convertida en horas prorrateadas, esta cifra da 518 horas indirectas requeridas para 2461 horas de operación de las máquinas. Al agregar 6% de suplemento personal, el analista calculó un estándar de 0.223 horas de supervisión por hora-máquina de operación.

ESTÁNDAR PARA TRABAJO INDIRECTO

TRABAJO Supervisión DEPTO. rejilla FECHA 16-04-02

Centro de costos	Número de observaciones	Porcentaje de observaciones	Horas prorrateadas	Horas base indirectas	Horas efect. maq. operando (HEMO)	Horas de trabajo directo		Horas base indirectas / hora de máqina operando (incluye 6% supl. personal)
Máquinas de rejillas	129	21	130	130	2 461			0.223
Inspecc. de rejillas	161	26	160	160				
Trab. de escritorio	54	9	56	56				
Suministro de material	18	3	18	18				
Tolerancias div.	150	24	148	148				
Caminar	7	1	6	6				
Salir del depto.	11	2	12					
Tiempo inactivo	86	14	86					
Total	616	100	616	518	2 461			0.223

Figura 15–3 Resumen del trabajo de supervisión

$$\frac{518}{2\,461} \times 1.06 = 0.223$$

Entonces, en un departamento que opera 192 horas-máquina a la semana, la eficiencia de un supervisor sería:

$$\frac{192 \times 0.223}{40(\text{horas / semana})} = 107\%$$

DATOS DE ESTÁNDARES DE MANO DE OBRA INDIRECTA Y GENERAL

FUNDAMENTOS

Es factible desarrollar datos para establecer estándares sobre la operación de mano de obra indirecta y general. En vista de la diversificación de las operaciones de mano de obra indirecta, los datos de estándares son quizá la técnica más adecuada para tareas de oficina, mantenimiento y otros, que para las operaciones de producción estandarizadas.

Conforme calcula los tiempos estándar, el analista debe tabular los elementos y sus respectivos tiempos asignados, para referencia futura. Al formar un inventario de datos de estándares, el costo de desarrollarlos baja en forma proporcional. Por ejemplo, los datos de estándares tabulados para las operaciones con un montacargas se basan en seis elementos distintos: viaje, parar, elevar el cargador, bajar el cargador y los elementos manuales requeridos para operarlo. Una vez acumulados los datos de estándares para cada elemento, en el intervalo requerido, se puede determinar el tiempo estándar necesario para cualquier operación con el montacargas si se suman los elementos que intervienen. De manera similar, es sencillo establecer los datos de estándares para los elementos del trabajo de intendencia como barrer, encerar y pulir pisos, secar el trapeador, mojar el trapeador, aspirar alfombras o limpiar, quitar el polvo y trapear el pasillo.

El trabajo de mantenimiento "inspeccionar siete puertas contra incendio en una planta y hacer ajustes menores" se puede estimar de los datos de estándares. Por ejemplo, la Marina de Estados Unidos desarrolló los siguientes estándares:

Operación	Tiempo unitario (horas)	Número de unidades	Tiempo total (horas)
Inspección de puerta contra incendios tipo cortina metálica enrollable (cadena manual, manivela o motor eléctrico) con eslabón fusible. Incluye ajuste menor	0.170	7	1.190
Caminar 100 pies (30 m) entre cada puerta, con obstáculos	0.00009	600	0.054
			1.24

El tiempo del dato estándar de 0.00009 horas por pie de caminata con obstáculos se estableció a partir de los datos de tiempos de movimientos fundamentales y el tiempo de inspección de 0.170 horas por puerta contra incendios se estableció a partir de un estudio de tiempos con cronómetro.

Varios fabricantes de equipo de manejo de materiales han realizado estudios detallados de su producto y proporcionan datos de estándares que se aplican a su equipo al comprarlo. Esta información ahorra a los analistas muchas horas de desarrollo de tiempos estándar en el manejo de materiales.

ESTÁNDARES DE MANO DE OBRA INDIRECTA UNIVERSALES (UILS — *Universal Indirect Labor Standards*)

Cuando el mantenimiento y otras operaciones indirectas son numerosas y diversas, se ha intentado reducir el número de estándares de tiempo para las operaciones indirectas, mediante el uso de los estándares de mano de obra indirecta universales. El principio en el que se basan los estándares universales es la asignación de una proporción importante de operaciones indirectas (tal vez hasta 90%) a los grupos adecuados. Cada uno tiene su propio estándar, que es el promedio de todas las operaciones indirectas asignadas al grupo. Por ejemplo, el grupo A puede incluir: reemplazo de unión defectuosa, reparación de puerta (reemplazo de bisagras), reemplazo de interruptor y reemplazo de dos secciones (14 pies) de tubería de 1 pulgada. El tiempo estándar para una operación indirecta realizada en el grupo A puede ser 48 minutos. Este tiempo representa la media (x) de todos los trabajos comprendidos en el grupo y la dispersión de los trabajos dentro del grupo para $\pm 2\sigma$ es algún porcentaje predeterminado de $\bar{x}$ (quizá $\pm 10\%$).

Los tres pasos principales al introducir un sistema de mano de obra indirecta universal, expresado como *dividir en conjuntos*, son:

1. Determinar el número de estándares (grupos o conjuntos) para realizar un trabajo satisfactorio. (Deben usarse veinte conjuntos si el tiempo sobrepasa las 40 horas.)
2. Determinar el estándar numérico representativo de cada grupo de operaciones contenido en cada conjunto.
3. Asignar el estándar al conjunto adecuado de trabajo indirecto cuando ocurre.

El paso inicial es determinar buenos estándares comparativos, basado en la medición de una muestra adecuada de trabajo indirecto para la que se desarrolla el sistema UILS. Éste es el paso más tardado y costoso en el proceso. El analista debe establecer un número relativamente grande de estándares (200 o más) representativos de toda la población de mano de obra indirecta. Los analistas competentes pueden desarrollar estos estándares comparativos medidos usando métodos probados de ingeniería industrial, que incluyen el estudio de tiempos con cronómetro, los datos de estándares, los datos de movimientos fundamentales y el muestreo del trabajo.

Una vez establecidos, los estándares comparativos se arreglan en secuencia numérica. Entonces, si se supone que se tienen 200 estándares comparativos, el más corto estaría en primer lugar de la lista, después el segundo más corto, etcétera, hasta terminar con el más largo. Si hay 20 conjuntos y se usa una distribución uniforme, el tiempo estándar del primer conjunto (UILS 1) se obtiene calculando la media de los primeros 10 estándares comparativos. De manera similar, el valor de UILS 2 es la media de los estándares comparativos 11 a 20. El último, UILS 20, sería igual al promedio de los estándares comparativos 191 a 200. Los ingenieros han usado mucho este procedimiento en el desarrollo de los UILS.

Se obtienen UILS más confiables si se usa la distribución normal en lugar de la uniforme. Para 20 conjuntos, los 200 estándares no se asignarían como 10 por conjunto. En su lugar, la variable normal estándar se divide en 20 intervalos iguales (esto se puede hacer si se truncan las dos colas). Por ejemplo, la variable normal estándar podría tener un intervalo truncado de

$$-3.0 \leq z \leq +3.0$$

que incluye 99.87% del área bajo la curva. Cada intervalo sería de 0.3. Los estándares comparativos usados en el cálculo de la media de cada uno de los 20 conjuntos (intervalos) sería igual a:

$$P(z \in \text{intervalo})(200)/0.9987$$

Los números de conjuntos 1 a 20 (por la simetría) tendrían:

$$\frac{P(-3.0 \geq z \leq -2.7)}{0.9987} = \frac{P(2.7 \leq z \leq 3.0)(200)}{0.9987}$$

$$= \frac{(0.9987 - 0.9965)(200)}{0.9987} = 0.4406 \text{ estándares}$$

y los números de conjuntos 10 y 11 tendrían

$$\frac{P(-0.3 \geq z 0.0)(200)}{0.9987} = \frac{P(0.0 \leq z 0.3)(200)}{0.9987}$$

$$= \frac{(0.6179 - 0.5000)(200)}{0.9987} = 23.61 \text{ estándares}$$

Debe redondearse la fracción puesto que los 200 trabajos han de asignarse a un conjunto. El tiempo estándar universal para cada conjunto es el promedio de los estándares comparativos asignados al conjunto.

Al estudiar la fabricación de una parte nueva, los analistas pueden ajustar las tareas a las categorías que contienen tareas similares y con estándares establecidos. Aunque la distribución normal es superior a la uniforme, quizá una distribución sesgada sea mucho mejor que la normal a la luz de los datos graficados (figura 15–4).

La distribución gama es una distribución con sesgo positivo con función de densidad de probabilidad dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \dfrac{1}{\beta^2 \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} & \text{para } x, \alpha, \beta > 0 \\ 0 \end{cases}$$

donde $\Gamma(\alpha)$ es un valor de la función gama dado por

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

$$= (\alpha - 1)\Gamma(\alpha - 1)$$

El sesgo de la distribución gama disminuye cuando α aumenta para un valor fijo de β.

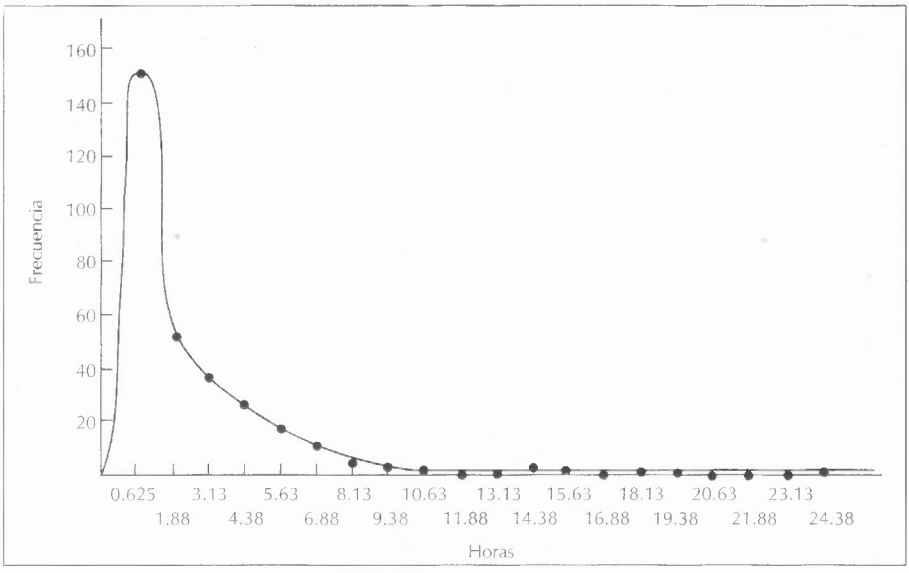


Figura 15–4 Distribución de 20 UILS que varían en tiempo desde 0.625 hasta 24.38 horas.

La media y la variancia de la distribución son:

$$\mu = \alpha\beta$$
$$\sigma^2 = \alpha\beta^2$$

Para un conjunto dado de datos estimados para α y β, $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$ se determinan primero obteniendo la media y la variancia de los datos y después calculando las estimaciones:

$$\hat{\alpha} = \mu^2/\sigma^2$$
$$\hat{\beta} = \mu/\hat{\alpha}$$

Para determinar la exactitud relativa de las técnicas de las distribuciones uniforme, normal y gama, los analistas usaron 270 estándares de mantenimiento desarrollados por la Marina de Estados Unidos como estándares comparativos. Dividieron éstos en 20 conjuntos usando los tres enfoques. La distribución gama y las frecuencias esperadas para los 20 conjuntos se muestran en la tabla 15–2.

Para comparar los resultados de las tres técnicas, se realizó una simulación. Para cada 25 semanas, los analistas seleccionaron tareas al azar hasta que la suma de los tiempos estándar reales excedió y fue igual a 40 horas. Después determinaron el estándar de mantenimiento universal para cada tarea y calcularon la suma semanal. Supusieron que cada tarea estaba asignada al conjunto adecuado.

Se calculó un error para cada semana como sigue:

$$\left| \frac{\text{tiempo estándar real} - \text{tiempo estándar universal}}{\text{tiempo estándar real}} \right| \times 100\%$$

Tabla 15–2 Probabilidades según la distribución gama y frecuencias esperadas para los 20 conjuntos o grupos

Conjunto (horas)	Probabilidades acumuladas	Probabilidades	Frecuencia real	Frecuencia esperada
0.0 - 1.25	0.5404	0.5405	150	145.94
1.26- 2.50	0.7146	0.1741	50	47.00
2.51- 3.75	0.8108	0.0962	29	25.97
3.76- 5.00	0.8698	0.0590	13	15.93
5.01- 6.25	0.9077	0.0379	11	10.23
6.26- 7.50	0.9327	0.0250	6	6.75
7.51- 8.75	0.9495	0.0168	2	4.54
8.76- 10.00	0.9610	0.0115	2	3.11
10.01-11.25	0.9688	0.0078	2	2.11
11.26-12.50	0.9743	0.0055	0	1.49
12.51-13.75	0.9780	0.0037	0	1.00
13.76- 15.00	0.9807	0.0027	2	0.73
15.01-16.25	0.9825	0.0018	1	0.49
16.26-17.50	0.9838	0.0013	0	0.35
17.51-18.75	0.9847	0.0009	1	0.24
18.76-20.00	0.9854	0.0007	0	0.19
20.01-21.25	0.9859	0.0005	0	0.13
21.26-22.50	0.9862	0.0003	0	0.08
22.51-23.75	0.9864	0.0002	0	0.05
23.76-25.00	0.9866	0.0002	1	0.05
25.01-*x*	1.0000	0.0134	0	3.62
Total			270	270.00

Los resultados de la simulación para las distribuciones uniforme, normal y gama se dan en la tabla 15–3. Este estudio confirmó que la distribución gama ofrece ciertas mejoras en comparación con la normal, y que la normal da mejores resultados que la uniforme.

Aumentar el periodo de pago de una semana (40 horas) a dos (80 horas) reducirá de manera notoria el error acumulado por periodo. La magnitud del error también disminuirá si el número de grupos (conjuntos) aumenta.

El UILS ofrece una oportunidad de introducir estándares para la mayoría de las operaciones indirectas a un costo moderado y minimiza el costo de mantener un sistema de estándares indirectos.

ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO PROFESIONAL

El costo de los profesionales es una proporción considerable del presupuesto total de gastos. En muchas operaciones de negocios y manufactura los salarios profesionales de empleados en ingeniería, contabilidad, compras, ventas y administración general representan una parte significativa del costo total. Si la productividad de estos empleados se puede mejorar aunque sea en un pequeño porcentaje, el impacto global en el negocio de la firma es cuantioso. Establecer estándares para los empleados profesionales y usarlos como metas a lograr, mejorará la productividad de manera inevitable.

Tabla 15–3 Resultados de la simulación de 25 semanas

Semana número	Porcentaje de error absoluto		
	Uniforme	Normal	Gama
1	5.97	7.18	2.57
2	16.01	6.93	0.27
3	8.49	6.42	5.74
4	10.94	4.03	3.32
5	25.78	1.67	1.85
6	2.61	0.47	5.25
7	4.79	6.08	3.90
8	0.88	3.37	3.21
9	4.51	5.34	5.36
10	0.05	6.45	3.07
11	30.78	0.32	1.79
12	21.93	1.75	0.64
13	8.23	4.24	1.62
14	6.67	7.55	5.59
15	2.37	2.37	1.53
16	0.06	0.87	1.24
17	12.53	2.88	1.79
18	3.73	5.21	5.86
19	6.85	1.52	5.35
20	11.50	2.29	0.58
21	20.18	2.48	0.05
22	6.44	8.31	0.92
23	3.46	6.72	5.11
24	2.96	0.45	3.09
25	11.74	1.01	1.13
Media	9.18	3.84	2.83
Variancia	151.78	21.62	11.34
Desv. estándar	12.32	4.65	3.37

Las dificultades para desarrollar estándares profesionales son, primero, determinar qué contar y, segundo, determinar el método para contar las salidas. Al determinar qué contar, el analista puede comenzar por establecer los objetivos de los puestos de los profesionales. Por ejemplo, los compradores en el departamento de compras tienen el siguiente objetivo: "procurar componentes y materias primas de calidad al menor precio, a tiempo para cumplir con la producción de la compañía y los programas de entrega". Para que sea efectiva, al contar la producción de los compradores deben considerarse cinco aspectos: 1) proporción de entregas realizadas a tiempo; 2) proporción de entregas que cumplen o exceden los requerimientos de calidad; 3) proporción de envíos que representan el menor precio disponible; 4) número de órdenes colocadas durante cierto periodo, como un mes, y 5) valor total en dólares de las compras hechas durante el periodo.

El siguiente problema es establecer metas alcanzables. En situaciones de este tipo, el uso de registros históricos, complementados con análisis de muestreo del trabajo, para determinar cómo se usa el tiempo, puede servir como base del desarrollo de estándares profesionales.

De nuevo, en el ejemplo de establecer estándares de compras, no sería difícil identificar las compras hechas por los distintos compradores y revisar qué proporción de las órdenes se entregó a tiempo en un periodo de seis meses. Es posible que el estudio de datos históricos revele algo análogo a lo siguiente:

Comprador	Proporción de pedidos entregados a tiempo o antes del programa (porcentaje)
A	70
B	82
C	75
D	50
E	80

Con base en estos registros, los compradores hábiles deben poder procurar al menos 72% de sus compras a tiempo (media del desempeño).

De manera similar, una revisión de la calidad de las compras hechas por cinco compradores puede presentar lo siguiente:

Comprador	Proporción de pedidos entregados con menos de 5% de rechazo (porcentaje)
A	85
B	90
C	80
D	95
E	80

En este caso, el estándar de calidad sería que 86% de las órdenes recibidas tiene menos de 5% de rechazo (media del desempeño anterior de los cinco compradores).

Para la proporción de compras al menor precio disponible, de nuevo los registros históricos pueden proporcionar una comparación del desempeño de los cinco compradores. Suponga que se tienen los siguientes registros:

Comprador	Proporción de pedidos con el menor precio (porcentaje)
A	45
B	50
C	60
D	47
E	40

El promedio de estos valores, 48.4% de las órdenes colocadas al menor precio disponible, se puede usar como desempeño normal.

Los registros históricos también pueden indicar, en promedio, que un comprador colocó 120 órdenes por mes, con un valor monetario total de $120 840.

Estos cinco criterios se pueden usar para desarrollar un desempeño global estándar: entrega, calidad, precio, número de órdenes y valor de la orden. Por ejemplo, un método

suma las medias de los primeros tres criterios (0.72 + 0.86 + 0.484), más 0.002 veces la media de las órdenes colocadas, más 0.000001 veces el promedio del valor monetario de las compras. Entonces, el estándar de compras en esta operación ficticia sería:

$$0.72 + 0.86 + 0.484 + 0.24 + 0.12 = 2.424$$

Otro ejemplo puede ayudar a aclarar cómo desarrollar estándares de desempeño para el personal administrativo. Considere un puesto de director de personal. Un analista puede sugerir cuatro objetivos específicos para este puesto:

1. Establecer una metodología para identificar la cantidad y la calidad de los recursos humanos de la compañía.
2. Establecer un procedimiento para atraer, contratar y retener los tipos y números de empleados requeridos para la operación exitosa de la compañía.
3. Establecer políticas, programas y prácticas que faciliten el logro de los objetivos departamentales y mantener un buen nivel emocional en los empleados.
4. Administrar y mantener el programa de prestaciones de la compañía.

Una vez establecidos los objetivos, es bastante sencillo desarrollar un estándar de desempeño en términos de tiempo. Por ejemplo, el estándar para el objetivo 1 puede ser: "durante los siguientes tres meses, capacitar representantes del personal en auditorías del personal de la compañía, para determinar las necesidades proyectadas desde el punto de vista de números y tipo".

El desempeño estándar para el objetivo 2 podría ser: "en los siguientes 12 meses contratar a) dos doctores en química, b) 7 ingenieros industriales y/o mecánicos con grado de maestría y c) 35 graduados de licenciatura con una distribución de 10 en administración, 20 en ingeniería y 5 en artes. Contratar (según la rotación de personal y la expansión prevista) 75 empleados por horas. Investigar la tasa de rotación de los empleados profesionales durante el año anterior y preparar un informe que muestre cómo se puede reducir esa rotación".

Para el objetivo 3, el estándar de desempeño puede ser el siguiente: "en los tres meses siguientes, actualizar el manual de administración y el programa administrativo de salarios. En los seis meses siguientes, desarrollar y distribuir un folleto para todos los empleados por horas con la descripción del nuevo procedimiento de conciliación establecido en el nuevo contrato laboral. El folleto debe explicar la importancia de reducir el número de demandas y también cómo lograr esto".

El estándar de desempeño para el objetivo 4 podría ser: "en los 12 meses siguientes, revisar el programa completo de prestaciones de la compañía y compararlo con el de compañías de tamaño similar en el área. Hacer las recomendaciones adecuadas a la administración".

Estos objetivos identifican los estándares de desempeño para periodos finitos. Los estándares pueden cambiar con el tiempo, ya que cada uno se basa en los resultados. Los estándares establecidos para periodos sucesivos pueden incluir tareas distintas asignadas para cumplir los objetivos establecidos.

Al establecer estándares de desempeño profesional, los profesionales deben ayudar a identificar los objetivos de cada puesto, reunir los registros históricos de desempeño y desarrollar los estándares. Los estándares de desempeño desarrollados sin la participación completa de los profesionales rara vez son realistas.

Al reunir datos históricos para facilitar el desarrollo de estándares profesionales, el analista debe realizar un estudio de muestreo del trabajo durante el periodo que sirve como base para los registros de datos históricos. Este estudio puede revelar cuánto tiempo de trabajo se dedica a las distintas rutinas diarias necesarias, o a las tareas asignadas que se puedan manejar mejor con empleados de apoyo o semiprofesionales. También puede revelar cuánto tiempo se pierde en el sentido literal. Después de revisar el estudio de muestreo del trabajo, el analista puede calificar el desempeño con el promedio de los datos reunidos en el periodo histórico, para obtener un estándar más representativo de la experiencia profesional normal.

En el desarrollo de estándares profesionales deben observarse los siguientes puntos:

1. Cada administrador debe participar en el establecimiento de estándares para sus subordinados profesionales. Los estándares profesionales deben desarrollarse en conjunto con los empleados y sus supervisores.
2. Los estándares deben basarse en resultados y, al establecerlos, deben incluir las referencias a las mediciones.
3. Los estándares deben ser realistas en cuanto a que, al menos la mitad del grupo respectivo pueda lograrlos.
4. Los estándares se deben auditar y revisar periódicamente si es necesario.
5. Es útil hacer un muestreo del trabajo de los administradores para asegurar que tienen la ayuda administrativa adecuada y que usan su tiempo con buen juicio.

VENTAJAS DE LOS ESTÁNDARES DEL TRABAJO INDIRECTO

Los estándares del trabajo indirecto ofrecen varias ventajas tanto para el empleado como para el empleador. Algunas de ellas son:

1. La instalación de estándares conduce a muchas mejoras operativas.
2. El simple hecho de establecerlos mejora el desempeño.
3. Los costos de mano de obra indirecta se relacionan con la carga de trabajo, sin importar las fluctuaciones de la carga global de trabajo.
4. Se pueden presupuestar las cargas de trabajo.
5. Es posible determinar la eficiencia de los departamentos con trabajo indirecto.
6. Se asignan los costos de aspectos como reparaciones específicas, informes y documentos. Con frecuencia el resultado es la eliminación de procedimientos e informes innecesarios.
7. Se pueden evaluar las mejoras al sistema antes de implantarlas. Así, es posible evitar errores costosos eligiendo el procedimiento correcto.

8. Es posible implantar planes salariales de incentivos para el trabajo indirecto, permitiendo a los empleados aumentar sus ingresos.
9. La planeación y programación cuidadosas del trabajo indirecto, con el tiempo, hace que los trabajos se realicen oportunamente.
10. Los empleados requieren menos supervisión, pues el programa de estándares tiende a autorreforzarse. Los empleados que saben qué deben hacer no pierden tiempo de manera arbitraria.

RESUMEN

Es más difícil estudiar y determinar tiempos estándar representativos para las tareas no repetitivas, características de la mayor parte del trabajo indirecto, que para las tareas repetitivas. Como las operaciones de mano de obra indirecta son difíciles de estandarizar y estudiar, rara vez se someten a un análisis de métodos. En consecuencia, esta área ofrece un gran potencial para reducir costos y aumentar las ganancias mediante los métodos y los estudios de tiempos.

Una vez introducidos los métodos correctos y capacitados los operarios, es posible y práctico establecer de inmediato estándares para las operaciones de mano de obra indirecta. El procedimiento usual es tomar una muestra de tamaño suficiente para un estudio de tiempos con cronómetro para asegurar la representación de las condiciones promedio, y después tabular los tiempos elementales asignados en forma de datos estándar. Los datos de movimientos fundamentales también tienen una amplia aplicación al establecer estándares del trabajo indirecto, en especial en sistemas que usan bloques grandes de movimientos fundamentales como Work-Factor, MTM-2 y MOST.

Las compañías que representan los sistemas de datos de movimientos fundamentales, como H. B. Maynard & Company, Inc. y MTM Association, han desarrollado software para complementar sus sistemas de desarrollo de estándares con la computadora. Los resultados, incluyendo los estándares desarrollados, los suplementos y un bosquejo del lugar de trabajo, que puede ser un registro del método utilizado para desarrollar el estándar, se pueden desplegar en el monitor o imprimirse de manera casi inmediata

Los analistas pueden estimar con precisión los elementos indirectos que involucran el tiempo de espera por medio de la teoría de colas o líneas de espera. Ellos deben entender la teoría de colas elemental para establecer el modelo matemático que se ajuste a los parámetros del problema. Cuando el problema no se ajusta a las ecuaciones de los modelos establecidos, se puede usar la simulación Monte Carlo como técnica para determinar el grado del problema de espera en el área de trabajo.

No existen procedimientos automáticos para determinar un tiempo estándar para una tarea de mantenimiento u otro tipo de trabajo indirecto o general. Los analistas deben revisar cada orden de trabajo y determinar los requerimientos de mano de obra y materiales. Es común que sigan los pasos dados a continuación:

1. Examinar la orden de trabajo con detalle y consultar a quién lo pide, o incluso visitar el área de trabajo, para determinar con precisión los requerimientos.
2. Preparar una estimación del material para el trabajo.

Tabla 15–4 Guía para establecer estándares de trabajo indirecto y general

Trabajo de tipo indirecto y general	Método recomendado para establecer estándares
Mantenimiento de rutina. Estándares de trabajo de 0.5 a 3h	Datos de estándares, MTM-2, MTM-3, Work-Factor, MOST, Macro Motion Analyses.
Mantenimiento complejo, estándares de 3 a 40 h	Agrupamiento basado en estándares de trabajo indirecto universales.
Envío y recepción	Datos de estándares MTM-2, MTM-3, Work-Factor, MOST, Macro Motion Analyses.
Depósito de herramientas	Grupos basados en estándares universales de trabajo indirecto.
Inspección	Datos de estándares, MTM-2, Work-Factor, MOST, Macro Motion Analyses.
Diseño de herramientas	Grupos basados en estándares de trabajo indirecto universales.
Compras	Estándares basados en registros históricos, análisis y muestreo de trabajo.
Contabilidad	Estándares basados en registros históricos, análisis y muestreo de trabajo.
Ingeniería de planta	Estándares basados en registros históricos, análisis y muestreo de trabajo.
Oficinas	Estándares basados en datos de estándares, Work-Factor, MTM-2, MOST, Micro y Macro Motion Analyses.
Intendencia	Datos de estándares, agrupamiento basado en estándares de trabajo indirecto universales.
Administración general	Estándares basados en registros históricos, análisis y muestreo de trabajo.

3. Estudiar el trabajo desde el punto de vista de sus elementos.
4. Seleccionar las tareas directas adecuadas o los tiempos de las tareas, y las herramientas y materiales que se usarán, y los tiempos planeados a partir de las tablas de datos de estándares o de tiempos estándar universales.
5. Asignar un tiempo estimado para trabajos similares mostrados en la tabla maestra de tiempos estándar universales, o en la hoja de cálculo si no existen tiempos específicos que se puedan aplicar.
6. Sumar tiempos estándar para cubrir los tiempos de transporte para la orden de trabajo que se analiza, lo mismo que los suplementos necesarios que incluyen las demoras inevitables, personales y por fatiga.

Al establecer estándares de trabajo indirecto y general, la tabla 15–4 puede servir como una guía para elegir el método apropiado.

PREGUNTAS

1. Explique la diferencia entre el trabajo indirecto y el general.
2. Explique la teoría de colas.

3. ¿Cuáles son las cuatro divisiones que constituyen el trabajo indirecto y general?
4. ¿Cómo se establecen los estándares sobre la porción de "demoras innecesarias" del trabajo indirecto y general?
5. ¿Por qué ha habido un incremento notorio en el número de empleados indirectos?
6. ¿Por qué ocurren más demoras inevitables en las operaciones de mantenimiento que en el trabajo de producción?
7. ¿Qué significa balance de la brigada? ¿Y tiempo de interferencia?
8. Explique cómo se establecerían los tiempos estándar para operaciones de intendencia.
9. ¿Qué operaciones de oficina pueden someterse a estudios de tiempos?
10. ¿Por qué los datos de estándares se aplican en especial a las operaciones de trabajo indirecto?
11. Resuma las ventajas de los estándares establecidos para el trabajo indirecto.
12. ¿Por qué el muestreo del trabajo es la mejor técnica para establecer estándares de supervisión?
13. Explique las aplicaciones de los grupos de trabajo indirecto o general.
14. ¿Por qué el sistema de estándares universales que involucran a más de 20 estándares comparativos funciona para un departamento grande de mantenimiento donde cada año se realizan miles de trabajos distintos?

PROBLEMAS

1. Los procedimientos de medición de trabajo establecen un tiempo promedio de 6.24 minutos por pieza en la inspección de forjado complejo. La desviación estándar del tiempo de inspección es 0.71 minutos. Por lo común, se entregan 60 matrices a la estación de inspección en la línea, cada turno de 8 horas. Un operario realiza esta inspección. Suponga que las matrices llegan de manera Poisson y que el tiempo de servicio es exponencial, ¿cuál sería el tiempo medio de espera de una matriz en la estación de inspección? ¿Cuál sería la longitud promedio de la cola de moldes?
2. En el taller de herramientas y matrices de la Dorben Company, el analista de medición del trabajo desea determinar un estándar para barrenar agujeros en varios moldes. El estándar se usará sólo para estimar el costo de los moldes. Se basará en el tiempo que espera el operario para que lleguen los moldes de una sección de pulido de superficie y en el tiempo de maquinado de ese operario. El tiempo de espera se basa en el modelo de un servidor, llegadas Poisson, tiempo de servicio exponencial y disciplina de servicio primero en entrar, primero en salir. Un estudio reveló que el tiempo promedio entre llegadas ra 58 minutos. El tiempo promedio de barrenado es 46 minutos. ¿Cuál es la probabilidad de que un molde se demore en la sección de taladros? ¿Cuál es el número promedio de moldes que esperan pasar al taladro?
3. ¿Cuál sería el tiempo de espera esperado por envío si un estudio de tiempos con cronómetro estableció que el tiempo normal para preparar un envío es de 15.6 minutos? Se preparan 21 envíos cada turno (8 horas). La desviación estándar del tiempo de servicio se estima en 1.75 minutos. Se supone que las llegadas tienen una distribución Poisson y que el tiempo de servicio es arbitrario.

4. Utilice los métodos de Monte Carlo para encontrar las horas esperadas de interrupciones debidas a la falta de un operario para dar servicio a las máquinas, si se asignaran cuatro operarios a la situación de trabajo descrita en el ejemplo 15–3.
5. Las llegadas a la cafetería de la compañía son Poisson con un tiempo promedio entre llegadas de 1.75 minutos durante el periodo del almuerzo. El tiempo promedio para que un cliente obtenga su comida es 2.81 minutos y este servicio tiene una distribución exponencial. ¿Cuál es la probabilidad de que una persona que llega a la cafetería tenga que esperar? ¿Cuánto tiempo?

REFERENCIAS

Crossman, Richard M. y Harold W. Nance, *Master Standard Data: The Economic Approach to Work Measurement*, ed. revisada New York: McGraw-Hill, 1972.

Knott, Kenneth, "Indirect Operations: Measurement and Control", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, New York: John Wiley & Sons, 1992.

Lewis, Bernard T., *Developing Maintenance Time Standards*, Boston, MA: Cahners, 1967.

Nance, Harold W. y Robert E. Nolan, *Office Work Measurement*, New York: McGraw-Hill, 1971.

Newbrough, E. T., *Effective Maintenance Management*, New York: McGraw-Hill, 1967.

Pappas, Frank G. y Robert A. Dimberg, *Practical Work Standards*, New York: McGraw-Hill, 1962.

Raghavachari, M., "Queuing Theory", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, New York: John Wiley & Sons, 1992

VIDEOCINTAS SELECCIONADAS

Manufacturing Insights Videotape Series, Simulation 1/29 VHS VT 253-1368 and 3/49 U-Matic VT 253U-1368, Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1987.

CAPÍTULO 16



Seguimiento y uso de estándares

PUNTOS CLAVE:

- El seguimiento de los métodos y estándares es necesario para la equidad hacia los trabajadores y para la rentabilidad de la compañía.
- Usar el enfoque adecuado para establecer y revisar los estándares.
- Utilizar estándares para:
  - Establecer incentivos salariales
  - Comparar métodos
  - Determinar la capacidad de la planta
  - Determinar costos y presupuestos de mano de obra
  - Reforzar los estándares de calidad
  - Mejorar el servicio a clientes.

El seguimiento es el octavo y último paso sistemático para implantar un programa de mejoramiento de métodos. Aunque es tan importante como cualquiera de los otros pasos, con frecuencia se descuida. Los analistas tienen una tendencia natural a considerar que el programa está terminado después de desarrollar los tiempos estándar. Sin embargo, nunca debe pensarse que una implantación de métodos y los estándares que se obtienen están terminados.

El seguimiento es necesario para asegurar que se sigue el método propuesto, que se logran los estándares establecidos y que el nuevo método está apoyado por los trabajadores, los supervisores, el sindicato y la administración. En general, los resultados del seguimiento son beneficios adicionales que surgen de nuevas ideas y nuevos enfoques, que con el tiempo estimulan el deseo de mejorar un programa de ingeniería de métodos para un diseño o proceso existente. El procedimiento es repetir el ciclo de mejoramien-

to de métodos poco tiempo después de implantarlo, de manera que cada proceso y cada diseño estén bajo un escrutinio continuo para revisar las mejoras posibles. Ésta es una componente necesaria de cualquier programa de mejora continua que funciona.

Sin el seguimiento, es seguro que los métodos propuestos regresen a los procedimientos originales. Los autores han realizado innumerables estudios de métodos en los que el seguimiento reveló que el método bajo estudio regresaba poco a poco, o había regresado al método original. Los humanos son criaturas de costumbres y una fuerza de trabajo debe desarrollar el hábito del método propuesto, si ha de preservarse. El seguimiento continuo es la única manera de asegurar que el nuevo método se mantenga durante el tiempo suficiente para que todas las personas asociadas con sus detalles se familiaricen por completo con sus rutinas.

SEGUIMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TIEMPOS ESTÁNDAR

Tanto los trabajadores como la administración han resaltado la necesidad de establecer tiempos estándar justos. Una vez introducidos los estándares justos, su mantenimiento tiene la misma importancia. Aunque es normal que la función de supervisión de la producción realice verificaciones puntuales y supervise los estándares, lo excesivo de este trabajo pocas veces deja tiempo para dar un seguimiento completo efectivo. Así, el departamento de métodos y estándares debe programarlo en forma periódica.

El seguimiento inicial o auditoría para trabajos de producción debe llevarse a cabo alrededor de un mes después del desarrollo de los estándares de tiempo. Una segunda auditoría debe hacerse dos meses después y una tercera, nueve meses después de la última. La frecuencia de las auditorías debe basarse en las horas esperadas de aplicación por año. Como ejemplo, una compañía grande usa los datos mostrados en la tabla 16–1 para determinar la frecuencia de las auditorías de métodos y estándares.

En cada seguimiento, los analistas deben revisar el informe del método original y los desarrollos de estándares, para estar seguros que se cumplen todos los aspectos del método nuevo. En ocasiones, tal vez encuentren que se descuidan algunas partes del nuevo método y que los trabajadores han regresado a la forma anterior. Algunas veces ellos ocultan los cambios de métodos de los que son responsables, para poder aumentar sus ingresos o disminuir su esfuerzo mientras que logran la misma producción. Por supuesto, pueden desarrollarse cambios de métodos que incrementan el tiempo requeri-

Tabla 16–1 Frecuencia de auditorías

Horas de aplicación por estándar por año	Frecuencia de auditorías
0-10	Una vez cada tres años
10-50	Una vez cada dos años
50-600	Una vez al año
más de 600	Dos veces al año

Cortesía de Industrial Engineering Division, Procter & Gamble, Co.

do para realizar la tarea. Tal vez el supervisor o inspector iniciaron estos cambios y, en su opinión, son de consecuencias insuficientes para ajustar el estándar.

Cuando esto ocurre, debe contactarse de inmediato al supervisor, el analista debe intentar determinar la causa del cambio no autorizado. Si no existe una razón satisfactoria para regresar al método anterior, el analista debe insistir en que se siga el procedimiento correcto. Es esencial el tacto aunado a la firmeza; el analista debe desplegar tanto la habilidad de vender como la competencia técnica.

El seguimiento debe realizarse tanto para el método como para el desempeño del operario. La eficiencia diaria del trabajador debe ser igual o mayor que el estándar. El desempeño tiene que evaluarse con las curvas de aprendizaje típicas para la clase de trabajo. Si el operario no tiene el avance previsto, debe realizarse un estudio cuidadoso que incluya una junta para determinar si existe alguna dificultad no detectada antes.

Por lo general, el desempeño de los trabajadores se aproxima a la curva normal, como se describe en el capítulo 10. Sin embargo, algunas variaciones comunes de la curva normal son sintomáticas de restricciones en la producción e indican que es deseable realizar una auditoría. La figura 16–1 ilustra que los estándares son holgados y que los trabajadores se están deteniendo y no tienen ingresos arriba del 140%, pero sienten que su desempeño fue más alto; en este caso caso los tiempos de los estándares se ajustarán hacia abajo.

La figura 16–2 ilustra la producción en un entorno donde el método no se ha estandarizado. La variación en el material es otra causa de esta distribución plana. En ambos casos, una auditoría puede asegurar que se usa el mejor método. Entonces, el estándar

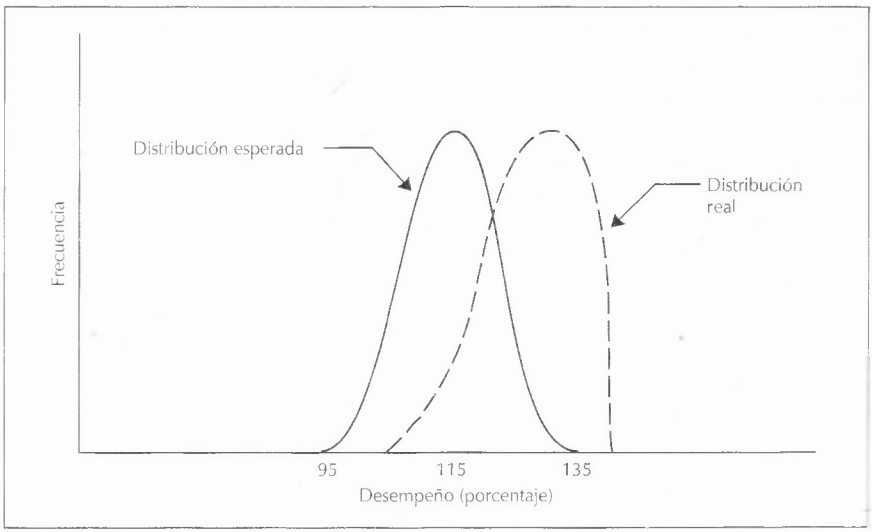


Figura 16–1 Distribución del desempeño en una planta con estándares holgados, comparada con la distribución esperada para el desempeño promedio de 115% del normal.

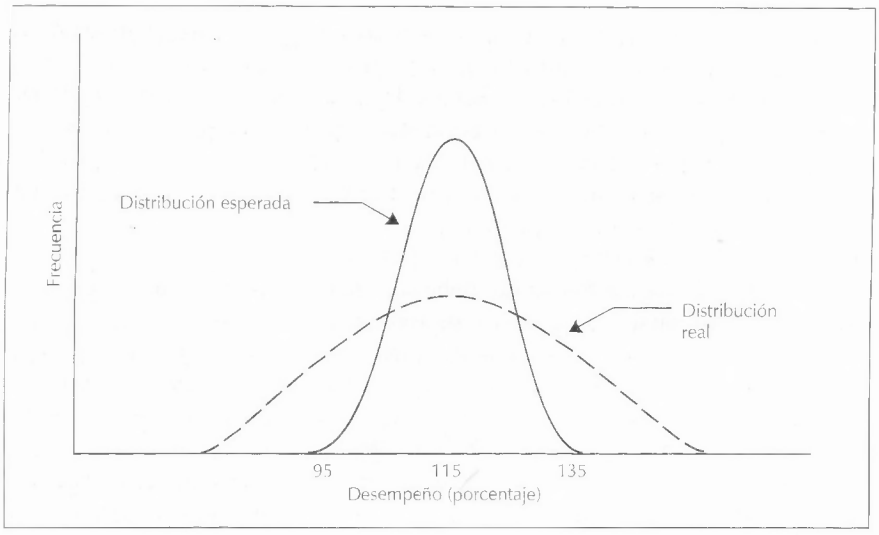


Figura 16–2 Distribución del desempeño en una planta donde no se han estandarizado los métodos y/o los materiales.

desarrollado refleja el tiempo requerido por los operarios experimentados promedio, que cuentan con buenas habilidades y esfuerzo al trabajar, para realizar una operación a un paso que pueden mantener durante 8 horas, con los suplementos por demoras personales e inevitables y por fatiga. Un estándar no se desvía si los operarios conservan el método del estudio de tiempos. Si el estudio de métodos desarrolló el procedimiento ideal y si los operarios siguen y estandarizan este método, entonces habrá menos necesidad de mantener los estándares de tiempo.

No obstante, con frecuencia se introducen cambios tanto favorables como desfavorables. Si estos cambios son extensos, se da aviso a la administración. Los operarios siempre hacen saber a la administración cuando los estándares son estrechos. El departamento de nóminas hace la observación a la administración si los estándares se convierten en holgados, pues es notorio que los ingresos de los trabajadores son excesivos. Sin embargo, a menudo tienen lugar cambios menores en los métodos que pasan desapercibidos, y que debilitan la estructura completa de los estándares.

Para mantener los estándares de manera adecuada, el departamento de estudio de tiempos debe realizar verificaciones periódicas de que el método usado es el que se estudió cuando se estableció el estándar. Esto se puede hacer con facilidad consultando el estudio de tiempos, que incluye una descripción completa del método. En él se observa cómo se realiza la operación para determinar si se ajusta a la descripción, las secuencias, las frecuencias, las condiciones y los suplementos para el tiempo estándar. La exactitud del estándar de tiempo se puede verificar con la medición de varios ciclos del tiempo global, los datos de calificaciones de desempeño y la suma de un suplemento adecuado. También se debe asentar la cooperación del supervisor, que está más cerca de la operación, para verificar estándares que tal vez no sean apropiados.

Si el tiempo de ciclo completo y los estándares de tiempo existentes varían en más de ±5%, debe realizarse un estudio de tiempos detallado para identificar la causa de la discrepancia. En la mayor parte de los casos, cuando la auditoría detecta una discrepancia de más de ±5%, la causa es un cambio en el método. Si el operario usa un procedimiento inferior, entonces debe capacitársele en la técnica ideal. Si el trabajador ha desarrollado un método mejor que el existente al desarrollar el estándar, el nuevo método debe convertirse en el estándar aceptado. Un operario que desarrolla una mejora, debe recibir una recompensa acorde a ella.

El analista debe revisar todas las distribuciones de planta para asegurar que ocurre el flujo ideal de materiales y productos. El departamento de ingeniería industrial debe mantener gráficas del flujo del proceso para la mayor parte de los productos que se fabrican. Si se adquiere nuevo equipo junto con un método, deben auditarse sus capacidades con regularidad, para garantizar que se logran la productividad y el desempeño previstos.

También, el analista ha de auditar la evaluación del trabajo después de que el trabajador ha adoptado el nuevo método durante seis meses. Esta revisión debe vigilar que la compensación de todos los empleados asociados con el método desarrollado es competitiva respecto a tareas equivalentes en el área. También se auditan las tasas de ausentismo para obtener una medida adicional de la aceptación del operario. Aunque la auditoría de métodos y estándares requiere tiempo y gasto, un sistema de seguimiento exhaustivo asegurará el éxito del programa.

USO DE ESTÁNDARES

REVISIÓN DE ESTÁNDARES

Los estándares de tiempo son fundamentales para la operación de cualquier empresa de manufactura o de negocios. El tiempo es el denominador común del que surgen todos los elementos de costo. De hecho, todas las personas usan estándares de tiempo para casi todo lo que hacen o lo que quieren que otros hagan. Los ejemplos en la vida diaria incluyen: un trabajador que calcula una hora para lavarse, rasurarse, vestirse, desayunar y llegar al trabajo; el estudiante que programa los minutos que necesita para terminar una tarea, y el operador de un autobús que sigue un programa específico de llegadas y salidas.

Existe un interés especial en los estándares de tiempo usados en la operación efectiva de una compañía de manufactura o negocios, y en los resultados del estudio de tiempos. Estos estándares de tiempo se pueden determinar en una o más de las siguientes formas:

1. Por estimación (capítulo 9)
2. Con los registros de desempeño (capítulo 8)
3. Por estudios de tiempos (capítulo 9)
4. Mediante datos de estándares (capítulo 12)
5. Con las fórmulas de estudio de tiempos (capítulo 12)
6. Mediante sistemas predeterminados (capítulo 13)

7. Por medio de estudios de muestreo del trabajo (capítulo 14)
8. Con el uso de teoría de colas (capítulo 15)

Los métodos 3, 4, 5, 6 y 7 proporcionan resultados mucho más confiables que los métodos 1, 2 u 8. Si los estándares se usan para el pago de salarios, deben determinarse con la mayor precisión posible. En consecuencia, los estándares determinados mediante estimaciones o registros de desempeño no son suficientes. Por supuesto, los estándares desarrollados con estos dos métodos son mejores que no tener estándares y a menudo se pueden usar para ejercer control en toda la organización.

Estos métodos se aplican en ciertas condiciones y todos tienen limitaciones de exactitud y costo de implantación. Para los métodos más confiables, los resúmenes presentados en las tablas 16–2 y 16–3 son útiles al seleccionar el enfoque adecuado.

BASES DEL PLAN DE INCENTIVOS SALARIALES

En general, se piensa en los estándares de tiempo en relación con el pago de salarios (capítulo 17). Mientras que los estándares tienen muchas otras aplicaciones en una empresa, la necesidad de estándares consistentes y confiables es más notoria en el área de pagos salariales. Sin estándares equitativos no tendrá éxito un plan de incentivos que compense en proporción a la producción. Sin una cinta métrica no es posible medir el desempeño individual. Los métodos y tiempos estandarizados son la cinta de medir para las aplicaciones de incentivos salariales.

De igual manera, cualquier tipo de bono por productividad depende directamente de los estándares de tiempo equitativos. Como los trabajadores reciben más y mejor atención del supervisor con un plan en el que los bonos se relacionan con la producción, la mayor parte de los planes de supervisión consideran la productividad del empleado como criterio principal para los bonos. Otros factores usuales son: costos de mano de obra indirecta, costos de desperdicio, calidad de producción y mejoras de métodos.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS

Dado que el tiempo es una medida común para todas las tareas, los estándares de tiempo son una base para comparar los distintos métodos para realizar el mismo trabajo. Por ejemplo, suponga que un operario piensa que puede ser mejor al realizar el barrenado con un diámetro interior con tolerancia estrecha en lugar de limar la parte para lograr el tamaño, como se hace. Para tomar una decisión adecuada sobre si el cambio es práctico, los analistas deben desarrollar un estándar de tiempo para cada procedimiento y después comparar los resultados.

UTILIZACIÓN EFECTIVA DEL ESPACIO

El tiempo es la base para determinar cuántos equipos de cada tipo se necesitan. La administración sólo puede hacer el mejor uso posible del espacio si conoce los requerimientos exactos para las instalaciones. Si una compañía requiere 10 fresadoras, 20 taladros, 30 tornos revólver y 6 pulidoras en un departamento de maquinado, el administrador puede planear la mejor distribución de este equipo. Sin estándares de tiempo,

Tabla 16–2 Comparación de distintos métodos para establecer un estándar de tiempo

Ventajas	Desventajas
Estudio de tiempos con cronómetro	
1. Único método que mide directamente el tiempo que usa el operario.	1. Requiere la calificación del desempeño del trabajador.
2. Permite la observación detallada del ciclo completo y el método.	2. No obliga a llevar un registro detallado de método, movimientos, herramientas, y otros.
3. Puede cubrir elementos que ocurren con menos frecuencia.	3. Puede no evaluar bien los elementos no cíclicos.
4. Proporciona con rapidez valores exactos para los elementos controlados por la máquina.	4. Basa el estándar en el sesgo de un analista que estudia a un trabajador que usa un solo método.
5. Es sencillo explicarlo y aprenderlo.	5. Requiere la línea de producción en operación.
Sistema de tiempos predeterminados	
1. Obliga a tener un registro detallado del método, los movimientos, las herramientas y otros que se emplearon.	1. Depende de la descripción completa de método, herramientas, etcétera para obtener estándares precisos.
2. Estimula la simplificación del trabajo.	2. Requiere más capacitación de los analistas.
3. Elimina la calificación del desempeño.	3. Es más difícil explicarlo a los trabajadores.
4. Permite establecer estándares antes de iniciar la producción real.	4. Requiere más tiempo para establecer estándares.
5. Permite ajustar con facilidad los estándares cuando hay cambios ligeros en el método.	5. Requiere otras fuentes de datos para los elementos del proceso o controlados por la máquina.
6. Proporciona estándares más consistentes.	
Métodos de datos de estándares, fórmulas y teoría de colas	
1. Eliminan la calificación del desempeño.	1. Pueden requerir más capacitación de los analistas.
2. Establecen estándares consistentes.	2. Es más difícil explicarlos a los trabajadores.
3. Permiten establecer el estándar antes de la producción real.	3. Pueden tener problemas para incluir pequeñas variaciones en el método.
4. Admiten ajustes de estándares debidos a cambios ligeros en el método.	4. Pueden ser poco exactos si se extienden más allá del alcance de los datos empleados en su desarrollo.
Muestreo de trabajo	
1. Elimina la tensión que causa la observación constante del operario.	1. Es poco exacto en la evaluación del desempeño.
2. Establece un estándar promedio cuando las condiciones son cambiantes.	2. Requiere un número relativamente grande de observaciones aleatorias para lograr exactitud.
3. Permite el desarrollo simultáneo de estándares para una variedad de operaciones.	3. Requiere registros exactos de las horas trabajadas y unidades producidas.
4. Se adapta mejor a estudios de utilización de máquinas, análisis de actividades y de demoras.	4. Supone que el operario usa el método estándar.

Tabla 16–3 Guía para seleccionar el método adecuado de estándares de tiempo

Mejor método:	Para trabajo:
Estudio de tiempos con cronómetro	1. Con ciclos repetitivos, de cualquier duración 2. Con una amplia variedad de elementos distintos 3. Con elementos controlados por el proceso o la máquina
Sistemas tiempos predeterminados	1. Con elementos controlados por el operario 2. Con ciclos repetitivos de corta a mediana duración 3. Antes de la producción 4. Cuando existe controversia acerca de la calificación y consistencia de los estándares
Métodos de datos de estándares, fórmulas y teoría de colas	1. Con elementos similares con cualquier duración 2. Cuando existe controversia acerca de la calificación y consistencia de los estándares
Muestreo de trabajo	1. Con grandes variaciones entre ciclos 2. Controversia respecto al uso del cronómetro 3. Controversia sobre la observación constante del trabajador 4. Cuando se necesitan la utilización de la máquina, los niveles de actividad y los suplementos

la compañía puede proporcionar más de los que necesita para un tipo de instalación y menos para otro, lo que significaría una utilización ineficiente del espacio disponible.

Como otro ejemplo, para determinar el tamaño de las áreas de almacenamiento e inventario, los administradores toman en cuenta el periodo de almacenamiento y la demanda de la parte. De nuevo en este caso, los estándares de tiempo son la base para determinar el tamaño de estas áreas.

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PLANTA

Al usar los estándares de tiempo se puede determinar la capacidad de máquinas, departamentos y planta. Una vez que se conocen las horas disponibles de la instalación y el tiempo requerido para producir una unidad de producto, con cálculos aritméticos sencillos, se estima el potencial del producto. Por ejemplo, si la operación cuello de botella requiere 15 minutos por pieza, y se cuenta con 10 máquinas para esta actividad entonces, con 40 horas por semana, la capacidad de la planta para este producto sería:

$$\frac{40 \text{ horas} \times 10}{0.25 \text{ horas}} = 1600 \text{ piezas por semana}$$

La figura 16–3 ilustra un análisis gráfico por semana de los requerimientos de mano de obra directa para una planta industrial específica. Esta gráfica indica con claridad en qué momento la planta se encuentra en posición de producir las nuevas órdenes.

BASES PARA LA COMPRA DE NUEVOS EQUIPOS

Así como los tiempos estándar permiten al analista determinar las capacidades de máquinas, departamentos y plantas, también proporcionan la información necesaria para determinar cuántas instalaciones son necesarias y de qué tipo para un volumen de pro-

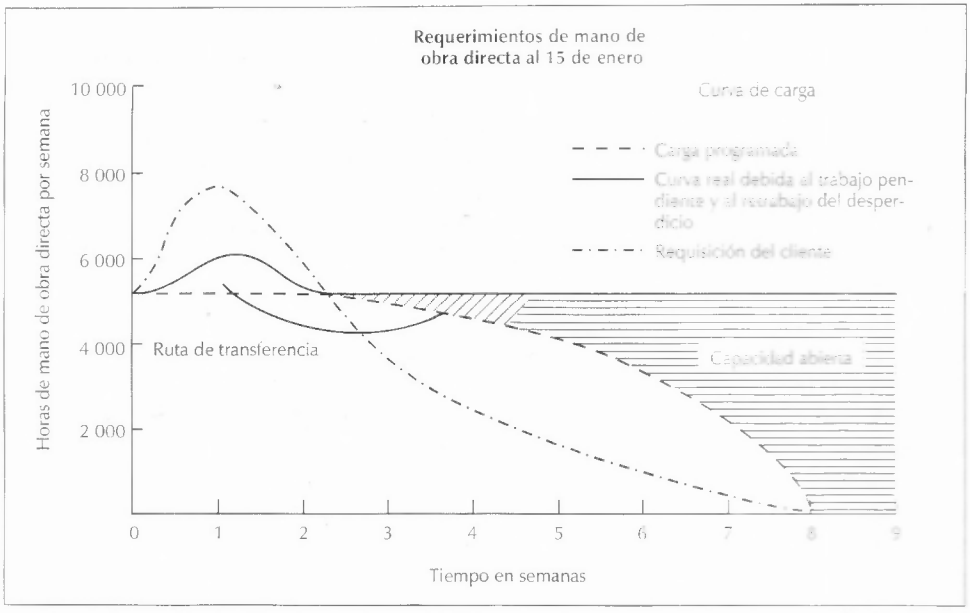


Figura 16-3 Los tiempos estándar permiten determinar los requerimientos de trabajo directo proyectados

ducción dado. Los estándares comparativos precisos también resaltan las ventajas de una instalación respecto a sus competidores. Por ejemplo, una planta puede tener la necesidad de comprar tres taladros tipo banco de un husillo. Al revisar los estándares disponibles, el gerente de la planta puede determinar el estilo y diseño de taladros que den el rendimiento más favorable por unidad de tiempo.

FUERZA DE TRABAJO CONTRA TRABAJO DISPONIBLE

Al tener información completa sobre el volumen de producción requerido y tiempo necesario para producir una unidad, el analista puede determinar la fuerza de trabajo requerida. Por ejemplo, si la demanda de producción para una semana dada es 4 420 horas, la compañía necesita 4 420/40, o sea, 111 operarios. Esta aplicación de los estándares es en especial importante en un mercado que se retrae, en donde el volumen de producción disminuye. Sin una medida que ayude a determinar el número real de personas necesario para realizar la carga reducida cuando el volumen total disminuye, toda la fuerza de trabajo puede bajar la velocidad para hacer que dure el trabajo disponible. A menos que la fuerza de trabajo esté balanceada con el volumen, los costos unitarios se elevan cada vez más. En estas circunstancias, sólo es cuestión de tiempo para que la producción opere con pérdidas y los precios de venta aumenten, lo que causará una mayor reducción en el volumen. El ciclo se repite hasta que la planta cierra por pérdidas.

En un mercado en expansión tiene la misma importancia poder presupuestar la mano de obra. Las crecientes demandas de los clientes necesitan un mayor volumen de

personal. Las compañías deben determinar con exactitud el número y tipo de personal adicional, para reclutarlo con suficiente anticipación a fin de cumplir con los programas de los clientes. Si existen estándares exactos, es cuestión de simple aritmética convertir requerimientos de productos en horas de trabajo del departamento.

La figura 16–4 ilustra cómo la capacidad total de la planta puede aumentar en un mercado en expansión. Aquí, la planta piensa duplicar su capacidad de horas-trabajo entre enero y noviembre. Este presupuesto proyecta los contratos programados en términos de horas-trabajo y proporciona una reserva razonable (zona sombreada) para recibir órdenes adicionales.

Además de asignar los requerimientos de mano de obra en la planta, los estándares de tiempo ayudan al presupuesto de esas necesidades en los departamentos. Esos estándares válidos mantienen una fuerza de trabajo proporcional al volumen de producción requerido, así controlan los costos y mantienen la operación en posición competitiva. Por ejemplo, la figura 16–5 ilustra el uso de una gráfica de Gantt (capítulo 2) para presupuestar las horas de husos en un departamento de bobinado múltiple. Se da servicio a cuatro líneas de productos: perfilado, aforro, espiga y caña. Para los requerimientos actuales de los clientes se destinan 75 husos para el bobinado múltiple de perfilado, 42 para aforro, 14 para espiga y 15 para caña. Con base en este presupuesto de husos y horas de trabajo, la carga para el perfilado se extiende hasta el final de la primera semana de noviembre, aforro hasta mediados de octubre, espiga a mediados de noviembre y caña a la última semana de octubre. Aunque los requerimientos del cliente fluctúan, los estándares de tiempo hacen posible ajustar el presupuesto de mano de obra de este departamento para cumplir con todos los requerimientos de los clientes de la mejor mane-

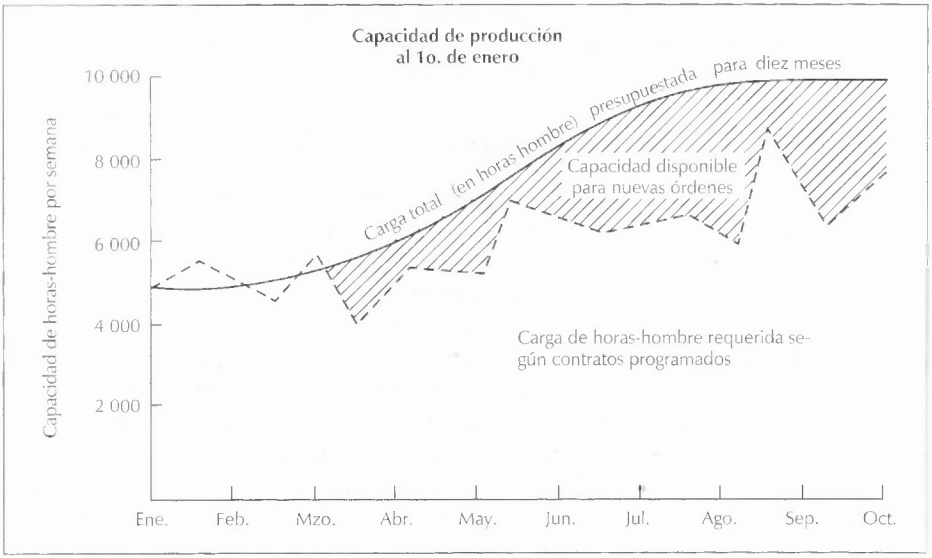


Figura 16–4 Gráfica de la carga de horas de trabajo proyectada y la carga de horas de trabajo presupuestadas

ra factible. La barra oscura en esta gráfica muestra el material asignado a las distintas clases de productos, actualizada al 1o. de septiembre.

MEJORAMIENTO DEL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

El control de la producción es la etapa de una operación que programa, determina rutas, acelera y da seguimiento a las órdenes de producción, en un esfuerzo por economizar y satisfacer los requerimientos de los clientes. La función completa de control de la producción se basa en determinar dónde y cuándo se puede realizar el trabajo. Esto no se logra sin una idea concreta de "cuánto tiempo".

La programación, una de las funciones más importantes del control de la producción, casi siempre se maneja por grados de detalle: 1) a largo plazo o programa maestro, 2) programación de órdenes recibidas y 3) programación detallada de la producción o carga de máquinas.

La programación a largo plazo se basa en el volumen de producción existente y previsto. En este caso, no se dan órdenes específicas ni secuencias, sólo se agregan y se programan para los periodos adecuados.

La programación de órdenes recibidas incluye las existentes para cumplir con la demanda de los clientes, con una operación económica. En este caso los trabajadores asignan grados de prioridad para órdenes específicas y promesas de entrega anticipada que surgen de este programa.

La programación de la operación detallada, o carga de las máquinas, comprende la asignación diaria específica de las operaciones a las máquinas individuales. La programación se planea para minimizar los tiempos de preparación y las interrupciones de las máquinas de manera que se cumpla con los programas de órdenes recibidas. La figura

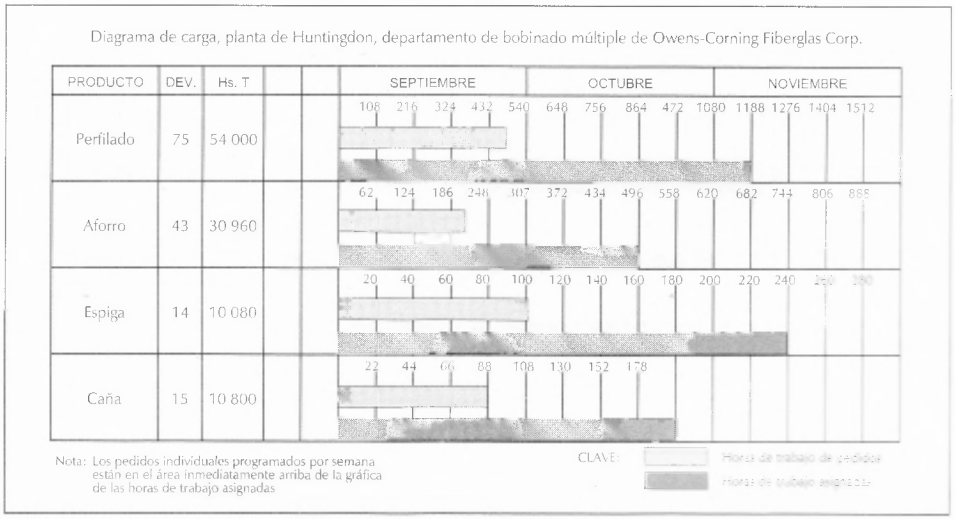


Figura 16–5 Gráfica que ilustra el presupuesto de horas de husos en un departamento específico para cumplir con las necesidades de los clientes de la mejor manera posible

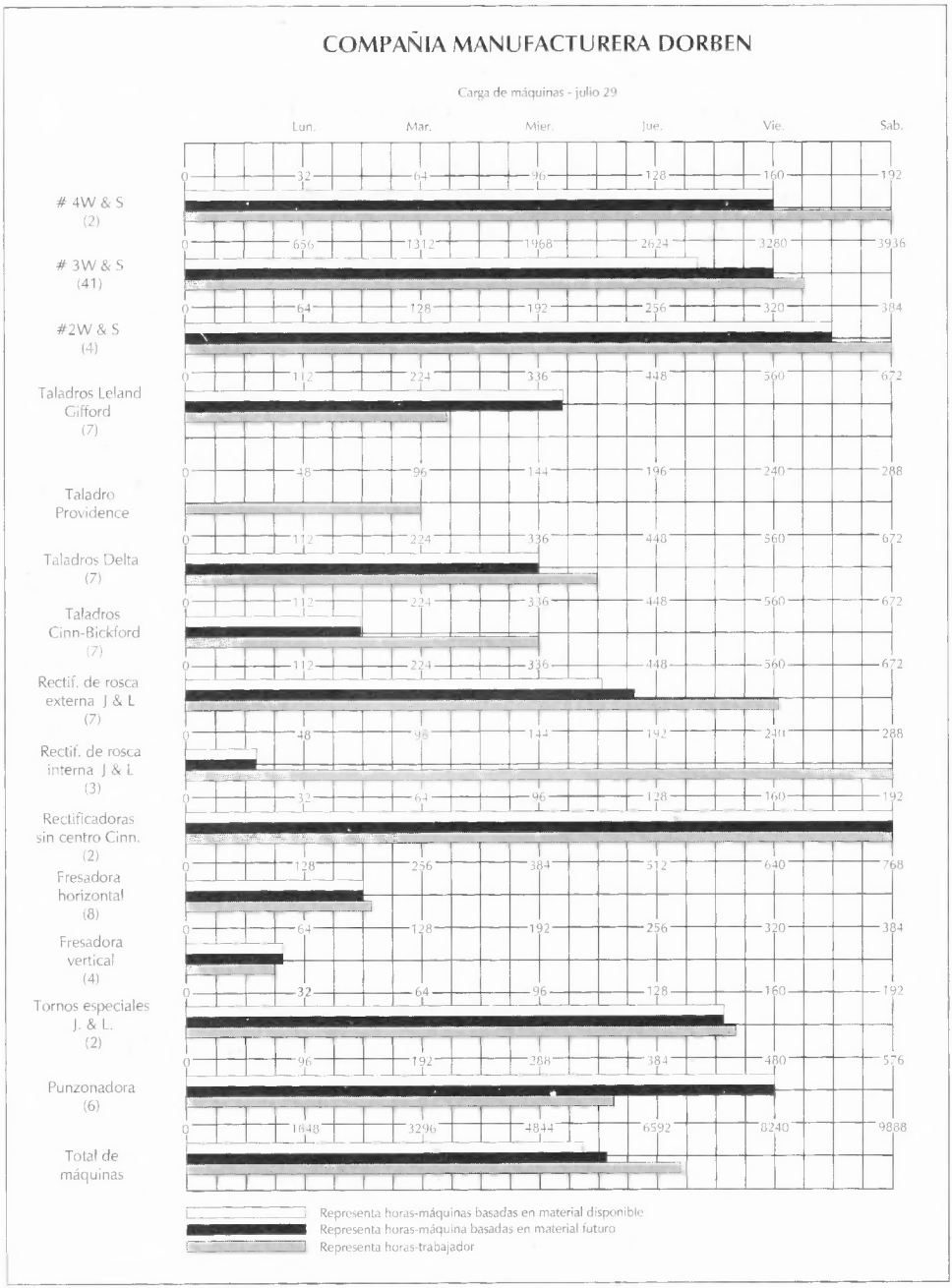


Figura 16-6 Carga de máquinas en un departamento de maquinado durante una semana. (Observe que varios programas dependen de la recepción de materia prima adicional.)

16–6 ilustra la demanda durante una semana de máquinas de cierto departamento. Muestra que existe una capacidad considerable en fresadoras, taladros y roscadoras.

Sin importar el grado de elaboración o detalle del procedimiento de programación, sería imposible realizarlo sin estándares de tiempo. Éstos ayudan a predeterminar el flujo de materiales en el avance del trabajo, lo que forma la base para una programación precisa. El éxito de cualquier programa tiene una relación directa con la exactitud de los valores de tiempo usados para determinar el mismo. Si no existen estándares de tiempo, no se puede esperar que los programas basados en el juicio subjetivo sean confiables.

Las rutas entre los centros de trabajo proporcionan información a la planta y suministran los datos de tiempos al sistema de control de la planta. Son los mejores medios para difundir los estándares de trabajo entre los empleados. La aceleración y el seguimiento incluyen los informes de desempeño. Los sistemas para el control de la producción modernos usan estándares de tiempo de varias fuentes para generar los informes de desempeño. En muchas plantas actuales, los dispositivos para recolección de datos de tiempo son computadoras que permiten que los supervisores de línea o el personal revise el estado de cualquier trabajo según los datos más recientes. Estos modernos dispositivos de seguimiento ayudan a asegurar la calidad del control de la producción con verificaciones mejoradas y menos documentos.

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA MANO DE OBRA

Con estándares de tiempo confiables, no es necesario que una planta tenga un sistema de pago de incentivos para determinar y controlar sus costos de mano de obra. La razón de los ingresos por hora de producción entre las horas reloj, da la eficiencia del departamento. El recíproco de la eficiencia multiplicado por la tasa promedio por hora da el costo por hora de la producción estándar. Por ejemplo, el departamento de terminados en una planta que usa la jornada de trabajo directa tiene 812 horas reloj (H_c) de tiempo de mano de obra para 876 horas de ingresos de producción (H_e). La eficiencia del departamento sería:

$$E = \frac{H_e}{H_c} = \frac{876}{812} = 108\%$$

Si la tasa por hora en el día de trabajo promedio (capítulo 17) en el departamento es $16.80, entonces el costo de mano de obra directa, según el estándar de producción es:

$$\frac{1}{1.08} \times \$16.80 = \$15.56$$

En un segundo ejemplo, suponga que en otro departamento las horas reloj son 2840 y las horas de ingreso por la producción del periodo son sólo 2760. En este caso, la eficiencia sería:

$$\frac{2760}{2840} = 97\%$$

y el costo por hora de mano de obra directa, según la producción estándar, con una tasa promedio diaria de $16.80 sería igual a:

$$\frac{1}{0.97} \times \$16.80 = \$17.32$$

En el último caso, la administración se da cuenta de que sus costos de mano de obra son $0.52 por hora más altos que las tasas base y tal vez aumente la supervisión para controlarlos. En el primer ejemplo, esos costos eran menores que el estándar, lo que permite bajar los precios, aumentar el volumen de producción o hacer otros ajustes adecuados para la administración y los trabajadores. La figura 16–7 muestra un informe de la variancia del trabajo directo que indica un desempeño departamental mayor y menor que el estándar.

BASES DE COSTEO

El *costeo* se refiere al procedimiento de determinar los costos con exactitud antes de la producción. La ventaja de poder predeterminar el costo es obvia. La mayoría de los contratos actuales se firman con base en un "costo firme", que significa que el fabricante debe predeterminar los costos de producción, a fin de establecer un precio firme suficientemente alto para tener una utilidad. Al tener estándares de tiempo en las operaciones de trabajo directo, los fabricantes pueden asignar un precio a los elementos que integran el *costo primario* del producto. En general, se piensa que el costo primario es la suma de los costos directos de material y mano de obra.

Los costos son la base de las acciones dentro de una organización. Cuando los costos de procesar una parte se vuelven demasiado altos comparados con los métodos de producción competitiva, debe considerarse hacer algunos cambios. Es invariable que existan distintas alternativas para la manufactura de un diseño funcional, dado que compiten en términos de costos. Por ejemplo, el moldeo compite con la forja, escariar con perforar, moldeo en matriz con moldeo en plástico, el metal pulverizado con destornilladores automáticos, etcétera.

Los costos de manufactura se pueden clasificar en cuatro grupos: costos directos de material, costos directos de mano de obra, gastos de fabricación y gastos generales. Los dos primeros se refieren a la producción directa, mientras que los dos últimos son gastos fuera de la producción, llamados *costos generales*. Los *costos directos de material* incluyen materia prima, componentes compradas, artículos comerciales estándar (sujetadores, alambre, conectores, y otros) y artículos subcontratados. El ingeniero industrial comienza por calcular la cantidad básica requerida para el diseño. A este valor se suman pérdidas por desperdicio debidas a errores ya sea de manufactura, de proceso o de diseño y mermas debidas a robo o efectos ambientales. La cantidad aumentada que se obtiene, multiplicada por el precio unitario, proporciona el costo final de material con un factor de resta por el valor de recuperación previsto:

$$Costo_{material} = Q \times (1 + L_{sc} + L_{w} + L_{sh}) \times C - S$$

donde: Q = cantidad base en peso, volumen, área, longitud, etcétera,
L_{sc} = factor de pérdida debido a desperdicio (mismas unidades),
L_{w} = factor de pérdida debido a retrabajo (mismas unidades),
L_{sh} = factor de pérdida debido a mermas (mismas unidades),
C = costo unitario de materiales,
S = valor de recuperación de materiales.

HORAS DE VARIACION EN MANO DE OBRA DIRECTA

Semana que termina el 3 de junio

No.	Nombre	Mano de obra directa asignada	Variación de eficiencia					Porcentaje de variación total arriba y abajo del estándar				
			Final de semana			Prom. semanal		Final de semana				
			6/3	5/26	5/19	Primer trim.	Abril	6/5	5/26	5/19	4 sem., abril	Primer trim.*
11	Taller maquinado	892	204	29	110	33	3	22.9	2.5	9.2	0.2	2.2
12	Cepillado con alambre	178	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	Prensa punzadora	41	18	8	—	6	3	43.9	9.5	—	4.5	9.1
20	Laminado de caucho	21	101	43	124	21	51	481.0	18.1	172.2	37.4	13.8
31	Fabricación con caucho	1 183	36	29	12	116	59	3.0	1.5	0.7	3.2	5.2
35	Planta piloto	53	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
39F	Acabados	339	60	107	27	42	50	17.7	18.5	5.8	10.0	6.6
39P	Pintura	23	1	9	12	8	3	4.3	12.7	23.1	11.0	26.4
40	Ensamble	13	1	15	15	14	4	7.7	28.3	25.9	6.0	19.9
50	Recuperación	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
65	Almacén de herramientas	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Total - Esta semana	2 763	217	148	192	104	59	7.9%	3.7%	4.5%	1.2%	1.9%
	Semana anterior	4 462										

Nota: los cambios más recientes en planeación y método se reflejan en todos los grupos.
* El primer trimestre comprende 13 semanas del 1o. de enero al 31 de marzo.

Figura 16-7 Reporte semanal que ilustra el desempeño departamental en una planta manufacturera (lo impreso en tipo normal indica horas y porcentajes de ingresos sobre el estándar; el tipo cursivo indica en qué grado no se logra el estándar)

La *mano de obra directa* se refiere a trabajadores que están involucrados en la manufactura directa del producto. Los costos directos de mano de obra se calculan a partir del tiempo requerido para fabricar el producto (tiempo estándar, como se vio en capítulos anteriores) multiplicado por la tasa salarial.

EJEMPLO 16-1 Estimación del costo primario de una componente

Al estimar el costo primario para producir una componente de ABS cuyo proceso es moldeo por inyección, primero se multiplica el costo por libra de la resina ABS por el peso en libras del producto, con los suplementos correspondientes por bombeo, vaciado y mermas normales (usual de 3 a 7% en partes termoplásticas complejas). A esta cifra, se suma el costo de mano de obra directa. Por ejemplo, si el operario de la prensa de inyección atiende cinco máquinas y tiene una tasa por hora (que incluye el costo de las prestaciones) de $18/hora, el costo directo de mano de obra por prensa de inyección es $3.60/hora, o $0.06/minuto. Si el tiempo de ciclo para moldear la parte es 0.5 minutos, el costo de mano de obra directa por pieza es $0.03.

Suponga que el costo de la resina es $1.20 por libra y que el peso de cada pieza es 1 onza. Suponga también que el peso del vaciado y el bombeo es 0.1 onzas y que una merma de 5% es característica de estas máquinas. Entonces, el costo estimado del material es:

$$\$1.20 \times 1.1 \times 1.05/16 = \$0.087$$

En este ejemplo, el costo primario por pieza es

$$\$0.03 + 0.087 = \$0.117$$

Los *costos de fabricación* incluyen aspectos como mano de obra indirecta, herramientas, máquinas y costos de energía. La *mano de obra indirecta* incluye aspectos como envío y recepción, flete, almacenamiento, mantenimiento y servicios de intendencia. Los costos de trabajo indirecto, herramientas y máquinas pueden tener mayor influencia en la selección de un proceso específico que el material y los costos de trabajo directo. Por ejemplo, en la ilustración anterior, un molde de una cavidad puede costar $30 000, y la tasa de maquinado (costo de operar la prensa de inyección excluyendo al operario) puede ser $20.00/hora. (En un centro de maquinado complejo, las tasas de las máquinas con frecuencia son de unos cuantos dólares por hora y llegan a ser hasta de $50 o más por hora.)

La asignación de costos de herramientas también tiene una relación significativa con la cantidad de producción. De nuevo en el ejemplo, suponga que deben producirse 10 000 piezas. Esto da un costo unitario por herramientas de $30 000/10 000, o $3.00 por pieza. Este costo es mucho mayor que el costo combinado de material y mano de obra directa (más de 10 veces). Si se producen 1 000 000 de piezas, el costo unitario por molde es sólo $0.03 (cerca de un tercio del costo de trabajo directo y material). Suponga que la tasa de la máquina para este equipo (sin incluir el costo del molde) es $20.00/hora, o sea $0.333/min, y que se desea un millón de piezas. Entonces, el costo total de fabricación (material directo + trabajo directo + gastos de fabricación) es

$$\$0.087 + \$0.03 + \$0.333/2 = \$0.2835$$

El *costo general* incluye costos como el *de mano de obra* (contabilidad, administración, apoyo, ingeniería, ventas, etcétera), renta, seguros, servicios de luz y agua. La preocupación primordial del ingeniero industrial es el costo de fabricación, pues es el que tiene impacto en la selección de las formas alternativas de producir un diseño dado.

La figura 16–8 ilustra los diferentes costos y elementos de ganancia que influyen en el desarrollo del precio de venta. Entender la base del costo ayudará al ingeniero a elegir los materiales, procesos y funciones que fabriquen el mejor producto. Obtener un incremento en la perfección de 90 a 95% puede significar un aumento de 50% en el costo de desarrollo y precio del producto y destruir el valor de las ventas del producto. El costo, la calidad y el grado de perfección deben estudiarse con cuidado para obtener la mayor ganancia en un periodo dado. En general, el costo es el factor decisivo. La relación entre costo, ventas, ganancias o pérdidas y volumen se aprecia mejor en una gráfica de punto de equilibrio (vea el capítulo 8). La figura 16–9 ilustra una gráfica de punto de equilibrio típica.

La distribución de los factores de costo varía en forma drástica con el número de unidades producidas. Esto se presentó en conexión con el costo fijo, como se muestra en la figura 16–8, y con la distribución del costo del molde estudiada en el ejemplo anterior. Cuando las cantidades son pequeñas, la proporción de costos de desarrollo es alta comparada con el costo de gastos en manufactura, mano de obra directa, materia prima y componentes compradas. El desarrollo del costo incluye diseño, preparación de dibujos, recolección de información de manufactura, diseño y construcción de herramientas, pruebas, inspección y muchos otros aspectos que intervienen en la colocación de las primeras unidades en producción. Conforme aumenta el número de unidades, la atención se centra en reducir los gastos generales, de mano de obra directa y de materiales.

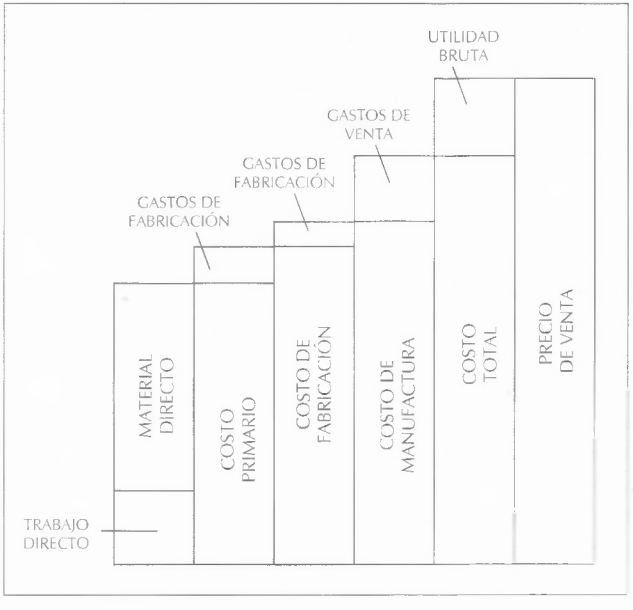


Figura 16–8 Elementos de costos y utilidades brutas (antes de impuestos) que entran en el desarrollo del precio de venta. *Observe que, para este producto, el costo de material es alrededor de 5.3% del costo total y que 17.5% del costo total es la utilidad bruta esperada.*

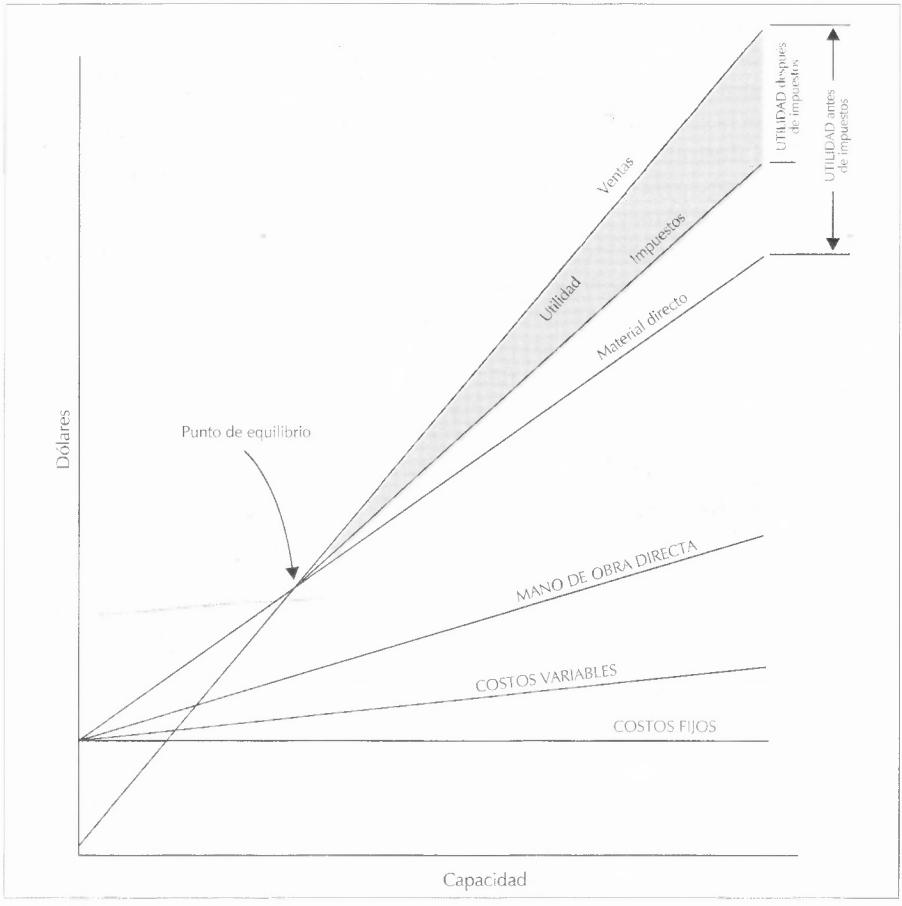


Figura 16–9 Gráfica de punto de equilibrio que indica la relación entre costo, ventas, utilidades o pérdidas y volumen. *Observe que en cada categoría, se agrega la categoría anterior para obtener una suma acumulada.*

mediante procesos de ingeniería y métodos de manufactura avanzados. Cuando las cantidades de producción son bajas, los gastos en herramientas, automatización, robótica e ingeniería elaborada tendrán un rendimiento neto menor en la reducción de costos. Cuando las cantidades son grandes, el gasto en el esfuerzo de ingeniería dará como resultado menores costos de mano de obra, materiales y generales por unidad de producción, y se obtendrá un rendimiento alto incluso para pequeños ahorros por unidad. Por ejemplo, suponga que un fabricante de automóviles produce dos millones de unidades al año, de las cuales un millón tiene cuatro cilindros por motor y el otro seis, y se colocan cuatro anillos por pistón en cada cilindro, entonces debe producir 40 millones de anillos al año. Un ahorro de $0.01 en cada anillo sería igual a $400 000 anuales. Por lo tanto, para obtener un costo mínimo, es posible que sea redituable un gran esfuerzo de ingeniería

Tabla 16–4 La reducción en la mano de obra directa de una parte puede causar que el costo general por hora exceda el costo general presupuestado

		Nuevo método: herramientas con recubrimiento de carburo	
	Método antiguo	Costos generales basados en costo por hora establecido	Costos generales basados en costos reales
Tiempo asignado para dar vuelta a la polea en un taladro vertical CN	5.00 h	2.5 h	2.5 h
Tasa de mano de obra directa por hora	$ 20.00	$ 20.00	$ 20.00
Costos de mano de obra directa	$100.00	$ 50.00	$ 50.00
Costo por inspección, reparaciones, manejo de materiales, depreciación, etc. por hora	$ 40.00	$ 40.00	$ 80.00*
Costo general	$200.00	$100.00	$200.00
Costo general de mano de obra directa	$300.00	$150.00	$250.00
Ahorro aparente por pieza = $300.00 – $150.00 = $150.00 Ahorro real por pieza = $300.00 – $250.00 = $ 50.00			

* Ya que el costo general por pieza tiende a permanecer constante, el costo general real para el nuevo método será parecido al del método antiguo.

aplicado al esfuerzo de producción, desde la materia prima hasta la instalación del producto terminado.

Existe una competencia constante entre materiales y procesos, basada en los costos a los que afecta el número de piezas hechas durante un periodo. La actividad de las partes afecta la cantidad de tiempo que opera la actividad, comparada con las horas disponibles. La razón de las horas operadas entre las horas disponibles tiene un gran efecto sobre el costo. Considere el siguiente ejemplo representativo.

Una prensa grande de extrusión hidráulica, que incluye las bombas hidráulicas y la construcción de la cabina de la prensa, cuesta $3 000 000. La depreciación, mantenimiento e interés sobre la inversión asciende a 20% anual ($600 000). Por lo común se cuenta con 2000 horas-trabajo al año en un turno (8 h × 5 días/semana = 40 h/semana y 40 h/semana × 50 semanas/año = 2000 h/año). Tres turnos representan 6000 h/año disponibles. Entonces, el costo mínimo de la instalación durante un día de 24 horas será 600 000/6000 = $100/h. En realidad, el departamento de ventas puede vender sólo suficiente para mantener el equipo en operación 8 horas al día. Por lo tanto, los costos de máquina son 600 000/2000 = $300/h. Si las ventas disminuyen, el costo de máquina por hora aumenta y esto hará difícil operar el negocio con ganancias.

Es importante que el ingeniero dedicado a las actividades de reducción de costos entienda el sistema contable de la compañía. Por ejemplo (vea la tabla 16–4), cuando los presupuestos y la razón de costos se basan en las horas de mano de obra directa, el sistema puede penalizar a un supervisor de línea progresista que introduce métodos nuevos o mejorados. Puede tener una parte que se barrena y procesa en un torno automático vertical en 5 horas. Si usa herramientas con recubrimiento de carburo puede re-

ducir el tiempo de maquinado a 2.5 horas. Esto es 50% menos de mano de obra, al que se debe sumar el costo adicional de mantenimiento (ya que la máquina trabaja más) y el manejo de materiales, inspección, suministros, ayudantes de producción, etcétera, que varían según el número real de partes que se manejan por unidad de tiempo, y no en horas de trabajo directo. Cuando el presupuesto del supervisor de línea llega a números rojos, sólo puede explicar que el departamento produce las partes 50% más rápido que antes y que los gastos del departamento son más altos en proporción a la mano de obra directa.

Suponga que al introducir las herramientas con recubrimiento de carburo y otras mejoras en el departamento, el supervisor de línea reduce 50% todos sus costos de mano de obra directa y sigue fabricando el mismo número de partes. Como sus presupuestos se basan en mano de obra directa, debe ajustar el presupuesto cuando realiza las mejoras. Cuando la presión se dirige al incremento de presupuestos y tasas de costo (que ha sido la situación característica durante los últimos 20 años), la ingeniería de métodos con frecuencia es efectiva en la reducción de costos indirectos. Como ejemplo, mejores instalaciones para el manejo de materiales y distribuciones de planta mejoradas pueden reducir el gasto general. La planta eficiente casi siempre tiene costos de mano de obra directa bajos y costos generales altos. Una tasa de costo baja no indica una planta eficiente. Al hacer una reducción de costos, el ingeniero de manufactura debe estudiar la eficiencia de los departamentos generales (mantenimiento, envíos, recepción, manejo de materiales, almacén y tiendas), al mismo tiempo que las áreas de trabajo directo, y deben obtener reducciones en el costo total.

EJEMPLO 16–2 Costeo de una ventana

Como ejemplo, considere la construcción de una nueva ventana. La Hess Manufacturing Co. produce una amplia variedad de ventanas de reemplazo de vinil (vea la figura 16–10). Un sistema de datos de estándares y costeo es una necesidad para que Hess considere cualquier cambio en el estilo, forma y características de las ventanas y puertas. Piense en el elemento más sencillo en la construcción de una ventana de tres pliegos, el claro o la hoja fija de vidrio en un marco de aluminio con caja ligera y saliente en ángulo o arco. Una de las ventanas más pequeñas es de 2×3 pies, pero su tamaño real es 24×35.5 pulgadas.

Los materiales directos para una ventana incluyen extrusiones de aluminio 6069 revestido de vinil para la cabeza, el silo, dos montantes y cuatro retenes vidriados; dos bloques vidriados, y dos cubiertas y dos agujeros de drenaje, una hoja doble de vidrio separada por un espaciador de butilo para el aislamiento y los materiales de empaque. Según la cuenta separada (tabla 16–5), el costo total de materiales directos es $18.42. Observe que se usan varios factores de desperdicio al calcular los costos de material. Para las extrusiones de aluminio, se aumentó un factor de 8% a la longitud de corte y por ende el costo aumentó en el mismo porcentaje:

$$24.25 \text{ pulg} \times (1 + .08) \times \$.08275/\text{pulg} = \$2.167$$

Una gráfica de proceso de la operación de manufactura indica que se necesitan las siguientes operaciones básicas: cortar extrusiones de aluminio y retenes vidriados al tamaño, perforar los agujeros de drenaje, soldar el marco, limpiar las esquinas, ensamblar el

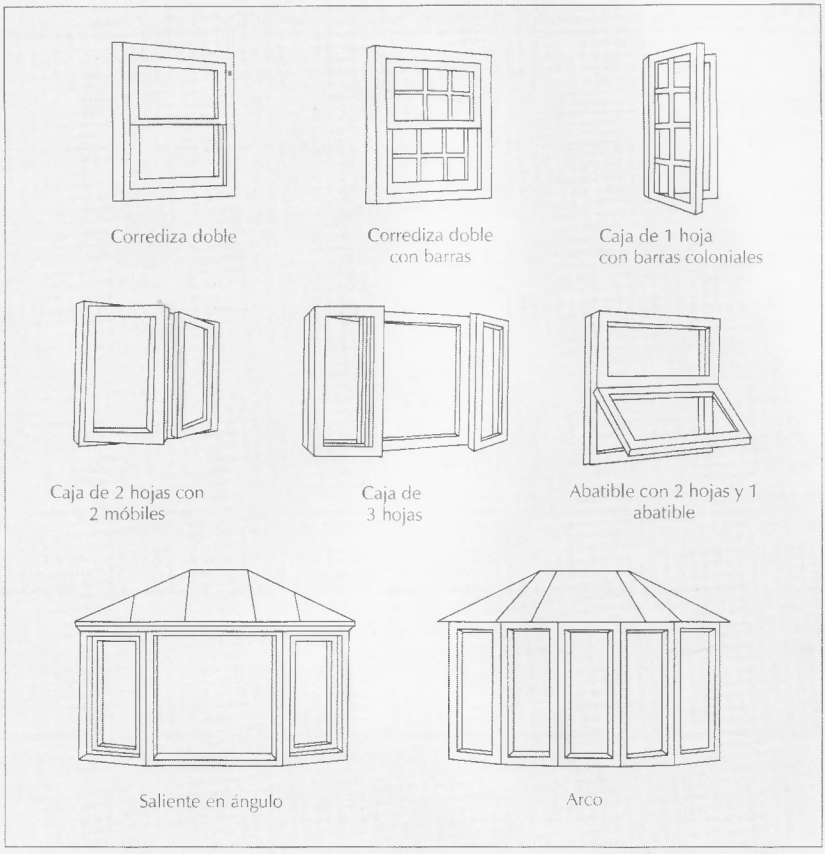


Figura 16–10 Diversos estilos de ventanas
(*Cortesía de:* Hess Manufacturing Co.)

producto final y empacar. De los datos de estándares de la tabla 16–6 y las componentes requeridas, se calcula un tiempo estándar de ensamble total de 19.193 minutos para una ventana de 2 × 3 pies (vea la tabla 16–7). De este tiempo, 14.522 minutos se deben a elementos manuales del operario (con un suplemento de 20%, 12.102 × 1.2 = 14.522 minutos) y 4.671 minutos se deben a elementos de máquina (con un suplemento de 5% por mal funcionamiento de máquinas y mantenimiento, 4.449 × 1.05 = 4.671 minutos).

Estos 19.193 minutos corresponden a 0.32 horas (19.193/60) de trabajo directo, que a un costo promedio de $7.21/h da un costo de mano de obra directa de $2.31. Una tasa de gastos generales de 136% (0.32 × 1.36 × 7.21) de los costos de mano de obra directa dan $3.14 de gastos de fabricación. Al sumar $18.42 del costo de material directo y los dos costos anteriores se obtiene un costo total de fabricación de $23.87 (vea la tabla 16-8). Según este costo, Hess puede determinar un costo de venta sugerido que mantenga su presupuesto dentro de las utilidades deseadas.

Tabla 16-5 Lista de materiales: construcción de ventana nueva (2' × 3')

Partes - materiales	Unid.	Longitud (pulg)	Factor de desperdicio	Longitud total (pulg)	Costo Unitario ($/pulg)	Costo ($)
Extrusiones						
Cabeza, 6069	1	24.250	0.08	26.190	0.08275	2.167
Silo, 6069	1	24.250	0.08	26.190	0.08275	2.167
Montante, 6069	2	35.697	0.08	38.552	0.08275	6.380
Retén vidriado, superior	2	15.290	0.08	16.513	0.00733	0.242
Retén vidriado, laterales	2	19.750	0.08	21.330	0.00733	0.313
Hardware						
Bloque vidriado	2	—	0.01	—	0.019	0.0388
Cubierta de agujero de drenaje	2	—	0.01	—	0.085	0.1717
Vidrio						
Vidrio tranparente[1]	2	5.92	0.10	6.51	0.258	3.360
Espaciador[2]	1	119.00	0.10	130.90	0.0246	3.220
Empaques						
Esquineros	4	—	0.03	—	0.056	0.231
Recubrimiento elástico[3]	1	—	—	—	0.131	0.131
				Total del costo de material directo		18.42

[1] El tamaño del vidrio está dado como área en pies y los costos unitarios como $/pie.
[2] El espaciador es de butilo y se coloca entre las dos hojas de vidrio.
[3] No medido específicamente; se usa un valor promedio.

Tabla 16–6 Datos estándar (minutos) para construcción nueva de ventanas de (2' x 3')

Operación	Código Oper.	Tipo de ventana v1h	vc	v2h	sal	Tiempo observado Abrir	Embonar	Calif. Operario	Tiempo normal Abrir	Embonar
Cortar	CT	•	•	•		0.125	—	115	0.144	—
	CT	•	•	•	•	0.232	—	102	0.236	—
	CT	•	•	•	•	0.432	—	122.5	0.529	—
Fresar	FR	•	•			0.305	—	125	0.381	—
Barrenar	BR	•	•	•		0.275	—	115	0.316	—
	BR	•		•		0.242	—	117	0.283	—
Punzonar	PZ	•	•	•		0.145	—	115	0.167	—
	PZ	•	•	•	•	0.208	—	122.5	0.255	—
Balancear ensamble	BE	•		•		0.757	—	120	0.908	—
Reforzar barra	RB	•	•	•		1.233	—	115	1.418	—
Apilar	AP	•	•	•		0.163	—	115	0.187	—
Soldar	SD	•	•	•	•	0.767	0.717	107.5	0.825	0.717
Limpiar	LE	•	•	•		1.133	—	122.5	1.388	—
esquinas	LE	•	•	•	•	0.220	2.942	100	0.220	2.942
Hardware	HW	•	•	•		1.673	—	112.5	1.882	—
Colocar vidriado	CV	•	•	•	•	3.210	—	107.5	3.451	—
Ensamble final	EF	•	•	•	•	3.390	—	115	3.899	—
Empacar	EQ	•	•	•	•	0.373	0.790	105	0.392	0.790

v1h = ventana de una hoja
vc = ventana corrediza
v2h = ventana de dos hojas
sal = ventana en saliente

Tabla 16–7 Análisis del tiempo de ensamble (minutos): construcción de ventana nueva (2' × 3')

	Elementos manuales				
Proceso	Cabeza	Silo	Montante	Retén vidriado	Elementos de máquina
Corte	0.529	0.529	0.529	0.236	—
Barrenar agujeros de drenaje	—	0.255	—	—	—
# partes / marco	1	1	2	4	—
Subtotal de tiempo		3.315			—
Soldar		0.825			0.717
Limpiar esquinas		0.220			2.942
Colocar vidriado		3.451			—
Ensamble final		3.899			—
Empaque		0.392			0.790
Tiempo total de ensamble		12.102			4.449
Suplementos		20%[1]			5%[2]
Tiempo estándar de ensamble		14.522			4.671
			Tiempo total estándar de ensamble		19.193

[1] Incluye 5% suplemento personal, 5% suplemento por fatiga básica, 5% suplemento por demora, 5% suplemento por manejo de materiales

[2] Considera mal funcionamiento y mantenimiento de la máquina

Tabla 16–8 Costeo de construcción de ventana nueva (2' × 3')

Tipo de costo	Minutos	Horas	Tasa ($ / hr)	Costo ($)
Materiales directos	—	—	—	18.42
Mano de obra directa	19.193	0.320	7.21	2.31
Costo de fabricación	19.193	0.320	9.81	3.14
			Costo total de fabricación	23.87

Observe que estos *costos estándar* son metas de costo predeterminados con cuidado que deben lograrse. Se usan para determinar los costos del producto, evaluar el desempeño y, en general, para presupuestar. Sin embargo, conforme se desarrolla el trabajo, se incurre en costos reales que pueden tener *variaciones* si se comparan con los costos estándar. Estas variaciones se consideran favorables si los costos reales son menores que los presupuestados o estándar, y son desfavorables cuando exceden a los costos estándar. Las variaciones proporcionan una retroalimentación sobre lo que debe modificarse para operar una línea productiva.

VIGILANCIA Y CONTROL DE ESTÁNDARES DE CALIDAD

Los estándares de tiempo obligan a mantener los requerimientos de calidad. Como los estándares de producción se basan en la cantidad de piezas aceptable producidas en una unidad de tiempo y como no se reconoce el trabajo defectuoso, existe un esfuerzo constante e intenso por parte de los trabajadores para producir sólo partes aceptables. Si se cuenta con un plan de pago de incentivos, sólo se compensa a los operarios por las unidades aceptables; para mantener sus ingresos altos, minimizan el desperdicio. Es invariable que la inspección por muestreo es más efectiva si se aplica en condiciones de incentivos. El operario se asegura que la calidad de cada pieza es satisfactoria antes de

entregarla. Cuando algunas piezas tienen defectos, se responsabiliza de la recuperación al operario que las produjo, o se ajustan sus ingresos a una compensación sólo por las partes satisfactorias.

PROBLEMAS DE ADMINISTRACIÓN

Los estándares de tiempo van acompañados de muchas medidas de control, como programación, rutas, control de materiales, presupuestos, pronósticos, planeación y costos estándar. Tener control sobre prácticamente todas las etapas de una empresa, incluso las de producción, ingeniería, ventas y costos, minimiza los problemas de administración. Si se aplica el "principio de excepción" por el que se dedica atención sólo a esos artículos que se desvían del curso planeado de eventos, la administración puede confinar sus esfuerzos a sólo un pequeño segmento de la actividad total en la empresa.

Por ejemplo, la figura 16–11 ilustra un análisis de tiempo perdido semanal desarrollado para que la administración pueda tomar acciones positivas cuando no se logran las horas programadas. Observe que se estableció una meta de 9.50% horas perdidas para 1999, comparado con 10.6% horas en 1998.

La figura 16–12 ilustra cierta información administrativa relacionada con el análisis de fallas para siete subsistemas importantes de un sistema de compresor grande. Los datos del estudio de muestreo del trabajo ilustran la distribución de Pareto (que refleja que una porción pequeña de una actividad es responsable de una gran parte de ella).

Las operaciones gubernamentales también han encontrado que los estándares de tiempo son muy útiles. Este tipo de aplicación de los estándares se inició en 1949 por un decreto del Congreso norteamericano con lineamientos específicos para un sistema eficiente de premios en las dependencias del gobierno. Más tarde, en 1968, la MIL-STD 1567A requirió la aplicación de un programa de medición del trabajo disciplinada como herramienta administrativa para mejorar la productividad y para evaluar las propuestas de individuos o grupos.

SERVICIO A CLIENTES

La experiencia indica que es más probable que las compañías que han desarrollado estándares justos basados en la medición, cumplan con las fechas de entrega programadas para sus productos. El uso de estándares de tiempo permite la introducción de procedimientos de control actualizado con ventajas para los consumidores que obtienen su mercancía cuando la necesitan o la desean. Además, los estándares de tiempo tienden a hacer que una compañía esté más consciente de los costos y el tiempo; en general, esto da como resultado precios de venta más bajos. Como ya se explicó, la calidad se conserva con un plan de estándares, que asegura a los clientes que se fabrican más partes que cumplen las especificaciones requeridas.

RESUMEN

Un seguimiento exhaustivo y periódico asegura el logro que los beneficios esperados del nuevo método. Esto exige el mantenimiento de los estándares de tiempo para obtener una estructura de costos satisfactoria. Debe hacerse una revisión periódica de todos

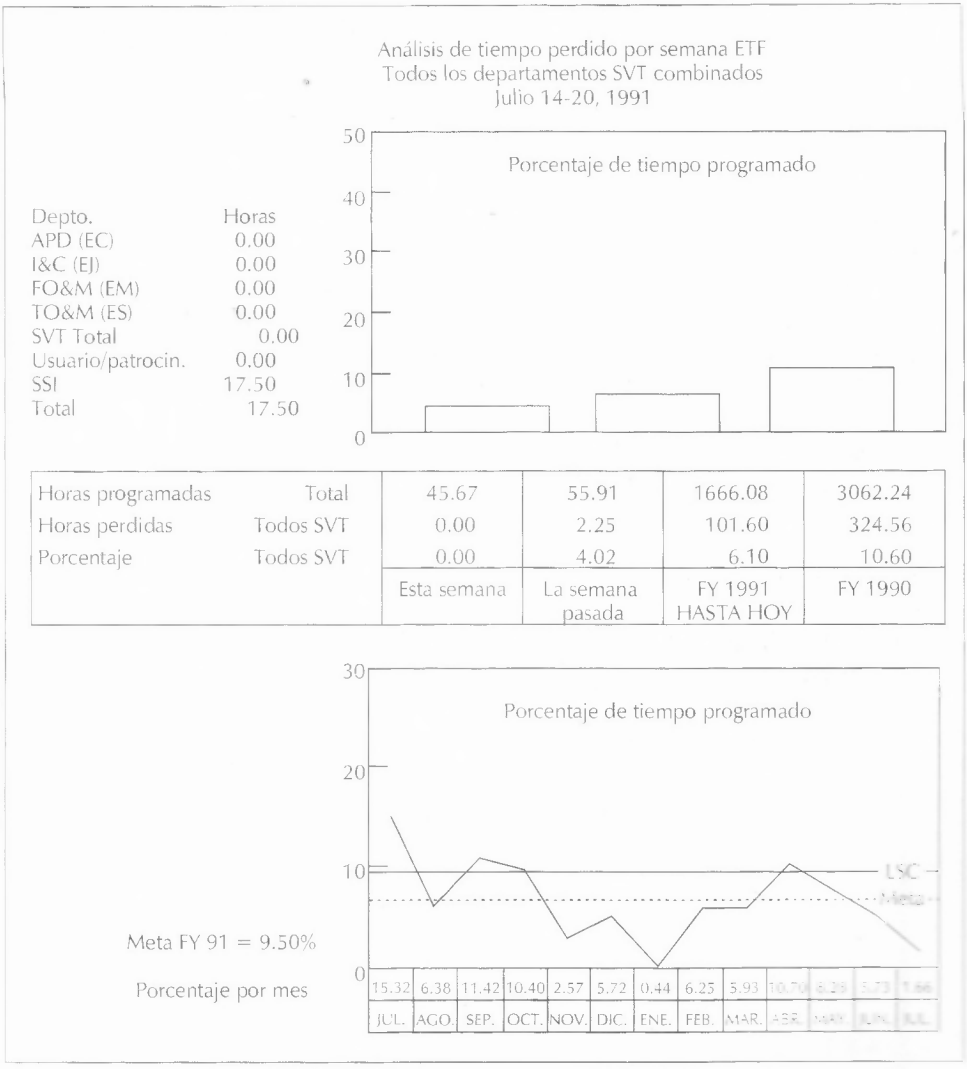
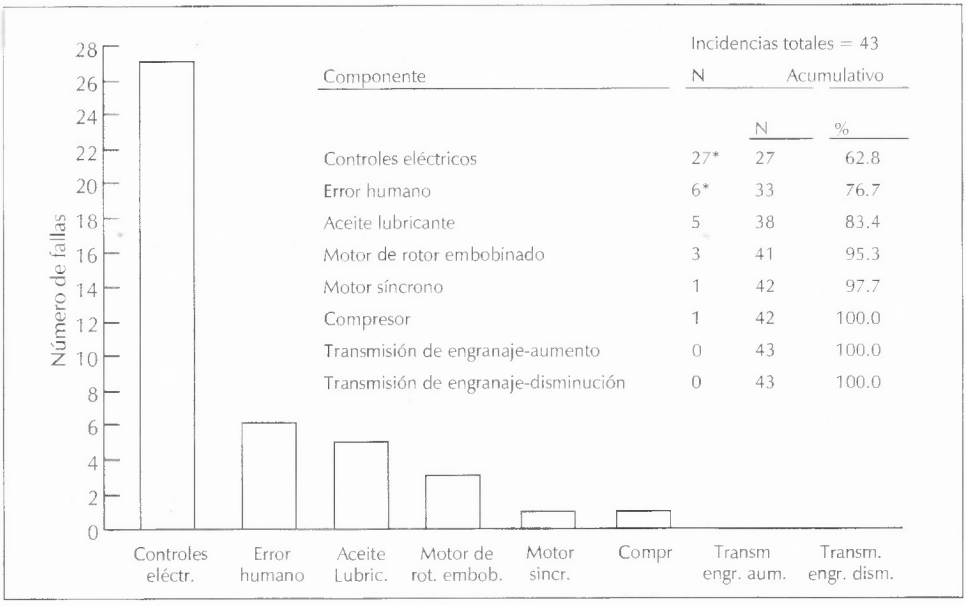


Figura 16–11 Análisis del tiempo perdido semanal de ETF, julio 14-20, 1991. (*Cortesía de:* Ramesh C. Gulati, Sverdrup Technology, Inc., AEDC Group)

los estándares para verificar que los métodos utilizados son idénticos a los empleados cuando se establecieron los estándares. Es necesario un análisis de métodos continuo.

Existen muchas aplicaciones de los estándares de tiempo en todas las áreas de la empresa. Tal vez el resultado más significativo es el mantenimiento de la eficiencia de toda la planta. Si no se puede medir la eficiencia, no es posible controlarla, y sin control será notoria su disminución. Una vez que la eficiencia disminuye, los costos de mano de obra se elevan con rapidez y el resultado es la pérdida eventual de la competitividad en el mercado. La figura 16-13 muestra la relación entre los costos de mano de obra y la



Incidencias totales = 43

Componente	N	Acumulativo N	Acumulativo %
Controles eléctricos	27*	27	62.8
Error humano	6*	33	76.7
Aceite lubricante	5	38	83.4
Motor de rotor embobinado	3	41	95.3
Motor síncrono	1	42	97.7
Compresor	1	42	100.0
Transmisión de engranaje-aumento	0	43	100.0
Transmisión de engranaje-disminución	0	43	100.0

Figura 16–12 Análisis de fallas para siete subsistemas principales de un sistema de compresor grande y error humano.
(*Cortesía de:* Ramesh C. Gulati, Sverdrup Technology, Inc., AEDC Group)

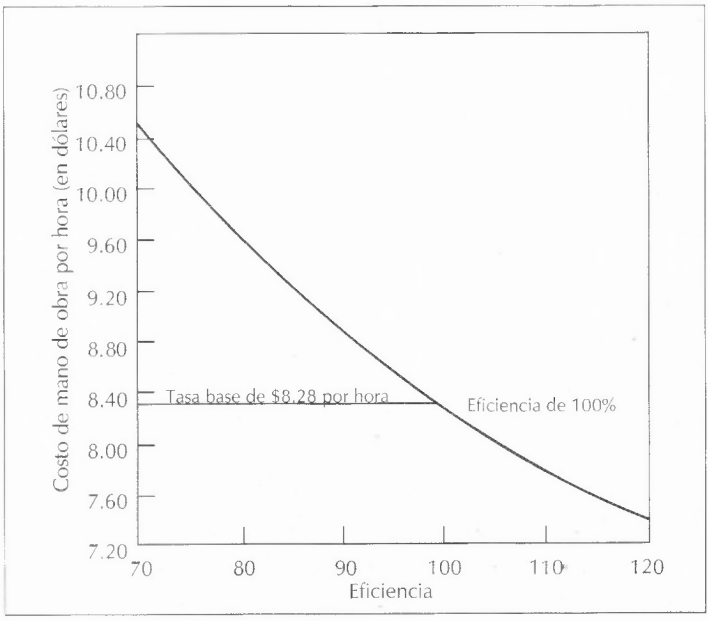


Figura 16–13 Relación entre costos de mano de obra y eficiencia.
(Desarrollada con datos proporcionados por AC Spark Plug Division, General Motors Corp.)

eficiencia en una compañía de prestigio que fabrica accesorios para automóvil. Con el establecimiento y conservación de estándares efectivos, una empresa puede estandarizar los costos de mano de obra directa y controlar los costos totales.

PREGUNTAS

1. Compare las formas para determinar un tiempo estándar.
2. ¿De qué manera ayudan los estándares de tiempo válidos al desarrollo de la planta ideal?
3. Explique la relación entre los estándares de tiempo y la capacidad de la planta.
4. ¿Como se usan los estándares de tiempo para un control de la producción efectivo?
5. ¿En qué forma permiten los estándares de tiempo la determinación precisa de los costos de mano de obra?
6. ¿Cómo ayuda el desarrollo de estándares de tiempo para mantener la calidad del producto?
7. ¿Por qué mejora el servicio al cliente cuando se tienen estándares de tiempo válidos?
8. ¿Cuál es la relación entre el costo de mano de obra y la eficiencia?
9. ¿Cómo se simplifican los problemas administrativos con la aplicación de los estándares de tiempo?
10. Explique cómo se pueden preveer con precisión las áreas de inventario y almacén.
11. Explique qué significa la distribución de Pareto. Proporcione algunos ejemplos de esta distribución con los que esté familiarizado.
12. Si una auditoría revela que un estándar, como se estableció en un principio, está holgado 20%, explique la metodología para rectificar la tasa.
13. ¿Cuál es la relación entre la exactitud de los estándares de tiempo y el control de la producción? ¿Se aplica la regla de disminuir rendimientos?
14. ¿De qué manera la medición del trabajo mejora la selección y colocación de personal?
15. ¿Cuándo ya no es necesario dar seguimiento a un método implantado?

PROBLEMAS

1. En la compañía manufacturera XYZ, el costo de trabajo directo se basa en la relación de eficiencia mostrada en la figura 16–13. Para una línea de productos dada, el precio de venta se basa en una operación con 95% de eficiencia. ¿Qué utilidad adicional obtiene la compañía si la eficiencia real es de 110%? La utilidad se estimó originalmente en 10% del costo total. En esta línea de productos, el costo general total se estimó en 100% de costo primario (trabajo directo más material directo). El costo promedio de material fue $5 por unidad producida y el trabajo directo promedio fue 0.50 horas por unidad.
2. En la compañía XYZ, la administración estudia la posibilidad de aumentar de dos a tres turnos diarios de 8 horas, a dos turnos de 10 horas al día, con el fin de aumentar la capacidad. La administración sabe que los inicios de turno tienen una pérdida de productividad de 0.5 horas por empleado. El cargo por el tercer turno es 15% por hora. Las horas trabajadas por día, después del turno de 8 horas, cuestan 50% más. Para cumplir con las demandas proyectadas es necesario aumentar 25% las horas-trabajo de producción. En vista del espacio insuficiente y el equipo de capital, el incremento no puede realizarse si aumenta el número de empleados en cualquier turno. ¿Qué debe hacer la administración?

3. Se establece un estándar de tiempo que da al operario 11.28 minutos por pieza. El departamento de ventas espera vender al menos 2000 de estas partes durante el siguiente año. ¿Cuántas auditorías de este estándar recomendaría que se programaran en los próximos 12 meses?
4. Si el pago por jornada de trabajo en un taller tiene un promedio de $12.75 por hora y hay 250 empleados de trabajo directo, ¿cuál sería el costo directo verdadero por hora si, durante un mes normal, se producen 40 000 horas-trabajo?
5. La Dorben Co. quiere decidir si vale la pena sacar un nuevo modelo mejorado de su dispositivo. Se recolectaron los siguientes detalles:

Tiempo estándar (minutos)	= 1.00
Costo directo de material por dispositivo	= $0.50
Costo de mano de obra directa por dispositivo	= $1.00
Costos de mano de obra indirectos por dispositivo	= $0.50
Gastos generales de mano de obra por dispositivo	= $0.50
Gastos generales fijos incluido el costo de venta/año	= $50 000

   a. Grafique el costo básico como una funaicón de producción.
   b. Grafique los costos totales como una función de producción.
   c. Dé un precio de venta de $3.00/dispositivo, ¿cuántos dispositivos debe vender Dorben para tener ganancias? Muestre este punto en la gráfica.

REFERENCIAS

Buffa, Elwood S., *Modern Production Operations Management*, 6a. ed., Nueva York: John Wiley & Sons, 1980.

Graham, C. F., *Work Measurement and Cost Control*, Oxford, England: Pergamon Press, 1965.

Greene, J. H., *Production and Inventory Control: Systems and Decisions*, ed. rev. Homewood, IL: Richard D. Irwin, 1967.

Magee, J. F. y D. M. Boodman, *Production Planning and Inventory Control*, 2a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1967.

Moore, F.G. y R. Jablonski, *Production Control*, 3a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1969.

Mundel, Marvin E. A., *Conceptual Framework for the Management Sciences*, Nueva York: McGraw-Hill, 1967.

Panico, Joseph A., "Work Standards: Establishment, Documentation, Usage and Maintenance", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

SOFTWARE SELECCIONADO

Nicks, J. E., *Cost Estimating, Basic Programing Solutions for Manufacturing*, Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1982.

Pago de salarios

PUNTOS CLAVE:

- Establecer incentivos sencillos pero justos, basados en estándares probados.
- Garantizar tasas de horas básicas.
- Proporcionar incentivos individuales más arriba de las tasas base.
- Relacionar los incentivos en forma directa con el aumento de producción de un producto de calidad.
- No contrarrestar las ganancias en la productividad con mayores costos por lesiones.

Los factores principales para crear trabajadores altamente productivos y satisfechos son la compensación y reconocimiento por el desempeño efectivo. La compensación debe ser significativa para los empleados, ya sea financiera, psicológica o de ambos tipos. La experiencia ha probado que los trabajadores no hacen un esfuerzo adicional o sostenido a menos que cuenten con un incentivo, ya sea directo o indirecto. Los incentivos, de una forma u otra, se han usado durante muchos años. Hoy, con la creciente necesidad de las empresas e industrias norteamericanas de mejorar su productividad para frenar la inflación y mantener o mejorar su posición en el mercado mundial, la administración debe tomar en cuenta las ventajas de los incentivos salariales. Sólo cerca de 25% de los trabajadores de la manufactura tienen incentivos. Si esta cifra se duplicara en la próxima década, las mejoras a la productividad de todo el país serían grandiosas.

Cada día el costo de las prestaciones es más significativo (en la actualidad promedian 40% de la mano de obra directa), este costo debe prorratearse entre más unidades de producción. En este momento, las prestaciones incluyen no sólo las características básicas como pensiones, pago de vacaciones y beneficios médicos (cuyo costo se ha elevado sin límite), también comprenden aspectos como seguro por incapacidad y beneficios educativos. *Las prestaciones típicas se muestran en la tabla 17–1.*

En el sentido amplio, todos los planes de incentivos que incrementan la producción del empleado se conocen como *planes de compensación flexibles.* Se presentarán de manera breve cuatro tipos de planes flexibles: *1)* planes de piezas trabajadas y horas de

Tabla 17–1 Beneficios típicos proporcionados por una compañía**

Beneficio	Porcentaje aproximado*
Seguro de salud	13 - 18
Seguro de la vista	½ - 1
Seguro dental	2 - 4
Vacaciones (hasta 4 semanas por año)	20 - 25
Días de licencia (hasta 5 días por año)	2 - 5
Días festivos (hasta10 por año)	10 - 12
Seguro de vida	2 - 5
Incapacidad prolongada	1 - 3
Pensión	25 - 30
Reembolso de gastos educativos	1 - 2

* como porcentaje de los beneficios totales
** en E.U.A. (Nota del Traductor)

mano de obra; 2) planes de compensación por ganancias adicionales (Scanlon, Rucker, IMPROSHARE); 3) planes de obtención de acciones (de ESOP), y 4) planes de reparto de utilidades. Antes de diseñar un plan de pagos salariales en una planta, los analistas deben revisar las ventajas y desventajas de los planes anteriores, incluyendo los planes de jornada de trabajo y todos los no financieros.

PLANES DE JORNADA DE TRABAJO

Los planes de *jornada de trabajo* compensan al empleado según el número de horas trabajadas multiplicadas por una tasa base de horas establecida. El resultado de políticas que estimulan el ánimo de los empleados es una buena productividad y, sin establecer una relación directa entre la compensación y la producción, se encuentran en la clasificación de jornada de trabajo. Estas políticas son justas y sus tasas base relativamente altas, apoyadas en la evaluación del trabajo, la calificación de méritos, un sistemas de sugerencias, un salario anual garantizado y prestaciones más o menos altas, crean una actitud sana en los empleados, que tiende a estimular y aumentar la productividad.

Desde la perspectiva de la compañía, parece que el plan de jornada de trabajo es ideal. Los costos unitarios de mano de obra (salarios divididos entre la productividad o el desempeño del trabajador) disminuyen cuando la productividad aumenta (figura 17–1). En términos matemáticos, los costos unitarios de mano de obra (y_c) se pueden expresar como:

$$y_c = y_w / x$$

donde: y_w = tasa base en horas normalizadas (= 1),
x = productividad o desempeño normalizado.

Por desgracia, los planes de jornada de trabajo tienen una debilidad: permiten desfasamiento demasiado amplio entre los beneficios de los empleados y la productividad. Después de un tiempo, los empleados sienten que los beneficios son su derecho y la compañía nunca logra los costos unitarios de mano de obra más bajos. La teoría, filosofía y técnica de los planes de jornada de trabajo están fuera del alcance de este libro; se puede obtener más información del tema en libros de administración de personal.

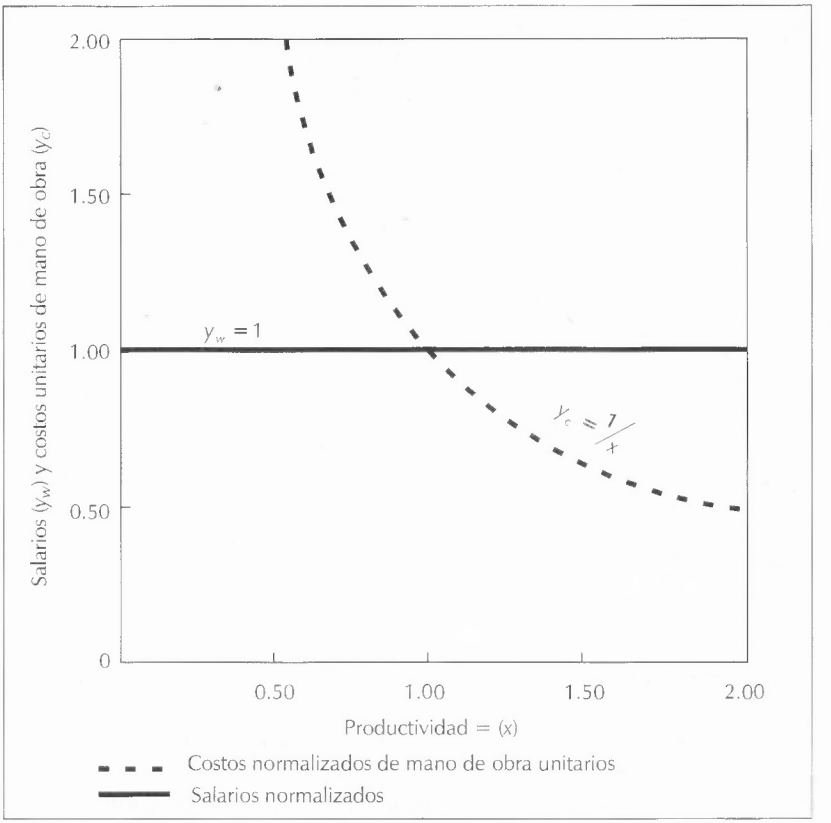


Figura 17–1 Relación entre costos, salarios y productividad en los planes de jornada de trabajo.
(*Adaptado de:* Fein, 1982. Reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

PLANES DE COMPENSACIÓN FLEXIBLES

Los *planes de compensación flexibles* incluyen todos los planes en los que la compensación del trabajador se relaciona con la producción. Esta categoría incluye planes de incentivos individuales y de grupo. En los primeros, el desempeño de cada empleado, durante el periodo, rige su compensación. Los planes de grupo se aplican a dos o más empleados que dependen entre sí como un equipo de trabajo. En estos planes, la compensación de cada trabajador dentro de un grupo se apoya en su propia tasa base y en el desempeño del grupo completo durante el periodo.

El incentivo por un esfuerzo individual alto o prolongado no es tan grande en los planes de grupo como en los individuales. Así, la industria favorece los métodos de incentivos individuales. Además, los planes de grupo tienen desventajas que disminuyen

la productividad global: 1) problemas personales que surgen por la falta de uniformidad de la producción, aunada a la uniformidad de pago y 2) dificultades para justificar los diferenciales de las tasas base por las distintas oportunidades dentro del grupo.

Sin embargo, los planes de grupo ofrecen algunas ventajas definitivas sobre los de incentivos individuales: 1) facilidad de implantación debido a que es más sencillo medir la producción del grupo que la individual y 2) reducción de los costos administrativos debido a menor documentación, menos verificaciones de inventario en proceso y menos inspección en proceso.

En general, los planes individuales de incentivos dan cabida a tasas de producción más altas y costos unitarios menores. Si es práctico ponerlo en marcha, el plan individual debe tener preferencia sobre los de grupo. Por otro lado, el enfoque de grupo funciona bien cuando es difícil medir la actuación individual en cooperación con otros empleados. Por ejemplo, si cuatro operarios trabajan juntos en la operación de una prensa de extrusión, sería casi imposible tener un sistema de incentivos individuales; en su lugar se aplicaría un plan de grupo.

PLAN POR PIEZA TRABAJADA

Con el plan *por pieza trabajada* todos los estándares se expresan en dinero y se compensa a los operarios en proporción directa a la producción. Con el plan por pieza no está garantizada la tasa diaria. Como las leyes federales de Estados Unidos requieren la garantía de una tasa de horas mínima, el plan a destajo ya no se usa. Antes de la Segunda Guerra Mundial se usó en forma más extensa que cualquier otro plan de incentivos. Las razones de su popularidad fueron que el trabajador entiende el plan, su aplicación es sencilla y es uno de los planes más antiguos. La figura 17–2 ilustra la relación entre los salarios de los operarios y los costos directos de mano de obra con este plan.

Como los costos unitarios de mano de obra permanecen constantes sin importar la productividad del trabajador, parece que la compañía no se beneficia con el plan por pieza. Sin embargo, esto no es cierto si se recuerdan todos los costos que afectan los gastos de fabricación (capítulo 16). Los costos generales relativamente constantes disminuyen si se consideran en términos del costo unitario.

PLAN DE HORAS ESTÁNDAR

El plan de *horas estándar* con una tasa base garantizada, establecida mediante la evaluación del trabajo, es por mucho el plan de incentivos más popular en la actualidad. La diferencia fundamental entre este plan y el de piezas trabajadas es que con éste los estándares se expresan en tiempo y no en dinero, y se compensa a los operarios en proporción directa a su producción.

De manera gráfica, la relación entre los salarios de los operarios y el costo unitario de mano de obra, graficados contra la productividad, es una combinación de las figuras 17–1 y 17–2 (vea la figura 17–3). El trabajador opera con un plan de jornada de trabajo hasta el 100% de productividad y con un plan por pieza el resto de la producción. Por ejemplo, un estándar se puede expresar como 0.02142 horas por pieza o 373 piezas por turno de 8 horas. Cuando se conoce la tasa base, es sencillo calcular ya sea la tasa de di-

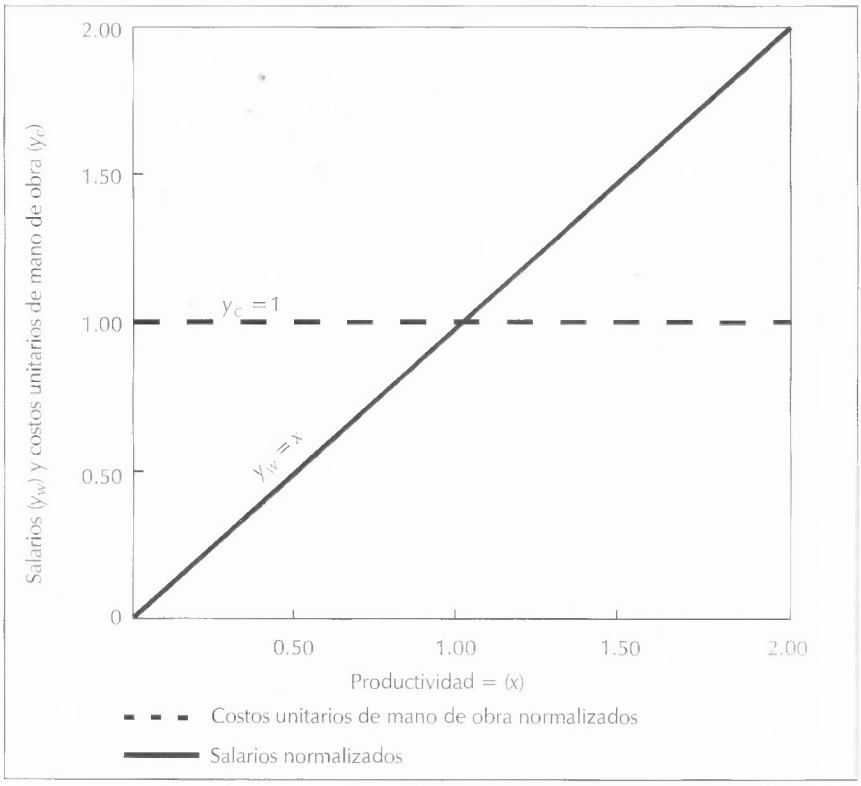


Figura 17–2 Relación entre costos, salarios y productividad en el plan por pieza trabajada

nero o el salario del operario. Si éste tiene una tasa base de $12, entonces la tasa de dinero para el trabajo sería: $12.00 \times 0.02142 = \$0.257$ por pieza. Si el operario produce 412 piezas en una jornada de 8 horas, el salario diario sería $412 \times 0.257 = \$105.88$, y el salario por hora sería: $\$105.88/8 = \$13.24$. Entonces, en este caso, la eficiencia del operario para el día sería: 412/373, es decir, 110%.

El plan de hora estándar ofrece todas las ventajas del plan por pieza y elimina las mayores desventajas. Sin embargo, con este plan, es más difícil para los trabajadores calcular los ingresos, que cuando los estándares se expresan en dinero. La ventaja principal es que los estándares no cambian cuando las tasas base se alteran. Entonces, con el tiempo, este plan reduce el trabajo de oficina si se compara con el plan por pieza. Más aún, el término "hora estándar" es más agradable para los trabajadores que "pieza trabajada" y con los estándares expresados en tiempo, el dinero ganado por los trabajadores no está ligado con las prácticas de estudio de tiempos. Por estas razones ha habido un aumento notorio en el uso de los planes de hora estándar.

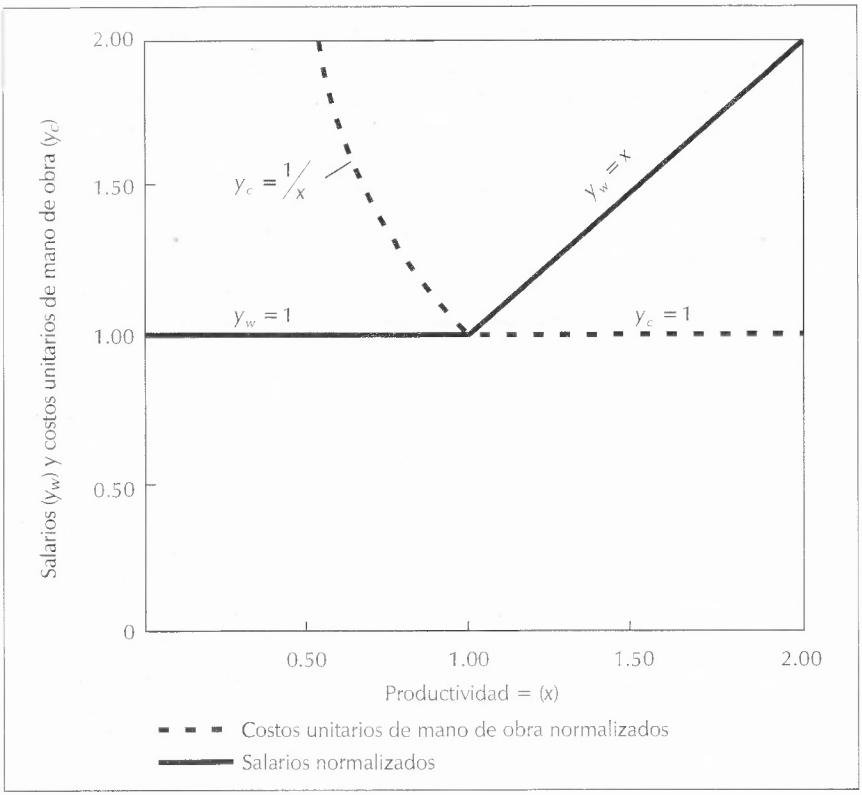


Figura 17–3 Relación entre costos, salarios y productividad en el plan de hora estándar.
(*Adaptado de:* Fein, 1982. Reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

Una variación del plan de hora estándar es un esquema en el que los incentivos se aplican a cada trabajador según la producción del grupo, lo que crea un sistema de incentivos de grupo. Esto es útil en especial para las células de trabajo (como parte de la ampliación del trabajo que se presenta en el capítulo 18) o en situaciones donde el desempeño individual no se puede medir con facilidad (como en la construcción de barcos o aviones). Estos esquemas tienen algunas ventajas al permitir mayor flexibilidad para los trabajadores, reducir la competencia y resaltar el ánimo y el trabajo en equipo. Por otro lado, el incentivo individual se reduce y los mejores trabajadores se desaniman.

JORNADA DE TRABAJO MEDIDA

A principios de la década de 1930, poco después de la era de los expertos en eficiencia, el trabajo organizado intentó no someterse a estudios de tiempos y, en particular, al plan

de trabajo por pieza. En ese tiempo se popularizó la *jornada de trabajo medida* como un sistema de incentivos que ampliaba la distancia entre los estándares establecidos y los ingresos del trabajador. Hoy en día operan muchas modificaciones a la jornada de trabajo medida y la mayoría sigue un patrón específico. Primero, las evaluaciones del trabajo establecen tasas base para todas las situaciones dentro del plan. Segundo, algunas formas de medición del trabajo establecen los estándares para todas las operaciones. Tercero, los analistas mantienen un registro de la eficiencia de cada empleado durante cerca de tres meses. Esta eficiencia multiplicada por la tasa base establece una tasa base para el siguiente periodo. Por ejemplo, la tasa base de cierto operario puede ser $12.00 por hora. Suponga que el periodo de actuación es un mes, o 173 horas de trabajo. Si durante el mes el operario trabaja 190 horas estándar, su eficiencia en el periodo sería 190/173, o 110%. Entonces, en vista de la actuación, el operario recibiría una tasa base de $1.10 \times 12.00 = \$13.20$ por cada hora trabajada durante el periodo, sin importar su desempeño. Sin embargo, sus logros durante este periodo formarían la tasa base para el siguiente.

En todos los planes de jornada medida se garantiza la tasa base; así, una operación que baja del estándar (100%) en cualquier periodo recibiría la tasa base en el siguiente periodo. El tiempo empleado en determinar el desempeño es casi siempre tres meses, para disminuir el trabajo de cálculos e instalación de nuevas tasas base garantizadas. Por supuesto, mientras más largo sea el periodo, menor será el esfuerzo esperado por incentivos. Cuando la diferencia entre desempeño y realización es demasiado grande, el efecto de desempeño por incentivos desaparece.

La ventaja principal de la jornada medida es que elimina la presión directa en los trabajadores. Ellos saben cuál es su tasa base y se dan cuenta que, independientemente del desempeño, recibirán esa cantidad durante el periodo.

Las limitaciones de la jornada medida son evidentes. Primero, por la longitud del periodo de desempeño, el incentivo no es fuerte. Segundo, para ser efectivo, el plan coloca una gran responsabilidad en los supervisores para mantener la producción arriba del estándar. De otra manera, el desempeño del empleado disminuye y baja la tasa base para el siguiente periodo, lo cual le causa insatisfacción. Tercero, es costoso mantener los registros detallados y hacer los ajustes periódicos en todas las tasas base, pues implica tanto trabajo de oficina como en el plan de incentivos directos en el que se compensa al empleado según su producción.

PLANES DE GANANCIAS COMPARTIDAS

Los planes de *ganancias compartidas*, conocidos también como planes de productividad compartida, se caracterizan por compartir los beneficios de la mejora en productividad, la reducción de costos y/o la mejora en la calidad. Muchas compañías en Estados Unidos cuentan hoy con alguna forma del plan de reparto de utilidades. En muchas de ellas, las plantas agregan suplementos compartidos en lugar de sustituir los sistemas de compensación existentes. Muchos administradores modernos aceptan el principio de compensar a los empleados por las mejoras en la productividad y/o el costo, ya sea que las mejoras se deban o no a un desempeño más alto que el normal o a mejoras en los métodos de trabajo.

Con planes de este tipo, la administración calcula los incentivos cada mes. Es costumbre que sólo se distribuyan dos tercios de los incentivos ganados en un periodo de pago dado. El tercio restante se coloca en un fondo de reserva que se usa en meses en que el desempeño baja del estándar. Los tres planes de productividad compartida que se presentan son: Scanlon, Rucker e IMPROSHARE. Difieren en la fórmula usada para calcular los ahorros en productividad y en el método de implantación. Los planes Scanlon y Rucker miden la nómina de una compañía contra las ventas totales en dólares y comparan el resultado al promedio de los últimos años. El plan IMPROSHARE mide la producción contra el total de horas trabajadas. Entonces, los planes Scanlon y Rucker usan dinero como unidad de medida mientras que IMPROSHARE usa horas. Estos tres planes de productividad son flexibles en cuanto al personal incluido en ellos. Puede tratarse de trabajadores directos e indirectos o de cualquier nivel administrativo.

Plan Scanlon Durante la Gran Depresión, Joseph Scanlon desarrolló el *plan Scanlon* para salvar a una compañía de la quiebra. Tres principios fundamentales forman la base de este plan: pago de bonos, identidad con la compañía o empresa y participación de los empleados. Los planes Scanlon reconocen el valor y contribución de cada miembro de la empresa, estimulan la toma de decisiones descentralizada y buscan que cada empleado se identifique con los objetivos de la organización a través de la participación financiera.

Antes de calcular el bono, debe determinarse la razón base. Ésta suele ser:

$$\text{Razón base} = \frac{\text{costos de nómina que deben incluirse}}{\text{valor de la producción}}$$

Los analistas realizan un estudio histórico durante cerca de un año para reunir datos antes de calcular la razón base apropiada. Por ejemplo, si la razón base es 15% y si durante el mes pasado el valor de la producción (ventas más o menos inventario) es igual a $2 millones, entonces la mano de obra asignada es igual a $300 000 ($0.15 \times 2\,000\,000$). Un costo real de mano de obra de $270 000 genera un bono de grupo de $30 000. En general, la compañía conserva una parte de este bono para gastos de capital. El resto se distribuye entre los empleados en forma de bono mensual, según un porcentaje de sus salarios.

Para inducir la identificación con la compañía, el plan Scanlon recomienda un programa continuo de desarrollo administrativo en el que todos los empleados, mediante una comunicación efectiva, aprenden de metas, objetivos, oportunidades y áreas de problemas característicos de la empresa. El plan Scanlon incorpora la mayor parte de las variables de "calidad de vida de trabajo" como ampliación de tareas, enriquecimiento del trabajo, sensación de logro y reconocimiento.

La participación de los empleados casi siempre se logra con sistemas de sugerencias formales y dos sistemas de comités que se traslapan. Los representantes electos de los empleados se reúnen al menos una vez al mes con sus supervisores de departamento para revisar las sugerencias de productividad, reducción de costos y mejoras en la calidad. Con frecuencia, estos comités tienen autoridad para tomar decisiones sobre las sugerencias de menor costo. Las más costosas o las que afectan a otros departamentos se turnan a un comité de nivel más alto.

Plan Rucker Este plan surgió a principios de la década de 1940. Fue concebido por Allen W. Rucker, al observar la relación entre los costos de nómina y las ventas netas reales, más o menos los cambios en inventario, menos los materiales y servicios comprados.

Lo mismo que el plan Scanlon, el plan Rucker hace énfasis en la identificación con la compañía y la participación de los empleados, mediante el establecimiento de un sistema de sugerencias; los comités Rucker y la buena comunicación trabajadores-administradores. Este plan proporciona un bono en el que todos, excepto la alta administración, comparten un porcentaje de las ganancias. En la evaluación del bono se establece una relación histórica entre la mano de obra y el valor agregado. Por ejemplo:

Ventas netas (por un periodo de un año)	$1 500 000
Cambio de inventario (decremento)	200 000
	$1 300 000
Menos materiales y suministros utilizados	700 000
Valor agregado en la producción	$ 600 000

$$\text{Estándar Rucker} = \frac{\text{Costos de nómina incluidos en el grupo}}{\text{Valor de producción}}$$

Si se supone que los costos de mano de obra con base en un periodo de un año son $350 000, el estándar Rucker se convierte en:

$$\frac{\$350\,000}{\$600\,000} = 0.583$$

Así, en cualquier periodo futuro (por lo común un mes) en que los costos reales de mano de obra sean menores que 0.583 del valor de producción, los empleados reciben bonos. Es usual que 30% de este bono se reserve para meses de déficit, la compañía conserva una parte para mejoras futuras y el resto (alrededor de 50%) se distribuye entre los empleados. Si 50% del bono se reparte entre los empleados y 30% se retiene para meses de déficit, el 20% restante se puede usar para retrabajo de producción y transporte de entregas en lugar de que esa cantidad se quede en la empresa para realizar mejoras.

Como los materiales y suministros usados se deducen de las ventas netas, el cálculo del plan Rucker toma en cuenta, sólo de manera parcial, variables como la mezcla de productos. Este plan también exhorta a los empleados a ahorrar en materiales y suministros, ya que ellos mismos se benefician.

IMPROSHARE El plan de "mejor productividad al compartir" (cuyo nombre está formado por las letras escritas con mayúsculas en *IMproved PROductivity through SHARing*) fue desarrollado por Mitchell Fein en 1974. Su meta es producir más unidades con menos horas de trabajo directo e indirecto. A diferencia de los planes Scanlon y Rucker, *IMPROSHARE* no hace hincapié en la participación de los empleados, más bien mide el desempeño y estimula a los trabajadores para mejorar la productividad.

Este plan compara las horas-trabajo ahorradas para un número dado de unidades producidas con las horas requeridas para fabricar ese mismo número de unidades durante un periodo base. Los ahorros se comparten entre la compañía y los empleados di-

rectos e indirectos involucrados en la manufactura del producto. La productividad base se mide por la comparación entre el valor de la hora de mano de obra de la producción terminada con el total de mano de obra contratada para esta producción. Sólo se cuentan los productos aceptables. Así:

$$\text{Estándar de horas-trabajo} = \frac{\text{horas-trabajo de producción total}}{\text{unidades producidas}}$$

EJEMPLO 17–1 Plan de incentivos IMPROSHARE

Suponga que en una planta que fabrica un solo producto, 122 empleados producen 65 500 unidades en un periodo de 50 semanas. Si las horas-trabajo totales fueron 244 000, la hora-trabajo estándar sería:

$$\frac{244\,000}{65\,500} = 3.725 \text{ h/unidad}$$

Si en una semana, 125 empleados trabajaron un total de 4 908 horas y produjeron 1650 unidades, el valor de la producción sería $1650 \times 3.725 = 6146.25$ horas. La ganancia sería $6146.25 - 4908 = 1238.25$ horas. Por lo común, la mitad de esta cantidad, o 619.125 horas se reparte entre los empleados. Esto significa un bono o pago adicional de 12.6% (619.125/4908) para los empleados.

La compañía también se beneficia puesto que los costos de mano de obra se reduce. El costo unitario de mano de obra de 3.725 horas establecidas para el periodo base disminuye a $(4908 + 619.25)/1650 = 3.350$ horas por unidad.

En forma gráfica, el plan IMPROSHARE se puede considerar una variación del plan de horas estándar de la figura 17–3, excepto que la pendiente del segmento de piezas trabajadas no es 1 sino una fracción menor que 1 (vea la figura 17–4). Esta fracción, o pendiente p, es la fracción de participación y puede variar de una compañía a otra. Si la división entre la organización y los empleados es por partes iguales (como se vio), entonces p es igual a 0.5. En el plan de horas estándar, la participación es 100% y $p = 1$.

Obtención de acciones Los planes en los que los empleados se convierten en dueños de acciones han ganado popularidad en la última década. El Bureau of National Affairs de Estados Unidos, hizo una investigación en 1984 entre 195 empleados para determinar el tipo de programas de mejoramiento de la productividad instalados e indicó que 37, o 19 %, contaban con planes de obtención de acciones. Éstos comprendían la creación de un fondo con acciones de la compañía destinadas a los empleados. Aunque son raros los planes de 100% de pertenencia a los empleados, se puede usar este tipo de esquema para desarrollarlos.

Ganancias compartidas El plan de *ganancias compartidas* se puede definir como un procedimiento en el cual, además del pago normal, el empleador paga a todos los empleados sumas actuales o diferidas basadas en la prosperidad de la compañía. No hay un tipo específico de plan que haya tenido la aceptación general de la industria. De hecho, casi todos los sistemas tienen ciertas características de "hecho a la medida" que los distingue de los otros. Sin embargo, la mayoría se puede clasificar como planes 1) de efectivo directo, 2) diferidos o 3) combinados.

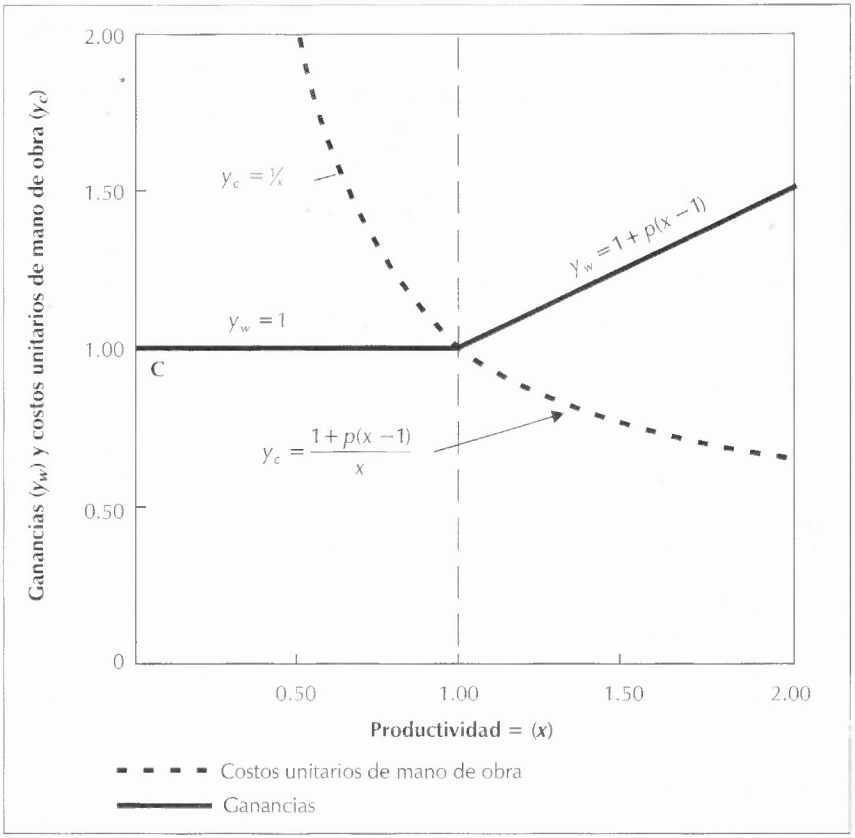


Figura 17–4 Relación entre costos, salarios y productividad en los planes de incentivos con participación variable (p = fracción de participación). (*Adaptado de:* Fein, 1982; reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

Como su nombre lo indica, el plan de efectivo directo distribuye periódicamente el dinero de las ganancias a los empleados. El pago no se incluye en el sobre normal de sueldo, se hace por separado para identificarlo como una remuneración adicional obtenida por el esfuerzo individual y combinado de toda la fuerza de trabajo. La cantidad de efectivo se basa en el grado de éxito financiero de la empresa en el periodo. Cuanto más corto sea el periodo, mayor será la relación entre el esfuerzo y la remuneración. Se seleccionan periodos más largos para promediar las variaciones de los ciclos de negocios.

Los planes de ganancias diferidas comprenden la inversión periódica de parte de las ganancias de los empleados. Al jubilarse o separarse de la empresa, cuentan con una fuente de ingresos distinta al salario. Es evidente que los planes diferidos de ganancias compartidas no proporcionan el mismo estímulo o incentivo que los planes de efectivo. Sin embargo, estos planes ofrecen la ventaja de tener una implantación y administra-

ción sencillas. Además, ofrecen mayor seguridad que las remuneraciones en efectivo. Esto los hace agradables a los ojos de los empleados estables.

Los planes combinados tienen un arreglo que invierte parte de las ganancias para la jubilación y beneficios similares y otra parte se distribuye como remuneración en efectivo. Esta clase de planes aprovecha las ventajas de los dos anteriores, el diferido y el de efectivo directo. Una forma representativa de poner en práctica este plan puede ser compartir con los empleados la mitad de las ganancias. De esta cantidad, un tercio se puede distribuir en cheques adicionales, un tercio se mantiene en reserva para periodos de menos éxito financiero y el tercio restante se puede colocar en un fondo para su distribución diferida.

Existen tres métodos para determinar la cantidad de dinero de las ganancias de la compañía que se reparte a cada empleado individual. El primero y menos usado es el plan de "partes iguales". Aquí, cada empleado, sin importar el tipo de trabajo, recibe una cantidad igual de las ganancias, después de cumplir con cierto periodo de antigüedad en la compañía. Quienes proponen este método piensan que las tasas base individuales ya toman en cuenta la importancia relativa de cada trabajador. El plan de "partes iguales" proporciona el sentimiento de trabajo en equipo y da importancia a cada empleado cualquiera que sea su posición en la planta.

El método que más se usa para distribuir las ganancias compartidas se basa en la compensación normal que se paga a los empleados. La teoría es que el empleado cuyos ingresos son mayores durante el periodo, contribuyó más a las ganancias de la empresa y debe obtener una porción más grande. Por ejemplo, un trabajador que construye herramientas con sueldo de $15 000 durante un periodo de seis meses recibiría una porción mayor de las ganancias que un empleado que gana $7000 en el mismo periodo.

Otra forma conocida de distribuir las ganancias implica la asignación de puntos. Éstos se dan por cada año de antigüedad, cada uno con un pago de $100, y otros factores como participación, cooperación, etcétera. El número de puntos acumulados en el periodo determina la porción de las ganancias que recibe cada empleado. Quizá la desventaja más importante del método de puntos es la dificultad de mantener y administrar los registros complejos y detallados.

Para que un plan de ganancias compartidas funcione, son esenciales la representación del trabajador y la cooperación del sindicato. Debe darse importancia a la participación y no a la benevolencia administrativa. La administración debe reconocer que el plan tiene que ser dinámico y que no es una panacea para todos los problemas. Las ganancias compartidas no deben usarse como una excusa para pagar menos que los salarios que prevalecen.

En su mayor parte, los representantes sindicales no han apoyado este tipo de planes. No hay duda de que las ganancias compartidas, implantadas en perfecta armonía entre los trabajadores y la administración, minimizan la necesidad de un sindicato y disminuye su prestigio, poder e ingresos.

Un programa de ganancias compartidas exitoso depende de las ganancias de la compañía, que con frecuencia no están bajo el control de la fuerza de trabajo directa. En periodos de pocas ganancias, o de pérdidas, el plan puede debilitar en lugar de elevar el ánimo de los empleados. Como resultado del tiempo transcurrido entre el desempeño y la compensación, también se debilita el efecto del incentivo.

EJEMPLO 17–2 Comparación de dos esquemas de incentivos

Una empresa desea evaluar dos esquemas de incentivos. El primero es similar al plan de ganancias compartidas de IMPROSHARE, con partes iguales sobre el excedente de 100% de productividad. El segundo es una jornada de trabajo constante hasta 100% de productividad, un *impulso* (incremento escalonado en salarios para inducir al trabajador a alcanzar cierto nivel de productividad) y después un plan de ganancias compartidas pero donde los trabajadores sólo reciben 20% y la compañía 80%. Los planes y los costos unitarios de mano de obra se muestran en la figura 17-5. La compañía desea conocer el punto de equilibrio entre los dos planes para una productividad mayor a 100%.
Los costos normalizados de mano de obra del primer plan se pueden expresar como:

$$y_{c_1} = 0.5 + 0.5/x$$

mientras que el segundo plan es:

$$y_{c_2} = 0.2 + 1/x$$

Al igualar las dos ecuaciones y despejar x se obtiene $x = 1.67$. Por tanto, con el plan = 1, la compañía se beneficia hasta alcanzar 167% de productividad y con el plan = 2, hasta niveles más altos. La compañía debe decidir si es razonable esperar que los trabajadores alcancen tales niveles de productividad.

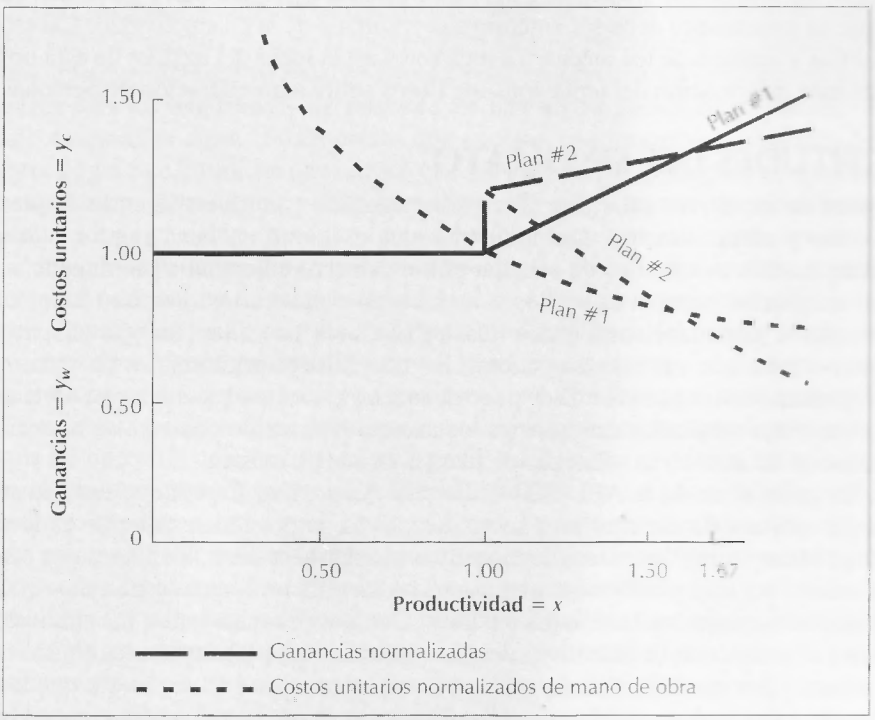


Figura 17–5 Comparación de dos esquemas de incentivos

Tal vez, la objeción más grande a los planes de ganancias compartidas es que el empleado cuenta con recibir el cheque adicional al final del año. Los empleados comienzan a esperar los bonos y quizá sientan que se comete una injusticia si la compañía tiene un año flojo y no puede pagarlos. Por estas razones, todos los empleadores deben ser muy cuidadosos antes de emprender un programa de ganancias compartidas. Por otro lado, muchas organizaciones actuales experimentan una mayor eficiencia en el trabajo, menores costos, reducción de desperdicio y mejor ánimo en los trabajadores como resultado de este plan.

PLANES FINANCIEROS INDIRECTOS

Las políticas de una empresa que estimulan el ánimo de los empleados y aumentan la productividad, sin relacionar la compensación de manera directa a la producción, se clasifican como planes financieros indirectos. Las políticas globales como tasas base altas y justas, prácticas equitativas de promoción, buenos sistemas de sugerencias, salario anual garantizado y prestaciones altas, redundan en actitudes sanas de los empleados, lo que a su vez estimula el aumento de la productividad. Estos planes se clasifican, entonces, como planes financieros indirectos.

La debilidad de todos los métodos indirectos de incentivos es la distancia tan amplia entre el beneficio obtenido por el empleado y la productividad. Después de un tiempo, los empleados sienten que los beneficios les corresponden y no se dan cuenta de que su continuidad debe ser enteramente resultado de la productividad. Las teorías, filosofías y técnicas de los incentivos indirectos están fuera del alcance de este libro; si desea más información del tema consulte libros sobre administración de personal.

ACTITUDES DEL SINDICATO

El tema de incentivos salariales siempre ha causado controversias entre empleados, sindicato y administración. Las industrias que aseguran un buen salario y después aplican incentivos sencillos de calcular por el esfuerzo adicional o prolongado suelen tener empleados receptivos a ellos e insisten en continuarlos. Por otro lado, en las industrias u organizaciones donde los trabajadores necesitan trabajar al paso del incentivo para que sus ingresos cubran las necesidades primordiales de vida, no se entusiasman con ninguna forma de pago de incentivos salariales. La mayor parte de los representantes sindicales con quienes los autores han tenido contacto se oponen a la instalación de incentivos salariales en plantas donde no existen.

En un informe de la AFL-CIO *Collective Bargaining Report* que todavía se usa como la postura de ese sindicato sobre incentivos, el presidente anterior de la firma George Meany dijo: "los planes de incentivos al salario, es decir, los planes que ofrecen más salario por más producción, presentan una serie de problemas especiales que casi siempre sobrepasan los beneficios posibles. Con pocas excepciones, los sindicatos se oponen a los sistemas de incentivos debido a experiencias pasadas con los abusos de estos planes y por las dificultades y malos efectos inherentes. Los sindicatos que los han aceptado o que han permitido que continúen, en general, lo han hecho con mucha renuencia y algunos problemas. Sencillamente no siempre ha sido práctico o expedito oponerse o eliminar tales planes."

Las objeciones principales de los sindicatos a los planes de incentivos surgen del temor de que dada una producción fija de bienes y servicios, el resultado de un gran esfuerzo sea una reducción de personal. Los líderes también piensan que la implantación de incentivos resta importancia a la necesidad de los sindicatos, ya que su papel principal es lograr salarios más altos y esto lo consiguen los planes de manera automática. Los representantes sindicales han establecido que tienen objeciones a los planes de incentivos porque "causan confrontaciones entre trabajadores". Aseguran que cuando un trabajador tiene mayores ingresos que otro, surge un sentimiento de falta de confianza, hay sospechas en el grupo de trabajo y las relaciones entre trabajadores se deterioran.

Existen sindicatos que aprueban los planes de incentivos. De hecho, el finado Phillip Murray, antes presidente de la CIO, estaba a favor del pago de incentivos al salario y creía que prácticamente cualquier sistema de incentivos podía funcionar si prevalecía una relación armoniosa entre los trabajadores y la administración. Un resumen del arbitraje de la *United Steelworkers of America* en 1969 recomendó que todos los trabajos se cubrieran con incentivos.

En resumen, la mayor parte de los sindicatos luchan por mantener los planes de incentivos cuando existen. Donde no existen, se oponen a aceptar su instalación.

REQUISITOS DE UN PLAN DE INCENTIVOS SALARIALES

La mayor parte de las compañías que tienen planes de incentivos apoyan su continuación y piensan que sus planes: 1) aumentan la tasa de producción, 2) disminuyen sus costos unitarios globales, 3) reducen los costos de supervisión y 4) promueven mayores ingresos para los empleados. No obstante, en una investigación de la *National Metal Trade Association* entre 160 empresas que cuentan con incentivos salariales, 84 respuestas de gerentes implican que sentían que sus planes eran justos pero que podían mejorarse. Cinco gerentes de planta pensaban que sus sistemas de incentivos eran inadecuados y que debían hacerse algunos cambios para garantizar que siguieran.

Antes de instalar un programa de incentivos, la administración debe estudiar su planta para estar seguro que está lista para el plan. Al inicio, debe introducirse una política de estandarización de métodos para lograr una medición del trabajo válida. Si distintos operarios siguen patrones diferentes al realizar su trabajo, y si la secuencia de elementos no está estandarizada, la organización no está lista para instalar incentivos.

Los programas de trabajo deben crear un conjunto de órdenes pendientes para cada uno de los operarios a fin de minimizar la posibilidad de que se queden sin trabajo. Esto implica que se dispone de inventarios de materiales adecuados y que las máquinas y herramientas cuentan con mantenimiento. Además, las tasas base establecidas deben ser justas y proporcionar suficiente tolerancia entre los tipos de trabajo, para reconocer los puestos que exigen mayores aptitudes, esfuerzo y responsabilidad. Es preferible que se establezcan las tasas base mediante un programa razonable de evaluación del trabajo.

Por último, deben desarrollarse estándares de desempeño justos antes de poner en marcha un plan de incentivos. Las tasas nunca deben establecerse con sólo el juicio subjetivo o los registros históricos de desempeño. Para asegurarse que las tasas son correctas, ha de usarse alguna forma de medición del trabajo como estudio de tiempos, datos de movimientos fundamentales, datos de estándares, fórmulas o muestreo del trabajo.

Una vez cumplidos estos requisitos y cuando la administración está convencida por completo del pago de incentivos, la compañía está lista para diseñar el sistema.

DISEÑO DEL PLAN DE INCENTIVOS AL SALARIO

Para tener éxito, un plan de incentivos debe ser justo para la empresa y para sus operarios. El plan debe dar a los operarios la oportunidad de ganar entre 20 y 35% más que la tasa base, si tienen aptitudes normales y su esfuerzo es continuo. La administración se beneficia con la productividad adicional y al prorratear los costos fijos entre un número mayor de piezas, con lo que se reduce el costo unitario total.

Además de la equidad, la cualidad más importante de un buen plan de incentivos es la sencillez. Para tener éxito, el plan debe venderse por completo a los empleados, el sindicato y la administración misma. Mientras más sencillo sea, más fácil será que todas las partes lo entiendan, y su comprensión mejora la oportunidad de aprobación. Es más fácil entender los planes de incentivos individuales y éstos funcionan mejor si se puede medir la producción individual.

El plan debe garantizar la tasa por hora básica establecida por la evaluación del trabajo y esa tasa debe significar un buen nivel de vida comparable al de los salarios que prevalecen en el área para cada trabajo. Debe existir un intervalo de tasas para cada trabajo relacionadas al desempeño global. Éste comprende la calidad, la confiabilidad, la seguridad y la puntualidad lo mismo que la producción. En intervalos periódicos , como cada seis meses o cada año, la administración debe revisar los límites de los intervalos de tasas respecto al desempeño total del empleado. Para desempeños mayores que el estándar, la compensación de los operarios debe tener una proporción directa con la producción para que no restrinjan la producción.

Para ayudar a los empleados a asociar el esfuerzo con la remuneración, los recibos de pago deben mostrar con claridad los ingresos normales y los ingresos logrados por incentivos. Es bueno también indicar, en una forma separada en el mismo sobre de pago, la eficiencia del operario en el periodo anterior. Esto se calcula como la razón de las horas estándar producidas en el periodo entre las horas trabajadas durante ese periodo.

Una vez instalado el plan, la administración debe aceptar la responsabilidad de mantenerlo. Administrar el plan exige un juicio objetivo para tomar decisiones y un análisis detallado de las quejas entregadas. La administración debe ejercer su derecho a cambiar los estándares cuando cambian los métodos o los equipos. Los empleados deben contar con la garantía de tener una oportunidad para presentar sus sugerencias y deben probarse las modificaciones de sus peticiones antes de hacer cambios. Ha de evitarse hacer concesiones con los estándares o el resultado será el fracaso del plan.

En la tabla 17–2 se presenta una lista de verificación de los principios fundamentales que han de aplicarse en un buen plan de incentivos salariales.

MOTIVACIÓN DEL ESFUERZO POR INCENTIVOS

Los analistas de métodos reconocen que a menos que el operario realice un esfuerzo, el mejor diseño de estación de trabajo no da como resultado niveles de productividad

Tabla 17–2 Lista de verificación para planes de incentivos salariales adecuados

	Sí	No
1. La administración y la fuerza de trabajo están de acuerdo en los principios generales.	❑	❑
2. Existe un fundamento lógico de las evaluaciones del trabajo y las estructuras de salarios.	❑	❑
3. La empresa cuenta con incentivos individuales, de grupo o de planta	❑	❑
a. Se da el mayor peso a los incentivos individuales.	❑	❑
4. Los incentivos tienen una proporción directa con el incremento de producción.	❑	❑
5. El plan es tan sencillo como es posible.	❑	❑
6. La calidad está ligada a los incentivos.	❑	❑
7. El establecimiento de incentivos está precedido por el mejoramiento de métodos.	❑	❑
8. Los incentivos se basan en técnicas probadas.		
a. Se establecen a partir de estudios de tiempos detallados.	❑	❑
b. Se basan en datos de movimientos básicos o sistemas de tiempos predeterminados.	❑	❑
c. Surgen de fórmulas o datos de estándares.	❑	❑
9. Los estándares se basan en estándares de desempeño en condiciones normales.	❑	❑
10. Los estándares se modifican cuando cambian los métodos.	❑	❑
a. De común acuerdo entre representantes de la empresa y los empleados.	❑	❑
11. El número de estándares temporales se mantiene a un mínimo.	❑	❑
12. Las tasas de horas básicas están garantizadas.	❑	❑
13. Se han establecido incentivos para trabajadores indirectos.	❑	❑
14. Se conservan registros precisos de piezas contadas, trabajo no medido, preparaciones y tiempos de interrupción.	❑	❑
15. Se mantienen buenas relaciones humanas.	❑	❑

acordes con los objetivos de la compañía. Para lograr altos niveles de productividad, las condiciones del entorno de trabajo deben alentar a los empleados a realizar su mejor esfuerzo para alcanzar las metas de la empresa.

En principio, la mayoría de las personas quieren trabajar y lograr, y esperan ser remuneradas por su contribución. Desean involucrarse en el logro de las metas establecidas por su organización y realizan mejor su tarea si se les permite tener independencia y control en su situación de trabajo. Un clima de motivación debe acompañar a cualquier plan de incentivos formal.

Quizá el primer requisito al establecer el clima motivacional adecuado es el desarrollo de un estilo administrativo que asuma un papel de apoyo en lugar del directivo. La meta debe ser hacer que todos los trabajadores sientan que es su responsabilidad cumplir con los objetivos de la empresa y que es la responsabilidad del supervisor ayudar a los trabajadores de la mejor manera.

Segundo, las metas de la compañía deben establecerse con claridad y separarse en metas de divisiones, departamentos, centros de trabajo e individuales. Es importante que las metas establecidas sean realistas, que resalten tanto la calidad como la cantidad, lo mismo que la confiabilidad y otras características esenciales del éxito de la organización. Todos los trabajadores deben entender los objetivos de la compañía y las metas relacionadas con su trabajo. Estas metas deben cuantificarse de manera que los trabajadores conozcan sus logros en relación con las metas establecidas.

Tercero, debe haber retroalimentación constante para todos los empleados. Los informes oportunos han de contener los resultados de los esfuerzos de los trabajadores y su impacto sobre las metas establecidas. Cuarto, cada situación de trabajo debe diseñarse de manera que los operarios estén en una posición de control, en un alto grado, de las asignaciones que reciben. El sentido de responsabilidad es una fuente importante de motivación, como lo es el reconocimiento de los logros. En el capítulo 18 se presentan más detalles sobre las teorías y enfoques de la motivación.

FRACASO DEL PLAN DE INCENTIVOS

Un plan de incentivos se puede clasificar como fracaso cuando cuesta más su mantenimiento que lo que en realidad ahorra; en este caso debe descontinuarse. En general, no es posible señalar la causa precisa del fracaso de un programa de incentivos dado. Si se conocieran por completo todos los hechos, se encontrarían numerosas razones para la falta de éxito del plan. Una investigación (Britton, 1953; vea la tabla 17–3) enumeró las causas principales del fracaso del plan como deficiencia en las bases establecidas, relaciones humanas inadecuadas y mala administración, que dan como resultado un programa demasiado costoso.

Las compañías deben descontinuar cualquier plan cuando su costo de mantenimiento excede los beneficios derivados de su uso. En su mayor parte, las razones dadas en la investigación son los síntomas de un plan deteriorado o condenado al fracaso, en realidad no son las causas. La causa real del fracaso de cualquier plan es una administración incompetente, que permite poner en marcha un plan con mala programación, métodos no satisfactorios, falta de estandarización o estándares holgados y concesiones con los estándares.

Desafortunadamente, pueden cumplirse todos los requisitos de un buen sistema de incentivos, y el plan puede ser no satisfactorio debido a la falta de promoción de las buenas relaciones industriales respecto al programa. La cooperación completa de los empleados, el sindicato y la administración debe lograrse para amparar el espíritu de equipo tan necesario en el logro del éxito final de un plan de incentivos.

ADMINISTRACIÓN DEL SISTEMA DE INCENTIVOS

Para tener éxito, un sistema de incentivos debe supervisarse de manera adecuada; no se mantiene solo. Para que el mantenimiento de un plan sea efectivo, la administración debe hacer que todos los empleados estén conscientes de cómo funciona y de cualquier cambio. Una técnica usada con frecuencia es distribuir a todos los empleados un manual de "instrucciones de operación" con detalles, tanto de las políticas de la compañía relativas al plan como de los detalles de trabajo, con ejemplos. El manual debe explicar ampliamente la base de la clasificación de tareas, los estándares de tiempo, el procedimiento de calificación del desempeño, los suplementos y la canalización de quejas. También debe describir la técnica de manejo de situaciones no usuales. Por último, debe presentar los objetivos de la organización y el papel de cada empleado en su logro.

Los administradores del plan deben hacer una verificación diaria del desempeño bajo o alto en exceso, para determinar sus causas. El desempeño bajo no sólo es costoso para la administración en vista de los salarios por hora garantizados, sino que lleva a in-

Tabla 17–3 Razones más comunes del fracaso de un plan de incentivos

	Porcentaje
Deficiencias fundamentales	**41.5**
Estándares inadecuados	11.0
Baja cobertura de incentivos para el trabajo productivo directo	8.6
Existe un límite superior en los ingresos	7.0
No hay incentivos directos	6.8
No existen incentivos para supervisión	6.1
Fórmula de pago complicada	2.0
Relaciones humanas inadecuadas	**32.5**
Capacitación insuficiente de los supervisores	6.9
No hay garantía de los estándares	5.7
No se requiere un día justo de trabajo	5.0
Estándares negociados con el sindicato	4.8
Plan que no se comprende	4.1
Falta de apoyo de la alta administración	3.6
Capacitación deficiente de los operarios	2.4
Administración técnica deficiente	**26.0**
Cambios de métodos no coordinados con los estándares	7.8
Tasas salariales base defectuosas	5.1
Administración deficiente, como procedimientos, quejas deficientes	4.9
Mala planeación de la producción	3.2
Grupo grande de empleados cubierto por incentivos	2.8
Control de la calidad deficiente	

quietud e insatisfacción de los empleados. Un desempeño en exceso alto es un síntoma de estándares holgados, o de la introducción de un cambio en el método para el que no se revisaron los estándares. Además, una tasa holgada lleva a insatisfacción de los trabajadores en la vecindad inmediata del operario con el estándar bajo. Un número suficiente de estos estándares inadecuados puede causar que todo el plan de incentivos fracase. A menudo, los operarios que tienen tasas holgadas, restringen su producción diaria por temor a que la administración ajuste su estándar. Esta restricción de producción es costosa para los operarios y para la compañía, y el resultado es insatisfacción entre los trabajadores vecinos, que ven a sus compañeros con un "trabajo ligero".

La administración debe realizar un esfuerzo continuo para incluir una mayor participación de los empleados en el plan de incentivos. Cuando sólo una parte de la planta tiene estándares, no habrá armonía entre el personal de operación debido a las diferencias significativas en los ingresos. Sin embargo el trabajo en general no debe estar en el plan de incentivos a menos que:

1. Se pueda medir con facilidad,
2. El volumen del trabajo disponible sea suficiente para justificar la implantación de los incentivos.
3. El costo de la medición de la producción no sea excesivo.

La administración debe realizar una revisión periódica de los estándares para asegurar su validez. De los estándares probados como satisfactorios, deben recapitularse

los valores elementales para usarlos como datos de estándares y poder tener una utilización todavía mayor de los valores de tiempo. De esta manera, los analistas podrán lograr una mayor cobertura del plan de estándares en la planta.

Es fundamental que la administración de un plan de incentivos ligado a la producción haga un ajuste constante de los estándares en respuesta a los cambios en el trabajo. No importa qué tan significativo sea el cambio en el método, el estándar debe revisarse para su ajuste posible. Agregar varias mejoras menores en los métodos pueden alcanzar un diferencial de tiempo significativo y causar una tasa estándar holgada si no se cambia el estándar. Al revisar los estándares de tiempo debido a cambios en los métodos, sólo es necesario estudiar los elementos afectados por el cambio.

Para mantener un plan de incentivos sano, la compañía debe programar juntas periódicas con los supervisores de operación para analizar las debilidades esenciales del plan y sus posibles mejoras en la implantación. En ellas, debe compararse el desempeño departamental y estudiarse los estándares específicos que parezcan no satisfactorios.

La compañía debe generar informes de avance que contengan información pertinente como eficiencia departamental, eficiencia de toda la planta, el número de trabajadores que no logra el desempeño estándar y el desempeño individual más alto. Estos informes resaltan las áreas que necesitan atención, lo mismo que las áreas en donde el plan funciona de manera favorable.

La administración efectiva del plan requiere un esfuerzo continuo para minimizar las horas no productivas de la mano de obra directa. Este tiempo no productivo, para el que se asignan suplementos, representa el tiempo perdido por descomposturas de máquinas, faltantes de material, dificultades con las herramientas y largas interrupciones de cualquier tipo no cubiertas por los suplementos aplicados a los tiempos estándar individuales. Los administradores deben observar estos tiempos (conocidos como "tiempo de suplemento adicional") con cuidado o destruirán el propósito de todo el plan.

Bajo el plan por incentivos, el desempeño de la producción es mucho más alto que con la operación de la jornada de trabajo. Como el tiempo de los materiales en proceso es más corto, se necesita un control de inventario más estricto para prevenir faltantes. De la misma manera, la administración debe introducir un programa de mantenimiento preventivo para asegurar la operación continua de todas las máquinas herramienta. La misma importancia tiene controlar los materiales, que controlar todas las herramientas que se desgastan, ya que los faltantes en cualquiera de los dos son causa de retrasos en la operación.

Una técnica efectiva empleada con frecuencia para controlar el "suplemento adicional" es referir el bono del supervisor al tiempo no productivo que se acredita al operario. Cuanto más largo sea este tiempo en el periodo de pago, menor será la compensación del supervisor. Dado que los supervisores están en una posición ideal para observar los programas, los inventarios de materiales y el mantenimiento de las instalaciones, pueden controlar el tiempo no productivo mejor que cualquier otra persona en la planta.

Además de controlar el "suplemento adicional" o el tiempo de la jornada de trabajo, es esencial que se registre el número exacto de piezas en cada estación de trabajo. Es usual que el operario realice la cuenta de piezas que determina sus ingresos. Sin embargo, deben establecerse controles para evitar falsificaciones en el reporte de producción.

EJEMPLO 17–3 Administración de un plan de incentivos salariales

Suponga que en cierto trabajo, la tasa de producción es 10 piezas por hora, y que está vigente una tasa por hora de $12 para la jornada de trabajo directa. Entonces, el costo unitario de mano de obra directa es $1.20. Ahora bien, esta planta cambia a un programa de incentivos para el que se garantiza la tasa diaria de $12 por hora y la tarea adicional se compensa en proporción directa a la producción del operario. Suponga que el estándar desarrollado con el estudio de tiempos es 12 piezas por hora, y que cierto operario tiene un promedio de 14 piezas por hora durante las primeras 5 horas del día de trabajo. Entonces, sus ingresos de este periodo serían:

$$(\$12.00)\,(5)\left(\frac{14}{12}\right) = \$70.00$$

Ahora suponga que el resto del día, el operario no pudo realizar un trabajo productivo debido a que le faltó material. El trabajador entonces espera, por lo menos, la tasa base, es decir

$$(3)\,(\$12.00) = \$36.00$$

Que significaría ingresos durante el día de

$$\$70.00 + \$36.00 = \$106.00$$

El resultado sería un costo unitario de mano de obra directa de

$$\frac{\$106.00}{70} = \$1.514$$

Con el plan de jornada de trabajo, aún con desempeño bajo, el operario habrá producido 70 piezas en menos de un día. Así, sus ingresos serían 8 × $12.00, o $96.00, y el costo unitario de trabajo directo sería $96.00/70, o $1.371. Por lo tanto, cualquier tiempo no productivo debe controlarse con cuidado.

Cuando el trabajo es pequeño (se pueden sostener varias piezas en una mano), los operarios pueden hacer una cuenta por "peso" de su producción al final del día o al terminar cada corrida de producción, lo que sea más rápido. El supervisor verifica de inmediato esta cuenta por peso y pone sus iniciales en el informe de producción.

Para un trabajo de tamaño mayor, una técnica empleada con frecuencia es tener una charola o caja con compartimientos para poner los trabajos. En la caja caben números fijos de trabajos, como 10, 20 o 50. Así, al final del turno, es sencillo para los supervisores de los operarios aprobar los informes de producción con sólo contar las cajas o multiplicar por el número de trabajos en ellas.

Básicamente, la administración establece los planes de incentivos salariales para aumentar la productividad. En un plan lógico con buen mantenimiento, el porcentaje de ingresos por incentivos de los trabajadores en el plan permanecerán más o menos constantes en el tiempo. Si un análisis muestra que los ingresos por incentivos siguen elevándose al pasar los años, tal vez existan problemas que al final deterioren la efectividad del plan. Si por ejemplo, el promedio de ingresos de incentivos se incrementa de

17 a 40% en un periodo de 10 años, el incremento de 23% quizá no se deba a un aumento proporcional en productividad sino a la holgura de los estándares.

PLANES DE MOTIVACIÓN NO FINANCIEROS

Los incentivos no financieros incluyen cualquier tipo de compensación que no tiene relación con el pago, pero que mejora el ánimo de los empleados a tal grado que vuelve evidente el esfuerzo adicional. Los elementos o políticas de la compañía dentro de esta categoría incluyen: conferencias periódicas de taller, círculos de control de calidad, pláticas frecuentes entre supervisores y empleados, escalafón adecuado de los empleados, enriquecimiento del trabajo (vea el capítulo 18), planes de sugerencias no financieras, condiciones ideales de trabajo y publicación de los récords de producción individuales. Los buenos supervisores y los administradores capaces y conscientes usan muchas otras técnicas, como invitar al empleado y su esposa a cenar, proporcionar boletos para eventos deportivos o teatro, organizar viajes especiales de intercambio con otras compañías sobre la tecnología de punta. Todos estos enfoques buscan la motivación mediante el mejoramiento del entorno de trabajo. Se conocen también como planes de "calidad de vida en el trabajo".

El equipo administrativo también debe poner el ejemplo de alto desempeño y búsqueda de la excelencia. De esta manera, los empleados entenderán que la cultura de su compañía es el alto desempeño en la manufactura de productos de la mejor calidad. Los resultados de esta filosofía serán un sentimiento de orgullo por su trabajo. Los programas individuales y de grupo deben ser acordes con esta filosofía de manera que se reconozca el trabajo de equipo y sus resultados.

RESUMEN

Los principios de incentivos se han aplicado en talleres e instalaciones de producción, en la fabricación de bienes tanto duros como suaves, en la industria de la manufactura y la de servicios, y en operaciones de mano de obra directa e indirecta. Los inventivos se han usado para aumentar la productividad, mejorar la calidad y la confiabilidad del producto, reducir el desperdicio, mejorar la seguridad y estimular buenos hábitos de trabajo como la puntualidad y la asistencia diaria.

Tal vez el mejor plan de incentivos aplicado a trabajadores individuales en la actualidad es el plan de hora estándar con una tasa diaria garantizada. Sin embargo, las ganancias compartidas, la obtención de acciones y otros planes relacionados con el ahorro en costos han tenido éxito en muchos casos. En general, tienden a ser más efectivos cuando se implantan como complemento a un plan de incentivos sencillo y no en lugar de éste. Los planes de grupo deben garantizar las tasas diarias respectivas a todos sus miembros, y deben recompensarlos en proporción directa a su productividad una vez que se logra el desempeño estándar.

La tabla 17–4 ilustra el pensamiento de 508 gerentes de relaciones industriales/de personal en cuanto diferentes planes. La mayoría siente que los incentivos sencillos —pieza trabajada, horas estándar y jornada medida— son los mejores desde el punto de vista de elevar la productividad y facilidad de comprensión.

Tabla17–4 Caracterización de planes de compensación flexibles según quienes respondieron la encuesta

	Participación de utilidades (%)	Planes de obtención de acciones (%)	Ganancias compartidas Scanlon, Rucker, IMPROSHARE (%)	Tasa pieza por hora estándar (%)
Mejores para:				
Elevar la productividad	28	5	26	41
Aumentar la lealtad	48	17	19	14
Prever el retiro	80	13	no se preguntó	no se preguntó
Ligar el costo de mano de obra con el desempeño	53	no se preguntó	28	19
Mayor facilidad para:				
Explicar a los empleados	32	9	4	49
Administrar	40	7	4	38

Fuente: Adapatado de Broderick y Mitchell (1977).

Los sistemas de incentivos bien administrados poseen ventajas importantes, tanto para los trabajadores como para la administración. El beneficio clave para los empleados es que hacen posible que incrementen sus ingresos totales, no en un tiempo futuro indefinido, sino de inmediato —en su próximo pago—. La administración obtiene una mayor producción y, si se supone que se tienen ganancias por cada unidad producida, se obtendrán en mayor volumen. En general, las ganancias aumentan no en proporción a la producción, sino cuando ocurre una tasa más alta de producción, es decir, cuando los costos generales por unidad decrecen. Además, los altos salarios que surgen de los planes de incentivos mejoran el ánimo del empleado y tienden a reducir la rotación de personal, el ausentismo y los retardos.

Por lo común, cuanto más difícil es medir el trabajo, más difícil será instalar un plan de incentivos salariales exitoso. Suele no tener ventajas instalar incentivos a menos que el trabajo se pueda medir con una precisión razonable. Más aún, es usual que sea desventajoso introducir incentivos si la disponibilidad de trabajo está limitada a menos del 120% de lo normal.

Una advertencia importante es que existe un trueque definitivo entre aumentar el peso de trabajo con un plan de incentivos y aumentar el riesgo de lesiones por movimientos repetitivos, en particular si el trabajo o la estación de trabajo no tienen un diseño ergonómico. Los autores han sido testigos de muchos casos, en especial en la industria del vestido, donde las tareas con tasas bajas pero incentivos altos (de forma que para lograr un salario decente, las costureras deben producir tasas muy altas, incluso arriba del 150%) tienen una tasa alta de lesiones. Sin duda un trabajo mejor diseñado puede disminuir la tasa de lesiones. Sin embargo, aun en las mejores condiciones, las tasas altas (más de 20 000 movimientos de las manos por turno de 8 horas) pueden ser causa de algunas lesiones. Por lo tanto, incluso descuidando la salud del trabajador y los aspectos de seguridad, el ingeniero que estudia y establece estándares debe decidir si los mayores costos médicos, en las condiciones de incremento actuales, compensan las ganancias obtenidas con un plan de incentivos dado.

PREGUNTAS

1. ¿Cuáles son las tres categorías generales en las que se pueden clasificar la mayor parte de los planes de incentivos?
2. Explique la diferencia entre planes de pago salarial individual y de grupo.
3. ¿Qué significan prestaciones?
4. ¿Qué políticas de la compañía se incluyen en los incentivos no financieros?
5. ¿Cuáles son las características de la pieza trabajada? Grafique la curva de costo unitario y la de ingresos del operario para la jornada de trabajo y la pieza trabajada en los mismos ejes coordenados.
6. ¿Por qué se popularizó la jornada de trabajo medida en la década de 1930?
7. ¿Qué ventajas tiene el plan Rucker comparado con el plan Scanlon?
8. ¿En qué difiere IMPROSHARE de los planes Rucker y Scanlon?
9. Defina el plan de ganancias compartidas.
10. ¿Qué tipo específico de planes de ganancias compartidas ha tenido aceptación general?
11. ¿Cuáles son las tres grandes categorías que cubren la mayor parte de los planes de ganancias compartidas?
12. ¿De qué depende la cantidad de dinero repartida en el plan de efectivo?
13. ¿Qué determina la duración del periodo entre el pago de bonos en el plan de efectivo? ¿Por qué es una mala práctica tener periodos demasiado largos? ¿Qué desventajas tienen los periodos cortos?
14. ¿Cuáles son las características del plan de ganancias compartidas diferidas?
15. ¿Por qué no son muy comunes los métodos de distribución de "compartir por igual"? ¿Qué aseguran los proponentes de esta técnica al defenderla?
16. ¿Por qué muchos sindicatos se oponen a cualquier forma de pagos de incentivos salariales?
17. ¿Por qué es aconsejable tener intervalos de tasas de pago que se apliquen a cada trabajo?
18. ¿Cuáles son las cuatro hipótesis importantes relacionadas con la motivación?
19. ¿Cuáles son los requisitos fundamentales de un plan de incentivos salariales exitoso?
20. ¿Por qué es esencial mantener actualizados los estándares de tiempo si ha de tener éxito un plan de incentivos salariales?
21. ¿Qué indica un desempeño demasiado alto?
22. ¿Cómo abordaría la tarea de establecer un ambiente que incremente la motivación del trabajador?

PROBLEMAS

1. En una planta que fabrica un solo producto donde se instaló IMPROSHARE, 411 empleados producen 14 762 unidades en un año y registran 802 000 horas de reloj. En una semana dada, 425 empleados trabajaron un total de 16 150 horas y fabricaron 348 unidades. ¿Cuál sería el valor por hora de esta producción? ¿Qué porcentaje de bono recibiría cada uno de los 425 trabajadores? ¿Cuál sería el costo unitario de mano de obra para la producción de esta semana?
2. Los analistas establecieron un tiempo asignado de 0.0125 horas/pieza para maquinar una componente pequeña. También se determinó un tiempo de preparación de 0.32 horas, ya que el operario realiza el trabajo necesario de preparación con incentivos. Calcule lo siguiente:
   a. el tiempo total asignado para terminar una orden de 860 piezas,

b. la eficiencia del operario si termina el trabajo en una jornada de 8 horas,
c. la eficiencia del operario que requiere 12 horas para terminar el trabajo.

3. Se tiene instalado un plan "uno a uno" o plan de participación al 100% para el pago de incentivos. La tasa base del operario para esta clase de trabajo es $10.40. La tasa base está garantizada. Calcule:
   a. los ingresos totales por el trabajo con la eficiencia determinada en el problema 2*b*,
   b. los ingresos por hora,
   c. los ingresos totales por el trabajo con la eficiencia determinada en el problema 2*c*,
   d. el costo de mano de obra directa por pieza de *a*, excluyendo la preparación,
   e. el costo de mano de obra directa por pieza de *c*, excluyendo la preparación.
4. Se establece una tasa de 0.42 minutos por pieza para una operación de forja. El operario trabaja en la tarea el día completo de 8 horas y produce 1500 piezas. Use el plan de horas estándar trabajadas.
   a. ¿Por cuántas horas estándar tiene ingresos el operario?
   b. ¿Cuál es la eficiencia del operario en el día?
   c. Si la tasa base es $9.80 por hora, calcule las ganancias del día.
   d. ¿Cuál es el costo por pieza de la mano de obra directa con esta eficiencia?
   e. ¿Cuál sería una tasa por pieza adecuada (expresada en dólares) para este trabajo, si se supone que el tiempo estándar es correcto?
5. Una planta usa un plan de ganancias compartidas 60-40 (la tasa base está garantizada y el operario recibe 60% de las ganancias proporcionales excedentes a 100%). El valor de tiempo establecido en cierto trabajo es 0.75 minutos y la tasa base es $8.80. Calcule el costo de mano de obra directa por pieza cuando la eficiencia del operario es:
   a. 50% del estándar,
   b. 80% del estándar,
   c. 100% del estándar,
   d. 120% del estándar,
   e. 160% del estándar.
6. En una planta donde todas las tasas se establecen con base en el dinero (tasas de piezas), un trabajador realiza una tarea para la que está garantizada una tasa base de $8.80. Los ingresos normales de este trabajador son mayores que $88 por día. Debido a la presión del trabajo, se le pide que ayude con otro trabajo, clasificado en $10 por hora. El empleado trabaja tres días en este trabajo y gana $80 cada día.
   a. ¿Cuánto debe pagarse al operario para cada día de trabajo en esta nueva tarea? ¿Por qué?
   b. ¿Habría diferencia si el operario hubiera trabajado en una nueva tarea para la que la tasa base es $8 por hora y hubiera ganado $72? Explique.
7. Un plan de incentivos usa un diferencial de "tasa baja, tasa alta". Cierto tipo de trabajo tiene la garantía de "tasa baja" de $6 por hora y la "tasa alta" para trabajo dentro del estándar es $9.20 por hora. Se estudia una tarea y se establece una tasa de 0.036 horas por pieza. Calcule el costo de la mano de obra directa por pieza con las siguientes eficiencias:
   a. 50%,
   b. 80%,
   c. 98%,
   d. 105%,
   e. 150%.
8. Una compañía desea evaluar dos esquemas de incentivos que tienen efecto una vez que el trabajador excede el desempeño normal. En el primer caso, los beneficios se dividen 50-50 entre el trabajador y la compañía. En el segundo, el trabajador recibe un incremen-

to de hasta 120% de sus ingresos y después recibe un pago constante de hasta 150%, a partir de ahí todas las ganancias van al trabajador.

a. Grafique los costos unitarios de mano de obra normalizados para cada esquema.
b. Obtenga las ecuaciones para los ingresos del trabajador y los costos unitarios de mano de obra para cada esquema.
c. Encuentre el punto de equilibrio para ambos esquemas.
d. ¿Cuál esquema preferirá la compañía?

9. Una compañía desea evaluar dos esquemas de incentivos que tienen efecto una vez que el trabajador excede el desempeño normal. En el primer caso, los beneficios se dividen 30% para el trabajador y 70% para la compañía hasta un desempeño de 120%. Si el trabajador excede 120% de desempeño, todos los ingresos van al trabajador. En el segundo caso, todos los ingresos arriba del desempeño normal se dividen 50-50 entre el trabajador y la compañía.

a. Grafique los ingresos en cada esquema.
b. Obtenga las ecuaciones para los ingresos del trabajador y los costos unitarios de mano de obra para cada esquema.
c. Encuentre el punto de equilibrio entre los dos planes.
d. ¿Qué plan preferiría la compañía?

REFERENCIAS

Britton, Charles E., *Incentives in Industry*, New York: Esso Standard Oil Co., 1953.

Broderick, R. y Mitchell, D. J. B., "Who Has Flexible Wage Plans and Why Aren't There More of Them?", *IRRA 29th Annual Proceedings*, 1997, pp. 163-164.

Campion, Michael A. y Gina J. Medsker, "Job Design", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, New York: John Wiley & Sons, 1992.

Dingus, Victor R. y Russell E. Justice, "Celebrating Quality", *Quality Progress*, noviembre de 1989, p. 74.

Fay, Charles H. y Richard W. Beatty, *The Compensation Source Book*, Amherst, MA: Human Resource Development Press, 1988.

Fein, M., "Financial Motivation", en *Handbook of Industrial Engineering*, Ed. Gavriel Salvendy. New York: John Wiley & Sons, 1982.

Lokiec, Mitchell, *Productivity and Incentives*, Columbia, SC: Bobbin Publications, 1977.

U.S. General Accounting Office, *Productivity Sharing Programs: Can They Contribute to Productivity Improvement?*, Gaithersburg, MD: U.S. Printing Office, 1981.

Von Kaas, H. K., *Making Wage Incentives Work*, New York: American Management Associations, 1971.

Zollitsch, Herbert G. y Adolph Langsner, *Wage and Salary Administration*, 2a. ed., Cincinnati, OH: South-Western Publishing, 1970.

SOFTWARE SELECCIONADO

Design Tools (incluido en el libro), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

CAPÍTULO 18

Capacitación y otras prácticas administrativas

Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

PUNTOS CLAVE:

- Capacitar a trabajadores para minimizar lesiones y alcanzar el tiempo estándar con mayor rapidez.
- Usar curvas de aprendizaje para ajustar estándares de trabajadores nuevos y lotes pequeños.
- Reconocer y entender las necesidades de los trabajadores.
- Usar la ampliación del trabajo y la rotación de tareas para minimizar lesiones por trabajo repetitivo y aumentar la autoestima del trabajador.

En una investigación realizada en 1954 sobre temas encontrados en la currícula de ingeniería industrial, los investigadores clasificaron el estudio de tiempos y movimientos en primer lugar de una lista de 41 temas (Balyeat, 1954). Un estudio similar realizado 10 años después con más de 8700 ingenieros industriales de 250 compañías manufactureras grandes de Estados Unidos encontró que éstos dedicaban la mayor parte de su tiempo a la medición del trabajo (Anónimo, 1964). Una investigación más reciente (Freivalds, *et al.*, 2000) aplicada a 61 ingenieros industriales indicó que los temas tradicionales de medición de trabajo (estudio de tiempos, datos de estándares, muestreo del trabajo) ya no estaban al principio de la lista (pero sí lo estaban las herramientas de los métodos). Por otro lado, varios aspectos organizacionales del trabajo no tradicionales (trabajo en equipo, evaluación del trabajo y capacitación) se encontraban entre los 10 primeros. Por esta razón, se ha dado una mayor importancia a estos temas en este libro.

Otra tendencia es la ampliación de las técnicas de ingeniería industrial a todas las áreas de la empresa moderna, que incluyen mercadotecnia, finanzas, ventas y alta administración. Además, cada vez es mayor la importancia de la medición del trabajo en áreas indirectas como oficinas, mantenimiento, recepción y envíos, ventas, inspección y depósito de herramientas. Para cumplir la demanda y cosechar los beneficios de la ca-

pacitación en este campo, muchas industrias han emprendido programas educativos en sus propias plantas, en tiempo de la compañía. Por ejemplo, una investigación amplia de más de 5300 empresas norteamericanas reveló que 80% proporcionaban programas de capacitación formal para supervisores de primera línea y 42% de estos programas manejaba simplificación del trabajo y métodos. Estos temas también se resaltan en este capítulo.

CAPACITACIÓN DEL OPERARIO

ENFOQUES DE CAPACITACIÓN

La fuerza de trabajo de una compañía es uno de sus recursos principales. Sin trabajadores calificados, las tasas de producción serían menores, la calidad peor y la productividad global más baja. Por lo tanto, una vez instalado un nuevo método y establecido el estándar correspondiente, los operarios deben capacitarse bien para seguir el método prescrito y alcanzar el estándar deseado. Si se hace esto, los operarios tendrán muy pocos problemas para cumplir o exceder el estándar. Existen muchas fuentes excelentes de material, programas y consultores de capacitación que no se presentan aquí con detalle. Sin embargo, es importante tener conocimiento de algunas opciones en programas de capacitación, como las que se presentan a continuación.

Aprendizaje en el trabajo Colocar a los operarios directo en un nuevo trabajo sin capacitarlos es un enfoque de "nadar o ahogarse". Aunque la compañía puede pensar que ahorra dinero, es definitivo que no lo hace. Algunos operarios harán las cosas mal y con el tiempo se adaptarán a la nueva técnica, en teoría "aprendiendo". Pero es posible que aprendan el método incorrecto y nunca logren el estándar deseado. O pueden tomar un tiempo mayor para alcanzar ese estándar. Esto significa una curva de aprendizaje más larga. Otros operarios quizá observen y hagan preguntas a sus compañeros y aprendan el nuevo método; sin embargo, durante este periodo, habrán causado lentitud en otros operarios y en toda la producción. Peor aún, quizá sus compañeros usen un método incorrecto que se transmitiría al nuevo operario. Además, el nuevo operario tal vez experimente ansiedad durante todo el proceso de aprendizaje, lo que puede deteriorar ese proceso.

Instrucciones escritas Las descripciones escritas en forma sencilla del método correcto son una mejora al aprendizaje en el trabajo, pero sólo para operaciones simples o en situaciones donde el operario tiene conocimientos relativos del proceso y sólo necesita ajustar variaciones pequeñas. Esto supone que el operario entiende el lenguaje en el que están escritas las instrucciones o que tiene suficiente educación para leer bien. En estos días, con la gran diversidad en el lugar de trabajo, esto no se puede suponer.

Instrucciones gráficas Se ha probado que usar fotografías con las instrucciones escritas es un recurso efectivo para la capacitación de los operarios. Esto también facilita la comprensión del nuevo método a los trabajadores con menos educación y aquellos que hablan otro idioma. En general, los dibujos tienen alguna ventaja sobre las fotografías

al resaltar detalles específicos, omitir detalles no esenciales y permitir vistas amplificadas. Por otro lado, es más sencillo producir y almacenar fotografías y son más fieles a la situación real (Konz y Johnson, 2000) si se exponen y señalan de forma adecuada.

Videocintas Las películas pueden mostrar la dinámica del proceso, como la interrelación de movimientos y partes herramientas, mucho mejor que las fotografías. Las videocintas son poco costosas y es sencillo producirlas y mostrarlas. Aún más, proporcionan al operario la libertad de controlar el tiempo para verla, regresarla si es necesario, y revisar los procedimientos. También se pueden guardar, borrar y regrabar.

Capacitación física La capacitación que incluye modelos físicos, simuladores o equipo real es mejor para las tareas complejas. Permite que el capacitando realice las actividades del trabajo en condiciones reales válidas, experimente las condiciones de emergencia en un entorno controlado y seguro, tenga supervisión en su desempeño para obtener retroalimentación. Esta capacitación física se ilustra mejor con los simuladores de vuelo de alta fidelidad para la capacitación de pilotos en varias aerolíneas y la mina de carbón simulada para la colocación de pernos en el techo o la capacitación en la operación continua de la misma en el centro de investigación del Bureau of Mines Bruceton cerca de Pittsburgh, Pensilvania.

Una ventaja de la capacitación física es que los operarios adquieren *condición física* en el proceso, es decir, ejercitan los movimientos de sus músculos o muñecas en condiciones controladas y frecuencias reducidas, de manera que el cuerpo se acostumbra en forma gradual a las condiciones más extremas encontradas en el lugar de trabajo. Este procedimiento ha tenido bastante éxito, por ejemplo, al reducir desórdenes óseomusculares relacionados con el trabajo en los empacadores de carne, mencionados por OSHA en su guía (OSHA, 1990) y recomendados por el American Meat Institute en su publicación *Ergonomics and Safety Guidelines*.

CURVA DE APRENDIZAJE

Los ingenieros industriales, los ingenieros de factores humanos y otros profesionales interesados en el estudio del comportamiento humano reconocen que el aprendizaje depende del tiempo. Aun la operación más sencilla puede tomar horas para dominarla. El trabajo complicado toma días o semanas antes que el operario logre la coordinación física y mental que le permitan pasar de un elemento a otro sin duda o demora. Este periodo y el nivel relacionado de aprendizaje forman la curva de aprendizaje; en la figura 18-1 se ilustra una curva típica.

Una vez que el operario alcanza la parte más plana de la curva, se simplifica el problema de calificar el desempeño. Sin embargo, no siempre es conveniente esperar tanto para desarrollar un estándar. Quizá los analistas se vean obligados a establecer el estándar en el punto en que la pendiente de la curva es mayor. En tales casos, han de poseer un agudo poder de observación y deben poder juzgar con madurez según la amplia capacitación para calcular un tiempo normal equitativo.

Es útil disponer de curvas de aprendizaje representativas de los diversos tipos de trabajo que se realizan en la compañía. Esta información se puede usar tanto para determinar la etapa de producción en la que sería deseable establecer el estándar, como para

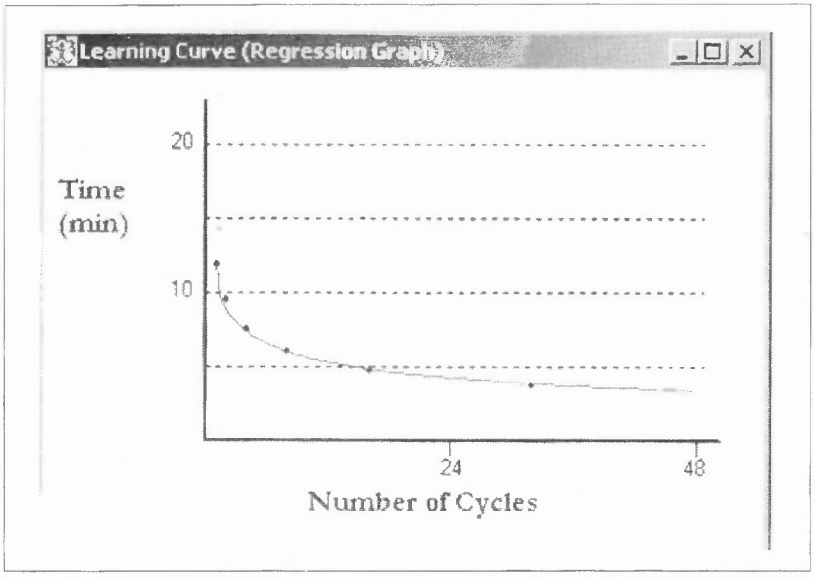


Figura 18–1 Gráfica típica de incremento de productividad.

proporcionar una guía del nivel de productividad esperado para un operario promedio con un grado conocido de familiaridad con la operación, después de producir un número fijo de partes.

Al graficar los datos de la curva de aprendizaje en papel logarítmico, los analistas pueden linealizar los datos para facilitar su uso. Por ejemplo, la gráfica de la variable dependiente (tiempo de ciclo) y la variable independiente (número de ciclos) de la figura 18–1 en papel doble logarítmico es una línea recta, como se ve en la figura 18–2.

No necesariamente ocurre que una nueva situación de curva de aprendizaje proporciona un nuevo diseño que va a producción. Los diseños anteriores similares a los nuevos tienen un efecto en el punto en el que la curva comienza a ser plana. Así, si la compañía introduce un diseño nuevo por completo de un tablero electrónico complejo, el ensamble implicaría una curva de aprendizaje diferente que la introducción de un tablero similar al que ha estado en producción durante los últimos cinco años.

La teoría de la curva de aprendizaje propone que cuando se duplica la cantidad total de unidades producidas, el tiempo por unidad disminuye en un porcentaje constante. Por ejemplo, si los analistas esperan una tasa de aprendizaje de 80%, entonces al duplicar la producción, el tiempo promedio por unidad disminuye 20%. La tabla 18–1 ilustra la disminución en el tiempo de ciclo conforme aumenta el número de ciclos; al duplicar los ciclos de manera sucesiva, se logra una tasa porcentual de mejora de 80%. Los mismos datos se grafican en las figuras 18–1 y 18–2.

Mientras más pequeña sea la tasa porcentual de mejora, mayor será la mejora progresiva en la tasa de producción. Las tasas típicas de aprendizaje son las siguientes: trabajo grande o fino de ensamble (como el de aviones), 70-80%; soldadura, 80-90%; maquinado, 90-95%.

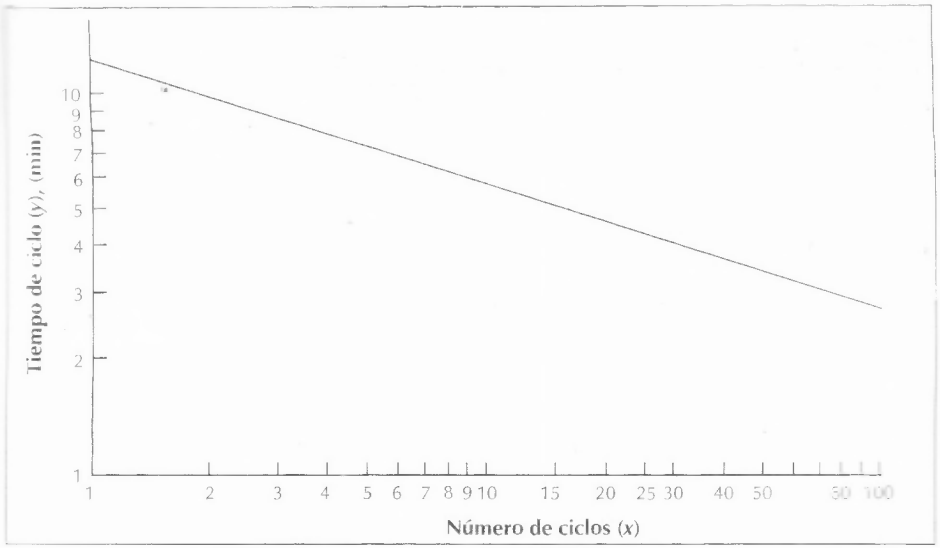


Figura 18–2 Tiempos de ciclo estimados basados en una reducción de 20% cada vez que la cantidad se duplica.

Tabla 18–1 Datos de aprendizaje en forma tabular

Número de ciclos	Tiempo de ciclo (h)	Relación con tiempo anterior
1	12.00	—
2	9.60	80
4	7.68	80
8	6.14	80
16	4.92	80
32	3.93	80

Cuando se usa papel lineal para graficar, la curva de aprendizaje es una curva de potencia de la forma $y = kx^n$. En papel logarítmico, la curva se representa por:

$$\log_{10} y = \log_{10} k + n \times \log_{10} x$$

donde: y = tiempo de ciclo,
x = número de ciclos o unidades producidas,
n = exponente que representa la pendiente,
k = valor del primer tiempo de ciclo.

Por definición, el porcentaje de aprendizaje es entonces igual a:

$$\frac{k(2x)^n}{kx^n} = 2^n$$

Universidad de Occidente - Biblioteca - Unidad Los Mochis

Tabla 18–2 Relación entre la pendiente de la curva de aprendizaje y el porcentaje de la curva de aprendizaje

Porcentaje de curva de aprendizaje	Pendiente
70	−0.514
75	−0.415
80	−0.322
85	−0.234
90	−0.152
95	−0.074

Tomando logaritmos en ambos lados de la ecuación,

$$n = \frac{\log_{10}(\text{porcentaje de aprendizaje})}{\log_{10} 2}$$

Para un 80% de aprendizaje, se tiene

$$n = \frac{\log_{10}(0.80)}{\log_{10} 2} = \frac{-0.0969}{0.301} = -0.322$$

También se puede encontrar n a partir de la pendiente:

$$n = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{(\log_{10} y_1 - \log_{10} y_2)}{(\log_{10} x_1 - \log_{10} x_2)} \frac{\log_{10} 12 - \log_{10} 4.92}{\log_{10} 1 - \log_{10} 16} = -0.322$$

Observe que k es 12 y la ecuación final para la curva de aprendizaje es:

$$y = 12x^{-0.322}$$

La tabla 18-2 presenta las pendientes de las curvas de aprendizaje comunes como una función del porcentaje de aprendizaje. El ejemplo 18–1 ayudará a aclarar el uso de la curva de aprendizaje.

EJEMPLO 18–1 Cálculo de la curva de aprendizaje

Suponga que toma 20 minutos producir la unidad número 50 y 15 minutos producir la unidad 100. ¿Cuál es la curva de aprendizaje?

$$n = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{(\log_{10} 20 - \log_{10} 15)}{(\log_{10} 50 - \log_{10} 100)} = \frac{1.301 - 1.176}{1.699 - 2.00} = -0.4152$$

El porcentaje de la curva de aprendizaje es:

$$2^{-0.4152} = 75\%$$

Para completar la ecuación de la curva de aprendizaje, se sustituye uno de los puntos, como (20, 50), en la ecuación y se despeja k:

$$k = y / x^{-n} = 20 / 50^{-0.4152} = 101.5$$

Así, los costos obtenidos para las primeras unidades producidas están basados en un tiempo de 101.5 minutos para producir un ensamble, no en los 10 minutos derivados de los datos de estándares o del sistema de tiempos predeterminados.

Después el analista desea determinar cuántos ciclos se necesitan para lograr un tiempo específico, por ejemplo, un tiempo estándar de 10 minutos. Se sustituye $y = 10$ minutos en la ecuación de aprendizaje, se toman logaritmos de los dos lados y se despeja x:

$$10 = 101.5x^{-0.4152}$$
$$\log_{10}(10/101.5) = -0.4152 \log_{10} x$$
$$\log_{10} x = -1.006/-0.4152 = 2.423$$
$$x = 10^{2.423} = 264.8 \approx 265 \text{ ciclos (siempre se redondea hacia arriba)}$$

Entonces, tomaría al trabajador 265 ciclos lograr el estándar de tiempo.

Ahora el analista tal vez desee saber cuánto toma en tiempo real lograr el tiempo estándar de 10 minutos. Ésta es el área bajo la curva de aprendizaje, que puede encontrarse mediante la integral bajo la curva:

$$\text{Tiempo total} = \int_{x_1 - \frac{1}{2}}^{x_2 + \frac{1}{2}} kx^n dx = k\{(x_2 + \tfrac{1}{2})^{n+1} - (x_1 - \tfrac{1}{2})^{n+1}\}/(n+1)$$
$$= 101.5\{265.5^{0.5848} - 0.5^{0.5848}\}/0.5848 = 4\,424 \text{ min}$$

Así, para el ejemplo 18–1, toma un total de 4 424 minutos, o aproximadamente 73.7 horas, lograr un tiempo de ciclo de 10 minutos. El tiempo de ciclo promedio sería 4 424/265 = 16.7 minutos.

Una pregunta interesante se refiere a qué pasa si el operario sale de vacaciones. ¿Olvida algo de lo aprendido? De hecho, esto ocurre y se conoce como *retroceso* (Hancock y Bayha, 1982). La cantidad de retroceso es una función de la posición del operario en la curva de aprendizaje cuando ocurre la interrupción. Esta cantidad se aproxima extrapolando la línea recta que va del tiempo del primer ciclo al tiempo estándar (vea la figura 18–3). La ecuación para esta recta de retroceso es:

$$y = k + \frac{(k - s)(x - 1)}{(1 - x_s)}$$

donde: s = tiempo estándar,

x_s = número de ciclos para lograr el tiempo estándar.

Poder estimar el tiempo de la primera unidad producida y el tiempo para las unidades sucesivas puede ser muy útil para estimar cantidades relativamente pequeñas si el analista cuenta con datos de estándares e información de la curva de aprendizaje. Como los datos de estándares casi siempre se basan en el desempeño del trabajador cuando el aprendizaje se nivela o alcanza la parte plana de la curva, esos datos deben ajustarse hacia arriba para asegurar que se asigna un tiempo adecuado por unidad en condiciones de cantidades pequeñas. Por ejemplo, suponga que el analista desea conocer el tiempo necesario para producir la primera unidad de un ensamble complejo. El análisis de los datos de estándares sugiere un tiempo de 1.47 horas, que es el tiempo de ciclo para la

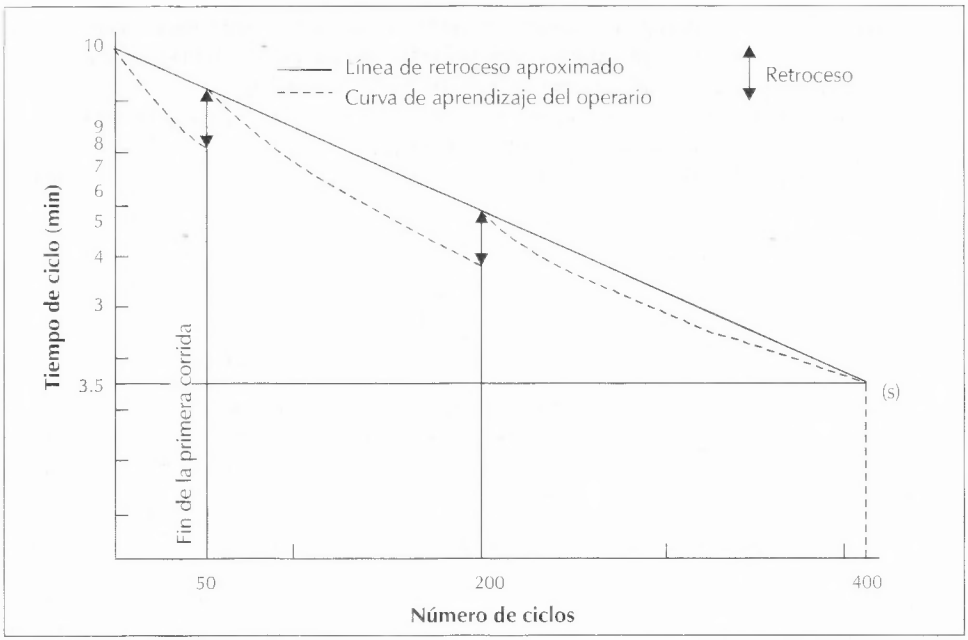


Figura 18-3 Efecto de interrupciones en el aprendizaje del operario
(*Tomado de:* Hancock y Bayha, 1982, reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

n-ésima unidad, o el punto en el que la curva comienza a aplanarse. Entonces, la *n*-ésima unidad se estima como 300 ensambles. Con base en otros trabajos similares, el analista espera una tasa de aprendizaje de 95%. De la tabla 18–2, el exponente n, que representa la pendiente, es -0.074. Entonces k, el valor del primer tiempo de ciclo, es

$$k = 1.47 / 300^{-0.074} = 2.24 \text{ horas}$$

EJEMPLO 18–2 Cálculo de la curva de aprendizaje con retroceso

En el ejemplo 18–1, el operario se detiene después de 50 ciclos para irse 2 semanas de vacaciones. Su tiempo para el ciclo 51 se determina con la función de retroceso:

$$y = 101.5 + \frac{(101.5 - 10)(51 - 1)}{(1 - 265)} = 84.17$$

El tiempo de ciclo del operario sin interrupción hubiera sido

$$y = 101.5x^{-0.4152} = 101.5 \times 51^{-0.4152} = 19.84$$

Por lo tanto, hubo un retroceso de $84.17 - 19.84 = 64.33$ minutos, y se inicia una nueva curva de aprendizaje con un nuevo valor de $k = 84.17$. El ciclo 51 ahora se convierte en el primer ciclo de la nueva curva de aprendizaje $y = 84.17x^{-0.4152}$.

Así, el costo calculado por el analista estaría basado en 2.24 horas como tiempo para producir un ensamble, no 1.47 horas, desarrollado a partir de los datos de estándares.

Muchos factores afectan el aprendizaje humano. La complejidad del trabajo es muy importante. Cuanto más larga sea la longitud de ciclo, mayor es la incertidumbre de los movimientos, y mientras más movimientos simultáneos o tipo C haya (vea el capítulo 13), mayor capacitación se requerirá. De manera similar, las características individuales, como edad (la tasa de aprendizaje disminuye con la edad), capacitación previa y aptitudes físicas, afectan la habilidad de aprender.

PROGRAMAS DE CAPACITACIÓN EN LA PLANTA

Cuando se emprende de manera adecuada, cualquier programa de capacitación de métodos se autojustifica. Varias compañías que han introducido programas de capacitación han logrado ahorros casi de inmediato en todas las plantas. Un fabricante de maquinaria agrícola impartió un curso de 64 horas de análisis de métodos durante 21 semanas. Asistieron 42 supervisores, ayudantes de supervisión, analistas de estudio de tiempos y otros miembros clave del personal operativo. Al terminar el curso se presentaron 28 proyectos de métodos que presentaban soluciones de mejoras que podían introducirse en la planta. Las ideas incluyeron: acoplamiento de máquinas, rediseño de herramientas y productos, simplificación de documentos, mejoras en la distribución de planta, mejor manejo de materiales, mejoras a las matrices y dispositivos, eliminación de operaciones, ajuste de tolerancias y especificaciones y muchas otras; el resultado fue ahorros de miles de dólares anuales.

Además de las ganancias inmediatas mencionadas, la capacitación en el análisis de las operaciones y la simplificación del trabajo desarrolló una consciencia analítica en el personal operativo, por lo que en adelante hubo una búsqueda continua de mejores maneras de hacer las cosas. Desarrollaron la apreciación del costo de manufactura y, al terminar el curso, tenían conocimientos de la relación entre la producción y el precio de venta. Al proporcionar los medios de capacitación en el trabajo sobre métodos y áreas relacionadas, esta compañía tuvo un gran avance para asegurar su lugar en un mercado en extremo competitivo.

CAPACITACIÓN DE MÉTODOS Y ESTUDIO DE TIEMPOS

La falta de éxito de algunos programas de estudio de tiempos y métodos se debe en parte a la falta de comprensión de las técnicas por los administradores y el personal de operación. Una de las maneras más sencillas de asegurar el éxito de cualquier innovación práctica es informar a las partes afectadas cuándo y cómo operarán. Cuando todos entienden las teorías, técnicas y necesidad económica de métodos, medición del trabajo y motivación del empleado, se encuentran pocos obstáculos en su aplicación. En plantas sindicalizadas, es muy importante que los representantes locales entiendan la necesidad y los pasos involucrados en el establecimiento de estándares de desempeño. La capacitación en las áreas de calificación del desempeño, aplicación de suplementos, métodos de datos de estándares y evaluación del trabajo es esencial. Las compañías que han proporcionado capacitación sobre los elementos del estudio de tiempos para los líderes sin-

dicales y los representantes de la administración, han experimentado una relación armoniosa respecto a los métodos, estándares y pago de salarios.

La administración debe patrocinar la capacitación para familiarizar a diversos miembros de la operación y supervisión con la filosofía y técnicas del estudio de tiempos y movimientos. Además, debe proporcionar capacitación a quienes planean realizar estos estudios como parte de su vida de trabajo. También los analistas experimentados deben actualizarse para asegurar que su concepción de lo normal no se desvíe del estándar. La capacitación periódica del personal de estudios de tiempos es esencial.

Siempre surgen nuevos desarrollos. Conforme se reconocen, el personal de las secciones de métodos, estudio de tiempos y pago de salarios debe recibir la capacitación correspondiente.

Cualquier compañía que tiene, o planea tener, un programa de simplificación del trabajo o de análisis de métodos, estudios de tiempos, medición del trabajo y pago de incentivos debe incluir un programa de capacitación continuo como parte de su instalación. Sesiones de capacitación de 2 horas semanales para supervisores, representantes sindicales, fuerza de trabajo directa y administradores, valdrán el tiempo y el dinero dedicados.

DESARROLLO CREATIVO

El trabajo creativo no está limitado a un campo específico o a unos cuantos individuos, sino que lo realizan en distintos grados personas en diversos puestos: el artista bosqueja, el periodista promueve una idea, el maestro alienta el desarrollo del estudiante, el científico experimenta con una teoría y el analista industrial desarrolla métodos mejorados para ejecutar el trabajo.

Creatividad implica novedad, pero con frecuencia se entiende sólo como la mejora de productos existentes. Una actitud de "cómo producir mejor un producto" moderada por el buen juicio, es una característica importante de los analistas de métodos y estudio de tiempos efectivos.

Desarrollar la creatividad en los analistas de métodos y estudio de tiempos es un reto constante. El conocimiento de los principios fundamentales de física, química, matemáticas e ingeniería es una buena base para el pensamiento creativo. Si los analistas en la industria no tienen estos antecedentes básicos, deben adquirirlos, ya sea por medio de cursos o en forma autodidacta. Por supuesto, el conocimiento es sólo la base para la creatividad; no necesariamente la estimula.

Las características personales de curiosidad, intuición, percepción, ingenuidad, iniciativa y persistencia contribuyen al pensamiento creativo. La curiosidad parece estimular más ideas que cualquier otra característica personal. Una ayuda en el desarrollo o recuperación de la curiosidad es la observación cuidadosa. Los analistas de métodos estudio de tiempos deben adquirir el hábito de hacerse preguntas sobre cómo se hace un objeto en particular, qué materiales se usan en su construcción, por qué se diseñó con un tamaño o forma específico, por qué y cuándo se terminó y cuánto costó. Si no pueden responder a estas preguntas por sí mismos, deben buscar las respuestas ya sea mediante el análisis o a través de la consulta de fuentes de materiales y expertos. Estas observaciones pueden llevar a las personas creativas a ver la manera de mejorar los productos o

procesos y reducir costos, mejorar la calidad, facilitar el mantenimiento o modificar la apariencia estética.

Una idea significativa con creatividad casi siempre abre campos de actividad que conducen a muchas ideas nuevas. Con frecuencia, una idea que se aplica a un producto o proceso también se puede aplicar a otros productos o procesos similares.

EMPLEADOS Y MOTIVACIÓN

REACCIONES DE LOS EMPLEADOS

Además de entender los objetivos de los sindicatos y sus actitudes hacia el enfoque de métodos, estándares y pagos salariales, los analistas deben comprender con claridad las reacciones psicológicas y sociológicas de los operarios. Deben siempre reconocerse tres aspectos:

1. La mayoría de las personas no tienen una respuesta favorable al cambio.
2. La seguridad en el trabajo es prioritaria en la mente de la mayoría de los trabajadores.
3. Las personas tienen necesidad de afiliarse y en consecuencia reciben influencia del grupo al que pertenecen.

Muchas personas, sin importar sus puestos, tienen una resistencia inherente a cambiar cualquier aspecto asociado con sus patrones de trabajo o centros de trabajo. Esto se debe a varios factores psicológicos. Primero, el cambio indica insatisfacción con la situación actual. La tendencia natural es defender el método actual, pues se asocia de manera estrecha con el individuo. A nadie le gusta que otros estén insatisfechos con su trabajo; incluso si se sugiere un cambio, la reacción inmediata es dar explicaciones de por qué el cambio propuesto no funcionará.

Segundo, las personas tienden a ser criaturas de hábitos. Una vez adquirido un hábito, es difícil dejarlo y existe resentimiento si alguien intenta alterarlo. Por ejemplo, alguien con el hábito de comer en cierto lugar se resiste a ir a otro restaurante, aunque la comida pueda ser mejor y menos costosa.

Tercero, las personas tienen un deseo natural de sentirse seguros en su puesto, reacción tan básica como el instinto de supervivencia. De hecho, la seguridad y la supervivencia se relacionan. Muchos trabajadores prefieren la seguridad a un salario alto al elegir un trabajo.

Cuarto, el trabajador percibe todos los cambios de métodos y estándares como un esfuerzo por aumentar la productividad. La reacción inmediata y entendible es pensar que si la producción aumenta, la demanda quedará satisfecha en un periodo más corto y sin demanda habrá menos trabajos.

La solución a la necesidad de seguridad del trabajo estriba más que nada en la sinceridad de la administración. Cuando el resultado de mejorar un método es desplazar a algunos trabajadores, la administración es responsable de hacer un esfuerzo honesto para relocalizar a quienes hayan sido desplazados. Esto puede incluir proporcionar una nueva capacitación. Algunas compañías han llegado al extremo de garantizar que nadie perderá su empleo como resultado del mejoramiento de métodos. Dado que por lo co-

mún la tasa de rotación de la mano de obra es mayor que la tasa de mejoramiento, la contracción natural por renuncias o retiro casi siempre absorbe los desplazamientos que causa el mejoramiento.

Quinto, la necesidad sociológica de afiliarse y el impacto que resulta de "actúa como el grupo quiere que todos actúen" también influye en el cambio. Muchas veces, el trabajador, como miembro del sindicato, siente que este organismo espera que se oponga al cambio instituido por la administración; en consecuencia, el trabajador se resiste a cooperar con cualquier cambio propuesto como resultado de los métodos y estándares de trabajo. Otro factor es la resistencia hacia cualquiera que no sea parte del propio grupo. Una compañía representa un "grupo" que tiene varios grupos dentro de sus fronteras. Estos grupos individuales responden a leyes sociológicas básicas. El cambio propuesto por alguien externo al grupo, con frecuencia se recibe con hostilidad declarada. El trabajador se asocia con un grupo diferente al de quienes aplican los métodos y estándares, y tiende a resistir el esfuerzo de los analistas, lo que puede interferir con el desempeño usual dentro del grupo.

JERARQUÍA DE MASLOW DE LAS NECESIDADES HUMANAS

Algunos factores psicológicos como el estrés, las necesidades y la compensación pueden ser aspectos muy importantes en la productividad del trabajador. Es natural que los empleados deseen trabajar con una cantidad mínima de estrés y la mayor compensación. Maslow (1970) cuantificó estos deseos en una jerarquía comparable a escalones que llevan a la cima de una pirámide que representa el objetivo final (figura 18–4). El trabajador debe satisfacer cada necesidad inferior antes de buscar la recompensa del siguiente nivel. El nivel más bajo incluye las *necesidades fisiológicas* que corresponden a supervivencia, comida, agua y salud. Los factores de trabajo relacionados con este nivel pueden ser una remuneración suficiente u otras recompensas monetarias.

Una vez satisfechas las necesidades fisiológicas cobra importancia el segundo nivel, *necesidades de seguridad*. Éstas incluyen la necesidad de seguridad tanto en el sentido físico como psicológico. Pueden ser tan simples como evitar lesiones físicas en el trabajo o tan complejas como buscar un supervisor "amable" que no amenace o degrade al trabajador. Con la preponderancia de los recortes de personal a finales de los años 90, la necesidad de seguridad incluyó seguridad del trabajo y los derechos de antigüedad.

El tercer nivel, las *necesidades sociales*, incluye la necesidad de atención, amistad, pertenencia social y relaciones significativas con los compañeros de trabajo. En el cuarto nivel *necesidad de autoestima*, el trabajador lucha por la competencia y el logro, expresa un deseo de respeto a sí mismo o busca satisfacer su ego.

Arriba de la pirámide, en el quinto y último nivel está la *autosatisfacción*. Los trabajadores han logrado satisfacer sus necesidades y están satisfechos consigo mismos y en sus egos. Este nivel puede variar de manera considerable de un individuo a otro. Algunas personas pueden estar satisfechas haciendo "chafaldranas" cada día, mientras que otras quizá sólo estén satisfechas al manejar su propio negocio.

El ingeniero industrial puede preguntarse para qué sirve la jerarquía de Maslow en la planta, o cómo puede el trabajador satisfacer estas necesidades en la línea de producción. Considere el primer nivel de necesidades fisiológicas. Una táctica, aunque negati-

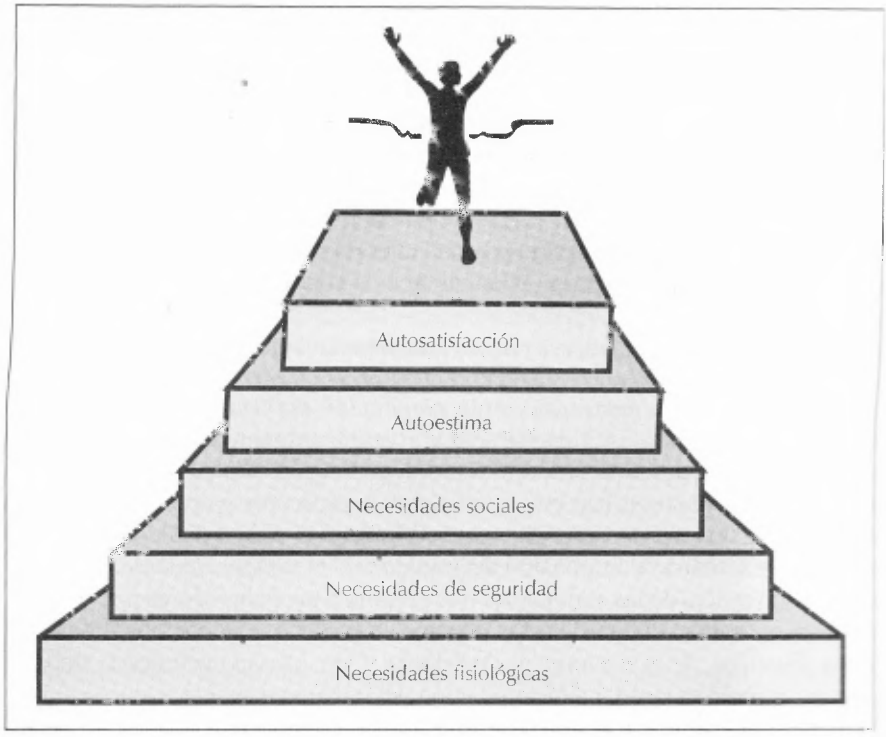


Figura 18–4 Jerarquía de Maslow de las necesidades humanas

va en términos de la relaciones trabajador-administrador, es la amenaza de correrlo si no cumple con las cuotas de producción o si viola las reglas de seguridad. Otros procedimientos para asustar o preocupar, o enfoques duros, se encuentran en esta misma categoría. Un enfoque más positivo es la implantación de incentivos salariales (capítulo 17). Éste es un condicionamiento clásico o reforzamiento positivo, en su forma más sencilla. Muchos trabajadores están dispuestos a realizar trabajos relativamente tediosos, o a tasas de producción más altas, cuando reciben un incentivo monetario suficiente. Así, el trabajador cambia una mayor satisfacción con el trabajo debida a una paga adicional, por menor satisfacción en el trabajo. Por desgracia, al aumentar la riqueza y los impuestos, el ingreso adicional deja ser significativo, y el ingeniero industrial puede tener que proceder a niveles más altos de la jerarquía de Maslow.

En el segundo nivel, las necesidades de seguridad del y en el trabajo, la preocupación principal es la seguridad de conservar el trabajo, en especial con la tendencia creciente al recorte de personal. Por tradición, en otras culturas, en especial la japonesa, un trabajo era una garantía de por vida con la compañía. En Estados Unidos es común que un trabajador cambie de trabajo cada cinco o seis años y trabaje para una media docena de empleadores a lo largo de su vida y quizá el empleo esté garantizado por un número fijo de años. A nivel del entorno de trabajo, los reglamentos específicos respecto a las

prácticas, el cuidado físico ante maquinaria insegura o las campañas de seguridad pueden mejorar el clima de trabajo.

En el tercer nivel, necesidades sociales, los trabajadores buscan "pertenecer" a un sistema social. En términos de trabajo, esto implicaría tener compañeros de trabajo amistosos, una interacción agradable con la administración, participación en los comités de seguridad o ergonómicos, etc. Tales organizaciones formales son más comunes en Japón con los "círculos de calidad"; en Alemania, donde los trabajadores eligen un consejo de trabajo (*Betriebsrat*) para manejar problemas y negociar con la administración, y en las plantas de automóviles de Suecia con los grupos de trabajo (*arbetsgrupper*).

En el cuarto nivel, los trabajadores buscan aumentar su autoestima. Esto puede lograrse mediante retos en el trabajo, la asignación de mayor responsabilidad y con mayor variedad. Esto último se consigue con la *ampliación del trabajo*, una expansión horizontal de las actividades. En lugar de sólo apretar un conjunto de tornillos todo el día, el trabajador puede realizar el ensamble completo. Esto no sólo aumenta su sentido de responsabilidad, también utiliza mayor cantidad de músculos y coyunturas, lo que divide la tensión en una mayor parte del cuerpo y reduce el riesgo de desórdenes por trauma acumulado. Unido a la ampliación del trabajo está el *enriquecimiento del trabajo*, una expansión vertical de las actividades que permite a los trabajadores iniciar y terminar una tarea completa, diversificar los deberes de forma que nadie tenga todas las asignaciones aburridas, delega la toma de decisiones y rota las asignaciones de trabajo. La *rotación del trabajo* es similar a la ampliación del trabajo en cuanto a que cualquier trabajador tiene la oportunidad de realizar varias tareas, mientras que está regido por un horario más rígido. La rotación del trabajo tiene efectos similares al enriquecimiento del trabajo al variar los factores de tensión y permitir que los músculos y partes del cuerpo fatigados se recuperen.

ENFOQUE DE LA VOLVO

Todos estos conceptos (ampliación, enriquecimiento, rotación y grupos de trabajo) surgieron en Suecia en la década de 1960. El detonador fue el creciente ausentismo, las huelgas no autorizadas, la inquietud de los trabajadores y la insatisfacción general. Se necesitaban cambios drásticos. Entonces, bajo la dirección de su presidente Pehr Gyllenhammer, la Volvo desarrolló un plan revolucionario y construyó una planta completa de ensamble de automóviles en Kalmar en 1974. La línea transportadora tradicional se sustituyó por un sistema de guía automatizada de vehículos (AGV—*automated guided vehicle*) donde se realizaba el ensamble. El AGV estaba guiado por un sistema electrónico de cables subterráneos. Una computadora central controlaba el movimiento de los AGV por la planta, pero los empleados podían tener el mando en cualquier momento. Además, hubo un cambio drástico en la organización del trabajo: los empleados participaban en todo y formaban grupos de trabajo que recibían y examinaban órdenes de producción, decidían justo qué miembro del grupo haría cada tarea en un día dado, inspeccionaban su propio trabajo, llenaban la documentación después del ensamble y, al final del día, tenían una breve discusión sobre los sucesos y problemas. La ampliación del trabajo fue llevada al grado de que un grupo de trabajadores ensamblaban más de 25% de un automóvil.

El diseño de Kalmar tuvo éxito desde el principio, ya el trabajo tenía un mayor significado y los trabajadores asumieron mayores responsabilidades. El ausentismo y la rotación de personal se redujeron mucho, mientras que se cumplían las metas de costo de producción. Dado el éxito en Kalmar se abrieron nuevas plantas en Uddevalla y Göteborg (Torslunda). Por desgracia, debido a un mercado cambiante y una baja radical en las cifras de venta, la Volvo cerró sus plantas de Uddevalla y Kalmar. En 1997 reabrió la planta de Uddevalla para producir un nuevo auto deportivo.

Observe que en las plantas de la Volvo se adoptaron las tres formas de reorganización del trabajo —ampliación, enriquecimiento y rotación—. Los tiempos de ciclo aumentaron a muchas horas, los movimientos repetitivos disminuyeron para cualquiera de las extremidades o conjunto de músculos.

En el quinto nivel de la jerarquía de Maslow, se espera que el trabajador se dedique a la compañía por completo. Fuera de Japón, quizá esto no es factible en empresas grandes. Por otro lado, en compañías pequeñas que inician actividades, no sólo el dueño, también algunos de los colegas más cercanos, pueden dedicar la mayor parte de las horas que están despiertos a mantenerla a flote. Entonces, la compañía y el trabajo realmente se convierten en la autosatisfacción.

MOTIVACIÓN

Herzberg (1966), desarrollo una *teoría de motivación-mantenimiento* interesante, basada en una investigación de factores que conducen a la satisfacción o insatisfacción, entre 1500 empleados en 12 organizaciones. Parecido a la teoría de Maslow, Herzberg encontró dos necesidades básicas diferentes en los individuos. Si los trabajadores estaban insatisfechos con sus trabajos, su preocupación principal era el entorno de trabajo. Sin embargo, si estaban satisfechos, esta satisfacción se refería al trabajo mismo.

Herzberg clasificó los factores ambientales como *extrínsecos* y motivos potenciales de insatisfacción. Estos incluyeron aspectos como administración, supervisión, condiciones de trabajo, salarios y relaciones interpersonales. Los satisfactores potenciales o motivadores, incluyeron logro, reconocimiento, responsabilidad y avance, y los llamó factores *intrínsecos*. Los factores extrínsecos tenían un efecto positivo pequeño, pero podían tener un fuerte efecto negativo. Los factores intrínsecos alentaban al trabajador a ser más productivo. Por lo tanto, el interés de la administración debe centrarse en maximizar estos factores intrínsecos y minimizar los efectos negativos de los extrínsecos.

Una de las técnicas de motivación intrínseca más efectivas es el enriquecimiento del trabajo, que es el opuesto de la simplificación del trabajo. Con métodos de trabajo y los principios de economía de movimientos, la meta normal de un ingeniero industrial es simplificar el trabajo. Si un trabajo es sencillo y repetitivo, se requiere poco aprendizaje y los trabajadores se pueden intercambiar con facilidad. Este enfoque se desarrolló para lograr una consistencia tipo máquina en la línea de ensamble. Sin embargo, los trabajadores no son máquinas y cuando están sujetos a ese tipo de condiciones se aburren y quedan insatisfechos, lo que conduce a mayor absentismo y cambios de trabajo. Peor aún, como lo muestran estadísticas recientes, los niveles de estrés se incrementan y cau-

san más desórdenes por trauma acumulado. No vale la pena ahorrar centavos en trabajos repetitivos cuando se pierden miles de dólares por las lesiones resultantes.

Herzberg también encontró algunas desviaciones interesantes en los resultados de la investigación, dependiendo de la población examinada. Estas desviaciones se podían usar en beneficio de la compañía según la composición de la fuerza de trabajo. Por ejemplo, los trabajadores más jóvenes estaban menos preocupados por la seguridad del trabajo que los de más edad y en general estaban más satisfechos con el sistema de remuneración de la organización. Los trabajadores con mayor nivel educativo y salario más alto favorecían las remuneraciones intrínsecas. En términos globales, las extrínsecas tenían más importancia que las intrínsecas, pero eran los trabajadores con menor nivel educativo, menor salario y de más edad los que las apreciaban más.

INTERACCIONES HUMANAS

Las interacciones entre empleados en el lugar de trabajo son una componente importante del ánimo y la productividad. Se han usado varios enfoques para tratar y comunicarse con las personas; se presentarán dos de ellos: el análisis transaccional y el enfoque de Dale Carnegie.

ANÁLISIS TRANSACCIONAL

El *análisis transaccional*, desarrollado por Berne (1964), consiste en varias componentes: 1) estados del ego, 2) transacciones, 3) palmadas y golpes y 4) juegos y estilos de vida más complejos. Existen tres estados del ego que se encuentran en algún grado en todas las personas. El *estado padre* refleja las actitudes y valores absorbidos de los padres como figuras de autoridad y produce afirmaciones como "en realidad ese es un error muy tonto". La serie *The Cosby Show* de Bill Cosby en televisión sería un buen ejemplo del estado padre. El *estado adulto* analiza los hechos con lógica, toma decisiones o conclusiones racionales y opera con frases como "examinemos el problema con cuidado". El señor Spock de la serie *Star Trek* sería un ejemplo perfecto del estado adulto del ego. El *estado hijo* es más complejo y puede tomar tres formas distintas. Un estado inocente produce respuestas como "¡huy, no lo sabía!". El estado adaptativo establece reglas internas basadas en condicionamientos sociales como "respeta a tus mayores". El estado manipulador puede llegar a fingir lesiones para evitar algo desagradable, como el niño que pretende tener catarro para no ir a la escuela.

Las interacciones entre los estados del ego ocurren en la forma de transacciones. Los participantes pueden mandar y recibir mensajes de cualquiera de estos tres estados. Si los mensajes se mandan y reciben en el mismo nivel del ego, como de adulto a adulto, las transacciones se conocen como *complementarias* y se considera que llevan a un resultado de intercambio positivo y exitoso (figura 18–5). Una transacción padre a hijo (figura 18–6), si ocurre en un nivel paralelo, todavía se considera complementaria, pero puede no ser tan efectiva como la transacción que ocurre al mismo nivel.

Una transacción cruzada ocurre cuando cada parte se encuentra en un nivel de transacción diferente y con frecuencia el resultado es un sentimiento de enojo y hostilidad (figura 18–7). Las *transacciones ulteriores*, aunque parezcan lógicas en la superficie,

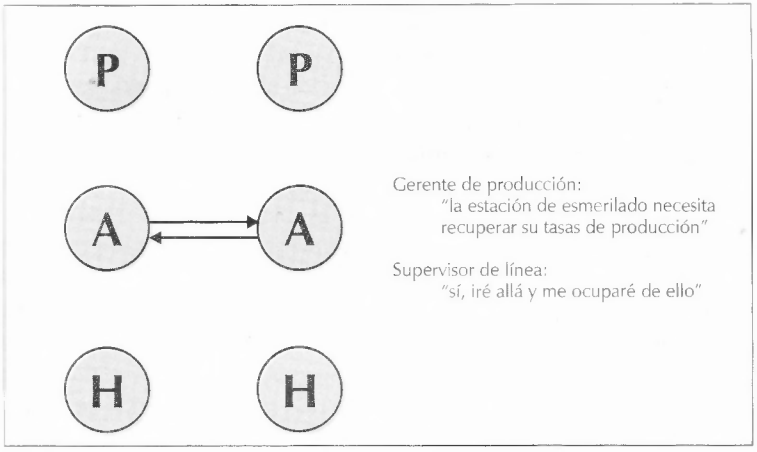


Figura 18–5 Transacción complementaria: adulto-adulto (el mensaje se envía y recibe de manera apropiada).
(*Adaptado de:* Berne, 1964.)

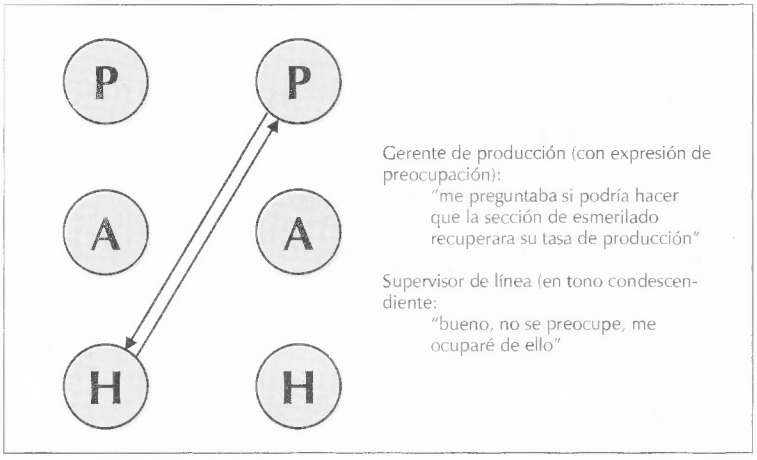


Figura 18-6 Transacción complementaria: padre-hijo (no es tan efectiva como la adulto-adulto, pero todavía es útil).
(*Adaptado de:* Berne,1964.)

Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

siempre tendrán un significado oculto y forman la base para los juegos (figura 18–8). Como ejemplo, un supervisor de línea realiza una transacción aparente de adulto-adulto, pero en realidad sólo revisa los movimientos y produce una transacción padre-hijo. Ésta puede ser la forma en que un operario desea ser tratado; si no lo es, el supervisor no debe sorprenderse de que los empleados se quejen porque nadie los escucha jamás.

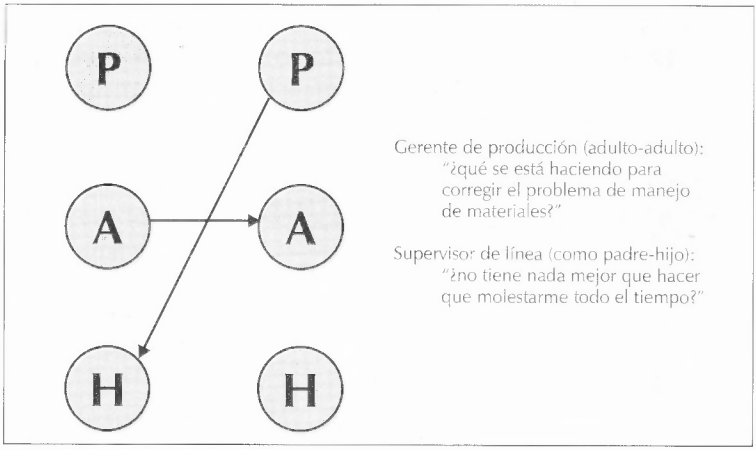


Figura 18-7 Transacción cruzada el resultado puede ser sentimiento de enojo y hostilidad.
(*Adaptado de:* Berne, 1964.)

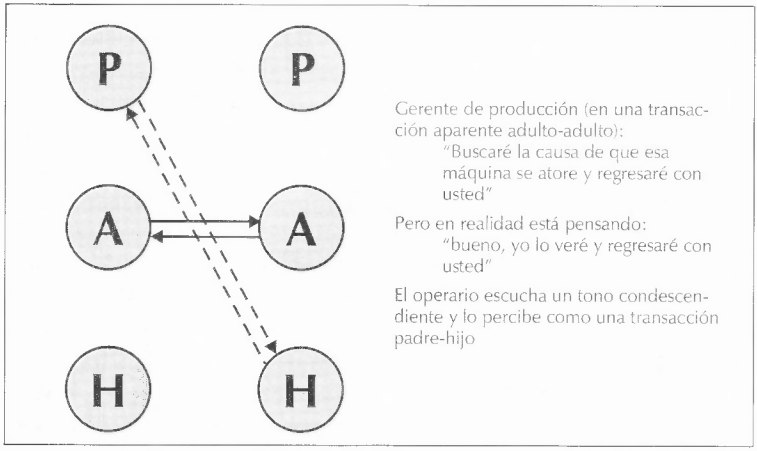


Figura 18-8 Transacción ulterior (aunque este enfoque parece lógico, puede tener un significado oculto y forma la base para los juegos.
(*Adaptado de:* Berne, 1964.)

El análisis transaccional hace hincapié en que todas las personas sienten la necesidad de algún tipo de reconocimiento. Esta necesidad (el cuarto nivel de la jerarquía de Maslow) tal vez inicie en la niñez y continúe hasta la madurez. El reconocimiento puede llegar como palmadas positivas o negativas, donde las positivas se basan en los buenos atributos, como el reconocimiento de la inteligencia, disposición para ayudar, la compasión, etcétera, mientras que las negativas se basan en los malos atributos como la

Ser amigable, cortés, alegre y respetuoso, con carácter firme, son las características humanas que deben ejercitarse para tener éxito en el trabajo. En suma, debe aplicarse la regla de oro.

ENFOQUE DE DALE CARNEGIE

Dale Carnegie desarrolló como un arte el enfoque humano para el manejo de personal en una serie de cursos encaminados a hacer que las personas se parezcan a uno, influir en el pensamiento de las personas y cambiarlas. Los principios de Carnegie y sus ideas se resumen en la tabla 18–3.

COMUNICACIONES

Los ingenieros industriales, como administradores de nivel medio, dedican una cantidad considerable de su tiempo a las comunicaciones interpersonales. Por lo tanto, la habilidad para comunicarse con efectividad es una gran ayuda en su cometido de vender una idea o un diseño, aun cuando valga la pena por sí misma. Las comunicaciones se pueden dividir en cinco tipos importantes: verbal, no verbal, uno a uno, grupo pequeño y gran audiencia (Denton, 1982).

COMUNICACIÓN VERBAL

En este tipo de comunicación, las palabras son poderosas y sus significados cobran mucha importancia. Entonces, la palabra "producción" es poderosa, mientras que otras como "seguridad" o "factores humanos" puede tener connotaciones negativas debido a que implican, cierto o no, consentir a los empleados o disminuir la tasa de producción. El nombre de una persona (y los nombres de sus familiares) son muy importantes para él o ella. Por lo tanto, los administradores deben saber los nombres de los trabajadores (y un poco de su historia), para estimular el interés de la parte opositora y hacer la conversación más interesante.

Un problema en cualquier idioma es el significado específico de una palabra dada. Con la gran diversidad de palabra en el lugar de trabajo, existe mayor oportunidad para que la otra persona asigne un significado un poco diferente, haga una inferencia distinta o quizá ni siquiera entienda el significado de algunas palabras.

Los administradores también deben tener cuidado de no dividir el mundo en dos. Clasificar cosas como buenas o malas, seguras o inseguras, etcétera, polariza los sucesos y causa que los individuos se concentren en las diferencias y no en las similitudes.

COMUNICACIÓN NO VERBAL

Algunos datos indican que más del 50% de un mensaje, en especial si se relacionan con los sentimientos, se presenta a través de canales no verbales, que incluyen características de la voz, expresiones faciales, lenguaje corporal, etc. En las características de la voz, un patrón de habla rápido indica entusiasmo, mientras que uno más lento con pausas indica emoción pasiva. Las expresiones faciales y el lenguaje corporal involucran el

Tabla 18-3 Enfoque de Dale Carnegie

Técnicas fundamentales del manejo de personal
1. En lugar de criticar a las personas, intente entenderlas.
2. Recuerde que todas las personas necesitan sentirse importantes; entonces, trate de encontrar los puntos buenos de los demás. Olvide la adulación, dé una apreciación sincera y honesta.
3. Recuerde que todas las personas se interesan por sus propias necesidades; entonces hable de lo que quieren y muéstreles cómo obtenerlo.
Seis maneras de agradarle a las personas
1. Muestre un interés genuino en los demás.
2. Sonría
3. Recuerde que el nombre de las personas es el sonido más importante y dulce para ellos en el lenguaje hablado.
4. Aprenda a escuchar. Aliente a otros a hablar sobre sí mismos.
5. Hable en términos de los intereses de la otra persona.
6. Haga que la otra persona se sienta importante, y hágalo sinceramente.
Doce maneras de ganarse a la gente para que piensen como usted
1. La única manera de ganar una discusión es evitarla.
2. Muestre respeto por las opiniones de otras personas. Nunca le diga a nadie que está equivocado.
3. Si usted está equivocado, admítalo con facilidad.
4. Comience de una manera amistosa.
5. Haga que la otra persona diga que sí, de inmediato.
6. Deje que la otra persona sienta que la idea es suya.
7. Deje que la otra persona hable todo lo que quiera.
8. Intente sinceramente ver las cosas desde el punto de vista de la otra persona.
9. Simpatice con las ideas o deseos de la otra persona.
10. Apóyese en los motivos más nobles.
11. Dramatice sus ideas.
12. Proporcione retos a la otra persona.
Nueve maneras de cambiar a las personas sin ofender o causar resentimiento
1. Inicie con un elogio y una apreciación sincera.
2. Llame la atención sobre los errores en forma indirecta.
3. Hable de sus propios errores antes de criticar a otras personas.
4. Haga preguntas en lugar de dar órdenes directas.
5. Deje que la otra persona quede bien.
6. Elogie todas las mejoras desde la más pequeña. Sea sincero en su aprobación y generoso con los elogios.
7. Dé a la otra persona una buena reputación que conservar.
8. Utilice palabras de aliento. Haga que parezca sencillo corregir los errores.
9. Haga que la otra persona se sienta feliz de hacer justo lo que usted sugirió.

comportamiento no verbal como inclinar la cabeza para indicar atención en el discurso de otra persona, elevar las cejas en señal de sorpresa, mantener el contacto visual que indica confianza, cruzar los brazos o cerrar los puños en una actitud defensiva, cruzar las piernas para indicar superioridad o falta de interés, etcétera.

Otros factores, como la cantidad de espacio alrededor del individuo, pueden afectar las comunicaciones. Por ejemplo, las personas tratan de mantener cierta cantidad de es-

pacio abierto a su alrededor; cerrar estos espacios crea una cantidad mayor de incomodidad aunque pueda incrementar la interacción.

UNO A UNO

La comunicación *diádica* o uno a uno ocurre con frecuencia entre un administrador y un trabajador en una situación cara a cara. El propósito de esta comunicación es casi siempre lograr un entendimiento de las metas entre los dos individuos. Después, uno de los dos puede buscar la aprobación de una idea propuesta, y es posible que sea necesario presentar las soluciones disponibles. Para obtener la solución esperada, quizá se requiera usar técnicas motivacionales, como los cuestionarios guiados, que pueden comprender preguntas guiadas que propician que las respuestas tengan cierta dirección, preguntas cerradas (sí/no u opciones limitadas) para extraer un compromiso o preguntas abiertas para propiciar una discusión.

Desafortunadamente, pueden surgir conflictos durante la conversación. Los conflictos sencillos surgen cuando cada parte conoce los objetivos de la otra, pero ninguno puede ganar sin que el otro pierda. En tales casos, puede ser apropiado retrasar la discusión hasta que ambas partes se calmen y encuentren una solución racional. Los seudoconflictos surgen por comunicación no efectiva y sólo pueden dispersarse cuando se proporcionan datos precisos y se eliminan las distorsiones. Los peores conflictos son los del ego que se relacionan con el análisis transaccional de Berne (1964) presentado.

GRUPOS PEQUEÑOS

Es común que las comunicaciones de grupo se centren en la solución de un problema. Los problemas pueden ser complejos y ningún individuo puede tener todas las soluciones. Por lo tanto, el concepto de un grupo de personas que trabajan en un problema parece lógico. Los beneficios adicionales incluyen que los juicios individuales extremos tienden a moderarse, los juicios globales tienden a adquirir cierta exactitud y se incluye en las discusiones un conjunto más amplio de información y opiniones. También existen trueques. Por su naturaleza, los grupos pequeños consumen tiempo. Además la falta de coordinación, la baja motivación y los conflictos de personalidad entre los miembros del grupo pueden ocasionar el fracaso en el cumplimiento de los objetivos del mismo. Por lo tanto, es importante organizar y administrar los grupos pequeños de manera efectiva.

En estos grupos deben seguirse los procedimientos básicos de solución de problemas (capítulo 2). El grupo debe identificar el problema, analizar los detalles, desarrollar una variedad de ideas, seleccionar algunas para su desarrollo, evaluar las alternativas y especificar y vender la solución. Para mejorar este proceso, el facilitador del grupo debe permitir el acceso a la información y ayudar a que haya confianza entre los miembros. También es importante contar con estándares altos y la planeación adecuada además de las técnicas de interacción específicas que pueden aumentar la efectividad del proceso.

Facilitar el acuerdo El hecho de facilitar el acuerdo entre todos los miembros, es decir, el consenso, puede mejorar si se involucra a todos de manera positiva y se refuerza para ello su autoestima con preguntas abiertas resumiendo los comentarios de cada uno

antes de proceder a la siguiente persona, y con el resumen de pros y contras de cada discusión antes de pasar al siguiente tema.

Papeles desempeñados Los papeles dentro del grupo pueden ayudar al proceso de solución de problemas con la presentación de las situaciones o sucesos adecuados. Esto se logra con la participación y discusión en *subgrupos* más pequeños. Un miembro puede actuar como secretario para escribir rápido las ideas del subgrupo. Esto lleva con facilidad a sesiones de *lluvia de ideas*, para las que la guía básica es: 1) se alienta exponer ideas, no importa que tan ilógicas sean; 2) cuantas más ideas, mejor; 3) no se critican las ideas (en ocasiones los contribuyentes no se identifican), y 4) se anima a los participantes a profundizar o a combinar las ideas expuestas. En general, se establece un tiempo de 10 minutos, después del cual se jerarquizan las ideas, junto con sus posibles soluciones. Se analizan los pros y contras de cada idea y se votan las soluciones posibles. Las que obtengan más votos se revisan y se vota de nuevo, hasta que el proceso de eliminación deja sólo la mejor solución (Denton, 1982).

Círculos de calidad Los *círculos de calidad* constituyen un formato de pequeños grupos, desarrollado en Japón en 1963, para ayudar a resolver problemas de control de calidad. La esencia es la solución participativa de problemas en grupos de ocho a diez personas, que incluyen trabajadores, ingenieros y administradores. Es importante tener participantes de cada departamento involucrado en el producto. Se da capacitación especial a los voluntarios sobre técnicas de control estadístico de calidad y es común que las juntas se realicen una o dos veces al mes. Con la ayuda de un facilitador, el grupo selecciona un problema que sea una causa de defectos y potencialmente pueda tener solución. En general usan técnicas de exploración operativa como la distribución de Pareto y los diagramas de pescado (capítulo 2) para identificar el problema y los factores que influyen. El grupo recomienda las soluciones potenciales, como mejoras en los procedimientos o cambios en el diseño y después intenta implantar la solución. Todo esto se hace con la cooperación de la administración (Konz y Johnson, 2000).

Equipos de ergonomía Una extensión lógica de los círculos de calidad para combatir las altas tasas de desórdenes óseomusculares en las compañías de Estados Unidos es el equipo de ergonomía. Se trata de equipos interdisciplinarios integrados por un ergonomista (si hay uno en el personal), un ingeniero industrial, un especialista en seguridad, una persona del área de medicina (como la enfermera de la planta), varios trabajadores de producción interesados, un miembro del sindicato y quizá un representante de la alta administración. Este comité se reúne una o dos veces al mes y sigue un procedimiento similar al de los círculos de calidad en busca de soluciones a tareas que ocasionan problema. En la experiencia de los autores, muchas compañías, incluyendo las grandes ensambladoras de autos y compañías más pequeñas de menos de 500 empleados, han experimentado un éxito considerable al usar este tipo de equipos.

AUDIENCIAS GRANDES

Los ingenieros industriales o los administradores de nivel medio rara vez presentan información a grupos grandes, por lo que este tema no se presentará aquí. Existe una gran

cantidad de información en otras fuentes sobre la elaboración de presentaciones y el uso efectivo de técnicas de distribución para audiencias grandes.

RELACIONES LABORALES Y MEDICIÓN DEL TRABAJO

Todos los dueños de negocios reconocen la importancia de una relación armoniosa entre la fuerza de trabajo y la administración. Las filosofías y prácticas bien fundamentadas de medición del trabajo promueven estas buenas relaciones. Por el contrario, la falta de consideración del elemento humano en los procedimientos de medición del trabajo es causa de suficientes problemas como para hacer que sea imposible la operación rentable de una organización. La administración debe identificar e implantar las condiciones que permitan a los empleados lograr los objetivos de la organización.

Para entender la relación entre la medición del trabajo y las relaciones laborales, los analistas deben entender los objetivos de un sindicato normal. Dicho en forma breve, los objetivos principales de cualquier sindicato son asegurar niveles de salarios más altos para sus afiliados, disminuir las horas de trabajo por semana, aumentar las prestaciones y los beneficios sociales, mejorar las condiciones de trabajo y la seguridad del trabajo. La filosofía que apoya el movimiento sindical tuvo, en el pasado, mucho que ver con la oposición a los sistemas de incentivos. Antes, los sindicatos se consideraban a sí mismos como unidades de lucha que unían a los trabajadores con la búsqueda de fines comunes a todos sus miembros. Resaltar las diferencias en las aptitudes e intereses de los trabajadores no se hacía para obtener ventajas para los primeros sindicatos; hacerlo habría aumentado la rivalidad y los celos entre los afiliados y los miembros potenciales. En consecuencia, la mano de obra organizada solía buscar incrementos porcentuales de salarios para todos los miembros de un grupo y no medios para ajustar la remuneración según el valor del trabajador individual. El trabajo de los analistas de métodos, estándares y pago de salarios comenzó a verse como un medio con el cual la administración buscaba destruir la solidaridad de los trabajadores al hacer hincapié en las diferencias de aptitudes.

Sin embargo, la legislación gubernamental ha cambiado el estado de los sindicatos. Hoy, la administración los reconoce como agentes de negociación para sus empleados. Entonces, los sindicatos son unidades de menor lucha que los comités que se ocupan de la negociación contractual para sus afiliados. Además, los empleados sindicalizados no se conforman con negociaciones salariales que sólo se ocupan de elevar el salario mínimo para todo el grupo y dejan a la administración la determinación de las remuneraciones adicionales para los trabajadores más valiosos. Para satisfacer a la mayoría de sus miembros, los sindicatos deben obtener salarios equitativos (reconociendo las distintas aptitudes y cualidades de los trabajadores) al igual que altos, para todos. De hecho, ya han tenido ese tipo de logros en muchos casos. Los métodos, estándares de tiempo, evaluación del trabajo, calificación de méritos y sistemas de incentivos son medios para asegurar salarios equitativos y buenas condiciones de trabajo. Pronto pueden llegar a ser tan importantes para los trabajadores organizados como para la administración.

Los representantes, al negociar los contratos salariales, se encuentran en excelente posición para establecer precauciones en el desarrollo adecuado de métodos y estándares y una práctica justa de pago de salarios. Por ejemplo, pueden exigir que se inserten

cláusulas que: 1) prohíban la reducción de tiempos estándar sin un cambio de métodos, 2) requieran tasas por hora mínimas y el pago del tiempo perdido cuando no es falla del trabajador, 3) establezcan procedimientos para el manejo de quejas de los trabajadores surgidas al realizar evaluación del trabajo, calificación de méritos y pago de incentivos, y 4) permitan al trabajador participar en actividades de evaluación del trabajo y calificación de trabajadores, en el establecimiento de tiempos estándar y en la determinación de las tasas por pieza.

Muchos sindicatos actuales capacitan a su propio personal de medición del trabajo, no obstante, en la mayoría de los casos, estas personas de estudio de tiempos están contratadas para verificar los tiempos estándar y explicarlos a los trabajadores y no para tomar parte en su determinación original. La capacitación que reciben los analistas de estudio de tiempos del sindicato incluye los conceptos, filosofías y técnicas de métodos, medición del trabajo y pagos salariales desde otro punto de vista que el del personal de estudio de tiempos de la administración.

En muchos casos, la capacitación de estudio de tiempos que imparte la compañía a los representantes del sindicato ha tenido éxito como medio para promover una atmósfera de mayor cooperación en la instalación y mantenimiento de los métodos, estándares y sistemas de salarios. Este procedimiento contempla la capacitación conjunta del personal de la compañía y el sindicato. Al recibir esta capacitación, los representantes sindicales están mejor calificados para evaluar la equidad y exactitud de la técnica y analizar cualquier aspecto técnico relativo a casos específicos.

PRÁCTICAS MODERNAS DE ADMINISTRACIÓN

SISTEMA DE PRODUCCIÓN TOYOTA

El sistema de producción Toyota (SPT) merece una atención especial ya que promueve los procesos de manufactura estrictos y eficientes usando métodos similares a los descritos en capítulos anteriores, manteniendo el respeto al trabajador. Este sistema de producción fue desarrollado por la Toyota Motor Corporation como una forma de eliminar el desperdicio dentro de las consecuencias del embargo petrolero de 1973. Su propósito primordial es el mejoramiento de la productividad y la reducción de los costos siguiendo los pasos del sistema de Taylor de administración científica y de la línea de ensamble en masa de Ford. Pero es un concepto mucho más amplio que se dirige no sólo a los costos de manufactura sino también a los costos de ventas, y administrativos y de capital. Toyota pensó que sería peligroso adoptar a ciegas el sistema de producción de Ford, que funcionaba bien en tiempo de alto crecimiento. En tiempos de menor crecimiento, se volvió más importante prestar atención a la eliminación del desperdicio, la disminución de costos y el incremento de la eficiencia. En Estados Unidos este enfoque de SPT recibe el nombre de *manufactura esbelta* (*lean manufacturing*).

El SPT señala siete tipos de desperdicio (Shingo, 1981): 1) sobreproducción, 2) esperas para el siguiente paso, 3) transporte innecesario, 4) sobreprocesamiento, 5) inventario excesivo, 6) movimientos innecesarios y 7) productos defectuosos. Esto es muy similar a las técnicas de análisis de operaciones y los enfoques de estudio de métodos presentados en los capítulos 2 y 3. Por ejemplo, esperar y transportar son elementos que se examinan directamente en las gráficas de flujo del proceso para su eliminación o me-

jora potencial. El desperdicio de movimientos resume el trabajo de toda la vida de los Gilbreth sobre el estudio de movimientos, que culmina en los principios de diseño del trabajo y economía de movimiento. También incluye los movimientos grandes de los operarios, los cuales deben minimizarse mediante una distribución más eficiente de la estación de trabajo o de las instalaciones. Los desperdicios de sobreproducción e inventarios se basan en el sentido común sobre los requerimientos adicionales de almacenamiento y manejo de materiales para movilizar los artículos hacia adentro y hacia afuera del almacén. Por último, el desperdicio por productos defectuosos es obvio, ya que necesitan retrabajo.

Otros elementos clave del SPT incluyen: 1) eliminación de sobreproducción, incluso el inventario y la inversión de capital excesivos; 2) técnicas de control de calidad y cantidad; 3) producción "justo a tiempo" (JIT – *just-in-time*) con su control de defectos autónomo, como nunca dejar que una unidad defectuosa interrumpa un proceso subsecuente; 4) el sistema *kanban*, o de tarjetas con la información del producto que va con el producto durante todo el ciclo de producción, para mantener el JIT; 5) la fuerza de trabajo flexible, como un número variable de trabajadores según los cambios de demanda; 6) *kaizen* o actividades de mejora continua (Imai, 1986), y 7) el respeto por el trabajador y los sistemas de sugerencias de los empleados que promueven el "pensamiento creativo".

Una componente necesaria de JIT es el intercambio de matrices en un minuto o SMED (*single minute exchange of die*). El sistema SMED se compone de una serie de técnicas desarrolladas por Shingo (1981) para los cambios en la maquinaria de producción en menos de 10 minutos. Es obvio que el objetivo a largo plazo es un tiempo de preparación de cero, en el que los cambios son instantáneos y no interfieren de ninguna manera con el flujo continuo del trabajo.

Se han obtenido grandes éxitos con la implantación del SPT, que van de Toyota a pequeños proveedores, como Showa (Womack y Jones, 1996). Se encuentran más detalles sobre el sistema de producción Toyota en las fuentes originales de Shingo (1981), Imai (1986) y Ohno (1988), y existen lecturas más sencillas y comprensibles en Monden (1993) y Womack y Jones (1996).

CALIDAD TOTAL

La calidad es un concepto intuitivo que todos entienden, pero es difícil de definir. Todos pueden relacionar el hecho de comer en un restaurante y juzgar su calidad por el sabor de la comida, la rapidez y cortesía del servicio, el costo y el ambiente. Dos aspectos comunes a todos estos factores son los resultados y la satisfacción de los consumidores. En otras palabras, ¿el producto o servicio cumple o excede la satisfacción del cliente? Más aún, la calidad es un estado siempre cambiante que debe mantenerse en forma continua mediante un programa de *mejora continua*. La *calidad total* es un concepto mucho más amplio que abarca no sólo el aspecto de los resultados sino también la calidad de proceso, materiales, entorno y personal.

El movimiento de calidad total, igual que el de medición del trabajo, se puede considerar derivado de los *Principios de la Administración Científica* de F. W. Taylor. Los desarrollos posteriores surgieron debido al impacto de la Segunda Guerra Mundial en las industrias de Estados Unidos y Japón. Mientras que las compañías estadounidenses

se enfocaron más a cumplir con las fechas de entrega que en la calidad, lo cual continuó mucho después de la guerra, las compañías japonesas se vieron forzadas a competir con compañías establecidas en el resto del mundo. Esto sólo fue posible mediante el énfasis en la calidad de sus productos durante los siguientes 20 años.

El esfuerzo japonés en la mejora continua de la calidad y los círculos de calidad se inició principalmente con las filosofías y trabajos de tres individuos: W. E. Deming, J. M. Juran y A. V. Feigenbaum. Como continuación de su trabajo en Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial, Deming se convirtió en consultor de las industrias japonesas y, en todos los casos, convenció a la alta administración del poder de los métodos estadísticos y la importancia de la calidad como arma competitiva. Deming es más conocido por sus 14 puntos (tabla 18–4) y el Permio Deming de calidad establecido por la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros.

Juran es uno de los fundadores del control estadístico de la calidad y su obra, que le dio fama, *Quality Control Handbook* (Juran, 1951), una referencia estándar en esta área. La filosofía de Juran se basa en la organización e implantación de mejoras mediante "innovaciones de la administración" resumidas en los 10 pasos hacia la mejora de la calidad (tabla 18–5).

Feigenbaum fue uno de los primeros en introducir el concepto de un programa de control de calidad en toda la organización, en su libro *Total Quality Control* (1991, 3a. ed.), que se usó ampliamente en Japón en los años 50. Fue hasta finales de la década de los 80 y principios de los 90 que el concepto de calidad total comenzó a tener gran aceptación en Estados Unidos con el nombre de administración de la calidad total (TQM – *total quality management*), aseguramiento de la calidad total (TQA – *total quality assurance*) o programas más especializados como el Six Sigma de Motorola.

En general, la calidad total (TQ – *total quality*) es una forma de hacer negocios que maximiza la competitividad de una compañía mediante la mejora continua de sus productos, servicios, personal, procesos y entorno. Los elementos clave de TQ incluyen

Tabla 18-4 Catorce puntos de Deming

1. Crear constancia en el propósito de mejoramiento de los productos y servicios a fin de lograr la competitividad, permanecer en el negocio y proporcionar trabajos.
2. Adoptar una nueva filosofía. La administración debe aprender que se vive una nueva era económica y aceptar el reto, aprender sobre sus responsabilidades y ser líder del cambio.
3. Dejar de depender de la inspección para lograr la calidad. Producir calidad desde el principio.
4. Dejar de conceder contratos basados en cotizaciones bajas.
5. La mejora del sistema de producción y servicios debe ser continua y para siempre, para mejorar la calidad y la productividad y, por ende, reducir los costos de manera constante.
6. Instituir la capacitación en el lugar de trabajo.
7. Instituir el liderazgo. El propósito debe ser poder ayudar a las personas y la tecnología para que realicen un trabajo mejor.
8. Eliminar el miedo para que todos puedan trabajar con efectividad.
9. Romper las barreras entre departamentos para que puedan trabajar como un equipo.
10. Eliminar las frases hechas, exhortaciones y metas del lugar de trabajo. Crean relaciones de adversarios.
11. Eliminar las cuotas y la administración por objetivos. Sustituirla por el liderazgo.
12. Eliminar barreras que evitan que los empleados estén orgullosos de su trabajo.
13. Instituir un programa enérgico de educación y superación personal.
14. Realizar la transformación del trabajo y lograr que todos participen.

Tabla 18-5 Diez pasos de Juran para el mejoramiento de la calidad

1. Concientizar a todos de la necesidad y las oportunidades de mejoramiento.
2. Establecer metas para el mejoramiento.
3. Organizar el cumplimiento de las metas establecidas.
4. Proporcionar capacitación.
5. Implantar proyectos dirigidos a la solución de problemas.
6. Informar sobre los avances.
7. Dar los reconocimientos pertinentes.
8. Comunicar los resultados.
9. Mantener un registro de calificaciones.
10. Mantener la inercia instituyendo las mejoras como parte de los sistemas normales de la compañía.

una estrategia global de la empresa, casi una obsesión, sobre la calidad donde el cliente marca la dirección. TQ utiliza un enfoque científico, la participación del empleado (en especial el trabajo en equipo), la educación y la capacitación, un compromiso a largo plazo y un propósito de unidad. Este proceso no siempre es sencillo y debe ser un trabajo continuo en el logro de las mejoras. Además, la reducción de costos mediante una mayor consciencia de los costos del ciclo de vida, mejoras en el diseño de producto/proceso y mejor control de procesos con sistemas de manufactura integrales son factores importantes para el éxito de la calidad total. Se pueden encontrar más detalles sobre calidad total y componentes específicas del programa en Goetsch y Davis (1997).

ISO 9000

La certificación de ISO 9000 es un aspecto relacionado con la calidad total. ISO 9000 es un estándar para el control de la calidad desarrollado por la International Standards Organization (ISO 9000, 1993). (En la actualidad comprende un conjunto de cinco estándares, ISO 9000-9004.) Por definición, ISO 9000 se refiere nada más a los procedimientos para revisión de contrato, desarrollo, producción, instalación y servicio de productos y/o servicios.

La certificación de ISO 9000 asegura que los productos y/o servicios de una compañía tienen un cierto nivel de calidad de manera consistente. En Estados Unidos, esta certificación se realiza a través del Registration Accreditation Board con personal conjunto del American National Standards Insitute y de la American Society for Quality Control. Sin embargo, éste es un grupo privado voluntario y no tiene el peso de la autorización gubernamental, como en otros países. Mientras que ISO 9000 está limitado de forma primordial a los procesos que usa una compañía, la calidad total abarca todos los aspectos de esa compañía, incluso la fuerza de trabajo y el entorno. Así, ISO 9000 es compatible con la calidad total, y puede decirse que un subconjunto de ella, que sirve para asegurar que una compañía es competitiva en el mercado global (Goetsch y Davis, 1998).

AUTOMATIZACIÓN Y CAD/CAM

El término "automatización" puede definirse como "incremento en la mecanización". Un proceso de manufactura automatizado por completo es capaz de operar durante lar-

periodos sin la intervención humana. Automatizar implica usar robots. Hoy se usan robots para operaciones tediosas como atornillar focos en tableros de control, apretar tornillos, soldar puntos y pintar con pistola de aire. Pocas industrias, o aun procesos dentro de una industria, son automáticos por completo. No obstante, ha habido una tendencia pronunciada hacia la semiautomatización en la industria de Norteamérica, Japón y Europa. Con la creciente demanda de generación de productividad, cada vez más industrias se automatizan. Con frecuencia, los robots realizan operaciones rutinarias y aburridas, al igual que las sumergidas en un entorno peligroso. Tales áreas pueden ser las contaminadas con radiación, ruido excesivo o extremos de calor o frío.

Un programa de automatización comienza con la integración de una máquina totalmente automática, como un atornillador automático con dispositivos de manejo de transferencias automáticos, de manera que se pueda realizar una serie de operaciones en forma automática. Para determinar un grado de automatización justificable deben considerarse dos factores: 1) los requerimientos de cantidad para el producto y 2) la naturaleza del producto. Si los requerimientos de cantidad son grandes, el ingeniero de diseño busca un producto que lleve por sí mismo a la automatización. Con frecuencia, al agregar algo a una parte, como un tope, pestaña, extensión o agujero, se obtiene la manera de manejarlo en forma mecánica desde y hacia la estación de trabajo. Este tipo de rediseño puede incluir el indexado en una estación de trabajo para las operaciones sucesivas de producción.

La automatización completa es posible en procesos continuos de producción químicos, como gasolinas, aceite y detergentes. La automatización parcial tiene ahora una amplia aplicación en la producción en masa —productos alimenticios (como galletas, cereales y papas fritas), focos, transistores, partes para automóvil, cigarros, y otros.

Los factores que sirven de aliciente para la automatización incluyen:

1. Costos de mano de obra crecientes.
2. Mayor competencia nacional y extranjera, que reduce los precios de venta y disminuye las ganancias.
3. Prospectos de expansión de mercado mediante reducción de costo y precio.

Entre los principales factores que pueden desalentar la automatización en una planta específica se encuentran:

1. Necesidad de una gran inversión de capital, que después debe absorberse a través de las ganancias de la operación.
2. Un mercado potencial inadecuado para consumir una mayor producción.
3. Tecnología existente que no es capaz de proporcionar la automatización para producir un diseño específico.
4. Oposición de los trabajadores de producción y relaciones adversas con la comunidad causadas por una reducción en la fuerza de trabajo.

Sin duda, la tendencia actual hacia la automatización continuará. Conforme se desarrolla equipo automático es mayor la necesidad de mantenimiento preventivo. La falla de una sola componente puede ser causa de la interrupción de un proceso completo o

incluso de toda la planta. Este hecho, junto con la complejidad del equipo automático que usa controles neumáticos, hidráulicos y electrónicos, explica el crecimiento de la fuerza de trabajo indirecta, tanto en número como en variedad de ocupación. Al modernizarse las empresas, deben asegurarse de la eficiencia en el uso de la maquinaria. Los trabajadores en las plantas automatizadas actuales requieren tener aptitudes para la solución de problemas además de la capacidad de trabajar bajo presión como miembros de equipos dedicados a la manufactura.

Cuando se automatizan, las compañías obtienen beneficios si comprimen la jerarquía administrativa y convierten la mano de obra directa tradicional en trabajadores participativos capaces de manejar con éxito sistemas de manufactura avanzados. El resultado será una mayor productividad a partir de una fuerza de trabajo más motivada y experta.

Con el creciente uso del diseño y la manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM), surge la oportunidad de diseñar para la manufactura a fin de asegurar los métodos ideales y desarrollar estándares de trabajo como parte del proceso CAD/CAM. Sin embargo, debe realizarse una investigación y desarrollo más intensos para identificar y almacenar la información necesaria en la computadora, de manera que se pueda seleccionar la mejor secuencia de las operaciones correctas. Por ejemplo, deben desarrollarse ecuaciones dinámicas de decisión para evaluar procesos que compiten y determinar la forma más ventajosa de realizar una operación dada. También se requiere la identificación y cuantificación de parámetros para los cálculos en la computadora, que incluyen cantidad a producir, materiales que se procesan, tamaño de la parte, configuración geométrica deseada en la operación, tolerancia necesaria, etcétera.

La industria ha probado que para lograr una instalación de CAD/CAM completa y con éxito, debe existir la cooperación entre el diseñador funcional, el ingeniero de manufactura, el ingeniero industrial, el personal de aseguramiento de la calidad y el de procesamiento de datos. Cada una de estas unidades debe conocer los problemas y responsabilidades de las otras para poder aumentar la efectividad del sistema en la planeación completa de lo que se puede producir, que comprende los mejores métodos y la determinación de estándares en la etapa de planeación.

RESUMEN

En un alto grado, el trabajo de los analistas de estudio de tiempos y movimientos influye en las relaciones laborales dentro de la empresa. Por lo tanto, deben entender los objetivos del sindicato que representa a los trabajadores de las plantas. Deben conocer la naturaleza de la capacitación que reciben sus representantes locales. Con esta información, pueden comprender las actitudes y problemas de los trabajadores. Hoy y en el futuro inmediato, la calidad de la producción es un aspecto primordial tanto para la administración como para la fuerza de trabajo. En todo momento, los analistas deben reconocer la necesidad de usar el enfoque humano. Siempre deben exigir y desarrollar métodos, procedimientos y estándares que sean justos para la compañía y el operario. Las mejoras constantes tanto en la calidad como en la producción deben ser una forma de vida.

PREGUNTAS

1. ¿Por qué es tan necesaria la capacitación para los operarios?
2. ¿Cómo se cuantifica el aprendizaje?
3. ¿Qué es el retroceso y cómo afecta la curva de aprendizaje?
4. ¿De qué manera usa el analista de estándares las curvas de aprendizaje?
5. Describa los objetivos de un sindicato típico.
6. ¿Por qué en el pasado los sindicatos buscaban "a como diera lugar" aumentos de sueldo para sus afiliados?
7. ¿Cuáles son los cinco estados relacionados con las reacciones psicológicas y sociológicas del operario que debe reconocer el analista?
8. ¿Qué significa el enfoque humano?
9. Enuncie 12 formas en las que puede hacer que las personas estén de acuerdo con sus ideas.
10. ¿Por qué es una actitud sana de la administración proporcionar capacitación en las áreas de estudio de tiempos y métodos en toda la planta?
11. ¿Por qué los analistas experimentados deben verificar de manera continua su aptitud para calificar el desempeño?
12. ¿Cómo puede una persona desarrollar la creatividad?
13. ¿Qué ley gubernamental ha cambiado la posición de los sindicatos en Estados Unidos?
14. ¿Por qué los sindicatos con frecuencia capacitan a sus propios analistas de estudio de tiempos?
15. ¿Cuáles son los estados del ego en el análisis transaccional?
16. ¿Qué es una transacción cruzada?
17. ¿Qué niveles de transacciones funcionan mejor al tratar con los trabajadores?
18. ¿Qué es una transacción ulterior?
19. ¿Qué es un círculo de calidad?
20. Compare la motivación intrínseca y extrínseca.
21. ¿Cuáles son los papeles desempeñados en los equipos ergonómicos?
22. ¿Cómo se asocia la administración de la calidad total con las prácticas administrativas modernas?
23. ¿En qué difieren el enriquecimiento del trabajo y la ampliación del trabajo?
24. ¿Cuáles son los siete tipos de desperdicio?
25. ¿Qué es calidad total?
26. ¿Qué es mejora continua y por qué es importante?

PROBLEMAS

1. Según las relaciones de costo presentadas en este capítulo, ¿cuál sería la estimación de los ahorros totales anuales en dólares para una compañía con una nómina de trabajo directo anual de $2 500 000 y una tasa de gastos generales fijos de 150% del trabajo directo, si la compañía inicia un programa de métodos y estándares?

2. Una compañía que usa la jornada de trabajo como método de pago de salarios paga a sus empleados un promedio de $18.00 por hora. Además el costo de las prestaciones es cerca de 30% de la mano de obra directa. Los gastos generales en esta compañía son de 125% del trabajo directo. Se contempla un plan de métodos, estándares e incentivos para el que se estima un promedio de incentivos de 20% del salario base. ¿Qué rendimiento dará el plan propuesto?
3. Un nuevo empleado en la Dorben Co. tardó 186 y 140 minutos en ensamblar el cuarto y octavo ensambles, respectivamente. El tiempo estándar para ensamblar este producto es 100 minutos.
   a. Calcule la curva de aprendizaje de este trabajador.
   b. ¿Cuántos ensambles se necesitan para que el trabajador logre el tiempo estándar? ¿Cuánto tiempo significa esto?
4. Un experto en capacitación sugiere que deben asignarse un mínimo de 40 horas de aprendizaje. ¿Qué tiempo habrá logrado el trabajador del problema # 3 en este punto?
5. Trabajadores nuevos en un ensamble de carburador tardan 15 minutos para terminar su primer ensamble. Suponga una curva de aprendizaje de 95% y determine cuánto tiempo se necesita para que lleguen a un tiempo estándar de 10 minutos.
6. De una síntesis de MTM, el tiempo estándar para un ensamble C se calcula en 1.0 min. Un trabajador nuevo suele requerir cerca de 2 min para el primer ensamble y baja a 1.7 min en el quinto.
   a. Calcule y grafique la curva de aprendizaje.
   b. ¿Cuál es el porcentaje de aprendizaje?
   c. ¿Cuánto tiempo tardará el nuevo trabajador en llegar al desempeño estándar?
7. La Dorben Co. usa un plan de hora estándar on un salario base de $9.00/hora. Contrata a un ingeniero industrial consultor para planear una corrida de producción por lotes de 300 unidades. Este consultor tiene un trabajador en la línea que produce 2 unidades. La primera toma 10 minutos y la segunda 9.7 minutos.
   a. Encuentre la ecuación de la curva de aprendizaje.
   b. ¿Cuál es el porcentaje de aprendizaje?
   c. ¿Cuánto tiempo tardará el trabajador en lograr el tiempo estándar de 8 minutos?
   d. Suponga que el trabajador intenta mejorar para ganar el pago del incentivo. ¿Cuánto ganará el trabajador las primeras 20 horas con el plan de hora estándar?
   e. Suponga que el trabajador continúa mejorando su desempeño, ¿Cuánto le pagarán por el lote completo de 300 unidades con el plan de hora estándar?
   f. ¿Cuál es el costo unitario de la primera unidad producida? ¿Cuál es el costo de la unidad 300?

REFERENCIAS

Anónimo, "Just What Do You Do? Mr. Industrial Engineer", *Factory*, 122 (enero, 1964), pp. 83–84.

Balyeat, R. E., "A Survey: Concepts and Practices in Industrial Engineering", *Journal of Industrial Engineering*, 5 (mayo, 1954), pp. 19–21.

Berne, E., *Games People Play*, Nueva York: Grove Press, 1964.

Deming, W. Edwards, *Out of the Crisis*, Cambridge, MA: MIT Center for Advanced Engineering Study, 1986.

Denton, K., *Safety Management, Improving Performance*, Nueva York: McGraw-Hill, 1982.

Feigenbaum, A. V., *Total Quality Control*, 3a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1991.

Freivalds, A., S. Konz, A. Yurgec y J. H. Goldberg, "Methods, Work Measurement and Work Design: Are we satisfying Customer Needs?", *The International Journal of Industrial Engineering*, 7, núm. 2 (junio de 2000), pp. 108–114.

Goetsch, D. L. y S. B. Davis, *Introduction to Total Quality*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

Goetsch, D. L. y S. B. Davis, *Understanding and Implementing ISO 9000 and ISO Standards*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.

Hancock, W. M. y F. H. Bayha, "The Learning Curve", en *The Handbook of Industrial Engineering*, Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1982.

Herzberg, F., *Work and the Nature of Man*, Cleveland, OH: World Publishing, 1966.

Imai, M., *Kaizen*, New York: Random House, 1986.

ISO 9000: International Standards for Quality Management, 3a. ed., Geneva, Suiza: International Standards Organization, 1993.

Juran, J. M., *Quality Control Handbook*, Nueva York: McGraw-Hill, 1951.

Konz, S. y S. Johnson, *Work Design*, 5a. ed., Scottsdale, AZ: Holcomb Hathaway, Inc., 2000.

Majchrzak, A., "Management of Technological and Organizational Change", en *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., Ed. Gavriel Salvendy, Nueva York: John Wiley & Sons, 1992.

Maslow, A., *Motivation and Personality*, 2a. ed., Nueva York: Harper & Row, 1970.

Monden, Y., *Toyota Production System*, Norcross, GA: Industrial Engineering and Management Press, 1993.

Ohno, T., *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

OSHA, *Ergonomics Program Management Guidelines for Meatpacking Plants*, OSHA 3123, Washington, DC: The Bureau of National Affairs, Inc., 1990.

Shingo, S., *Study of Toyota Production System from Industrial Engineering Viewpoint*, Tokio, Japón: Japan Management Association, 1981.

Taylor, F. W., *The Principles of Scientific Management*, Nueva York: Harper, 1911.

Womack, J. P. y D. T. Jones, *Lean Thinking*, Nueva York: Simon & Schuster, 1996.

SOFTWARE SELECCIONADO

Design Tools (incluido en el CD que acompaña al libro), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

Universidad de Occidente

Glosario

A

ácido láctico Producto secundario del metabolismo anaeróbico, que causa la sensación de fatiga.

acoplamiento de máquinas Práctica de asignar a un empleado la operación de más de una máquina.

acuerdo facilitador Proceso para obtener un consenso involucrando de manera positiva a todos los miembros del grupo.

adaptación al trabajo Capacitación física en una tarea simulada para aclimatar al trabajador a las condiciones de la línea de producción.

aeróbico Trabajo muscular para el que la cantidad de oxígeno es adecuada.

agarrar Movimiento elemental de la mano al cerrar los dedos alrededor de una pieza.

agarre de contracción Tipo de agarre que no incluye todos los dedos, al contrario del agarre de potencia; en consecuencia, se produce menos fuerza pero mayor precisión.

agarre de potencia Agarre cilíndrico óptimo para la fuerza que usa todos los dedos y en el que el pulgar apenas se traslapa con el índice.

agonista Músculo principal involucrado en el movimiento deseado.

agrupar Reunir artículos similares para facilitar su localización.

alfanumérico Conjunto de todas las letras (a-z), dígitos numéricos (0-9).

algoritmo Especificaciones por pasos de la solución de un problema, casi siempre se representa por un diagrama de flujo, que con el tiempo se convierte en un programa.

alimentación Velocidad a la que se mueve la herramienta de corte en el trabajo, como en el barrenado y el torneado, o la tasa a la que se mueve el trabajo después de la herramienta de corte.

alimentación por gravedad Transporte de material hacia o desde una estación de trabajo que aprovecha la fuerza de gravedad.

almacén Instalación para guardar productos durante largos periodos entre etapas de producción, o para guardar productos terminados.

almacenamiento sensorial Memoria transitoria localizada en la etapa de entrada de un canal sensorial.

almacenar Manejo con el propósito de posicionar y/o asegurar los bienes en el espacio designado.

ampliación del trabajo Expansión horizontal o diversificación del trabajo, para evitar las tareas repetitivas.

anaeróbico Trabajo muscular para el que la cantidad de oxígeno es inadecuada.

análisis costo-beneficio Evaluación de costos ponderados relativos, finacieros, médicos y otros respecto a los ingresos previstos de la productividad mejorada, la reducción de lesiones y otros beneficios para varios cambios alternativos de métodos, realizado antes de los cambios.

análisis de características Desglose de un objeto en las formas geométricas que lo componen o de texto en palabras y cadenas de caracteres.

análisis de filmación Observación cuadro por cuadro y estudio de la filmación de un operario o proceso, con el objeto de mejorar esa operación o proceso.

análisis de la operación Proceso de investigación sobre las operaciones en la fábrica o el trabajo de oficina. En general, el proceso de lograr la estandarización de la operación, que incluye el estudio de tiempos y movimientos.

análisis de octava de banda Análisis de ruido con un dispositivo de filtrado especial con el que el medidor de nivel de sonido descompone el ruido en frecuencias.

análisis de Pareto Técnica explicativa donde los artículos de interés se identifican y miden en una escala común y se arreglan en orden ascendente, creando una distribución acumulada; en general, 20% de los artículos son responsables de 80% o más de la actividad total, lo que sugiere el nombre altenativo de *regla 80-20.*

análisis de redes Técnica de planeación usada para analizar la secuencia de actividades y sus interrelaciones dentro de un proyecto.

análisis del trabajo Procedimiento para realizar una cuidadosa evaluación de cada trabajo y registrar los detalles del mismo para que la evaluación sea justa.

análisis transaccional Enfoque para comunicarse con las personas que usan los conceptos de: 1) estados del ego, 2) transacciones y 3) palmadas positivas

ancho de banda Velocidad máxima de procesamiento de información de un canal de comunicación dado.

ángulo visual Ángulo desde la altura del ojo al que se encuentra el objeto.

antagonista El músculo que se opone al agonista y al movimiento deseado.

antropometría La ciencia que se ocupa de la medición del tamaño físico del ser humano.

aptitud o habilidad Experiencia o facilidad para seguir un método prescrito.

área de trabajo máxima Área que alcanza con facilidad un operario al extender sus brazos por completo, cuando trabaja en posición normal.

área de trabajo normal Espacio en el área de trabajo que se puede alcanzar con la mano izquierda o derecha cuando los codos actúan como pivote en la orilla de la estación de trabajo.

asistentes digitales personales (PDA) Computadoras personales tamaño bolsillo operadas con un estilete.

asociaciones Relaciones concretas de un nombre o palabra con el conocimiento previo, utilizando las espectativas y estereotipos del usuario; es útil para mantener la memoria a largo plazo.

atención dividida Recursos de atención aplicados de manera difusa a varias partes o incluso a todo el sistema humano de procesamiento de información.

atención enfocada Recursos de atención aplicados de manera muy directa, como un objeto resaltado en una parte específica del sistema de procesamiento de información humano.

atención sostenida Habilidad de un operario para mantener sus recursos de atención y permanecer alerta por periodos prolongados; también se conoce como vigilancia.

ATP Trifosfato de adenosina, unidad de energía inmediata para la contracción muscular.

automatización Aumento en la mecanización para producir bienes y servicios.

autosatisfacción Logro final de todas las necesidades en la jerarquía de Maslow. El trabajador logra satisfacer su ego.

B

balanceo de líneas Problema de determinar el número ideal de trabajadores asignados a una línea de producción.

barra de herramientas Colección de botones o iconos en una interfaz gráfica de usuario.

base de datos Colección de datos que se pueden procesar en una variedad de aplicaciones.

beta Razón o cociente de la altura de la señal a las curvas de ruido del criterio de respuesta.

biomecánica Aplicación de los principios de mecánica, como palancas, ventaja mecánica y fuerzas, al análisis de la estructura y movimiento de las partes del cuerpo.

bit Cantidad de información obtenida con dos alternativas igualmente probables.

botones Ventanas aisladas (imagen en la imagen) en una pantalla que el usuario puede seleccionar para invocar acciones específicas, parte esencial de una interfaz gráfica de usuario.

C

CAD *Computer-aided design*, es decir, diseño asistido por computadora.

calidad total Enfoque administrativo japonés que engloba la calidad de todos los aspectos de una empresa (procesos, materiales, personal, entorno) mediante un proceso de mejora continua.

calificación *Vea* **calificación del desempeño**.

calificación de méritos Método de evaluación del valor de un empleado para la compañía en términos de cantidad y calidad del trabajo, formalidad y contribución general a la compañía.

calificación de velocidad Método para calificar en el que el analista mide la efectividad del operario contra el concepto de un operario calificado que realiza el mismo trabajo con un desempeño estándar.

calificación del desempeño Asignación de un porcentaje al tiempo observado promedio del operario, basado en su desempeño real según se compara con la concepción del observador del desempeño estándar.

calificación del esfuerzo percibido Medio para evaluar el esfuerzo durante las actividades dinámicas de todo el cuerpo.

calificación del paso Método para calificar la velocidad usando una serie de puntos de comparación como ayuda para definir el desempeño.

calificación objetiva Método de calificación que establece una sola asignación de trabajo con la que se compara el paso del resto de las tareas.

calificación según el reloj Procedimiento de calificación incorrecto mediante el cual el analista usa tiempos observados con anterioridad para calificar al operario.

calificación según lo observado Procedimiento de calificación incorrecto en el que el analista usa tiempos observados anteriores para calificar al operario.

calificación sintética Sistema para calificar el desempeño, donde los tiempos observados elementales se comparan con los tiempos desarrollados mediante sistemas de tiempos predeterminados.

cambio de dirección Movimiento básico, caracterizado por un pequeña duda cuando la mano altera su dirección al alcanzar o mover.

candelas Medida de la intensidad luminosa de una fuente de luz.

cansancio después de comer Disminución en el desempeño y los ritmos circadianos después del medio día.

capacidad de canal *Vea* **ancho de banda**.

carga de trabajo mental Demandas cognitivas impuestas sobre el procesador de información humano.

carga unitaria Material empacado. Con frecuencia, una unidad de transporte estandarizada.

categorías o clasificación Uso de categorías similares de tareas para establecer estándares de gastos.

causa asignable Una fuente de variación que puede aislarse en un proceso u operación.

cervical Parte de la columna vertebral localizada en el cuello.

ciclo Serie de elementos que ocurren en un orden normal y hacen posible una operación. Estos elementos se repiten al realizar de nuevo la operación.

ciclo de trabajo Secuencia total de movimientos y eventos que comprende un sola operación.

círculos de calidad Pequeños grupos formados para la solución participativa de problemas.

claves Pistas de información usados en la toma de decisiones.

clo Cantidad de aislamiento térmico en la ropa para mantener cómoda a una persona sentada en un cuarto con ventilación normal, a 70°F y 50% de humedad relativa; parecido a un traje ligero.

cobertura Número de tareas a las cuales se asignaron estándares durante el periodo que se reporta, o número de empleados a cuyas tareas se les asignó un estándar durante el periodo que se reporta.

cojinete de tacto Forma de tableta digitalizadora sensible al tacto integrada al teclado para controlar la psoción del cursor.

comparación de factores Método para la evaluación del trabajo basado en la comparación de varios factores.

compatibilidad Relación entre un estímulo y una respuesta, consistente con las expectativas humanas; por ejemplo, una luz roja se asocia con peligro o alto.

comunicación diádica Comunicación uno a uno, por lo común, cara a cara.

conciencia de la situación Evaluación de todas las claves recibidas del entorno que nos rodea.

conservador Comportamiento del observador cuando el criterio cambia a la derecha, ocasionando una disminución de éxitos y falsas alarmas.

consistencia Ausencia de variación notoria o significativa en los datos numéricos o de comportamiento.

contador Pantalla digital que muestra valores numéricos precisos.

contador de cuadros Dispositivo que tabula en forma automática cuántos cuadros pasan por el lente del proyector.

contraste Habilidad de un objeto para distinguirse del fondo; en general se mide como la diferencia de luminancia entre el objeto y el fondo.

control de punto muerto Control que requiere la aplicación continua de la fuerza. Una vez que se suelta regresa a la posición de cero (o apagado).

control numérico Método para controlar una máquina o instalación mediante el cual se programa un sistema binario o digital decimal para llevar a cabo operaciones a través de circuitos electrónicos y mecanismos de activación relacionados.

costeo Procedimiento para determinar costos con exactitud antes de la producción.

costo de fabricación Costos directos de material, más costos directos de mano de obra, más gastos de fábrica.

costo primario Costo de material directo, más costo de mano de obra directa.

costos directos de materiales Costo de la materia prima y las componentes.

costos estándar Costos presupuestados o preestablecidos que sirven como base para las corridas de producción y las decisiones de ventas.

costos generales Cualquier costo de un negocio adicional a los costos primordiales.

costos unitarios de mano de obra Salarios de empleados divididos entre la productividad o el desempeño del trabajador.

CP Fosfato de creatina, precursor inmediato del ATP.

criterio de arrepentimiento minimax Estrategia de toma de decisiones en la que se calcula una matriz de valores de arrepentimiento (diferencias entre los pagos reales y los proyectados). El analista selecciona el mínimo de los arrepentimientos máximos.

criterio de especulación Estrategia optimista de toma de decisiones que espera el mejor resultado sin importar la alternativa elegida.

criterios de pesimismo Estrategia de toma de decisiones que selecciona el resultado con la consecuencia negativa mínima.

criterio de respuesta Nivel de estímulo sensorial usado para decidir si una señal está presente.

cronociclográfico Registro fotográfico del movimiento del cuerpo que se puede usar para determinar la velocidad y la dirección de los patrones de movimiento.

cronómetro decimal de horas Cronómetro usado para la medición del trabajo, cuya carátula está graduada en diezmilésimos (0.0001) de hora.

cronómetro decimal de minutos Cronómetro usado para la medición del trabajo, cuya carátula está graduada en centésimos (0.01) de minuto.

cuadro Espacio ocupado por una foto en una película de movimiento o una videocinta.

curva Representación gráfica de la relación entre dos factores, uno de los cuales casi siempre es el tiempo.

curva de aprendizaje Presentación gráfica de la disminución del tiempo para realizar una tarea; mejora en el desempeño como resultado del aprendizaje.

curva U invertida de Yerkes-Dodson Teoría que explica el cambio en el desempeño como función del nivel de inquietud, que tiene forma de U invertida, es decir, desempeño bajo en niveles de inquietud muy bajos o muy altos, y mejor desempeño en algunos niveles de inquietud intermedios.

D

d' Medida de sensibilidad en la teoría de detección de señales; distancia entre la media de la distribución del ruido y la media de la distribución de la media más el ruido.

datos estándar Colección estructurada de valores del tiempo normal para los elementos de trabajo, codificados en forma tabular o gráfica.

dBA Medida de la intensidad del sonido en una escala de ponderación que aproxima la respuesta característica del oído humano.

decibel (dB) Unidad de intensidad de sonido; razón logarítmica de la intensidad medida entre la intensidad de referencia.

dedo de disparo Tendinitis en el dedo índice, causada por la detonación repetitiva de una herramienta de potencia.

dedo pálido Oclusión del flujo de sangre a la mano debida a los efectos de la vibración. El resultado es pérdida de destreza y sensación.

déficit de oxígeno Falta de oxígeno en la que se incurre durante las etapas inicial o pesadas de trabajo; suministrado por el metabolismo anaeróbico.

demora Cualquier interrupción de la rutina de trabajo que no ocurre en el ciclo de trabajo típico.

demora evitable Interrupción del trabajo productivo debido por completo al operario y que no ocurre en el ciclo de trabajo normal.

demora inevitable Interrupción de la continuidad de una operación que sale del control del operario.

desempeño Razón de la producción real del operario entre la producción estándar.

desempeño estándar Desempeño esperado del operario capacitadopromedio cuando sigue el método prescrito y trabaja a un paso estándar, por ejemplo, caminar a 3 mph.

desempeño máximo Desempeño cuyo resultado es la producción más alta que es posible obtener.

desensamblar Movimiento básico que se lleva a cabo cuando se separan dos partes que están juntas.

desorden por trauma acumulado (DTA) Lesión óseomuscular relacionada con el trabajo, debida a movimientos altamente repetitivos que involucran movimientos de coyunturas con una fuerza excesiva; también llamada lesión por movimientos repetitivos.

desviación cubital (ulnar) Doblez de la muñeca en la que el meñique se mueve hacia el brazo.

desviación radial Doblez de la muñeca cuando el pulgar se mueve hacia el brazo.

detectar Determinar si un estímulo está presente en realidad.

determinación de tasas Acto de establecer las tasas monetarias o los valores de tiempo en cualquier operación.

deuda de oxígeno Incremento en la actividad metabólica después del trabajo para recuperar el déficit de oxígeno.

diagrama de-a *Vea* **diagrama de viaje.**

diagrama de avance Representación gráfica del estado o grado de terminación de un trabajo en proceso.

diagrama de descripción del proceso Representación gráfica sencilla de todas las operaciones usadas en un proceso de manufactura.

diagrama de flujo Representación gráfica de la distribución de un proceso, que muestra la localización de todas las actividades que aparecen en el diagrama de flujo del proceso y las trayectorias de viaje del trabajo.

diagrama de flujo del proceso Representación gráfica de todas las operaciones, transportes, inspecciones, demoras y almacenamientos que ocurren durante un proceso o procedimiento. El diagrama incluye información que se considera deseable para el análisis, como el tiempo requerido y la distancia.

diagrama de proceso Representación gráfica de un proceso de manufactura.

diagrama de proceso bimanual Diagrama que muestra los movimientos realizados por una mano en relación con los realizados por la

otra, usa las abreviaturas o símbolos de los therbligs.

diagrama de proceso de grupo Diagrama de las actividades simultáneas de una máquina o más y/o un operario o más.

diagrama de proceso de la operación Representación gráfica de una operación que muestra todos los métodos, inspecciones, suplementos y materiales usados en un proceso de manufactura.

diagrama de proceso del operario *Vea* **diagrama de proceso bimanual**.

diagrama de proceso hombre-máquina Diagrama que muestra la relación exacta en el tiempo entre el ciclo de trabajo del operario y el ciclo de operación de la máquina o máquinas.

diagrama de relaciones Diagrama que expresa los grados relativos de cercanía entre las actividades, áreas, departamentos, habitaciones, etcétera, para la distribución de las instalaciones.

diagrama de viaje Tabla que proporciona las distancias recorridas entre puntos en una instalación de manufactura o de negocios.

diagrama simo Diagrama de proceso bimanual con medidas de tiempos realizadas con microcronómetro como parte de un estudio de micromovimientos.

diagramas de causa-efecto *Vea* **diagramas de pescado**.

diagramas de pescado (cuasa-efecto) Método para definir la ocurrencia de un evento no deseable o problema, es decir, el efecto como la cabeza del pescado, e identificar los factores que contribuyen, es decir, las causas como las espinas que salen de las vértebras y la cabeza.

diferencia apenas notoria (DAN) La diferencia más pequeña detectable entre dos estímulos.

disco (intravertebral) Tejido suave, compuesto por un núcleo gelatinoso y rodeado de capas fibrosas (como las de una cebolla), que separa los huesos vertebrales.

disco desviado *Vea* **hernia en el disco**.

diseño del trabajo Diseño del proceso que usa ergonomía para ajustar la tarea y la estación de trabajo al operario.

diseño para el promedio Principio de diseño antropométrico de "una talla se ajusta a todos".

diseño para extremos Principio de diseño antropométrico en el que una característica especial es el factor limitante al determinar el valor máximo o mínimo de una variable de población a la que debe ajustarse; por ejemplo, la estatura para el claro de las puertas.

diseño para que sea ajustable Principio de diseño antropométrico que se usa para equipo o instalaciones que deben ajustarse a una variedad amplia de individuos.

dispositivo Herramienta que casi siempre se fija a la estación de trabajo y que sujeta el material que se procesa.

distribución binomial Distribución de probabilidad discreta con media = np y variancia = np(1 − p) con función de probabilidad

$$P(k) = C_{n,k}p^k(1 - p)^{n-k} \text{ para } k = 0, 1, 2 \ldots$$

distribución de Pareto Distribución que refleja el hecho de que la responsabilidad de la mayor parte de una actividad (entre 80 y 85%) recae en una minoría (entre 15 y 20%). Por ejemplo, 20% de los empleados incurren en 80% del ausentismo.

distribución en línea recta *Vea* **distribución por producto**.

distribución exponencial Distribución de probabilidad continua con media = $1/a$ y variancia = $1/a^2$ y con función de densidad = ae^{-ax}.

distribución funcional *Vea* **distribución del proceso**.

distribución normal Distribución de probabilidad continua con media = m y variancia = σ^2 y con función de densidad igual a

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\Pi}}e^{-\left[\frac{(x-\mu)}{2\sigma^2}\right]^2}$$

distribución Poisson Distribución de probabilidad discreta, con media = λ y variancia = λ, con función de probabilidad igual a:

$$P(x) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \text{ para } k = 0, 1, 2 \ldots$$

distribución por proceso Tipo de distribución de planta en la que las estaciones de trabajo o máquinas se agrupan por la similitud de proceso o función; también se conoce como distribución funcional.

distribución por producto Tipo de distribución de planta en la que las estaciones de trabajo se colocan en una línea continua de manera que el flujo de una operación a la siguiente se minimiza para cualquier clase de producto; también se conoce como distribución de planta en línea recta.

dosis de ruido Exposición diaria total al ruido, consiste en exposiciones a varios niveles de ruido, donde cada uno es una dosis parcial.

E

efectividad Razón de las horas ganadas entre las horas dedicadas a las tareas asignadas.

efecto de intervalo Tendencia a pasarse del objeto que se encuentra cerca y no llegar al objeto que está lejos, por lo común, como resultado de la fatiga.

efecto Hawthorne Fenómeno donde un aumento en la productividad del empleado puede atribuirse a un interés percibido del mismo por mejorar los métodos o el lugar de trabajo; sin embargo, también se aplica a resultados confusos debidos a variables no controladas o no consideradas en el cambio de método.

eficiencia Razón de la producción real entre la producción estándar. También, producción de luz por unidad de energía.

eficiencia anaeróbica La eficiencia (razón del trabajo realizado, en calorías, a la energía neta usada, en calorías) del cuerpo durante el trabajo pesado.

eficiencia de iluminación Luz producida por unidad de energía, por lo común en lúmenes por watt.

electromiograma Actividad eléctrica en un músculo.

elemento División del trabajo que se puede medir con un cronómetro y que tiene puntos terminales o de corte que se identifican con facilidad.

elemento constante Elemento cuyo tiempo de realización no varía de manera importante cuando ocurren cambios en el proceso o de dimensión en el producto.

elemento extraño Interrupción del ciclo de trabajo normal.

elemento irregular Elemento que ocurre al azar y que se puede determinar estadísticamente.

elemento variable Elemento cuyo tiempo queda afectado por una o más características , como tamaño, forma, dureza o tolerancia, de manera que si las condiciones cambian, también lo hace el tiempo requerido para realizarlo.

EMG (electromiograma) Actividad eléctrica en el músculo.

enriquecimiento del trabajo Expansión vertical del trabajo, que permite a los empleados iniciar y terminar una tarea dada; proporciona mayor diversificación y satisfacción.

ensamblar Acto de unir dos partes que van juntas.

ensayo Repetición mental de elementos para facilitar su recuerdo.

entrega por gravedad Entrega de una pieza dejándola caer en una banda de transporte o un dispositivo por gravedad, lo que minimiza los therbligs de mover y posicionar.

ergonomía Ciencia dedicada al ajuste de la tarea o lugar de trabajo a las aptitudes y limitaciones del operario. (en ocasiones llamada *factores humanos*)

error de registro Error porcentual por el tiempo no considerado durante un estudio de tiempos.

escala CR-10 (razón de categorías) Escala de calificación para el nivel de dolor o incomodidad de varias partes del cuerpo en una escala logarítmica de 0 a 10; usada para evaluar el esfuerzo muscular.

escala EEP de Borg Medio para evaluar el cansancio percibido durante actividades dinámicas del cuerpo, basado en una escala de 6 a 20, que tiene una correspondencia directa con la tasa de pulsaciones cardiacas (divididas entre 10).

esfuerzo Voluntad para realizar trabajo productivo mental o manual.

espacio muerto Cantidad de movimiento del control que no causa una respuesta del sistema.

espina erectora Músculos primarios de la espalda que proporcionan la fuerza para levantar una carga.

estación de trabajo Área donde el operario realiza los elementos de trabajo de una operación *específica.*

estados de ego Tres etapas psíquicas que puede lograr un individuo: adulto, padre e hijo.

estándar temporal Estándar establecido para un número limitado de piezas o por un tiempo limitado, para tomar en cuenta la novedad del trabajo o algunas condiciones poco usuales.

estándares de trabajo medido Estándares de tiempo basados en la medición del contenido del trabajo (contrario a datos históricos) para el trabajo realizado en la forma más productiva.

estenógrafo Teclado que requiere la activación simultánea de dos teclas o más, en lugar de la activación secuencial de los teclados estándar.

estudio de métodos Análisis de una operación para incrementar la producción por unidad de tiempo y, en consecuencia, reducir el costo unitario.

estudio de micromovimientos División de la asignación de trabajo en therbligs, lograda mediante el análisis cuadro por cuadro de una película y la mejora de la operación al eliminar los movimientos innecesarios y simplificar los necesarios.

estudio de movimientos Análisis y estudio de los movimientos que constituyen una operación, para mejorar el patrón de movimiento al eliminar los movimientos no efectivos y disminuir los efectivos.

estudio de tiempos Procedimiento que usa un cronómetro para establecer estándares.

estudio de verificación Revisión de un trabajo ya sea con cronómetro o con reloj normal, para determinar si un estándar es adecuado.

estudio global Registro de los tiempos de ciclo como verificación de un estándar de estudio de tiempos desarrollado.

evaluación del trabajo Procedimiento para determinar el valor relativo de las distintas asignaciones de trabajo.

éxito Identificación correcta de una señal cuando está presente

extensión Movimiento de coyuntura en el que el ángulo se abre.

F

factor de trabajo Índice del tiempo requerido adicional al tiempo básico, según lo establecido por el sistema Work-Factor de tiempos de movimientos básicos sintéticos.

factores extrínsecos Factores del entorno como administración, supervisión y condiciones de trabajo en la teoría de motivación/mantenimiento de Herzberg, que actúan como insatisfactores.

factores humanos *Vea* **Ergonomía**.

factores intrínsecos Satisfactores potenciales como logro, reconocimiento y progreso en la teoría de motivación-mantenimiento de Herzberg.

falta de asociación Propiedad de que una señal deseada sea lo más diferente posible de otras señales (o ruidos) en términos de sus características.

falla Rechazo incorrecto de una señal cuando está presente.

falsa alarma Identificación incorrecta de una señal cuando no está presente.

fatiga Disminución en la capacidad de trabajo.

filamentos delgados Filamentos microscópicos en las fibras del músculo de proteína globular llamada actin; más delgados que los filamentos gruesos; ambos se necesitan para que ocurra la contracción muscular.

filamentos gruesos Filamentos microscópicos en las fibras del músculo que consisten en proteínas alargadas con cabezas moleculares llamadas miosin; más gruesos que los filamentos delgados; ambos se necesitan para que ocurra la contracción muscular.

fisiología del trabajo Especificación de los factores fisiológicos y psicológicos característicos de un entorno de trabajo.

flexión Movimiento de coyuntura en el que el ángulo se cierra.

flujo de efectivo descontado Técnica económica que calcula la razón del valor presente del flujo de efectivo entre la inversión original.

flujo luminoso Luz total producida por una fuente, o cantidad de incidencia de luz sobre una superficie expresada en lúmenes.

forma de estudio de tiempos Forma diseñada con los elementos de un estudio de tiempos dado, con espacios para registrar las duraciones.

fórmula de Wright Tiempo de interferencia de máqina expresado como porcentaje del tiem-

po de servicio promedio para siete máquinas o más.

fototropismo Tendencia de los ojos a dirigirse a la fuente de luz más brillante.

frecuencia cardiaca pico Incremento lento en la frecuencia cardiaca durante el trabajo pesado, que indica fatiga.

frecuencia de uso Principio usado al distribuir los controles o pantallas que se basa en la proporción de uso.

frecuencia natural Frecuencia interna de vibración dentro de un sistema, determinada por sus características de masa, resorte y amortiguador.

fuerza isocinética Tipo de contracción muscular en la que el músculo se contrae con una velocidad constante.

fuerza isométrica Tipo de contracción muscular en la que el músculo se contrae en una posición fija estática y produce la máxima fuerza; se conoce también como fuerza estática.

fuerza isotónica Tipo de contracción muscular en la que el músculo se contrae contra una fuerza constante; suele llamarse fuerza dinámica.

fuerza psicofísica Tipo de fuerza en la que el operario determina en forma subjetiva la carga aceptable que puede levantar.

funcionalidad Principio usado en la distribución de controles o pantallas según funciones similares.

G

ganancias compartidas Cualquier método de pago de salarios en el que el trabajador participa en todo o una parte de las ganancias agregadas que se obtienen de la producción en exceso de la estándar.

gastos de fabricación Costos tales como mano de obra indirecta, herramientas, máquinas y energía.

gastos generales Costo de gasto de mano de obra, renta, seguros, etcétera.

GET Acto de tomar y controlar un objeto. Se compone de los therbligs alcanzar, tomar y mover; en ocasiones incluye buscar y seleccionar.

glucosa Componente primaria de los carbohidratos que entra en la reacción bioquímica de la producción de energía.

gráfica cruzada Método para graficar el incremento en el costo como función de alguna variable. El punto en el que se cruzan dos rectas se conoce como punto de cambio o punto de equilibrio y, en él, el costo de cada método es el mismo.

gráfica de alineación Vea *nomograma*.

gráfica de Gantt Serie de gráficas que consisten en líneas horizontales o barras en posiciones y longitudes que muestran los programas o cuotas y el avance, en una escala común.

gráfica de incomodidad del cuerpo Método para evaluar el estado de salud del trabajador con la verificación del nivel de incomodidad de varias partes del cuerpo.

gráfica de punto de equilibrio *Vea* **gráfica cruzada**.

guía de levantamiento NIOSH Conjunto de lineamientos para el levantamiento manual desarrollada por NIOSH para proporcionar una medida de seguridad en prevención del lesiones por esfuerzo excesivo que ocasiona demandas de la tarea que exceden la capacidad del trabajador.

guía de análisis del trabajo/lugar de trabajo Técnica de análisis para identificar problemas potenciales en un trabajo, área o lugar de trabajo dado.

H

hernia en el disco Inflamación del disco intravertebral que causa presión en los nervios de la espina y, por lo tanto, dolor.

hertz Unidad de frecuencia, en ciclos por segundo. Un Hz es igual a un ciclo por segundo.

horas ganadas Horas estándar acreditadas a un trabajador o a la fuerza de trabajo como resultado de la terminación de un trabajo o grupo de tareas.

I

icono Representación pequeña de objetos que actúan como una ventana en una interfaz gráfica de usuario.

iluminación Cantidad de luz que llega a una superficie, medida en pies-candela.

iluminación directa Tipo de iluminación que coloca más luz sobre las superficies de trabajo y el suelo.

iluminación indirecta Tipo de iluminación en la que la luz se dirige al techo y éste la refleja hacia abajo.

importancia Principio usado en la distribución de controles y pantallas basado en la importancia de cada uno.

IMPROSHARE Plan de ganancias compartidas basado en la productividad del empleado según se mide en horas trabajadas.

impulso Incremento escalonado en los ingresos para inducir a los trabajadores a lograr cierto nivel de productividad.

incentivo Compensación, financiera o de otro tipo, que remunera al trabajador por un desempeño alto y continuo, mayor que el estándar.

incentivo salarial Inducción financiera para realizar un esfuerzo mayor que el estándar.

índice de factor de viento Índice de tensión por frío que describe la tasa de pérdida de calor por radiación y convección como función de la temperatura ambiente y la velocidad del viento.

información Conocimiento recibido respecto a un hecho particular o la reducción de la incertidumbre acerca de ese hecho.

ingeniería del valor Método para evaluar alternativas a partir de sus valores y pesos en la matriz de pagos.

ingreso promedio por hora Dinero promedio en dólares y centavos que se paga a un operario por hora, determinado por el cociente de las horas trabajadas por periodo entre el salario total pagado en el periodo.

ingresos por bonos Dinero pagado además del salario o sueldo normal.

inhibición recíproca Tipo de reflejo en el que el músculo agonista se activa y el antagonista se inhibe para reducir las contracciones contraproducentes del músculo.

intensidad luminosa Intensidad de la luz emitida por una fuente, medida en candelas.

interfaz gráfica de usario (GUI) Tipo de pantalla interactiva identificada por cuatro elementos principales: ventanas, iconos, menús y señaladores.

interferencia de máquina Situación donde dos máquinas o más están paradas y requieren la atención de un operario; como éste sólo puede servir una máquina a la vez, el resto deberá esperar la reparación y, en consecencia, estará en estado no productivo.

J

jornada de trabajo Cualquier trabajo por el cual se compensa al trabajador con base en el tiempo y no en la producción.

jornada de trabajo justa Cantidad de trabajo realizado por un operario que es justa para la compañía y para el operario, y que toma en cuenta el pago de salarios. Es la "cantidad de trabajo que puede producir un empleado calificado cuando trabaja a paso normal y usa de manera efectiva su tiempo cuando el trabajo no está restringido por las limitaciones del proceso".

jornada de trabajo medida Sistema de incentivos en el que la tasa por hora se ajusta en forma periódica según el desempeño del operario durante el periodo anterior.

juicio absoluto Diferenciación entre dos estímulos cuando no puede hacerse una comparación directa.

juicio relativo Diferenciación entre dos estímulos basada en una comparación directa.

justo a tiempo (*JIT*) Se refiere a una técnica de manufactura esbelta o flujo de producción directo que disminuye tiempos de preparación y requiere que los proveedores entreguen partes sólo cuando se necesitan, lo que elimina los grandes inventarios.

K

kaizen Sistema de actividades de mejora continua.

kanban Tarjeta como etiqueta con información del producto que sigue al producto durante todo su ciclo de producción para mantener el *JIT*.

keiretsu Relación bilateral entre un fabricante japonés y sus proveedores.

L

lesiones por movimientos repetitivos *Vea* **desorden por trauma acumulado.**

ley de Fitts Extensión de la ley de Hick-Hyman respecto al tiempo de movimiento, por ejemplo, cuanto más grande la distancia y menor el objeto, mayor tiempo tomará el movimiento.

ley de Hick-Hyman Relación lineal entre el tiempo de respuesta y la cantidad de información de estímulo transportada en bits.

ley de Weber Regla que establece que la razón de la difrencia apenas notoria entre el nivel de estímulo permanece constante en todo el intervalo sensorial normal.

límite de peso recomendado (LPR) De la guía de levantamiento NIOSH, peso óptimo que pueden manejar casi todas las personas, con ajustes debidos a varios factores relacionados con las variables de levantamiento.

líneas de espera Análisis matemático de las leyes que gobiernan las llegadas, los tiempos de servicio y el orden en el que se da servicio a las unidades que llegan.

lluvia de ideas Sesiones de discusión en las que se alienta la exposición de ideas, sin importar cuán atrevidas sean.

longitud en reposo Longitud del músculo mientras está en estado neutral, sin contraerse.

lordosis Curvatura natural hacia adentro de la porción lumbar de la espina.

lumbar Área de la espalda más expuesta a lesiones; cerca de la línea del cinturón.

luminancia Cantidad de luz reflejada por una superficie, medida en pies-lambert.

luminaria Fuente de luz, como una lámpara.

lux Unidad de iluminancia igual a un lumen por metro cuadrado, o 0.093 pies-candela.

M

mano de obra directa Trabajo realizado en cada pieza que hace que la pieza avance hasta tener sus últimas especificaciones.

mano de obra general Mano de obra no involucrada en la manufactura de un producto, como ingeniería, investigación, ventas, apoyo, contabilidad y otras funciones administrativas.

mano de obra indirecta Mano de obra que no participa en forma directa en la transformación del material usado para un producto, pero que es necesaria para apoyar la manufactura del mismo.

manufactura esbelta Teoría de administración de la manufactura en la que los ingenieros de producción trabajaban juntos para eliminar el desperdicio, reducir los costos y aumentar la eficiencia.

mapeo Representación clara de la compatibilidad entre controles y respuestas.

material flotante Cantidad de material que no se usa o trabaja directamente en un sistema o proceso, en un tiempo determinado.

matriz de arrepentimiento *Vea* **criterio de arrepentimiento minimax.**

media de x Valor esperado de x.

medición del trabajo Uno de varios procedimientos (estudio de tiempos, muestreo del trabajo y sistemas de tiempos predeterminados) para establecer estándares.

mejora continua Proceso en marcha para asegurar la calidad total en una compañía.

memoria a corto plazo *Vea* **memoria de trabajo.**

memoria a largo plazo Almacenamiento de información a largo plazo para su uso posterior.

memoria de trabajo Almacenamiento temporal de información mientras se procesa para obtener una respuesta; también llamada memoria a corto plazo.

método Técnica empleada para realizar una operación.

método continuo de toma de tiempos Método de estudio de una operación en el que el cronómetro se mantiene en marcha durante el estudio y no se regresa cuando termina un elemento.

método de calificación Método para evaluar el trabajo según el arreglo de tareas en orden de importancia.

método de clasificación Método de evaluación del trabajo basado en una serie de definiciones para distinguir las tareas.

método de flujo descontado Técnica económica para calcular la razón del valor presente del flujo de efectivo entre la inversión original.

método de periodo de pago Técnica de análisis económico que usa el tiempo para recuperar el costo de la inversión original.

miofibrillas Subdivisión de las fibras musculares que contienen filamentos proteínicos gruesos y delgados.

modalidad de despliegue Formato de información correspondiente a uno de los cinco sentidos

modelo completo El modelo más complejo en una prueba lineal general.

modelo reducido El modelo más sencillo en una prueba lineal general.

mover Movimiento de la mano con una carga.

movimiento balístico Movimiento de los brazos (por lo común) o piernas con acción suave, fluida y rápida de músculos desde el principio hasta el final de la acción.

movimiento básico Movimiento fundamental relacionado con la capacidad de desempeño primario fisiológico y/o biomecánico de los miembros del cuerpo.

movimientos combinados Dos o más movimientos elementales realizados al mismo tiempo por el mismo miembro del cuerpo.

movimientos simultáneos Dos o más movimientos elementales realizados de manera simultánea por diferentes miembros del cuerpo.

MTM (métodos de medición del tiempo) Procedimiento para analizar una operación o método manual, a fin de determinar los movimientos básicos requeridos para realizar la operación y asignar un estándar de tiempo predeterminado a cada movimiento, basado en su naturaleza y las condiciones en las que se realiza.

muda En la industria japonesa, desperdicios que deben eliminarse.

muestreo de actividades *Vea* **muestreo del trabajo**.

muestreo del trabajo Método para analizar el trabajo tomando un número grande de observaciones en intervalos aleatorios, para establecer estándares y mejorar los métodos.

músculo esquelético Músculos adheridos a los huesos que proporcionan la fuerza motora para el movimiento.

N

necesidades de autoestima Cuarto paso en la jerarquía de Maslow de necesidades humanas, deseo de competencia, logro y respeto.

necesidades de seguridad Segundo paso en la jerarquía de Maslow de necesidades humanas, la necesidad de seguridad en el trabajo.

necesidades fisiológicas Primer paso en la jerarquía de Maslow de las necesidades humanas, preocupación básica por supervivencia, comida, agua y salud.

necesidades sociales Tercer paso en la jerarquía de Maslow de necesidades humanas, necesidad de atención, amistad y sentido de pertenencia.

nemotécnico Acrónimo o frase cuyas letras representan una serie de aspectos para facilitar su recuerdo.

nivel de aspiración Estrategia de toma de decisiones basada en un valor del resultado que representa la consecuencia de lo que una persona está dispuesta a aceptar si está razonablemente segura de obtener al menos estas consecuencias la mayor parte del tiempo.

nomograma Gráfica que suele tener tres escalas paralelas graduadas para variables diferentes, de manera que cuando una línea recta conecta cualesquiera dos, el valor relacionado se puede leer directamente en el punto en que la recta se cruza con la tercera.

O

observación Recolección y registro del tiempo requerido para ejecutar un elemento, o una lectura del reloj.

observador Analista que toma el estudio de tiempos de una operación dada.

operación Cambio intencional de una parte a su forma, tamaño y características deseadas.

operario calificado Operario que puede lograr el estándar de desempeño establecido cuando sigue el método prescrito y trabaja a un paso estándar.

P

palanca de control (track point) Pequeño joystick en medio del teclado usado para controlar el cursor.

palmadas Reconocimiento positivo de un individuo y sus logros.

pantalla de tacto Pantalla con una capa sensible al tacto que se activa al aproximar el dedo.

paso de incentivo Desempeño más alto que el normal o estándar.

paso de máquina Control mecánico o de la máquina sobre la tasa a la que avanza el trabajo.

paso del trabajo Tasa a la que se realiza una operación o actividad.

patrón de movimiento balanceado Secuencia de movimientos realizados en forma simultánea por ambas manos en direcciones que facilitan el ritmo y la coordinación.

percepción Comparación de la información del estímulo que llega con el conocimiento almacenado para clasificar la información.

PERT (técnica de revisión y evaluación de programas) Método para planear y controlar que proporciona una representación gráfica de la manera óptima de lograr algún objetivo predeterminado, en general, en términos del tiempo.

pie-candela Medida de la luz que llega a una superficie. Un pie-candela es igual a 10.8 lúmenes por metro cuadrado.

pie-lambert Unidad de luminancia (luz emitida o reflejada). Un pie-lambert es igual a 3.43 candelas por metro cuadrado.

plan de descripción por grados *Vea* **métodos de clasificación.**

plan de hora estándar Plan de incentivos que usa la jornada de trabajo hasta 100% de desempeño y el trabajo por pieza con desempeño mayor que 100%.

plan Rucker Plan de ganancias compartidas basado en la productividad del empleado según se mide por uno de los siguientes aspectos: producción bruta, ventas netas o cambios de inventario.

plan Scanlon Plan de ganancias compartidas basado en la productividad del empleado según se mide por uno o más de los siguientes aspectos: producción bruta, ventas netas y cambios de inventario.

planear Movimiento básico que implica el proceso mental de determinar la siguiente acción.

planes de compensación flexibles Cualquier plan de incentivos que aumenta los ingresos o beneficios del trabajador como una función del incremento en la producción.

plantilla Herramienta que puede estar o no sujeta a la estación de trabajo y que se usa para sostener el trabajo y para guiar a la herramienta.

pluma de luz Estilete especial unido a la computadora por un cable eléctrico sesible al rayo de recorrido de electrones en un lugar específico de la pantalla.

posicionar Elemento de trabajo que consiste en localizar un objeto de manera que tenga la orientación adecuada en un lugar específico.

preparación La preparación de una estación o centro de trabajo para realizar una operación o serie de operaciones.

preposicionar Movimiento básico que consiste en posicionar un objeto en un lugar predeterminado para que pueda agarrarse en la posición que debe, cuando se necesite.

prestaciones Porción de la compensación tangible que no se incluye en los sueldos, salarios o bonos que paga el empleador al empleado. Incluyen seguros, fondo de retiro y otros servicios para los empleados.

principio de la razón insuficiente Estrategia de toma de decisiones en la que las condiciones o estados se consideran igualmente probables.

principio de movimientos combinados Si una mano realiza dos movimientos simultáneos, en ciertos sistemas de tiempos predeterminados se cuenta el tiempo más largo.

principio de movimientos limitantes Para dos movimientos diferentes realizados al mismo tiempo por las manos izquierda y derecha, en ciertos sistemas de tiempos predeterminados se usa el tiempo más largo.

principio de movimientos simultáneos Los movimientos realizados al mismo tiempo con las dos manos no siempre pueden efectuarse en el mismo tiempo que los mismos movimientos realizados por cada mano por separado; así

debe agregarse una penalización en algunos sistemas de tiempos predeterminados.

principio de tamaño Reclutamiento ordenado de unidades motrices, de pequeñas a grandes.

principio de Warrick Principio de diseño de pantallas por el que los puntos cercanos y los controles se mueven en la misma dirección, lo que proporciona la mayor compatibilidad.

procesamiento de arriba abajo Procesamiento de información dirigido por los conceptos, que usa conceptos de alto nivel para procesar características de percepción de bajo nivel.

procesamiento de abajo arriba Procesamiento de información impulsado por datos, guiado por características sensoriales.

proceso Serie de operaciones que logran el avance del producto hacia su tamaño, forma y especificaciones finales.

producción Salida total de una máquina, proceso o trabajador en una unidad de tiempo específica.

programa de construcción Programa de distribución de planta que genera la mejor solución partiendo de cero.

programa de mejoramiento Programa de distribución de las instalaciones que mejora una distribución inicial.

promedio ponderado del tiempo (de ruido) Nivel de sonido que produciría una dosis de ruido dada si un trabajador estuviera expuesto a él, de manera continua, durante un turno de trabajo de 8 horas.

pronación Rotación del antebrazo de manera que la palma queda hacia abajo, o supinación con la palma hacia arriba.

prueba lineal general Procedimiento formal para encontrar el mejor modelo usando disminuciones estadísticamente significativas en las variancias entre modelos alternativos.

psicología ocupacional Estudio científico del trabajador y el entorno, mediante los principios psicológicos.

puntero Dispositivo para manipular directamente un icono o cursor en una interfaz gráfica de usuario.

punto Unidad de producción identificada como la producción de un operario estándar en un minuto. Se usa como base para establecer estándares con el sistema de puntos.

punto de cambio (corte) Un punto en el ciclo de trabajo que se distingue con facilidad, seleccionado como frontera entre la terminación de un elemento y el inicio de otro.

punto de comparación (*benchmark*) Estándar que se identifica con las características, con suficiente detalle para comparar otras clasificaciones como mejor, peor o comparable al estándar identificado.

R

rad Unidad de dosis de radiación equivalente a la absorción de 0.01 joules por kilogramo.

ratón Dispositivo sostenido con la mano con una bola en la base para controlar la posición del cursor.

ratón de bola Ratón invertido para controlar la posición del cursor

razón control-respuesta Razón de la cantidad de movimiento en un control entre la cantidad de movimiento en la respuesta; se usa para definir la capacidad de respuesta del sistema.

rechazo correcto Rechazo de una señal cuando la señal no está presente.

recuperación de ritmo cardiaco Regreso del ritmo cardiaco al nivel de descanso después del trabajo.

recursos de atención Cantidad de capacidad cognitiva dedicada a una tarea particular o etapa de procesamiento o, simplemente, a la atención.

redundancia Reducción de información a partir de la cantidad máxima posible debido a probabilidades de ocurrencia diferentes para las alternativas.

reflectancia Porcentaje de luz reflejada por una superficie.

reflejo Brillantez excesiva en el campo de visión que impide la visibilidad.

regla de Miller Límite superior para la capacidad de memoria de trabajo en alrededor de 7 ± 2 artículos.

regresión a la media Tendencia de un analista novato a calificar más cerca del desempeño normal que del desempeño real.

regresos a cero Técnica de estudio de tiempos en la que una vez leído el cronómetro en el punto terminal de cada elemento, el tiempo se regresa a cero.

relación fuerza-longitud Relación U invertida en la que la fuerza del músculo es mayor en su longitud en descanso.

relación fuerza-velocidad Trueque entre movimientos más lentos que proporcionan mayor fuerza y movimientos más rápidos pero más débiles.

rem Equivalente del roentgen en una persona o dosis equivalente de cualquier tipo de radiación que produce un efecto biológico de 1 roentgen de rayos X en una persona.

rendimiento Característica percibida que proporciona la acción deseada; por ejemplo, una puerta con manija y la puerta que se abre al jalarla.

rendimiento de color Cercanía con que los colores percibidos de un objeto observado concuerdan con los colores percibidos del mismo objeto cuando se ilumina con fuentes de luz estándar.

rendimiento de ventas Método de análisis económico que usa la razón de las ganancias anuales entre las ventas anuales.

reparto de utilidades Cualquier procedimiento mediante el cual un empleador paga a los empleados sumas actuales o diferidas especiales, además de las buenas tasas de pago normales, con base no sólo en el desempeño individual o de grupo, sino también en la prosperidad de todo el negocio.

resonancia Situación en la que vibraciones forzadas inducen vibraciones de mayor amplitud en un sistema.

retorno sobre la inversión Método de análisis económico que usa la razón de la ganancia anual entre la vida del producto.

retroalimentación Regreso de información significativa al operario, de tal forma que pueda modificar su desempeño adecuadamente.

retroceso Incremento en el tiempo de ciclo en la curva de aprendizaje debido al olvido.

riesgoso Comportamiento del un observador cuando el criterio cambia a la izquierda, lo que ocasiona un incremento en los éxitos, pero a costa de un incremento correspondiente en las falsas alarmas.

ritmo cardiaco pico Incremento lento en el ritmo cardiaco durante el trabajo pesado; indica fatiga.

ritmos circadianos Variación general en 24 horas de las funciones del cuerpo humano.

roentgen Unidad de exposición a la radiación que mide la cantidad de ionización producida en el aire por la radiación X o gama.

rotación del trabajo Similar al enriquecimiento del trabajo en cuanto a que proporciona al trabajador la oportunidad de realizar una variedad de tareas para evitar el trabajo repetitivo, pero con una programación más rígida.

rotación rápida Tipo de trabajo de turno en el que el empleado cambia turno cada dos o tres días.

ruido Estímulo sensorial comolos sonidos no deseados que interfieren con la detección de señales.

S

secuencia de uso Principio de diseño en el que los controles y pantallas se colocan lugares físicos correspondientes al orden en que se usan.

sensibilidad Resolución del sistema sensorial, medida como la separación entre las distribución de la señal y el ruido.

señal Estímulo sensorial que proporciona información.

servicio aleatorio Interacción entre el operario y la máquina que ocurre de manera aleatoria.

servicio sincrónico Caso ideal en el que el trabajador y la máquina actúan en un ciclo repetitivo fijo.

síndrome de Raynaud Oclusión del flujo de sangre en las manos inducida por el frío, que reduce la destreza.

síndrome del túnel de carpo Compresión del nervio medio debida a inflamación dentro del túnel de carpo de la muñeca, que causa dolor, pérdida de la sensación y del control motriz.

sistema de calificación Westinghaouse Método de calificación desarrollado en Westinghouse Corp., basado en cuatro factores, habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia.

sistema de control Sistema que tiene como función primaria la recolección y análisis de retroalimentación a partir de un conjunto dado de funciones, a fin de controlarlas.

sistema de puntos Método de evaluación del trabajo en el que se determina el valor relativo de diversos trabajos con el total de puntos asignados a los distintos factores aplicables a diferentes tareas.

sistema de tiempos predeterminados Sistema basado en los tiempos de los movimientos básicos usados para calcular el tiempo estándar.

sistema óseomuscular Sistema de músculos y huesos en el cuerpo que permite el movimiento.

SMED (intercambio de dado en un minuto) Serie de técnicas para cambiar la maquinaria de producción en menos de 10 minutos.

soporte lumbar Soporte para la espalada (área lumbar) en la forma de saliente en el respaldo del asiento o de cojín colocado al nivel del cinturón.

subgrupos Grupos pequeños de discusión.

sujetador Dispositivo que puede o no fijarse a la estación de trabajo.

supinación Rotación del antebrazo de manera que la palma queda hacia arriba.

suplemento Tiempo que se agrega al tiempo normal para permitir demoras personales, inevitables y por fatiga.

suplemento adicional Suplemento para compensar el trabajo requerido, adicional al especificado en el método de estándares.

suplemento especial Variedad de suplemento que se relaciona con el proceso, equipo, materiales, etcétera; se subdivide en suplementos por demora inevitable, demora evitable, adicional y por política

suplemento por fatiga Tipo de suplemento que proporciona tiempo al trabajador para recuperarse de la fatiga incurrida como resultado del trabajo o el entorno de trabajo.

suplemento por fatiga básico Suplemento constante otorgado para tomar en cuenta el consumo de energía al llevar a cabo ciertas tareas y la reducción de la monotonía.

suplemento por fatiga constante Combinación de suplementos por necesidades personales y fatiga básica que suelen ser constantes para todos los trabajadores dentro de la compañía.

suplemento por fatiga variable Suplemento por fatiga que se ajusta a cada trabajador en la compañía según la tarea o las condiciones de trabajo.

suplemento por necesidades personales Porcentaje que se agrega al tiempo normal para tomar en cuenta las necesidades personales del operario.

suplemento por política Suplemento para proporcionar un nivel satisfactorio de ganancias por un nivel de desempeño especificado en circunstancias especiales.

T

tabla de acción ante peligro Tabla de decisión para especificar ciertas acciones ante un peligro dado.

tablas de decisión Enfoque estructurado para evaluar la información y seleccionar el mejor cambio de método entre varias alternativas.

tablero del estudio de tiempos Tablero conveniente usado para sostener el cronómetro y la forma de observaciones durante el estudio de tiempos.

tableta de digitalización Base plana colocada al lado de la computadora que se activa con el movimiento de un estilete electrónico.

tamaño en puntos Tamaño de fuente en tipografía; un punto es igual a 1/72 pulg (0.035 mm).

tarea de color y palabras de Stroop Presentación de estímulos de color y palabras en conflicto que muestra los efectos de la redundancia y la interferencia.

tarea de barrenado de Fitts Una serie de movimientos de posicoinamiento hasta y desde objetos, que demuestran la ley de Fitts.

tarea primaria Tarea en la que un operario dedica la mayor cantidad de sus recursos de atención.

tarea secundaria Tarea que debe realizarse además de la tarea primaria.

tareas múltiples Realización de varias tareas simultáneas.

tarima Transportador de carga, por lo común, en un carro estandarizado rectangular.

tarjeta de operación Forma que describe la secuencia de operaciones, el tiempo asignado y las herramientas especiales requeridas para la manufactura de la parte.

tasa Estándar expresado en dólares y centavos.

tasa de reducción de ruido Medida de la efectividad de las orejeras, en términos de la atenuación de los dB de nivel de ruido.

tasa de salario base Dinero por hora pagado por una asignación de trabajo específica realizada a paso estándar por un operario normal.

tasa de salarios Tasa de dinero expresada en dólares y centavos por hora, pagados al empleado.

tasa estrecha Estándar de tiempo que asigna menos tiempo que el requerido por un operario normal para realizar el trabajo a paso normal.

tasa holgada Tiempo asignado establecido que permite al operario normal lograr el desempeño estándar con menos esfuerzo que el promedio.

tasas de círculo rojo Tasas de empleados más altas que las establecidas en el plan de evaluación del trabajo.

teclado de Dvorak Diseño alternativo de teclado que optimiza la carga de los dedos.

teclado QWERTY Tipo de teclado popular en el que la secuencia de las primeras seis letras a la izquierda de la tercera fila es QWERTY.

temperatura de globo Mide la carga de radiación con un termómetro dentro de una esfera de cobre negro de 6 pulgadas de diámetro.

temperatura de bulbo húmedo Medida del enfriamiento evaporativo, que usa un termómetro con un pabilo húmedo y el movimiento natural del aire.

temperatura de bulbo seco Temperatura ambiente básica, con el termómetro protegido de la radiación.

temperatura equivalente con factor de viento Temperatura ambiente que en condiciones de calma produce el factor de viento equivalente como combinación real de la temperatura del aire y la velocidad del viento.

tendinitis Inflamación de un tendón causada por trabajo repetitivo.

tenosinovitis Inflamación de las capas de un tendón causada por trabajo repetitivo.

teoría de colas *Vea* **líneas de espera**.

teoría de detección de señales Teoría utilizada para explicar una situación en la que el observador necesita identificar una señal entre el ruido confuso.

teoría de filamentos deslizantes Teoría de contracción de músculos en la que los filamentos que lo componen se deslizan uno encima del otro.

teoría de la información Ciencia de medir y comprender la información.

teoría de motivación-mantenimiento Teoría de motivación de F. Hersberg en la que los factores extrínsecos (administración, condiciones de trabajo) actúan como insatisfactores potenciales y los intrínsecos (logro, reconocimiento) como satisfactores.

TGBH (temperatura de globo de bulbo húmedo) Índice de tensión por calor basado en un promedio ponderado de temperaturas de bulbo húmedo, y bulbo seco.

therbligs Los 17 elementos de trabajo definido por los Gilbreth.

tiempo anormal Valores de tiempos elementales que son mucho mayores o mucho menores que la media de la mayoría de las observaciones tomadas durante un estudio de tiempos.

tiempo asignado Tiempo que tarda un operario normal al realizar una operación mientras trabaja a una tasa de desempeño normal, con el suplemento debido por demoras personales e inevitables y por fatiga.

tiempo compartido *Vea* **tareas múltiples**.

tiempo controlado Tiempo elemental transcurrido que depende por completo de la instalación o proceso.

tiempo de atención del operario *Vea* **tiempo de atención**.

tiempo de atención Porción del ciclo en el que el operario observa un proceso para mantener el avance eficiente de la operación.

tiempo de cambio Tiempo requerido para modificar o sustituir un trabajo existente. Incluye el tiempo para desmontar la condición actual y preparar la nueva condición.

tiempo de ciclo Medida del tiempo para un ciclo completo de trabajo, no de cada uno de los elementos individuales del ciclo.

tiempo de ciclo de máquina Tiempo requerido para que la máquina en proceso complete un ciclo.

tiempo de ciclo promedio Suma de todos los tiempos elementales divididos entre el número de observaciones en el ciclo.

tiempo de esfuerzo Porción del tiempo de ciclo que depende de la aptitud y esfuerzo del operario.

tiempo de espera Tiempo en que el operario no puede realizar trabajo útil por la naturaleza del proceso o por falta inmediata de material.

tiempo de inicio Tiempo en el reloj en el que comienza un estudio de tiempos.

tiempo de interferencia Tiempo de máquina ocioso debido a que el operario no alcanza a alimentar una o más máquinas que necesitan servicio por estar realizando otro trabajo asignado.

tiempo de máquina disponible Porción de un ciclo durante el cual una máquina puede realizar trabajo útil.

tiempo de paro Tiempo representado por la interrupción de la operación debida a descomposturas de máquinas o herramientas, por falta de material, etcétera.

tiempo de reloj Tiempo registrado para una lectura de reloj.

tiempo de reacción simple Tiemp o para que un operario responda a un estímulo simple con una respuesta predeterminada.

tiempo de selección-reacción Tiempo de respuesta de un operario ante varios estímulos, cada uno con una respuesta adecuada.

tiempo de servicio Tiempo total que un operario interactúa directamente con una máquina; puede incluir carga, descarga, mantenimiento, etcétera.

tiempo de terminación Tiempo en reloj en el que termina un estudio de tiempos.

tiempo de verificación Suma de los tiempos transcurridos antes y después del estudio.

tiempo efectivo Total del tiempo observado.

tiempo elemental promedio Tiempo elemental medio que tarda un operario en realizar la tarea durante el estudio de tiempos.

tiempo estándar Valor en unidades de tiempo para una tarea, determinado con la aplicación correcta de las técnicas de medición del trabajo por personal calificado.

tiempo flexible Sistema de turnos en el que el trabajador establece sus tiempos de entrada y salida, dentro de los límites establecidos por la administración.

tiempo no efectivo Suma de todos los tiempos elementales extraños.

tiempo no registrado Tiempo mal contado en un estudio de tiempos; diferencia entre el tiempo tanscurrido y el tiempo registrado.

tiempo normal Tiempo requerido para que un operario estándar realice una operación cuando trabaja a paso estándar, sin demoras por razones personales o por circunstancias inevitables.

tiempo observado Tiempo elemental de un ciclo, obtenido ya sea de manera directa o con la resta de observaciones sucesivas.

tiempo ocioso Tiempo en el que una máquina o un operario no opera o no trabaja.

tiempo productivo Cualquier tiempo empleado en el avance de un producto hacia sus especificaciones finales.

tiempo real Tiempo elemental promedio que tarda en realidad un operario durante un estudio de tiempos.

tiempo seleccionado Valor de tiempo elemental elegido como representante del desempeño esperado del operario bajo estudio.

tiempo total registado Suma de los tiempos de verificación, efectivo y no efectivo durante un estudio de tiempos.

tiempo transcurrido Tiempo real que pasa durante el curso de un estudio o una operación.

tiempo transcurrido antes del estudio (TTAS) Lectura en el cronómetro cuando el analista oprime el botón al inicio del primer elemento de un estudio de tiempos.

tiempo transcurrido después del estudio (TTDS) Lectura en el cronómetro cuando el analista oprime el botón al final del estudio de tiempos en el reloj maestro.

tiempos básicos *Vea* **tiempos predeterminados**.

tiempos de movimientos básicos sintéticos Colección de estándares de tiempo asignados a movimientos y grupos de movimientos fundamentales.

tiempos predeterminados Tiempos asignados a los movimientos fundamentales que no pueden evaluarse de manera precisa con los procedimientos normales de estudio de tiempos con cronómetro, sino que son el resultado de estudios detallados de videocintas de muchas operaciones; son predeterminados porque se usan para predecir los tiempos estándar de tareas nuevas que surgen de cambios en el método; en ocasiones se llaman sintéticos porque se obtienen con combinaciones lógicas de therbligs; también son básicos porque un mayor refinamiento suele no ser posible.

tiempos sintéticos *Vea* **tiempos predeterminados.**

toma de decisiones Procesamiento de información que incluye la evaluación de alternativas y la selección de la respuesta adecuada.

toma de decisiones de criterios múltiples Procedimiento cuantitativo de toma de decisiones en presencia de información en conflicto.

toma de tiempos con ciclógrafo Uso de pequeñas luces en las manos u otros miembros del cuerpo para indicar su patrón de movimiento. Una cámara fija registra las luces en una habitación oscura, con un tiempo de exposición igual o mayor que un ciclo de movimiento.

toma de tiempos con regreso a cero Técnica de estudio de tiempos donde después de leer el reloj en el punto de corte de cada elemento, el tiempo se regresa a cero.

trabajo clave Representante de trabajos similares o clases de trabajo en la misma planta o industria.

trabajo por pieza Estándar de desempeño expresado en dinero por unidad de producción.

trabajo por turno Trabajo en tiempos distintos a las horas del día.

transacción complementaria Transacción enviada y recibida al mismo nivel de estados del ego.

transacción cruzada Transacción entre estados del ego que no son paralelos.

transacción ulterior Transacciones con significado oculto.

transacciones Interacciones de los estados del ego en el análisis transaccional de Berne.

trueque velocidad-exactitud Situación de relación inversa entre velocidad y exactitud, es decir, cuando aumenta la exactitud, el tiempo de respuesta es más lento.

U

unidad motriz Unidad funcional de los músculos que comprende una fibra nerviosa y todas las fibras musculares que enerva.

usar Movimiento básico que ocurre cuando alguna mano tiene el control de un objeto durante una parte del ciclo en la que se realiza el trabajo productivo.

V

valor del dinero en el tiempo Concepto económico, indica que un dólar actual vale más de un dólar en el futuro.

valor fuera de control Vea *tiempo anormal.*

variable aleatoria Número al azar que es el resultado de una prueba entre el conjunto de números x_1, x_2, etcétera.

variancia Diferencia entre los costos reales y los presupuestados o estándar.

variancia de x Medida de la dispersión esperada de los valores de x alrededor de su media.

vasoconstricción Oclusión de los vasos periféricos de sangre debida a condiciones de frío.

vasodilatación Aumento en el flujo periférico de sangre debido a condiciones de calor.

ventana Área de la pantalla, en una interfaz gráfica de usuario, que se comporta como si fuera una parte independiente de la pantalla.

verificación de tiempos Procedimiento para verificar errores en un estudio de tiempos tomando en cuenta todos los tiempos registrados durante el estudio.

vértebras Huesos que forman el soporte estructural de la espalda.

vértebras torácicas Los doce huesos vertebrales de la espalda alta.

vigilancia *Vea* **atención sostenida**

visibilidad Habilidad para ver los detalles finos.

Fórmulas útiles

1) *Cuadrática*

$$Ax^2 + Bx + C = 0$$

$$x = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

2) *Logarítmica*

$$\log ab = \log a + \log b$$

$$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b$$

$$\log a^n = n \log a$$

$$\log \sqrt[n]{a} = \frac{1}{n} \log a$$

$$\log 1 = 0$$

$$\log_2 x = 1.4227 \ln x$$

3) *Binomial*

$$(a + b)^n = a^n + na^{n-1}b + \frac{n(n-1)}{2!}a^{n-2}b^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}a^{n-3}b^3 + \cdots$$

4) *Círculo*

$$\text{Circunferencia} = 2\pi r$$

$$\text{Área} = \pi r^2$$

5) *Prisma*

$$\text{Volumen} = Ba$$

6) *Pirámide*

$$\text{Volumen} = \tfrac{1}{3} Ba$$

7) *Cilindro circular derecho*

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= \pi r^2 a \\ \text{Superficie lateral} &= 2\pi ra \\ \text{Superficie total} &= 2\pi r(r + a) \end{aligned}$$

8) *Cono circular derecho*

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= \tfrac{1}{3}\pi r^2 a \\ \text{Superficie lateral} &= \pi rs \\ \text{Superficie total} &= \pi r(r + s) \end{aligned}$$

9) *Esfera*

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= \tfrac{4}{3}\pi r^3 \\ \text{Superficie} &= 4\pi r^2 \end{aligned}$$

10) *Tronco de cono circular derecho*

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= \tfrac{1}{3}\pi a(R^2 + r^2 + Rr) \\ \text{Superficie lateral} &= \pi s(R + r) \end{aligned}$$

11) Unidades de ángulos

$$1 \text{ grado} = \frac{\pi}{180} = 0.0174 \text{ radianes}$$

$$1 \text{ radián} = 57.29 \text{ grados}$$

12) *Funciones trigonométricas*

a. Triángulos rectángulos:

- El seno del ángulo A es el cociente del lado opuesto dividido entre la hipotenusa: $\text{sen } A = \dfrac{a}{c}$.
- La tangente del ángulo A es el cociente del lado opuesto entre el lado adyacente: $\tan A = \dfrac{a}{b}$.
- La secante de un ángulo es el cociente de la hipotenusa dividida entre el lado adyacente: $\sec A = \dfrac{c}{b}$.
- El coseno, la cotangente y la cosecante de ángulo son, respectivamente, el seno, la tangente y la secante del complemento de ese ángulo.

b. Ley de los senos:

$$\frac{a}{\operatorname{sen} A} = \frac{b}{\operatorname{sen} B} = \frac{c}{\operatorname{sen} C}$$

c. Ley de los cosenos:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc\cos A$$

13) *Ecuaciones de líneas rectas*

a. Forma de pendiente-ordenada

$$y = a + bx$$

b. Forma de la ordenada

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1$$



Tablas especiales

Tabla A3–1 Senos y tangentes naturales

Ángulo	Sen	Tan	Cot	Cos	
0	0.0000	0.0000	∞	1.0000	90
1	0.0175	0.0175	57.2900	0.9998	89
2	0.0349	0.0349	28.6363	0.9994	88
3	0.0523	0.0524	19.0811	0.9986	87
4	0.0698	0.0699	14.3007	0.9976	86
5	0.0872	0.0875	11.4301	0.9962	85
6	0.1045	0.1051	9.5144	0.9945	84
7	0.1219	0.1228	8.1443	0.9925	83
8	0.1392	0.1405	7.1154	0.9903	82
9	0.1564	0.1584	6.3138	0.9877	81
10	0.1736	0.1763	5.6713	0.9848	80
11	0.1908	0.1944	5.1446	0.9816	79
12	0.2079	0.2126	4.7046	0.9781	78
13	0.2250	0.2309	4.3315	0.9744	77
14	0.2419	0.2493	4.0108	0.9703	76
15	0.2588	0.2679	3.7321	0.9659	75
16	0.2756	0.2867	3.4874	0.9613	74
17	0.2924	0.3057	3.2709	0.9563	73
18	0.3090	0.3249	3.0777	0.9511	72
19	0.3256	0.3443	2.9042	0.9455	71
20	0.3420	0.3640	2.7475	0.9397	70
21	0.3584	0.3839	2.6051	0.9336	69
22	0.3746	0.4040	2.4751	0.9272	68
23	0.3907	0.4245	2.3559	0.9205	67
24	0.4067	0.4452	2.2460	0.9135	66
	Cos	Cot	Tan	Sen	Ángulo

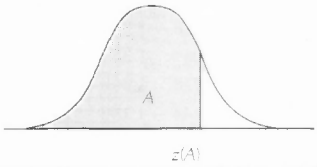
(*continúa*)

Tabla A3–1 *(continuación)*

Ángulo	Sen	Tan	Cot	Cos	
25	0.4226	0.4663	2.1445	0.9063	**65**
26	0.4384	0.4877	2.0503	0.8988	**64**
27	0.4540	0.5095	1.9626	0.8910	**63**
28	0.4695	0.5317	1.8807	0.8829	**62**
29	0.4848	0.5543	1.8040	0.8746	**61**
30	0.5000	0.5774	1.7321	0.8660	**60**
31	0.5150	0.6009	1.6643	0.8572	**59**
32	0.5299	0.6249	1.6003	0.8480	**58**
33	0.5446	0.6494	1.5399	0.8387	**57**
34	0.5592	0.6745	1.4826	0.8290	**56**
35	0.5736	0.7002	1.4281	0.8192	**55**
36	0.5878	0.7265	1.3764	0.8090	**54**
37	0.6018	0.7536	1.3270	0.7986	**53**
38	0.6157	0.7813	1.2799	0.7880	**52**
39	0.6293	0.8098	1.2349	0.7771	**51**
40	0.6428	0.8391	1.1918	0.7660	**50**
41	0.6561	0.8693	1.1504	0.7547	**49**
42	0.6691	0.9004	1.1106	0.7431	**48**
43	0.6820	0.9325	1.0724	0.7314	**47**
44	0.6947	0.9657	1.0355	0.7193	**46**
45	0.7071	1.0000	1.0000	0.7071	**45**
	Cos	**Cot**	**Tan**	**Sen**	**Ángulo**

Tabla A3–2 Probabilidades acumuladas de la distribución normal estándar

El valor es el área A bajo la curva normal estándar desde $-\infty$ hasta $z(A)$.



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

Percentiles seleccionados

Probabilidad acumulada A:	0.90	0.95	0.975	0.98	0.99	0.995	0.999
$z(A)$:	1.282	1.645	1.960	2.054	2.326	2.576	3.090

(*Tomado de:* J. Neter, W. Wasserman y M. H. Kutner, *Applied Linear Statistical Models*, 2a. ed., Homewood, IL: Richard D. Irwin, 1895). (Reproducida con permiso de McGraw-Hill Companies)

Tabla A3–3 Puntos de porcentaje de la distribución *t*

	Probabilidad (*P*)												
n	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.158	0.325	0.510	0.727	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.142	0.289	0.445	0.617	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.137	0.277	0.424	0.584	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	0.134	0.271	0.414	0.569	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.132	0.267	0.408	0.559	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	0.131	0.265	0.404	0.553	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.130	0.263	0.402	0.549	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	0.130	0.262	0.399	0.546	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.129	0.261	0.398	0.543	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.129	0.260	0.397	0.542	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.129	0.260	0.396	0.540	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.128	0.259	0.395	0.539	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.128	0.259	0.394	0.538	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.128	0.258	0.393	0.537	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.128	0.258	0.393	0.536	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.128	0.258	0.392	0.535	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.128	0.257	0.392	0.534	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.127	0.257	0.392	0.534	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.127	0.257	0.391	0.533	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.127	0.257	0.391	0.533	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.127	0.257	0.391	0.532	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	0.127	0.256	0.390	0.532	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.127	0.256	0.390	0.532	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.768
24	0.127	0.256	0.390	0.531	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.127	0.256	0.390	0.531	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	0.127	0.256	0.390	0.531	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.127	0.256	0.389	0.531	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.689
28	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.660
30	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	0.126	0.255	0.388	0.529	0.681	0.351	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	0.126	0.254	0.387	0.527	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	0.126	0.254	0.386	0.526	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	0.126	0.253	0.385	0.524	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Reproducido de la Tabla III de R. A. Fisher y F. Yates, *Statistical Tables for Biological, Agricultural, and Medical Research* (Edinburgh: Oliver & Boyd, Ltd.), con permiso de los autores y editores.

Nota: las probabilidades se refieren a la suma de las dos áreas de cola: para una sola cola, divida la probabilidad entre 2.

Tabla A3–4 Números aleatorios III

22	17	68	65	84	68	95	23	92	35	87	02	22	57	51	61	09	43	95	06	58	24	82	03	47
19	36	27	59	46	13	79	93	37	55	39	77	32	77	09	85	52	05	30	62	47	83	51	62	74
16	77	23	02	77	09	61	87	25	21	28	06	24	25	93	16	71	13	59	78	23	05	47	47	25
78	43	76	71	61	20	44	90	32	64	97	67	63	99	61	46	38	03	93	22	69	81	21	99	21
03	28	28	26	08	73	37	32	04	05	69	30	16	09	05	88	69	58	28	99	35	07	44	75	47
93	22	53	64	39	07	10	63	76	35	87	03	04	79	88	08	13	13	85	51	55	34	57	72	69
78	76	58	54	74	92	38	70	96	92	52	06	79	79	45	82	63	18	27	44	69	66	92	19	09
23	68	35	26	00	99	53	93	61	28	52	70	05	48	34	56	65	05	61	86	90	92	10	70	80
15	39	25	70	99	93	86	52	77	65	15	33	59	05	28	22	87	26	07	47	86	96	98	29	06
58	71	96	30	24	18	46	23	34	27	85	13	99	24	44	49	18	09	79	49	74	16	32	23	02
57	35	27	33	72	24	53	63	94	09	41	10	76	47	91	44	04	95	49	66	39	60	04	59	81
48	50	86	54	48	22	06	34	72	52	82	21	15	65	20	33	29	94	71	11	15	91	29	12	03
61	96	48	95	03	07	16	39	33	66	98	56	10	56	79	77	21	30	27	12	90	49	22	23	62
36	93	89	41	26	29	70	83	63	51	99	74	20	52	36	87	09	41	15	09	98	60	16	03	03
18	87	00	42	31	57	90	12	02	07	23	47	37	17	31	54	08	01	88	63	39	41	88	92	10
88	56	53	27	59	33	35	72	67	47	77	34	55	45	70	08	18	27	38	90	16	95	86	70	75
09	72	95	84	29	49	41	31	06	70	42	38	06	45	18	64	84	73	31	65	52	53	37	97	15
12	96	88	17	31	65	19	69	02	83	60	75	86	90	68	24	64	19	35	51	56	61	87	39	12
85	94	57	24	16	92	09	84	38	76	22	00	27	69	85	29	81	94	78	70	21	94	47	90	12
38	64	43	59	98	98	77	87	68	7	91	51	67	62	44	40	98	05	93	78	23	32	65	41	18
53	44	09	42	72	00	41	86	79	79	68	47	22	00	20	35	55	31	51	51	00	83	63	22	55
40	76	66	26	84	57	99	99	90	37	36	63	32	08	58	37	40	13	68	97	87	64	81	07	83
02	17	79	18	05	12	59	52	57	02	22	07	90	47	3	28	14	11	30	79	20	69	22	40	98
95	17	82	06	53	31	51	10	96	46	92	06	88	07	77	56	11	50	81	69	40	23	72	51	39
35	76	22	42	92	96	11	83	44	80	34	68	35	48	77	33	42	40	90	60	73	96	53	97	86
26	29	13	56	41	85	47	04	66	08	34	72	57	59	13	82	43	80	46	15	38	26	61	70	04
77	80	20	75	82	72	82	32	99	90	63	95	73	76	63	89	73	44	99	05	48	67	26	43	18
46	40	66	44	52	91	36	74	43	53	30	82	13	54	00	78	45	63	98	35	55	03	36	67	68
37	56	08	18	09	77	53	84	46	47	31	91	18	95	58	24	16	74	11	53	44	10	13	85	57
61	65	61	68	66	37	27	47	39	19	84	83	70	07	48	53	21	40	06	71	95	06	79	88	54
93	43	69	64	07	34	18	04	52	35	56	27	09	24	86	61	85	53	83	45	19	90	70	99	00
21	96	60	12	99	11	20	99	45	18	48	13	93	55	34	18	37	79	49	90	65	97	38	20	46
95	20	47	97	97	27	37	83	28	71	00	06	41	41	74	45	89	09	39	84	51	67	11	52	49
97	86	21	78	73	10	65	81	92	59	58	76	17	14	97	04	76	62	16	17	17	95	70	45	80
69	92	06	34	13	59	71	74	17	32	27	55	10	24	19	23	71	82	13	74	63	52	52	01	41
04	31	17	21	56	33	73	99	19	87	26	72	39	27	67	53	77	57	68	93	60	61	97	22	61
61	06	98	03	91	87	14	77	43	96	43	00	65	98	50	45	60	33	01	07	98	99	46	50	47
85	93	85	86	88	72	87	08	62	40	16	06	10	89	20	23	21	34	74	97	76	38	03	29	63
21	74	32	47	45	73	96	07	94	52	09	65	90	77	47	25	76	16	19	33	53	05	70	53	30
15	69	53	82	80	79	96	23	53	10	65	39	07	16	29	45	33	02	43	70	02	87	40	41	45
02	89	08	04	49	20	21	14	68	86	87	63	93	95	17	11	29	01	95	80	35	14	97	35	33
87	18	15	89	79	85	43	01	72	73	08	61	74	51	69	89	74	39	82	15	94	51	33	41	67
98	83	71	94	22	59	97	50	99	52	08	52	85	08	40	87	80	61	65	31	91	51	80	32	44
10	08	58	21	66	72	68	49	29	31	89	85	84	46	06	59	73	19	85	23	65	09	29	75	63
47	90	56	10	08	88	02	84	27	83	42	29	72	23	19	66	56	45	65	79	20	71	53	20	25
22	85	61	68	90	49	64	92	85	44	16	40	12	89	88	50	14	49	81	06	01	82	77	45	12
67	80	43	79	33	12	83	11	41	16	25	58	19	68	70	77	02	54	00	52	53	43	37	15	26
27	62	50	96	72	79	44	61	40	15	14	53	40	65	39	27	31	58	50	28	11	39	03	34	25
33	78	80	87	15	38	30	06	38	21	14	47	47	07	26	54	96	87	53	32	40	36	40	96	76
13	13	92	66	99	47	24	49	57	74	32	25	43	62	17	10	97	11	69	84	99	63	22	32	98

Tabla A3–4 *(continuación)*

10	27	53	96	23	71	50	54	36	23	54	31	04	82	98	04	14	12	15	09	26	78	25	47	47
28	41	50	61	88	64	85	27	20	18	83	36	36	05	56	39	71	65	09	62	94	76	62	11	89
34	21	42	57	02	59	19	18	97	48	80	30	03	30	98	05	24	67	70	07	84	97	50	87	46
61	81	77	23	23	82	82	11	54	08	53	28	70	58	96	44	07	39	55	43	42	34	43	39	28
61	15	18	13	54	16	86	20	26	88	90	74	80	55	09	14	53	90	51	17	52	01	63	01	59
91	76	21	64	64	44	91	13	32	97	75	31	62	66	54	84	80	32	75	77	56	08	25	70	29
00	97	79	08	06	37	30	28	59	85	53	56	68	53	40	01	74	39	59	73	30	19	99	85	48
36	46	18	34	94	75	20	80	27	77	78	91	69	16	00	08	43	18	73	68	67	69	61	34	25
88	98	99	60	50	65	95	79	42	94	93	62	40	89	96	43	56	47	71	66	46	76	29	67	02
04	37	59	87	21	05	02	03	24	17	47	97	81	56	51	92	34	86	01	82	55	51	33	12	91
63	62	06	34	41	94	21	78	55	09	72	76	45	16	94	29	95	81	83	83	79	88	01	97	30
78	47	23	53	90	34	41	92	45	71	09	23	70	70	07	12	38	92	79	43	14	85	11	47	23
87	68	62	15	43	53	14	36	59	25	54	47	33	70	15	59	24	48	40	35	50	03	42	99	36
47	60	92	10	77	88	59	53	11	52	66	25	69	07	04	48	68	64	71	06	61	65	70	22	12
56	88	87	59	41	65	28	04	67	53	95	79	88	37	31	50	41	06	94	76	81	83	17	16	33
02	57	45	86	67	73	43	07	34	48	44	26	87	93	29	77	09	61	67	84	06	69	44	77	75
31	54	14	13	17	48	62	11	90	60	68	12	93	64	28	46	24	79	16	76	14	60	25	51	01
28	50	16	43	36	28	97	05	58	99	67	22	52	76	23	24	70	36	54	54	59	28	61	71	96
63	29	62	66	50	02	63	45	52	38	67	63	47	54	75	83	24	78	43	20	92	63	13	47	48
45	65	58	26	51	76	96	59	38	72	86	57	45	71	46	44	67	76	14	55	44	88	01	62	12
39	65	36	63	70	77	45	85	50	51	74	13	39	35	22	30	53	36	02	95	49	34	88	73	61
73	71	98	16	04	29	18	94	51	23	76	51	94	84	86	79	93	96	38	63	08	58	25	58	94
72	20	56	20	11	72	65	71	08	86	79	57	95	13	91	97	48	72	66	48	09	71	17	24	89
75	17	26	99	76	89	37	20	70	01	77	31	61	95	46	26	97	05	73	51	53	33	18	72	87
37	48	60	82	29	81	30	15	39	14	48	38	75	93	29	06	87	37	78	48	45	56	00	84	47
68	08	02	80	72	83	71	46	30	49	89	17	95	88	29	02	39	56	03	46	97	74	06	56	17
14	23	98	61	67	70	52	85	01	50	01	84	02	78	43	10	62	98	19	41	18	83	99	47	99
49	08	96	21	44	25	27	99	41	28	07	41	08	34	66	19	42	74	39	91	41	96	53	78	72
78	37	06	08	43	63	61	62	42	29	39	68	95	10	96	09	24	23	00	62	56	12	80	73	16
37	21	34	17	68	68	96	83	23	56	32	84	60	15	31	44	73	67	34	77	91	15	79	74	58
14	29	09	34	04	87	83	07	55	07	76	58	30	83	64	87	29	25	58	84	86	50	60	00	25
58	43	28	06	36	49	52	83	51	14	47	56	91	29	34	05	87	31	06	95	12	45	57	09	09
10	43	67	29	70	80	62	80	03	42	10	80	21	38	84	90	56	35	03	09	43	12	74	49	14
44	38	88	39	54	86	97	37	44	22	00	95	01	31	76	17	16	29	56	63	38	78	94	49	81
90	69	59	19	51	85	39	52	85	13	07	28	37	07	61	11	16	36	27	03	78	86	72	04	95
41	47	10	25	62	97	05	31	03	61	20	26	36	31	62	68	69	86	95	44	84	95	48	46	45
91	94	14	63	19	75	89	11	47	11	31	56	34	19	09	79	57	92	36	59	14	93	87	81	40
80	06	54	18	66	09	18	94	06	19	98	40	07	17	81	22	45	44	84	11	24	62	20	42	31
67	72	77	63	48	84	08	31	55	58	24	33	45	77	58	80	45	67	93	82	75	70	16	08	24
59	40	24	13	27	79	26	88	86	30	01	31	60	10	39	53	58	47	70	93	85	81	56	39	38
05	90	35	89	95	01	61	16	96	94	50	78	13	69	36	37	68	53	37	31	71	26	35	03	71
44	43	80	69	98	46	68	05	14	82	90	78	50	05	62	77	79	13	57	44	59	60	10	39	66
61	81	31	96	82	00	57	25	60	59	46	72	60	18	77	55	66	12	62	11	08	99	55	64	57
42	88	07	10	05	24	98	65	63	21	47	21	61	88	32	27	80	30	21	60	10	92	35	36	12
77	94	30	05	39	28	10	99	00	27	12	73	73	99	12	49	99	57	94	82	96	88	57	17	91
78	83	19	76	16	94	11	68	84	26	23	54	20	86	85	23	86	66	99	07	36	37	34	92	09
87	76	59	61	81	43	63	64	61	61	65	76	36	95	90	18	48	27	45	68	27	23	65	30	72
91	43	05	96	47	55	78	99	95	24	37	55	85	78	78	01	48	41	19	10	35	19	54	07	73
84	97	77	72	73	09	62	06	65	72	87	12	49	03	60	41	15	20	76	27	50	47	02	29	16
87	41	60	76	83	44	88	96	07	80	83	05	83	38	96	73	70	66	81	90	30	56	10	48	59

Reproducido con permiso de Números Aleatorios IV de la Tabla XXXIII de R. A. Fisher y F. Yates, *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research* (Edinburgh: Oliver & Boyd, Ltd.).

Tabla A3–5 Información útil

Para encontrar la circunferencia de un círculo, se multiplica el diámetro o por 3.1416.

Para encontrar el diámetro de un círculo, se multiplica la circunferencia por 0.31831.

Para encontrar el área de un círculo, se multiplica el cuadrado del diámetro por 0.7854.

El radio de un círculo × 6.283185 = la circunferencia.

El cuadrado de la circunferencia de un círculo × la mitad de su diámetro = el área.

La mitad de la circunferencia de un círculo × 0.07958 = el área.

La circunferencia de un círculo × 0.159155 = el radio.

La raíz cuadrada del área de un círculo × 0.56419 = el radio.

La raíz cuadrada del área de un círculo × 1.12838 = el diámetro.

Para encontrar el diámetro de un círculo igual en área a un cuadrado dado, se multiplica el lado del cuadrado por 1.12838.

Para encontrar el lado de un cuadrado igual en área a un círculo dado, se multiplica el diámetro por 0.8862.

Para encontrar el lado de un cuadrado inscrito en un círculo, se multiplica el diámetro por 0.7071.

Para encontrar el lado de un hexágono inscrito en círculo, se multiplica el diámetro del círculo por 0.500.

Para encontrar el diámetro de un círculo inscrito en un hexágono, se multiplica el lado del hexágono por 1.7321.

Para encontrar el lado de un triángulo equilátero inscrito en un círculo, se multiplica el diámetro del círculo por 0.886.

Para encontrar el diámetro de un círculo inscrito en un triángulo equilátero, se multiplica el lado del triángulo por 0.57735.

Para encontrar el área de la superficie de una pelota (esfera), se multiplica el cuadrado del diámetro por 3.1416.

Para encontrar el volumen de una pelota (esfera), se multiplica el cubo del diámetro por 0.5236.

Un tubo con el doble del diámetro aumenta su capacidad cuatro veces.

Para encontrar la presión en libras por pulgada cuadrada en la base de una columna de agua, se multiplica la altura de la columna en pies por 0.433.

Un galón de agua (estándar en Estados Unidos) pesa 8.336 libras y contiene 2.31 pulgadas cúbicas. Un pie cúbico de agua contiene 7 ½ galones y 1728 pulgadas cúbicas, y pesa 62.425 libras a una temperatura cercana a 39 °F.

Estos pesos cambian un poco a más o menos temperatura.

Tabla A3–6 Factores de interés compuesto al 15%

n	Pago único		Serie uniforme			
	Factor de cantidad compuesta fca′	Factor de valor presente fvp′	Factor de fondo de amortización ffa	Factor de recuperación de capital frc	Factor de cantidad compuesta fca	Factor de valor presente fvp
	Dado P encontrar S	Dado S encontrar P	Dado S encontrar R	Dado P encontrar R	Dado R encontrar S	Dado R encontrar P
	$(1+i)^n$	$\frac{1}{(1+i)^n}$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	$\frac{(1+i)^n-1}{i}$	$\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$
1	1.150	0.8696	1.00000	1.15000	1.000	0.870
2	1.323	0.7561	0.46512	0.61512	2.150	1.626
3	1.521	0.6575	0.28798	0.43798	3.473	2.283
4	1.749	0.5718	0.20027	0.35027	4.993	2.855
5	2.011	0.4972	0.14832	0.29832	6.742	3.352
6	2.313	0.4323	0.11424	0.26424	8.754	3.784
7	2.660	0.3759	0.09036	0.24036	11.067	4.160
8	3.059	0.3269	0.07285	0.22285	13.727	4.487
9	3.518	0.2843	0.05957	0.20957	16.786	4.772
10	4.046	0.2472	0.04925	0.19925	20.304	5.019
11	4.652	0.2149	0.04107	0.19107	24.349	5.234
12	5.350	0.1869	0.03448	0.18448	29.002	5.421
13	6.153	0.1625	0.02911	0.17911	34.352	5.583
14	7.076	0.1413	0.02469	0.17469	40.505	5.724
15	8.137	0.1229	0.02102	0.17102	47.580	5.847
16	9.358	0.1069	0.01795	0.16795	55.717	5.954
17	10.761	0.0929	0.01537	0.16537	65.075	6.047
18	12.375	0.0808	0.01319	0.16319	75.836	6.128
19	14.232	0.0703	0.01134	0.16134	88.212	6.198
20	16.367	0.0611	0.00976	0.15976	102.444	6.259
21	18.822	0.0531	0.00842	0.15842	118.810	6.312
22	21.645	0.0462	0.00727	0.15727	137.632	6.359
23	24.891	0.0402	0.00628	0.15628	159.276	6.399
24	28.625	0.0349	0.00543	0.15543	184.168	6.434
25	32.919	0.0304	0.00470	0.15470	212.793	6.464
26	37.857	0.0264	0.00407	0.15407	245.712	6.491
27	43.535	0.0230	0.00353	0.15353	283.569	6.514
28	50.066	0.0200	0.00306	0.15306	327.104	6.534
29	57.575	0.0174	0.00265	0.15265	377.170	6.551
30	66.212	0.0151	0.00230	0.15230	434.745	6.566
31	76.144	0.0131	0.00200	0.15200	500.957	6.579
32	87.565	0.0114	0.00173	0.15173	577.100	6.591
33	100.700	0.0099	0.00150	0.15150	664.666	6.600
34	115.805	0.0086	0.00131	0.15131	765.365	6.609
35	133.176	0.0075	0.00113	0.15113	881.170	6.617
40	267.864	0.0037	0.00056	0.15056	1779.090	6.642
45	538.769	0.0019	0.00028	0.15028	3585.128	6.654
50	1083.657	0.0009	0.00014	0.15014	7217.716	6.661
∞				0.15000		6.667

Tabla A3–7 Tabla de producción por hora

Muestra 60 a 80% de eficiencia																			
Seg. por pieza	Prod. total por Hr	60%	65%	70%	75%	80%	Seg. por pieza	Prod. total por Hr	60%	65%	70%	75%	80%	Seg. por pieza	Prod. total por Hr	60%	65%	70%	75%	80%
½	7200	4320	4680	5040	5400	5760	12 ½	288	173	187	202	216	230	50	72	43	47	50	54	58
⅝	5760	3456	3744	4032	4320	4608	13	276	166	179	193	207	221	52	69	41	45	48	52	55
¾	4800	2880	3120	3360	3600	3840	13 ½	267	160	174	187	200	214	54	67	40	44	47	50	54
⅞	4114	2468	2674	2880	3086	3291	14	257	154	167	180	193	206	56	64	38	42	45	48	51
1	3600	2160	2340	2520	2700	2880	14 ½	248	149	161	174	186	198	58	62	37	40	43	47	50
1 ¼	2880	1728	1872	2016	2160	2304	15	240	144	156	168	180	192	60	60	36	39	42	45	48
1 ½	2400	1440	1560	1680	1800	1920	15 ½	232	139	151	162	174	186	62	58	35	38	41	44	46
1 ¾	2057	1234	1337	1440	1543	1646	16	225	135	146	158	169	180	64	56	34	36	39	42	45
2	1800	1080	1170	1260	1350	1440	16 ½	218	131	142	153	164	174	66	54	32	35	38	41	43
2 ¼	1600	960	1040	1120	1200	1280	17	212	127	138	148	159	170	68	53	32	34	37	40	42
2 ½	1440	864	936	1008	1080	1152	17 ½	206	124	134	144	155	165	70	51	31	33	36	38	41
2 ¾	1309	785	851	916	982	1047	18	200	120	130	140	150	160	72	50	30	33	35	38	40
3	1200	720	780	840	900	960	18 ½	195	117	127	137	146	156	74	49	29	32	34	37	39
3 ¼	1107	664	720	775	830	886	19	189	113	123	132	142	151	76	47	28	31	33	35	38
3 ½	1028	617	668	720	771	822	19 ½	185	111	120	130	139	148	78	46	28	30	32	35	37
3 ¾	960	576	624	672	720	768	20	180	108	117	126	135	144	80	45	27	29	32	34	36
4	900	540	585	630	675	720	21	171	103	111	120	128	137	82	44	26	29	31	33	35
4 ¼	847	508	551	593	635	678	22	164	98	107	115	123	131	84	43	26	28	30	32	34
4 ½	800	480	520	560	600	640	23	156	94	101	109	117	125	86	42	25	27	29	32	34
4 ¾	757	454	492	530	568	606	24	150	90	98	105	113	120	88	41	25	27	29	31	33

Tabla A3–7 (*continuación*)

Muestra 60% a 80% de eficiencia																			
Seg. por pieza	Prod. total por Hr	60%	65%	70%	75%	80%	Seg. por pieza	Prod. total por Hr	60%	65%	70%	75%	80%	Seg. por pieza	Prod. total por Hr	60%	65%	70%	75%	80%
5	720	432	468	504	540	576	25	144	86	94	101	108	115	90	40	24	26	28	30	32
5 ¼	686	412	446	480	515	549	26	138	83	90	97	104	110	92	39	23	25	27	29	31
5 ½	654	392	425	458	491	523	27	133	80	86	93	100	106	94	38	23	25	27	29	30
5 ¾	626	376	407	438	470	501	28	128	77	83	90	96	102	96	37	22	24	26	28	30
6	600	360	390	420	450	480	29	124	74	81	87	93	99	98	37	22	24	26	28	30
6 ¼	576	346	374	403	432	461	30	120	72	78	84	90	96	100	36	22	23	25	27	29
6 ½	553	332	359	387	415	442	31	116	70	75	81	87	93	105	34	20	22	24	26	27
6 ¾	533	320	346	373	400	426	32	112	67	73	78	84	90	110	33	20	21	23	25	26
7	514	308	334	360	386	411	33	109	65	71	76	82	87	115	31	19	20	22	23	25
7 ¼	497	298	323	348	373	398	34	106	64	69	74	80	85	120	30	18	20	21	23	24
7 ½	480	288	312	336	360	384	35	103	64	67	72	77	82	125	29	17	19	20	22	23
7 ¾	465	279	302	326	349	372	36	100	60	65	70	75	80	130	28	17	18	20	21	22
8	450	270	293	315	338	360	37	97	58	63	68	73	78	135	27	16	18	19	20	22
8 ¼	436	262	283	305	327	349	38	95	57	62	67	71	76	140	26	16	17	18	20	21
8 ½	423	254	275	296	317	338	39	92	55	60	64	69	74	145	25	15	16	18	19	20
8 ¾	411	247	267	288	308	329	40	90	54	59	63	68	72	150	24	14	16	17	18	19
9	400	240	260	280	300	320	41	88	53	57	62	66	70	155	23	14	15	16	17	18
9 ¼	389	233	253	272	292	311	42	86	52	56	60	65	69	160	22	13	14	15	17	18
9 ½	379	227	246	265	284	303	43	84	50	55	59	63	67	165	22	13	14	15	17	18
9 ¾	369	221	240	258	277	295	44	82	49	53	57	62	66	170	21	12	14	15	16	17
10	360	216	234	252	270	288	45	80	48	52	56	60	64	175	21	12	14	15	16	17
10 ½	342	205	222	239	257	274	46	78	47	51	55	59	62	180	20	12	13	14	15	16
11	327	196	213	229	245	262	47	77	46	50	54	58	62	185	20	12	13	14	15	16
11 ½	313	188	203	219	235	250	48	75	45	49	53	56	60	190	19	11	12	13	14	15
12	300	180	195	210	225	240	49	73	44	47	51	55	58	195	18	11	12	13	14	14

Fuente: National Twist Drill & Tool Co.

Tabla A3–8 Cálculos de velocidad y alimentación para fresadoras y otras herramientas rotatorias

Pie por min	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Diám. Int.	Revoluciones por minuto												
1/16	1833	2445	3056	3667	4278	4889	....	....	....	....	....	....	....
1/8	917	1222	1528	1833	2139	2445	2750	3056	3361	3667	3973	4278	4584
3/16	611	815	1019	1222	1426	1630	1833	2037	2241	2445	2648	2852	3056
1/4	458	611	764	917	1070	1222	1375	1528	1681	1833	1986	2139	2292
5/16	367	489	611	733	856	978	1100	1222	1345	1467	1589	1711	1833
3/8	306	407	509	611	713	815	917	1019	1120	1222	1324	1426	1528
7/16	262	349	437	524	611	698	786	873	960	1048	1135	1222	1310
1/2	229	306	382	458	535	611	688	764	840	917	993	1070	1146
5/8	183	244	306	367	428	489	550	611	672	733	794	856	917
3/4	153	204	255	306	357	407	458	509	560	611	662	713	764
7/8	131	175	218	262	306	349	393	437	480	524	568	611	655
1	115	153	191	229	267	306	344	382	420	458	497	535	573
1 1/8	102	136	170	204	238	272	306	340	373	407	441	475	509
1 1/4	91.7	122	153	183	214	244	275	306	336	367	397	428	458
1 3/8	83.3	111	139	167	194	222	250	278	306	333	361	389	417
1 1/2	76.4	102	127	153	178	204	229	255	280	306	331	357	382
1 5/8	70.5	94.0	118	141	165	188	212	235	259	282	306	329	353
1 3/4	65.5	87.3	109	131	153	175	196	218	240	262	284	306	327
1 7/8	61.1	81.5	102	122	143	163	183	204	224	244	265	285	306
2	57.3	76.4	95.5	115	134	153	172	191	210	229	248	267	287
2 1/4	50.9	67.9	84.9	102	119	136	153	170	187	204	221	238	255
2 1/2	45.8	61.1	76.4	91.7	107	122	138	153	168	183	199	214	229
2 3/4	41.7	55.6	69.5	83.3	97.2	111	125	139	153	167	181	194	208
3	38.2	50.9	63.7	76.4	89.1	102	115	127	140	153	166	178	191
3 1/4	35.3	47.0	58.8	70.5	82.3	94.0	106	118	129	141	153	165	176
3 1/2	32.7	43.7	54.6	65.5	76.4	87.3	98.2	109	120	131	142	153	164
3 3/4	30.6	40.7	50.9	61.1	71.3	81.5	91.7	102	112	122	132	143	153
4	28.7	38.2	47.7	57.3	66.8	76.4	85.9	95.5	105	115	124	134	143
4 1/2	25.5	34.0	42.4	50.9	59.4	67.9	76.4	84.9	93.4	102	110	119	127
5	22.9	30.6	38.2	45.8	53.5	61.1	68.8	76.4	84.0	91.7	99.3	107	115
5 1/2	20.8	27.8	34.7	41.7	48.6	55.6	62.5	69.5	76.4	83.3	90.3	97.2	104
6	19.1	25.5	31.8	38.2	44.6	50.9	57.3	63.7	70.0	76.4	82.8	89.1	95.5
6 1/2	17.6	23.5	29.4	35.3	41.1	47.0	52.9	58.8	64.6	70.5	76.4	82.3	88.2
7	16.4	21.8	27.3	32.7	38.2	43.7	49.1	54.6	60.0	65.5	70.9	76.4	81.9
7 1/2	15.3	20.4	25.5	30.6	35.7	40.7	45.8	50.9	56.0	61.1	66.2	71.3	76.4
8	14.3	19.1	23.9	28.7	33.4	38.2	43.0	47.7	52.5	57.3	62.1	66.8	71.6
8 1/2	13.5	18.0	22.5	27.0	31.5	36.0	40.4	44.9	49.4	53.9	58.4	62.9	67.4
9	12.7	17.0	21.2	25.5	29.7	34.0	38.2	42.4	46.7	50.9	55.2	59.4	63.6
9 1/2	12.1	16.1	20.1	24.1	28.2	32.2	36.2	40.2	44.2	48.3	52.3	56.3	60.3
10	11.5	15.3	19.1	22.9	26.7	30.6	34.4	38.2	42.0	45.8	49.7	53.5	57.3
11	10.4	13.9	17.4	20.8	24.3	27.8	31.3	34.7	38.2	41.7	45.1	48.6	52.1
12	9.5	12.7	15.9	19.1	22.3	25.5	28.6	31.8	35.0	38.2	41.4	44.6	47.8

Fuente: National Twist Drill & Tool Co.

Tabla A3–9 Tabla de velocidades de corte para tamaños fraccionales

Para encontrar	Cuando se tiene	Fórmula
Superficie (o periferia) Velocidad en pies por minuto = VPM	Diámetro de herram. en pulg = D y revoluciones por min = RPM	$VPM = \frac{D \times 3.1416 \times RPM}{12}$
Revoluciones por minuto = RPM	Velocidad de superficie en pies por minuto = VPM y Diámetro de herramienta en pulgadas = D	$RPM = \frac{VPM \times 12}{D \times 3.1416}$
Alimentación por revolución en pulgadas = AR	Alimentación en pulgadas por minuto = AM y Revoluciones por minuto = RPM	$AR = \frac{AM}{RPM}$
Alimentación en pulgadas por minuto = AM	Alimentación por revolución en pulgadas = AR y Revoluciones por minuto = RPM	$AM = AR \times RPM$
Número de dientes de corte por minuto = DM	Número de dientes en herramienta = D y Revoluciones por minuto = RPM	$DM = D \times RPM$
Alimentación por diente = AD	Número de dientes en herramienta = D y Alimentación por revolución en pulgadas = AR	$AD = \frac{AR}{D}$
Alimentación por diente = AD	Número de dientes en herramienta = D Alimentación en pulgadas por minuto = AM y Velocidad en revoluciones por minuto = RPM	$AD = \frac{AM}{D \times RPM}$

Fuente: National Twist & Drill Co.

Tabla A3–10 Pesos comparativos de barras de acero y latón

ACERO — Los valores se refieren a acero trabajado en caliente con 0.50% de carbono. Una pulgada cúbica pesa 0.2833 lb. El acero de alta velocidad es 10% más pesado.
LATÓN — Una pulgada cúbica pesa 0.3074 lb.
El peso real de los materiales puede diferir algo de estas cifras debido a variaciones en los procesos de manufactura.

Tamaño (pulg)	Peso en (libras)* de una barra de 1 pie (30 cm) de largo					
	Acero			Latón		
	○	□	⬡	○	□	⬡
1/16	.0104	.013	.0115	.0113	.0144	.0125
1/8	.042	.05	.046	.045	.058	.050
3/16	.09	.12	.10	.102	.130	.112
1/4	.17	.21	.19	.18	.23	.20
5/16	.26	.33	.29	.28	.36	.31
3/8	.38	.48	.42	.41	.52	.45
7/16	.51	.65	.56	.55	.71	.61
1/2	.67	.85	.74	.72	.92	.80
9/16	.85	1.08	.94	.92	1.17	1.01
5/8	1.04	1.33	1.15	1.13	1.44	1.25
11/16	1.27	1.61	1.40	1.37	1.74	1.51
3/4	1.50	1.92	1.66	1.63	2.07	1.80
13/16	1.76	2.24	1.94	1.91	2.43	2.11
7/8	2.04	2.60	2.25	2.22	2.82	2.45
15/16	2.35	2.99	2.59	2.55	3.24	2.81
1	2.67	3.40	2.94	2.90	3.69	3.19
1 1/16	3.01	3.84	3.32	3.27	4.16	3.61
1 1/8	3.38	4.30	3.73	3.67	4.67	4.04
1 3/16	3.77	4.80	4.16	4.08	5.20	4.51
1 1/4	4.17	5.31	4.60	4.53	5.76	4.99
1 5/16	4.60	5.86	5.07	4.99	6.35	5.50
1 3/8	5.04	6.43	5.56	5.48	6.97	6.04
1 7/16	5.52	7.03	6.08	5.99	7.62	6.60
1 1/2	6.01	7.65	6.63	6.52	8.30	7.19
1 9/16	6.52	8.30	7.19	7.07	9.01	7.80
1 5/8	7.05	8.98	7.77	7.65	9.74	8.44
1 11/16	7.60	9.68	8.38	8.25	10.51	9.10
1 3/4	8.18	10.41	9.02	8.87	11.30	9.78
1 13/16	8.77	11.17	9.67	9.52	12.12	10.49
1 7/8	9.39	11.95	10.35	10.19	12.97	11.24
1 15/16	10.02	12.76	11.05	10.88	13.85	12.00
2	10.68	13.60	11.78	11.59	14.76	12.78
2 1/16	11.36	14.46	12.53	12.33	15.69	13.60
2 1/8	12.06	15.35	13.30	13.08	16.66	14.42
2 3/16	12.78	16.27	14.09	13.87	17.65	15.29
2 1/4	13.52	17.22	14.91	14.67	18.68	16.17
2 5/16	14.28	18.19	15.75	15.50	19.73	17.09

Fuente: Brown & Sharpe Manufacturing Co.
1 lb = 0.4536 kg.

Tabla A3–11 Especificaciones estándar de S.A.E. para aceros

Sistema SAE de designación numérica para aceros

Se usa un sistema de índices numéricos para identificar las composiciones de aceros SAE, lo cual hace posible utilizar números parcialmente descriptivos de los materiales designados. El primer dígito indica el tipo al cual pertenece el acero. El segundo, en el caso de aleaciones simples, por lo común indica el porcentaje aproximado del elemento de aleación predominante, y los dos o tres últimos dígitos indican el contenido medio de carbono en puntos, o centésimos de 1%. Así, 2340 indica un acero al níquel con alrededor de 3% de níquel (3.25 a 3.75) y 0.40% de carbono (0.35 a 0.45).

En algunos casos es necesario emplear el segundo y tercer dígito del número para identificar la composición de aleación aproximada de un acero. Un ejemplo de tal variante es la selección de números para aceros de alta velocidad y aleaciones resistentes a la corrosión y el calor. Por lo tanto, el número 71360 indica un acero al tungsteno con alrededor de 13% de tungsteno (12 a 15) y 0.60% de carbono (0.50 a 0.70).

Los números básicos correspondientes a los diversos tipos de aceros SAE se enumeran a continuación:

Tipo de acero	Números (y dígitos)
Aceros al carbono	1xxx
simples	10xx
de corte libre para tornillos	11xx
de corte libre al manganeso	X 13xx
Aceros de alto manganeso	T 13xx
Aceros al níquel	2xxx
0.50% Ni	20xx
1.50% Ni	21xx
3.50% Ni	23xx
5.00% Ni	25xx
Aceros al níquel-cromo	3xxx
1.25% Ni, 0.60% Cr	31xx
1.75% Ni, 1.00% Cr	32xx
3.50% Ni, 1.50% Cr	33xx
3.00% Ni, 0.80% Cr	34xx
resistentes a la corrosión y al calor	30xxx
Aceros al molibdeno	4xxx
cromo	41xx
cromo - níquel	43xx
níquel	46xx y 48xx
Aceros al cromo	5xxx
bajo contenido de cromo	51xx
mediano contenido de cromo	52xxx
resistentes a la corrosión y al calor	51xxx
Aceros al cromo - vanadio	6xxx
Aceros al tungsteno	7xxx y 7xxxx
Aceros al silicio - manganeso	9xxx

Fuente: Brown & Sharpe Manufacturing Co.

Tabla A3–12 Requerimientos de potencia

En tornos

Al trabajar metal en un torno se ejerce una fuerza hacia abajo sobre la herramienta de corte. Esa fuerza, llamada presión de viruta, depende del material, la forma y el filo de la herramienta, y del tamaño y forma de la viruta.

En el caso de condiciones promedio, una fórmula sencilla para esmar la fuerza de corte con la exactitud suficiente es:

$$P = CA$$

donde A = área transversal de la viruta en pulgadas cuadradas, que es la profundidad de corte multiplicada por el avance del del trabajo por revolución,
C = constante que depende del material cortado, y
P = presión de la viruta sobre la herramienta en libras.

Valores de la constante C

Material	Constante C
Acero baja aleación	270 000
Acero alta aleación	350 000
Acero alto carbono	340 000
Acero medio carbono	300 000
Acero dulce	270 000
Hierro fundido, suave	132 000
Hierro forjado	198 000
Hierro maleable	170 000
Latón y bronce	110 000

La potencia en caballos (hp) se calcula con la siguiente fórmula:

$$HP = \frac{P \times S}{33\,000}$$

donde HP = potencia necesaria para hacer girar la pieza contra la presión de corte de la herramienta.
P = presión sobre la herramienta en libras
S = velocidad de corte en pies por minuto, igual a $\frac{3.14 \times D \times N}{12}$, donde D es el diámetro del trabajo y N es el número de revoluciones por minuto.

Ejemplo 1. Determine la potencia necesaria para hacer un corte de ¼ pulg de profundidad, con alimentación de 1/64 pulg por revolución, en una barra de acero SAE 4140 de 4 pulg de diámetro dando 200 vueltas por minuto.

Solución: usando $C = 325\,000$

$$P = 325\,000 \times \tfrac{1}{4} \times \tfrac{1}{64} = 1220 \text{ libras}$$

$$HP = \frac{1220 \times \frac{3.14 \times 4}{12} \times 200}{33\,000} = 7.8$$

Universidad de Occidente · Unidad Los Mochis

Tabla A3–12 (continuación)

Esto debe multiplicarse por 1.25 para permitir la eficiencia de la máquina, así:

$$HP = 7.8 \times 1.25 = 9.7 \text{ o } 10.$$

Cuando se conoce la fuerza de tensión del material, se puede usar la siguiente fórmula para calcular la potencia necesaria para cortar el material:

$$HP = \frac{3.25\ ATS}{33\,000}$$

donde A = área de sección transversal de la pieza en pulgadas cuadradas, que es igual al producto de la profundidad de corte y la alimentación por revolución
HP = potencia necesaria para cortar el metal
S = velocidad de corte en pies-minuto
T = la resistencia última del material cortado.

Ejemplo 2. Suponga que un acero SAE 4140 con tratamiento térmico da una resistencia a la tensión de 100 000 libras por pulgada cuadrada. La potencia necesaria para cortarla, cuando el resto de las condiciones se conservan como en el ejemplo 1, es:

$$HP = \frac{3.25 \times 100\,000 \times \frac{3.14 \times 4}{12} \times 200}{33\,000} = 7.8 \text{ como antes.}$$

Si se multiplica por 1.25 se obtienen los mismos 10 hp.

En fresadoras

Los valores aproximados que se aceptan en general para la herramienta de corte son 1 hp por 3/4 de pulgada cúbica de material cortado por minuto, se puede usar 1 pulgada cúbica para estimaciones rápidas. La potencia necesaria es:

$$HP = KdfNnw$$

donde d = profundidad del corte en pulg;
f = avance por diente en pulg;
HP = potencia necesaria para el corte;
K = constante que depende del material;
n = número de dientes de la fresa;
N = número de revoluciones por minuto de la fresa;
w = ancho del corte en pulgadas;

Para estimar la potencia, los valores aproximados de la constante K son:

MATERIAL	CONSTANTE K
Bakelita	0.2
Latón	0.4
Hierro fundido suave	0.5
Hierro fundido semiduro	0.7
Hierro fundido duro	1.0

Tabla A3–12 (continuación)

Acero:	120 Brinell	1.2
	150 Brinell	1.4
	175 Brinell	1.5
	250 Brinell	1.7
	300 Brinell	1.9
	400 Brinell	2.0
	500 Brinell	2.3
	600 Brinell	2.5

Debe observarse que para un material dado y valores fijos de ancho de corte y número de dientes, la potencia variará con la profundidad del corte, el avance por diente y las revoluciones por minuto.

Ejemplo 3: Considere una ancho de corte de 2 pulg, una profundidad de ⅛ pulg y un avance de 0.004 pulg por diente, ¿qué potencia se requerirá para fresar un acero de 250 Brinell con una herramienta de 3 pulg y 6 dientes, que gira a 600 rpm?

Solución: K = 1.7, de la tabla; d = ⅛" = 0.125 pulg; f = 0.004 pulg; n = 6; N = 600 rpm, y w = 2 pulg;

Al sustituir estos valores en la fórmula, se obtiene:

$$HP = 1.7 \times 0.125 \times 0.004 \times 6 \times 600 \times 2 = 6.14$$

Si la máquina está impulsada por un motor de 5 hp se podrían reducir las revoluciones por minuto para ajustarse a la capacidad de la máquina, usando la fórmula: $N = \dfrac{HP}{Kdfnw}$ donde los símbolos tienen el mismo significado que antes.

Al sustituir los valores conocidos en esta fórmula, se tiene:

$$N = \frac{5}{1.7 \times 0.125 \times 0.004 \times 6 \times 2} = 490 \text{ (aprox.)}$$

No debe permitirse que la velocidad de la máquina se reduzca más de 50% de los valores recomendados, pues afectaría el desempeño de la cortadora. Si se emplean 490 rpm con una fresa de 3 pulg se tendría una velocidad de corte:

$$S = \frac{3.14 \times 3 \times 490}{12} = 385 \text{ pies-minuto (aprox.)}$$

Fuente: Vascoloy-Ramet Corp.

Tabla A3–13 Tablas de interferencia de máquinas (i) y tiempo de operación de máquinas (m) para constantes de servicio seleccionadas (k = 1/m)
(Valores expresados como porcentaje del tiempo total, donde m + 1 + i = 100%)

	(a)		(b)			(a)		(b)			(a)		(b)			(a)		(b)	
n	*i*	*m*	*i*	*m*	*n*	*i*	*m*	*i*	*m*	*n*	*i*	*m*	*i*	*m*	*n*	*i*	*m*	*i*	*m*
k=0.01					***k* = 0.01 (cont.)**					***k* = 0.02 (cont.)**					***k* = 0.03 (cont.)**				
1	0.0	99.0	0.0	99.0	139			27.3	71.9	67			24.2	74.4	47			27.3	70.6
10	0.1	99.0	0.1	98.9	140			27.9	71.4	68			25.2	73.3	48			28.7	69.2
20	0.1	98.9	0.2	98.8	141			28.4	70.9	69			26.2	72.3	***k* = 0.04**				
30	0.2	98.8	0.4	98.6	142			28.9	70.4	70			27.2	71.3	1	0.0	96.2	0.0	96.2
40			0.6	98.4	143			29.4	69.9	71			28.2	70.4	2	0.1	96.1	0.2	96.0
50			0.9	98.1	144			29.9	69.4	72			29.2	69.4	3	0.2	96	0.3	95.9
60			1.3	97.8	***k* = 0.02**					***k* = 0.03**					4	0.2	95.9	0.5	95.7
70			1.8	97.2	1	0.0	98.0	0.0	98.0	1	0.0	97.1	0.0	97.1	5	0.3	95.8	0.7	95.5
80			2.7	96.3	5	0.1	98.0	0.2	97.9	5	0.2	96.9	0.4	96.7	6	0.5	95.7	0.9	95.3
85			3.4	95.7	10	0.2	97.8	0.4	97.6	10	0.5	96.6	1.0	96.2	7	0.6	95.6	1.1	95.1
90			4.2	94.9	15	0.4	97.7	0.7	97.4	15	1.0	96.2	1.8	95.4	8	0.7	95.5	1.3	94.9
95			5.2	93.8	20	0.6	97.5	1.1	97.0	20	1.6	95.5	3.0	94.2	9	0.8	95.4	1.5	94.7
100			6.7	92.4	25	0.8	97.2	1.6	96.5	25	2.8	94.4	4.7	92.5	10	1.0	95.2	1.8	94.4
105			8.5	90.6	30	1.2	96.9	2.2	95.9	26	3.1	94.1	5.2	92.1	11	1.1	95.1	2.1	94.1
110			10.7	88.4	35			3.1	95.0	27	3.4	93.7	5.7	91.6	12	1.3	94.9	2.4	93.8
115			13.4	85.8	40			4.3	93.8	28	3.8	93.4	6.2	91.1	13	1.5	94.7	2.8	93.5
120			16.3	82.9	45			6.1	92.0	29	4.3	92.9	6.8	90.5	14	1.8	94.5	3.2	93.1
121			16.9	82.3	50			8.7	89.5	30	4.8	92.4	7.4	89.9	15	2.0	94.2	3.6	92.7
122			17.5	81.7	51			9.3	88.9	31			8.1	89.2	16	2.3	94.0	4.0	92.3
123			18.1	81.1	52			10.0	88.3	32			8.9	88.5	17	2.6	93.6	4.5	91.8
124			18.8	80.4	53			10.7	87.6	33			9.7	87.7	18	3.0	93.3	5.1	91.3
125			19.4	79.8	54			11.5	86.8	34			10.6	86.8	19	3.4	92.9	5.7	90.7
126			20.0	79.2	55			12.3	86.0	35			11.6	85.9	20	3.9	92.4	6.4	90.0
127			20.6	78.6	56			13.1	85.2	36			12.6	84.9	21	4.5	91.8	7.1	89.3
128			21.2	78.1	57			14.0	84.3	37			13.7	83.8	22	5.2	91.2	8.0	88.5
129			21.8	77.5	58			14.9	83.4	38			14.9	86.8	23	6.0	90.4	8.9	87.6
130			22.4	76.9	59			15.9	82.5	39			16.1	81.4	24	6.8	89.6	9.9	86.7
131			22.9	76.3	60			16.8	81.5	40			17.4	80.2	25	7.9	88.6	11.0	85.6
132			23.5	75.7	61			17.9	80.5	41			18.8	78.9	26	9.0	87.5	12.2	84.5
133			24.1	75.2	62			18.9	79.5	42			20.1	77.5	27	10.4	86.2	13.4	83.2
134			24.6	74.6	63			19.9	78.5	43			21.6	76.2	28	11.9	84.7	14.8	81.9
135			25.2	74.1	64			21.0	77.5	44			23.0	74.8	29	13.6	83.0	16.3	80.5
136			25.7	73.5	65			22.0	76.4	45			24.4	73.4	30	15.5	81.3	17.9	79.0
137			26.3	73.0	66			23.1	75.4	46			25.9	72	31			19.6	77.4
138			26.8	72.5															

Tabla A3–13 (continuación)

	(a)		(b)	
n	*i*	*m*	*i*	*m*
	k = 0.04 (cont.)			
32			21.3	75.7
33			23.0	74.0
34			24.8	72.3
35			26.6	70.6
36			28.4	68.9
37			30.1	67.2
	k = 0.05			
1	0.0	95.2	0.0	95.2
2	0.1	95.1	0.2	95.0
3	0.2	95.0	0.5	94.8
4	0.4	94.9	0.7	94.5
5	0.5	94.7	1.0	94.3
6	0.7	94.6	1.4	94.0
7	0.9	94.4	1.7	93.6
8	1.1	94.2	2.1	93.3
9	1.4	93.9	2.5	92.9
10	1.6	93.7	3.0	92.4
11	2.0	93.4	3.5	91.9
12	2.3	93.0	4.1	91.4
13	2.7	92.6	4.7	90.8
14	3.2	92.2	5.4	90.1
15	3.8	91.7	6.2	89.3
16	4.4	91.0	7.1	88.5
17	5.2	90.3	8.1	87.6
18	6.1	89.5	9.1	86.5
19	7.1	88.5	10.4	85.4
20	8.4	87.3	11.7	84.1
21	9.8	85.9	13.1	82.7
22	11.5	84.3	14.7	81.2
23	13.4	82.5	16.5	79.6
24	15.5	80.5	18.3	77.8
25	17.8	78.2	20.2	76.0
26	20.3	75.9	22.2	74.1
27	22.8	73.6	24.3	72.1
28	25.3	71.2	26.4	70.1
29	27.9	68.8	28.5	68.1
	k = 0.06			
1	0.0	94.3	0.0	94.3
2	0.2	94.2	0.3	94.0
3	0.4	94.0	0.7	93.7
4	0.6	93.8	1.1	93.3
5	0.8	93.6	1.5	92.9
6	1.1	93.3	2.0	92.5
7	1.4	93.1	2.5	92.0

	(a)		(b)	
n	*i*	*m*	*i*	*m*
	k = 0.06 (cont.)			
8	1.7	92.7	3.1	91.4
9	2.1	92.4	3.7	90.8
10	2.6	91.9	4.5	90.1
11	3.1	91.4	5.3	89.4
12	3.8	90.8	6.2	88.5
13	4.5	90.1	7.3	87.5
14	5.4	89.2	8.4	86.4
15	6.5	88.2	9.7	85.2
16	7.8	87.0	11.2	83.8
17	9.3	85.6	12.8	82.3
18	11.1	83.9	14.6	80.6
19	13.2	81.9	16.5	78.8
20	15.6	79.7	18.6	76.8
21			20.8	74.7
22			23.1	72.5
23			25.5	70.3
24			27.9	68.0
25			30.3	65.8
	k = 0.07			
1	0.0	93.5	0.0	93.5
2	0.2	93.2	0.4	93.1
3	0.5	93.0	0.9	92.6
4	0.8	92.7	1.4	92.1
5	1.1	92.4	2.0	91.6
6	1.5	92.1	2.7	91.0
7	1.9	91.7	3.4	90.3
8	2.4	91.2	4.3	89.5
9	3.1	90.6	5.2	88.6
10	3.8	89.9	6.3	87.6
11	4.7	89.1	7.5	86.4
12	5.7	88.1	8.9	85.1
13	7.0	86.9	10.4	83.7
14	8.6	85.4	12.2	82.1
15	10.4	83.7	14.1	80.3
16	12.6	81.6	16.2	78.3
17	15.2	79.3	18.5	76.2
18	18.1	76.6	21.0	73.9
19	21.1	73.7	23.5	71.5
20	24.4	70.7	26.2	69.0
21			28.9	66.5
	k = 0.08			
1	0.0	92.6	0.0	92.6
2	0.3	92.3	0.5	92.1
3	0.6	92.0	1.2	91.5

	(a)		(b)	
n	*i*	*m*	*i*	*m*
	k = 0.08 (cont.)			
4	1.0	91.7	1.9	90.9
5	1.4	91.2	2.7	90.1
6	2.0	90.8	3.5	89.3
7	2.6	90.2	4.5	88.4
8	3.4	89.5	5.7	87.3
9	4.3	88.6	7.0	86.1
10	5.4	87.6	8.5	84.8
11	6.7	86.4	10.1	83.2
12	8.4	84.8	12.0	81.4
13	10.4	83.0	14.2	79.5
14	12.8	80.8	16.5	77.3
15	15.6	78.2	19.0	75.0
16	18.8	75.2	21.8	72.4
17	22.2	72.0	24.6	69.8
18	25.7	68.8	27.6	67.1
19	28.2	66.5	30.5	64.4
	k = 0.09			
1	0.0	91.5	0.0	91.7
2	0.4	91.4	0.7	91.1
3	0.8	91.0	1.4	90.4
4	1.3	90.6	2.3	89.6
5	1.9	90.0	3.3	88.7
6	2.6	89.4	4.5	87.7
7	3.4	88.6	5.8	86.5
8	4.5	87.6	7.3	85.1
9	5.7	86.5	9.0	83.5
10	7.3	85.0	10.9	81.7
11	9.3	83.2	13.1	79.7
12	11.7	81.0	15.6	77.5
13	14.5	78.4	18.3	75.0
14	17.8	75.4	21.2	72.3
15	21.5	72.0	24.2	69.5
16	25.3	68.5	27.4	66.6
17	29.2	65.0	30.6	63.7
	k = 0.10			
1	0.0	90.9	0.0	90.9
2	0.4	90.5	0.8	90.2
3	1.0	90.0	1.8	89.3
4	1.6	89.5	2.8	88.3
5	2.3	88.8	4.1	87.2
6	2.2	88.0	5.5	85.9
7	4.4	86.9	7.1	84.4
8	5.8	85.7	9.0	82.7
9	7.5	84.1	11.2	80.8

	(a)		(b)	
n	*i*	*m*	*i*	*m*
	k = 0.10 (cont.)			
10	9.7	82.1	13.6	78.5
11	12.4	79.8	16.3	76.1
12	15.6	76.8	19.3	73.4
13	19.2	73.4	22.5	70.4
14	23.3	69.8	25.9	67.4
15	27.4	66.0	29.4	64.2
16	31.5	62.0		
	k = 0.15			
1	0.0	87.0	0.0	87.0
2	0.9	86.2	1.7	85.5
3	2.1	85.1	3.6	83.8
4	3.9	83.8	6.0	81.8
5	5.5	82.2	8.7	79.4
6	8.0	80.0	11.8	76.7
7	11.2	72.2	15.4	73.5
8	15.2	73.7	19.5	70.0
9	20.1	69.5	23.8	66.2
10	25.5	64.8	28.4	62.3
11	31.0	60.0		
	k = 0.20			
1	0.0	83.3	0.0	83.3
2	1.5	82.0	2.7	81.1
3	3.6	80.4	5.9	78.4
4	6.3	78.1	9.8	75.2
5	10.0	75.0	14.2	71.5
6	14.7	71.1	19.2	67.4
7	20.6	66.2	24.6	62.8
8	27.3	60.6	30.3	58.1
9	32.6	56.1		
	k = 0.30			
1	0.0	76.9	0.0	76.9
2	3.0	74.6	5.1	73.0
3	7.4	71.3	11.1	68.4
4	13.3	66.7	18.0	63.1
5	21.1	60.7	25.4	57.4
6	29.9	53.9	33.0	51.6
	k = 0.40			
1	0.0	71.4	0.0	71.4
2	4.8	68.0	7.5	66.0
3	11.8	63.0	16.3	59.8
4	21.2	56.3	25.6	53.1
5	31.9	48.6	34.9	46.5

En todas las tablas se suponen solicitudes de servicio al azar. La columna (a) es para tiempo de servicio constante y la columna (b) para una distribución exponencial de tiempos de servicio. Se espera que los valores faltantes en la columna (a) puedan obtenerse por aproximación en un futuro cercano. Cuando no figuran datos en la columna quiere decir que no se disponía de las cifras.

TABLA A3-14 Tabla de conversión al sistema métrico*

La siguiente tabla presenta las equivalencias para la conversión de unidades del sistema inglés, usuales aún en la ingeniería mecánica e industrial, a las unidades métricas SI y técnicas. Las cantidades expresadas en la columna A se convierten en las cantidades expresadas en la columna B al multiplicarlas por el "factor". Para obtener la conversión inversa (de B a A) se divide entre el factor.

A	Factor	B
LONGITUD		
milipulgada (mil)	**0.0254**	milímetro (mm)
pulgada (pulg) (in)	**25.4**	milímetro (mm)
pie (pie) (ft)	**0.3048**	metro (m)
yarda (yd)	**0.9144**	metro (m)
milla (mi)	**1.6093**	kilómetro (km)
ÁREA		
pulgada cuadrada ($pulg^2$) (in^2)	**6.4516**	centímetro cuadrado (cm^2)
pies cuadrado (pie^2) (ft^2)	**0.02929**	metro cuadrado (m^2)
VOLUMEN		
pulgada cúbica ($pulg^3$) (in^3)	**16.3870**	centímetro cúbico (cm^3)
pie cúbico (pie^3) (ft^3)	**0.0283**	metro cúbico (m^3)
galón (gal)	**3.7854**	litro (l)
MASA		
onza (oz)	**28.35**	gramo (g)
libra (lb)	**0.4536**	kilogramo (kg
tonelada (ton)	**0.9072**	tonelada métrica (t)
FUERZA, PESO		
libra fuerza (lbf)	**0.4536**	kilogramo fuerza (kgf)
	4.4482	newton (**N**)
PRESIÓN, ESFUERZO		
libra fuerza por pulgada cuadrada (psi)	**0.0703**	kg fza. por cm cuadrado (kgf/cm^2)
	6.8947	kilopascal (kPa)
TRABAJO, ENERGÍA		
pie-libra fuerza (pie-lbf)	**1.3558**	joule (J)
POTENCIA		
Caballo (hp)	**0.7460**	kilowatt (kW)
CALOR		
unidad térmica británica (Btu)	**0.2520**	kilocaloría (kcal)
	1.0550	kilojoule (kJ)
TEMPERATURA		
$t(°F)$ = temperatura en grados Farenheit		$t(°F) = \frac{t(°F) - 32}{1.8}$
$t(°C)$ = temperatura en grados Celsius		$t(°C) = 1.8\,t(°C) + 32$

Nota: tabla resumida con permiso de F. Paniagua, Las unidades SI y otros sistemas, EDITEC (1986), Apartado Postal 30-488, México D. F.

NORMA MILITAR MIL-STD-1567A

5.1.1 *Sistemas de tiempos predeterminados.* No es la intención de este estándar militar desafiar la exactitud de aquellos sistemas de tiempos predeterminados cuya exactitud inherente cumple con los requerimientos del párrafo 5.1. Sin embargo, cuando se usa un sistema de tiempos predeterminados, será de la incumbencia del contratista mostrar al Gobierno que la exactitud de la base de datos original no se ha comprometido en la aplicación o desarrollo de los estándares.

5.2 *Análisis de la operación.* El análisis de la operación se considera parte integral del desarrollo de un estándar de mano de obra de Tipo I (*Type I Engineered Labor Standard*). Debe realizarse y registrarse un análisis operativo antes de determinar un estándar de Tipo I; y para el mejoramiento de estándares de mano de obra establecidos.

5.3 *Datos de estándares.* El contratista aprovechará por completo los datos de tiempos estándares disponibles cuya exactitud y rastreabilidad se conocen.

5.4 *Cobertura de estándares de mano de obra.* El contratista desarrollará e implantará un plan de cobertura de medición de trabajo que proporcione un programa basado en el tiempo para alcanzar una cobertura de 80% de todas las categorías de horas de aplicación de mano de obra de toque *(touch labor)* con estándares de Tipo I (vea 3.9, Mano de obra de toque).

5.4.1 *Análisis de trueque en costos.* El plan de cobertura de medición de trabajo estará basado en los análisis de trueque en los costos que consideren el estado y la efectividad del programa de medición de trabajo existente del contratista.

5.4.2 *Cobertura inicial.* Los estándares de Tipo II son aceptables para la cobertura inicial. Todos los estándares de este tipo serán aprobados por la (o las) organización(es) encargadas de establecer e implantar estándares de medición de trabajo y estimar cuándo los estándares de Tipo I no se han desarrollado.

5.4.3 *Actualización.* El plan de cobertura de mano de obra de toque en la medición de trabajo, debe proporcionar un programa para actualizar los estándares de Tipo I a II.

5.5 *Nivelación/calificación del desempeño.* Todos los estudios de tiempos deben calificarse mediante técnicas reconocidas.

5.6 *Suplementos.* Los suplementos por demoras personales, fatiga y demoras inevitables se desarrollarán e incluirán como parte del estándar de mano de obra. Las tolerancias no deben ser excesivas o inconsistentes con las que se admiten normalmente para trabajos y condiciones similares.

5.7 *Estimación.* Los procedimientos del contratista deben describir cómo se utilizan los estándares de mano de obra de toque para desarrollar propuestas de precios.

5.8 *Uso de estándares de mano de obra.* Los estándares laborales se deben utilizar en los siguientes casos.

5.8.1 *Presupuestos, planes y programas.* Como entrada para desarrollar presupuestos, planes y programas, cuando estén disponibles.

5.8.2 *Horas de trabajo de toque.* Como base para estimar las horas de trabajo de toque cuando se emiten cambios en los contratos y como base para estimar los precios de partes iniciales y de reabastecimiento, y para el seguimiento de compras para producción, cuando estén disponibles.

5.8.3 *Medición del desempeño.* Como base para medir el desempeño de mano de obra de toque.

5.9 *Factor de realización.* Cuando se modifican los estándares de mano de obra por factores de realización, deben identificarse los elementos principales que contribuyen al factor total. El análisis que apoya a cada elemento estará disponible para revisiones por parte del gobierno.

5.10 *Eficiencia de mano de obra.* Debe usarse un pronóstico de la eficiencia laboral en la planeación de fuerza de trabajo en la programación a largo plazo y actual.

5.11 *Revisiones.* Los estándares de mano de obra deben revisarse en cuanto a exactitud y la revisión adecuada de los datos del sistema, cuando ocurran cambios en:

a. Métodos o procedimientos
b. Herramientas, plantillas y montajes
c. Distribución del lugar de trabajo y de la planta
d. Materiales indicados
e. Contenido de trabajo de la tarea

5.12 *Conteo de la producción.* Las unidades de trabajo tendrán una definición clara y discreta de modo que originen mediciones exactas del trabajo terminado y se expresarán en términos de la terminación de:

a. Artículos finales
b. Operaciones
c. Lotes o grupos definidos de artículos finales

5.12.1 *Crédito parcial.* En los casos en que es adecuado el crédito de producción parcial, los procedimientos de medición del trabajo definirán el método a utilizar para permitir una medida de la producción oportuna y actual.

5.13 *Reporte del desempeño laboral.* El programa de medición de trabajo del contratista debe proporcionar un informe periódico del desempeño en el trabajo. El infor-

me se elaborará por lo menos cada semana para cada centro de trabajo y se resumirá para todos los niveles de administración adecuados; indicará la eficiencia laboral, y comparará los resultados actuales con las metas preestablecidas del contratista. (Cuando se requiera entregar este informe, vea 6.2.)

5.13.1 *Análisis de variaciones.* Los informes de desempeño laboral serán revisados por los funcionarios de supervisión y apoyo de personal. Cuando ocurre una desviación significativa respecto a las metas de desempeño proyectadas, debe prepararse un análisis formal por escrito que mencione las causas y las acciones correctivas.

5.13.2 *Conservación de informes.* Los informes de desempeño y los análisis de tendencia de variaciones relacionados deben conservarse por un periodo de seis meses.

5.14 *Auditoría de sistema.* El contratista usará un proceso de revisión interna para vigilar el sistema de medición de trabajo. Este proceso se diseñará de modo que se identifiquen los puntos débiles o fallas del sistema y se expongan a la administración para permitir la acción correctiva oportuna. Los procedimientos escritos deben describir las técnicas de auditoría a utilizar en la evaluación de la conformidad del sistema.

5.14.1 *Alcance de la auditoría.* La auditoría cubrirá la conformidad con los requisitos de este estándar por los menos cada año. La auditoría, basada en una muestra representativa de todos los estándares de mano de obra activos y las actividades de medición del trabajo, determinará:

a. La validez del método prescrito y la exactitud de los valores de tiempo estándar de mano de obra, como validados contra la línea base de datos.
b. El porcentaje de cobertura de los estándares de mano de obra de Tipos I y II.
c. La efectividad del uso de estándares de mano de obra para la planeación, estimación, presupuestación y programación.
d. La oportunidad, exactitud y verificabilidad del informe de conteo de producción.
e. La exactitud de los informes de desempeño en el trabajo.
f. Lo razonable y factibles de logro de las metas de eficiencia establecidas.
g. La efectividad de las acciones correctivas que resulten del análisis de variaciones.

5.14.2 *Reportes de auditoría.* Debe conservarse una copia del resultado de auditoría en los archivos de la empresa por lo menos dos años y estará a disposición del representante designado del gobierno para su revisión según se requiera.

6. NOTAS

6.1 *Uso proyectado.* Este estándar tiene el propósito de promover la adquisición efectiva en costo de sistemas y equipo al requerir el uso de medición del trabajo para aumentar la productividad y la eficiencia.

6.2 *Requerimiento de datos.* Los siguientes requerimientos de datos deben considerarse cuando este estándar se aplica a un contrato. Las descripciones de elementos de datos (DID: *Data Item Descriptions*) aplicables deben revisarse junto con la adquisición específica a fin de asegurar que sólo se requieren o proporcionan los datos esenciales, y que las DID se diseñan para reflejar los requisitos de la adquisición específica. A

fin de asegurar las aplicaciones contractuales correctas de los requerimientos de datos, las listas de requerimientos de datos de los contratistas (*Contract Data Requirements Lists*, DD 1423), deben prepararse para obtener los datos, excepto cuando el DoD FAR Supplement 27.410-6 omita el requerimiento para un DD 1423.

Párrafo Núm.	Título de requerimiento de datos	Número de DID aplicable
5.13	Informe de desempeño laboral de medición del trabajo	DI-MISC-80295

Los números de páginas seguidos de e, f y t se refieren a ejemplos, figuras y tablas, respectivamente.

A

Abducción, 210f
Acabado metálico, 85-86
Acción repetitiva del dedo, 217
Accu-Sort Systems, 108-109
Ácido láctico, 156
Acoplamiento, 168, 169f
Acoplamiento de máquinas, 40
Acoplamiento malo, 168
Acoplamiento regular, 168
Actitud de sindicatos hacia incentivos, 626-627
Actividades principales de su vida, 363
ADA, 16
Administración de la calidad total (TQM), 665
Administración médica, 279
Aducción, 210f
Advertencias, 308, 316
Agarre, 212
  con contracción, 213-214
  con fuerza, 212-213, 213f, 214t
  de gancho, 213
  de precisión interno, 213
Agendas electrónicas (PDA), 322
Agonistas, 128
Agrupan, 296
AGV,104
Ajuste razonable, 364
AL, 150t
Alcanzar, l50t
ALDEP, 117
Almacén, 101, 103f
Alternar las manos, 216
Altura
  a las rodillas, sentado, 184t
  a los muslos, 184t
  a los nudillos, 184t
  a los ojos, 184t
  a los ojos, sentado, l84t
  al codo, 184t
  al codo, sentado, 184t
  al hombro, 184t
  de la superficie de trabajo, 187-188
  poplíteal sentado, 184t
  sentado, 184t
Amarillo, 242t, 269
American Management Association (AMA), 14
Americans with Disabilities Act (ADA), 16, 363-364
Ampliación del trabajo, 652
Análisis. *Vea también* Diagramas; Listas de verificación; Guías
  análisis/evaluación de puestos, 352-363
  balanceo de líneas, 56-65
  calificación, 420-422
  cámara de video, 148
  costo-beneficio, 335-338
  cruzado (de punto de equilibrio), 339-342, 601-602
  decisiones económicas, 345-348
  distribución de planta, 110-119
  ingeniería del valor, 335-338
  levantamiento NIOSH, 166-172
  MacroMotion, 505-517
  MOST, 508-513
  movimiento, 148-152
  MTM, 484-508
  operación, 71-119
  planeación sistemática de la distribución de Muther, 111-116
  tablas de acciones de riesgo, 334-335

toma de decisiones con criterios múltiples, 339-345
Análisis costo-beneficio, 335-338
Análisis de banda de octava, 245
Análisis de macromovimientos, 486f
Análisis de métodos, 515-518
Análisis de operaciones, 5-7, 23, 71-119, 561
definición, 5-7
diseños de costo mínimo, 78t
distribución de planta, 110-118
introducción, 71-73, 74t
inspección, 81-82
lista de verificación, 120-121f
manejo de materiales, 100-109
materiales, 82-87
preguntas, 72-73, 74t
preparación y herramientas, 94-100
propósito de la operación, 73-76
procedimientos, 71-73
secuencia de manufactura, 87-93
simplificar, 71, 77
tolerancias y especificaciones, 79-82
Análisis de Pareto, 23, 94
Análisis de puestos, 352-354
Análisis de tiempo perdido semanal, 608, 609
Análisis del lugar de trabajo, 278-279
Análisis rápido de transformada de Fourier, 140
Análisis transaccional, 654-658, 660
estados del ego, 654
juegos, 654
palmadas, 656
transacciones, 654-657
Ancho codo a codo, 184t
Ancho de banda, 289
Ancho de cadera, sentado, 184t
Ángulo visual, 235
Anormal, postura, 436
Antagonistas, 128
Anthropometric Source Book, 182
Antropometría, 181-187
dimensiones del cuerpo, 184t
diseño ajustable, 185, 226
diseño de asientos en salón de capacitación, 186e
diseño para el promedio, 185
diseño para extremos, 183-185
percentiles, 182-183
Apagado por flujo de aire, 224
Aprendizaje en el trabajo, 640
Archivos de AutoCAD, 117
Arco cifótico hacia afuera, 190f
Arco lordótico hacia adentro, 190f
Área normal de trabajo, 193-194
Arreglo de herramientas en repisas, 196-198
Arreglo para recoger las ordenes, 101, 105f
Asignación de trabajo en la línea de producción, 60
Asociaciones, 297
Atención enfocada, 303
Atención sostenida, 305
ATP, 154
Autoobservación, 544-546
Automatización de planta, 667
Automatización, 666-668
Autosatisfacción, 650, 653
Avances realizados, 17-18
Azul, 242t, 269

B

B, 150t
Babbage, Charles W., 9
Balanceadores de herramientas, 196f, 224
Balanceo de línea de ensamble, 56-64
Balanceo de líneas, 21, 56-64
diagrama de precedencia, 61
eficiencia, 56-57
matriz de precedencia, 62
número de operarios, 57-58
peso de posición, 62-63
restricciones de zona, 61
tiempo ocioso, 57, 63
Bancos industriales para estar sentado/parado, 194f
Bancos, 194f
Banda transportadora, 197f
Barras de reacción, 224
Barras de torque de reacción, 224
Barth, Carl G., 12
Bases de costeo, 598
Beta, 291, 292
Bethlehem Steel, estudios, 10
BHN, 252
Bit, 288
Blanco, 269
Brandeis, Louis, 10
BS, 252
Buen acoplamiento, 168

Bulbo húmedo psicométrico, 252
Buscar, 150t

C

CA WS/E, 548
CAD/CAM, 668
Cálculos de velocidad y alimentación, 705
Calidad total (TQ), 664-666
Calidad, 664
Calificación de la estación de trabajo, 412
Calificación de la velocidad, 413-414
Calificación de las relaciones PSD, 114
Calificación de puestos, 359
Calificación del desempeño (C)
  análisis de, 420-422
  aplicación de la curva de aprendizaje, 641-647
  calificación de elementos contra estudio global, 412-413
  calificación de velocidad, 409, 413-414
  calificación en la estación de trabajo, 412
  calificación objetiva, 419-420
  calificación sintética, 418-419
  capacitación para, 422-427
  características de calificaciones razonables, 411-412
  contra reloj, 414
  desempeño estándar, 409-411, 413
  seguimiento, 586-588
  sistema Westinghouse, 414-418, 485
Calificación del paso, 414
Calificación objetiva, 419-420
Calificación sintética, 418-419
Calificaciones estrictas, 425
Calificaciones holgadas, 425
Calificar contra reloj, 414
Cámaras de videograbación, 379
Cambios, 664
Canaleta de gravedad, 102f
Canaletas de gravedad, 195
Candelas (cd), 234
Cansancio después de comer, 262
Capacidad de canal, 289
Capacidad de la fuerza humana, 132
Capacidad de máquina, 98-99
Capacitación, 640-649
  desarrollar la creatividad, 648-649
  motivación del empleado, 649-653
  curva de aprendizaje, 641-647
  aprendizaje en el trabajo, 640
  para métodos, estándares y pagos de salarios, 647-648
  con películas y videograbaciones, 641
  para calificar el desempeño, 422-427
  simulaciones físicas, 641
  instrucciones gráficas, 640-641
  planta, 647
  de estudio de tiempos, 383, 647-648
  condición física, 641
  para muestreo del trabajo, 531-532
  instrucciones escritas, 640
Capacitación de métodos y estudio de tiempos, 647-648
Capacitación del operario, 640-647
Capacitación física, 641
Capacitación para estudio de tiempos, 647-648
Capacitación y educación, 279-280
Características de calificaciones razonables, 411-412
Características de la voz, 658
Carbón, 272
Carga de máquinas, 595-597
Carga mental, 304
Carga muscular estática prolongada, 214
Cargar tarimas, 106
Cargas de trabajo
  mental, 445
  físico, 127, 157-160
Carretilla, 103f, 191
Carro alzatarimas, 102f
Cascos, 272
cd, 234
Centro de gravedad, 223
Cheaper by the Dozen (Gilbreth y Gilbreth), 12
Ciclos de trabajo-reposo, 137-138
Ciclos en
  curva de aprendizaje, 641-647
  balanceo de líneas, 59-62
  estudios de muestreo del trabajo, 532-533
  MTM-2, 491, 501
  MTM- V, 509f
  relaciones trabajador-máquina, 44-50
  ritmos circadianos, 262-263
Cilindro circular derecho (fórmulas), 690
Cinturones de espalda, 173-175
Círculo (fórmulas), 689
Círculos de calidad, 661

Citatorios, 275-276
CITS/APR, 380
Clasificación de movimientos, 144-146
Clasificación de puestos, 360-361
clo, 255
Codificación
  compatibilidad, 310-311
  de forma, 200
  de tamaño, 201-202
  de textura, 200-201
  modalidad del despliegue, 308-309
  para la operación, 202
  regla de Miller, 309
Codificación de información, 306-311
Codificación para la operación, 202
Código de barras,107-108
Código de forma, 200-201
Código de tamaño, 201-202
Código universal del producto (UPC), 107-108
Coeficiente de
  fatiga, 435. *Vea también* Suplementos
  optimismo, 344
Cojinete de tacto, 321
Color, 241-242. *Vea también* Colores individuales
  recomendaciones para la seguridad, 269
  rendimiento de, 238
Columna vertebral, 161
COMBIMAN, 183
Combinar operaciones, 88
Comparación de métodos, 590
Compartir los elementos de trabajo, 59
Compatibilidad, 206, 310
  conceptual, 310
  de espacio, 310
  de la modalidad, 311
  de movimiento, 206, 310
Compra de nuevos equipos, 592-593
Compresión de tejidos, 215-216
Compromiso de la administración, 277
Compromiso y participación, 277-278
Computadoras portátiles y de mano, 322
Comunicaciones, 658-662
  audiencia grande, 661-662
  diádica, 660
  grupos pequeños, 660
  no verbal, 658-660
  uno a uno, 660
  verbal, 658
Conciencia de la situación, 298
Condición física, 641
Condicionamiento clásico, 651
Condiciones atmosféricas, 440
Configuración del mango, 223
Cono circular derecho (fórmulas), 692
Conservador, 292
Construcción de fórmula a partir de datos empíricos, 462-468
Contacto visual, 659
Contador, 313
Contracción de palma, 213f, 214
Contracción de yemas, 213f, 214, 214t
Contracción lateral, 213f, 214, 214t
Contraste, 235
Control de la producción, 595-597
Control de punto muerto, 204
Control de riesgos, 279
Control de ruido, 248-249
Control estadístico de la calidad, 665
Control motriz
  clasificación de movimientos, 144-146
  dos a la vez, 141, 142f
  electromiograma (EMG), 140
  fatiga, 140-141
  movimientos balísticos, 141
  movimientos curvos, 144
  movimientos simétricos, 141-143
  movimiento simultáneo, 141-143
  pivote alrededor del codo, 144
  principio de tamaño, 140
  ritmo natural, 143
  sistema nervioso central, 139
  tareas de enrosque de Fitts, 145-146
  tasa de innervación, 139
  trueque velocidad-exactitud, 141
  unidad motora, 139
Controles, 202-206. *Vea también* Pantallas
  amortiguamiento, 204
  característica de punto muerto, 204
  compatibilidad, 206
  espacio muerto, 204
  efecto de intervalo, 203
  razón control-respuesta, 203, 205f
  regla del tornillo derecho, 206
  rendimiento, 206
  resistencia, 202, 204t
  retroalimentación, 206
  tamaño, 202t

Convenciones para los diagramas de proceso, 32f
CORELAP, 117
Cortes múltiples, 198
Costeo, 598-607
  costo de la empresa, 598
  costo estándar, 607
  costo primario, 598, 600-601f
  ejemplo, 600e, 604-607e
  gasto en mano de obra, 601
  gasto de fábrica, 600-601f
  gasto de operación, 598
  gasto general, 601
  mano de obra directa, 600
  mano de obra indirecta, 600
  material directo, 598, 601-602
  varianza, 607
Costo general, 601
Costo primario, 598
Costos de fabricación, 600
Costos de herramientas, 600
Costos de mano de obra directa, 600
Costos directos de material, 598
Costos estándar, 607
CP, 155
CRAFT,117
Criterio
  de desplazamiento del control, 203t
  de especulación, 343
  del mínimo arrepentimiento, 344
  de respuesta, 291, 292
  de pesimismo, 343
  de resistencia de control, 204t
  tamaño del control, 202t
Criterio de arrepentimiento minimax, 344
Cronómetro, 377-379
Cronómetro electrónico, 378f
Cronómetro electrónico asistido por computadora, 379f
Cronómetro minutero decimal, 378f
Curiosidad, 648
Cursor, 323
Curva de aprendizaje, 641-647
  ejemplo, 644-646e
  factores que afectan, 647
  retroceso, 645
  tasa (porcentaje) de aprendizaje, 642-644
  teoría, 642-644
  tiempo estándar, 645
Curva de resistencia, 136, 137f
Curva de U invertida, 305, 306f
Curvas de Blackwell, 235, 236f
Curvas de nivel de sonido equivalente, 245f
Curvas de visibilidad de Blackwell, 444
Cybex, 132

D

D, 150t, 261
DAN, 309
Datos de estándares de mano de obra indirecta y general, 571-580
Datos de estándares para soldadura, 474f
Datos de estándares, 457-480, 557, 571-575
  cálculo de los tiempos de elementos, 459e
  construcción de una ventana, 606t
  curva de aprendizaje, 644-645
  definición, 492
  gráficar curvas, 465-468
  mano de obra general, 568-575
  mano de obra indirecta, 572-575
  soldadura, 473-475
  suplementos, 475, 478
  tiempo de conformado, 473-474
  trabajo con prensas, 474
  trabajo con taladro, 458, 468-470, 476
  trabajo con torno, 470-471
  trabajo en fresadora, 471-473
  torno revólver, 473, 475
  uso, 473-478
Datos
  análisis de, 30-64
  establecimiento de estándares, 457-478
  obtención y presentación, 30-41
Datos de estándares, fórmulas, teorías de colas, 591t, 592t
Datos del momento de fuerza estática del músculo, 134t
Datos tabulares, 461
dB,243
dBA, 246
DE, 150t
Decibel (dB), 243
Decisión económica, 334-335, 345-348
  flujo de efectivo descontado, 346-348
  retorno o rendimiento de ventas, 346, 347-348e
  retorno sobre la inversión, 346-348

Dedo cordial, 217, 218t
Dedo de disparo, 209
Dedo pálido, 209
Dedos, 217-218
Déficit de oxígeno, 156
Definiciones (glosario), 672-687
Degeneración de discos, 163f
Deming, W. E., 665
  14 puntos de Deming, 665t
Desarmador, 222
Desarrollo creativo, 648
Desarrollo de datos de estándares, 514-515
Desarrollo de datos de tiempo estándar, 458-462
Desarrollos históricos, 9-13, 17-18
Descanso para contrarrestar la fatiga, 150t
Descripción del puesto, 353
Desempeño estándar, 410-411
Desempeño total de cada operario, 361
Desensamblar, 150t
Desorden óseomuscular relacionado con el trabajo, 206
Desórdenes por trauma acumulado (DTA), 206, 446
  bursitis, 208
  dedo de disparo, 209
  dedo pálido, 209
  factores que llevan a, 206
  ganglionitis, 208
  índice de riesgo DTA, 211-212
  inflamación, 208
  mapa de incomodidad del cuerpo, 210
  nervio mediano, 209f
  síndrome de Raynaud, 209
  síndrome de túnel de carpo, 208-209, 215
  tendinitis, 208
  tendones, 208
  tenosinovitis, 208
  vasoconstricción, 222
  vibración, 211, 222
Desperdicio, 664
Despliegues visuales, 311-316
  contador, 313
  escala fija, 311-313
  luces indicadoras, 315
  manecilla móvil, 311-313
Desviación cubital, 210f
Desviación radial, 210f
Detección, 290
Determinación de la capacidad de planta, 592
Determinación de tiempos estándar, 543-544
Deuda de oxígeno, 156
Día de trabajo justo, 374-375
Diagrama de análisis del tiempo perdido, 433f
Diagrama de flujo del proceso, 34-38
  construcción de, 34-36
  ejemplos, 37f, 38f
  símbolos, 35f
Diagrama de flujo, 38-40
Diagrama de movimiento simultáneo (simo), 148
Diagrama de precedencias, 61-62
Diagrama de proceso bimanual, 148-153
  construcción de, 151-153
  ejemplo, 152f
Diagrama de proceso de la operación, 21, 30-34, 64
  construcción, 30-33
  convenciones de diagramas de flujo, 32f
  ejemplo, 33f
  símbolos, 30
Diagrama de proceso descriptivo, 30
Diagrama de proceso hombre-máquina, 21, 40-44, 65
  acoplamiento de máquinas, 40-41
  ejemplo, 42f
  grupo, 41, 43f, 44f
  relaciones cuantitativas, 42-56
Diagrama de relaciones, 111, 113f
Diagrama de relaciones de las actividades, 113-115
Diagramas de causa-efecto, 24
Diagramas de pescado, 24-25
Diagramas de proceso de grupo, 41, 43, 44
Diagramas. *Vea también* Formas
  análisis de tiempo perdido, 608-609
  bimanual, 148-153
  causa y efecto, 24-25
  control, 536-540
  de flujo, 38-40
  de flujo del proceso, 34-38
  de pescado, 24-25
  de proceso de grupo, 41-42
  de proceso hombre-máquina, 40-44
  de recorrido, 111-112f
  Gantt, 25-26
  gráfica cruzada, 340-342, 601-602
  gráfica *p*, 527-529
  incomodidad del cuerpo, 211

índice de riesgo de desorden por trauma acumulado (DTA), 212
operario, 147-153
Pareto, 23-24
PERT, 27-30
precedencias, 61-62
proceso de la operación, 30-34
punto de equilibrio, 340-342, 601-602
relación, 111-112, 113f
relaciones de las actividades, 113-114, 115f
simo, 148
Diagramas de proceso
bimanual, 148-153
flujo, 34-38
grupo, 41-42
hombre-máquina, 40-41
operación, 30-34
operario, 148-153
símbolos, 35-36
Diez pasos de Juran para el mejoramiento de la calidad, 666t
Diferencia apenas notable (DAN), 309
Dimensiones del cuerpo, 184t
Dimensiones para la estación de trabajo de pie, 188f
Dirección directa, 224
Discapacidades, individuo con, 363
Disco L_4/L_5, 161
Disco L_5/S_1, 161, 164
Discos desviados, 163
Discos herniados, 163
Discos herniados, 163
Discos, 161
Diseño
de distribución de planta, 110-118
de herramientas, 212-225
de manejo de materiales, 100-109, 166-175
de maquinas y equipo, 198-206
de operaciones de manufactura, 87-100
de partes, 76-82
de trabajo manual, 127-175
del entorno de trabajo, 233-282
del lugar de trabajo,181-206
para el promedio, 185
para extremos, 183-185
para hacer el doble a la vez, 91
para que sea ajustable, 185
Diseño ayudado por computadora y manufactura ayudada por computadora (CAD/CAM), 668
Diseño de asientos en un salón de capacitación grande, 186
Diseño de asientos para un área de capacitación, 186
Diseño de carátulas, 313, 314f
Diseño de herramientas, 212-225
acción repetitiva, 217
atornillar, 213
agarre de gancho o sujetadores con presión o agarre con contracción, 181, 212-214
agarre de precisión, 181, 212-213
canales para los dedos, 216
carga estática, 214
compresión de tejidos, 215-216
contracción de la palma, 214
contracción de puntas, 214
contracción de yemas, 214
contracción lateral, 214
cuchillo, 213, 215, 216f, 217
espacio de agarre, 219-220
fatiga, 214
fuerza de agarre, 214, 215
fuerza de contracción, 220f
fuerza de los dedos, 217-218
gatillos, 217
género, 216
herramientas de potencia, 222-225
manijas, agarraderas o mangos, 212, 214-215, 217-220, 233
manijas dobladas, 215
martillo, 213
peso, 221-222
precisión interna, 213
posición neutral, 215
sierra, 217
sujetadores de potencia, 181, 212-213
taladro, 217
tipos de agarre, 212-214
zurdo, 216-217
Diseño de interfaz de software, 322-324
Diseño de máquinas y equipo, 198-206
controles, 200-206
cortes múltiples, 198
dispositivos, 198, 200

lista de evaluación, 207-208f
manivelas, 200
manecillas y escalas, 206
volantes, 200
Diseño de partes, 76-79
Diseño del entorno de trabajo, 233-282
horarios de trabajo, 261-268
iluminación, 234-242
lista de verificación, 282f
mantenimiento, 268-272
OSHA, 273-280
ruido, 233, 242-250
radiación, 233, 261
seguridad, 233, 268-272, 280
temperatura, 250-255
tensión por calor, 233
tensión por frío, 254-255
turnos de trabajo, 233, 261-268
ventilación, 255-258
vibración, 233, 258-261
Diseño del lugar de trabajo, 181-206
altura de la superficie de trabajo, 187-188
antropometría, 181
área normal de trabajo, 193, 194f
bancos para sentarse/pararse, 192, 194f
canaletas o dispositivos por gravedad, 195, 197f
coderas, 191
descansos para los pies, 188, 191
entrega dejando caer, 195
estación de trabajo ajustada, 193f
estación de trabajo de pie, 188f
flexibilidad en la postura, 192
intervalo de ajuste del asiento, 192t
lista de verificación, 199f
lugar de trabajo sentado, 187-193
posibilidad de ajuste, 181
posición fija, 183-187, 194-195
principios de, 187-206
principios de diseño, 196-198
sillas, 188-190
silla para postura de rodillas,187-193
soporte lumbar, 189
tapetes antifatiga, 192
Diseño del mango, 216f, 220-221
Diseño del trabajo
actividad, 4-5
definición, 1, 5, 7
entorno de trabajo, 233-282
herramientas, 212-225
lugar de trabajo, 181-206
máquinas y equipo, 198-206
trabajo manual, 127-175
Diseño del trabajo cognitivo
codificación de información, 306-311
interacción persona-computadora, 317-324
pantallas de información auditiva, 316-317
pantalla de información visual, 311-316
procesamiento de información humano, 289-295
teoría de detección de señales, 290-295
teoría de la información, 288-289
Diseño del trabajo manual
asignación de descansos, 127, 137-138
capacidad de trabajo, 127
capacidad máxima de trabajo, 127
carga de trabajo, 127, 157-161
cinturones de espalda, 173-175
control motriz, 139-146
dinámico, 127
distancia horizontal, 127, 165, 171
economía de movimientos, 127, 130-147
estudio de movimientos, 148-153
evaluación del esfuerzo percibido de Borg (EEP), 160, 161t
evaluación subjetiva del esfuerzo percibido, 160
frecuencia cardiaca,159-161
fuerza muscular, 132-135
fuerzas de compresión en la espalda baja, 161-166
gasto de energía, 134-158
gasto máximo de energía, 158
giros, 127, 172
guía de levantamiento NIOSH, 166-175
levantamiento, 127, 133f, 166-175
listas de verificación, 149f, 154-155f, 175t
lista de verificación de postura general, 175f
lista de verificación para evaluación de tareas, 175f
manejo manual de materiales (MMM), 153
postura neutra, 212
rangos de movimiento, 127, 130
requerimiento de fuerza, 127
sistema óseomuscular, 128-133
sujeciones estáticas, 127
tareas manuales, 127
therbligs, 148, 150t, 154-155f

Diseños de perillas, 201f
Disminución de vigilancia, 305f
Disociación, 317
Dispositivo, 198
Dispositivos para señalar, 320-321
Dispositivos por gravedad, 195, 197f
Distancia espalda baja a rodillas, sentado, 184t
Distribución binomial, 526-531
Distribución de fuerza en el brazo, 133f
Distribución de fuerza en el torso, 133f
Distribución de fuerza en la pierna, 133f
Distribución de la luz, 238-239
Distribución de Pareto, 608
Distribución de planta, 33, 110-119, 589
  ALDEP, 117
  calificación de relaciones, 111-113, 114f
  CORELAP,117
  CRAFT,117
  diagrama de relaciones, 111-112, 113f
  distribución asistida por computadora, 117-118
  diagrama de relaciones de las actividades, 113-114, 115f
  distribución según la relación de espacio, 114, 115f
  ejemplo, 105-106e
  en línea, 110
  evaluación de arreglos alternativos, 114, 116f
  funcional, 110
  gráficas de recorrido, 111, 112f
  planeación sistemática de la distribución de Muther (PSD),111-116
  proceso, 110-111
  producto, 110
  SPIRAL, 117, 118f
  tipos, 110-111
Distribución de planta asistida por computadora, 117
Distribución de probabilidad, 182
Distribución en línea, 110
Distribución física, 110
Distribución funcional, 110-111
Distribución normal, 182
Distribución normal estándar, 695
Distribución por proceso, 110-111
Distribución por producto, 110
Distribución según la relación de espacio, 114
Distribución *t*, 698
Distribución *z*, 182
Dividir en conjuntos, 572
Dosis de ruido, 246-247
DTA, 206
Duplicados de herramientas de corte, 97
Duración del descanso, 129

E

E, 150t
Eastern Rate Case, 10
Ecuación de balance de calor, 251
Ecuación revisada de levantamiento NIOSH, 166
Ecuaciones cuadráticas, 689
Ecuaciones de líneas rectas, 691
Efecto de Hawthorne, 351-352
Efecto de intervalo, 203
Efecto del sexo
  fuerzas de agarre, 215
  fuerza muscular, 138-139
Eficiencia
  balanceo de líneas, 56
  expertos, 10-11, 15-16
  gasto de energía, 154-156
  herramientas, 99-100
  iluminación, 238, 239t
  ingeniería, 12
  fresado, 24
  motor, 98
  operador u operario, 397-400, 617, 619
Eficiencia de la mano de obra, 597-598
Eficiencia del departamento, 597
Ejecución de respuesta, 303
Electromiograma (EMG), 140
Elementos, 9
  constantes, 457-461
  cíclicos, 457
  división en, 385-386
  estudio de tiempos, 383-386
  extraños, 390
  máquina, 472
  no controlado, 390
  número a estudiar, 390-394
  omitidos por el analista, 389
  preparación, 457,458
  realizados fuera de orden, 389
  variables, 457-461
Elementos de planeación, 559

Elementos de trabajo con herramientas, 559
Elementos de trabajo con materiales, 559
Elevador portátil, 103f
Embrague de fricción mecánica, 224
Embrague mecánico automático de apagado, 224
Emerson, Harrington, 12
EMG,140
Empleado calificado, 374
Empleo de tiempo parcial, 268
Enfermedad ocupacional, 274
Enfoque de Dale Carnegie, 658, 659t
  influencia del grupo, 650
  jerarquía de necesidades, 650-652
  teoría de motivación-mantenimiento, 653
Enfoque de la Volvo, 652-653
Engrane del contador de combustible de una bomba mecánica para gasolina, 83
Enriquecimiento de trabajo, 652, 653
Ensamblar, 150t
Ensayo, 296
Entra basura sale basura, 464
Equilibrio de brigadas, 557
Equipo automático, 89-91
Equipo de CN, 89
Equipo de CNC, 89
Equipo de protección, 272-273
Equipo de protección de ojos, 273
Equipo de protección personal, 272-273
Equipo mecanizado, 101-106
Equipos de ergonomía, 661
ErgoMOST, 513
Ergonomía, 181
Ergonomía de la estación de trabajo, 193f
Ergonomics, 14
Ergonomics Research Society, 14
Escala curva, 312f
Escala de evaluación del esfuerzo percibido de Borg (EEP), 160-161
Escala EEP, 160-161
Escala fija manecilla móvil, 311-313
Escala horizontal, 312f
Escala móvil, manecilla fija, 312f
Escala semicircular, 312
Escala vertical, 312f
Escalas circulares, 312f
Escalas de ventana, 312f
Esfera (fórmula), 692
Esfuerzo ocular, 193f
Esfuerzo
  clasificación para calificar, 415
  en evaluación del puesto, 357-358
  tiempo, 40
Espacio de agarre, 219-220
Espacio muerto, 204
Especificaciones, 79-82
Espina, 161, 162f
Espina erectora, 161
Estado
  adaptable, 654
  adulto del ego, 654
  del ego hijo, 654
  inocente, 654
  manipulador, 654
  padre del ego, 654
Estados del ego, 654
Estándares de desempeño profesional, 575-579
Estándares de mano de obra indirecta, 557-558
  aplicaciones de colas, 559-565
  área de herramientas, 558, 565e
  factores que afectan, 558-559
  inspección, 564-565e
  profesionales, 575-579
  simulación Monte Carlo, 566-568
  supervisión, 570-571
  universales, 572-575
  ventajas, 579-580
Estándares de mano de obra indirecta universales (UILS), 572-575
Estándares de preparación, 400-402
Estándares de supervisión, 570
Estándares ergonómicos, 277
Estándares generales, 568-569
Estándares temporales, 398
Estándares, 8. *Vea también* Tiempo estándar
  actividad, 3, 4f, 7
  almacén de herramientas, 565e
  auditoría, 586
  comparación de métodos para establecer, 591t
  de supervisión, 570-571
  desempeño, 627, 631
  generales, 568-575
  indirectos, 556-558
  manejo de materiales, 557
  maneras de establecer, 591-592
  mantenimiento, 586-589
  preparación, 400-402

preparaciones parciales, 402-403
profesionales, 575-579
seguimiento, 585-589
temporales, 398-400
universales (UILS), 572-575
uso de, 589-608
Estandarización de materiales, 86-87
Estatura (altura), 184t
Estenógrafo, 319
Estibador, 102f
Estudio de movimientos, 11-12, 148-154
desarrollo de, 11-12
diagrama de movimientos simultáneos (simo), 148
diagrama de proceso bimanual, 148-153
diagrama de proceso del operario, 148-153
historia de, 11-12
listas de verificación, 149f, 154-155f
movimientos básicos, 148
movimientos fundamentales, 148-149
principios de economía de movimientos, 130-147
therbligs, 148, 150t, 154-155f
Estudio de tiempos, 373-403, 555, 557, 570
cálculo del estudio, 403
calificación del desempeño, 394-395
comparación con muestreo del trabajo, 525, 591t
continuos, 373, 378, 388-389, 396
cronómetro electrónico asistido por computadora, 379t
dificultades encontradas, 389-390
división en elementos, 385-386
ejemplos, 381f, 387f, 391f, 392f, 403
elección del operario, 383-384
elementos, 383-386
elementos extraños, 390, 396
empleados calificados, 374, 383-384
equipo, 377-383
formas, 380, 381f, 387f
número de ciclos de estudio, 390-394
posición del observador, 385
puntos terminales, 373, 385, 389
registro de información significativa, 384-385
requerimientos, 375-377
responsabilidades del
analista, 375-376
operario, 377
sindicato, 377
supervisor, 376
suplementos, 395, 431-452
tabla o tablero, 377, 379-380
un día de trabajo justo, 374
Estudio de tiempos con cronómetro, 591t, 592t
Estudios de micromovimientos, 148
Estudios Hawthorne, 352
Evaluación de puestos, 353-363, 627
clasificación de puestos, 360-361
evaluación del desempeño, 358-360
implementación del programa, 361
método de clasificación, 355
método de jerarquización, 356
plan de comparación de factores, 355-358
plan de descripción de grado, 355
sistema de puntos, 356, 359f, 360f, 361t
Evaluación del desempeño, 358-360, 394-395, 409-427, 557, 641
Evaluación subjetiva del esfuerzo percibido, 160
Exactitud en
cálculo del estudio de tiempos, 395-397
códigos de barras, 108
cronómetros, 377-379
desempeño visual, 444
elementos del estudio de tiempos, 383-386
MTM, 494f, 500-501, 508-510
muestreo del trabajo, 533-534, 535-540
trabajo de estudio de tiempos, 373-374
Explosiones, 272
Exposiciones permisibles al ruido, 246t
Expresiones faciales, 658
Extensión, 128, 210f

F

Facilitar el acuerdo, 660-661
Factor de ajuste en la calificación, 419
Factor de convección
gasto de energía, 157
MTM, 421
Factor de fuerza, 211
Factor de postura, 135, 211
Factor de viento, 254-255
Factores extrínsecos, 653
Factores intrínsecos, 653
FactoryCAD, 117
Fatiga
asignación de descansos, 137-138

coeficiente, 435
descanso para contrarrestar la (therblig), 150t, 154f
músculos, 135-137, 140
ruido, 246
suplementos, 434-436
Fatiga muscular, 135
fc, 234
Federal Register, 274
Feigenbaum, A. V., 665
Filamentos, 129
Filamentos delgados, 129
Filamentos gruesos, 129
fL, 234
Flejadora de acero, 102f
Flexibilidad en la postura, 192
Flexión, 128, 210f
Forma del desarrollo de datos de estándares, 460f
Forma triangular, 220
Formas. *Vea también* Diagramas
estudio de tiempos, 380, 381f, 387f
muestreo del trabajo, 539, 542f, 546f
Formas de estudio de tiempos, 380
Fórmula de estudio de tiempos, 458
Fórmula de Wright, 54
Fórmulas
de uso común, 689-691
tablas, 693-714. *Vea también* Tablas especiales
Fórmulas analíticas, 468-473
Fototropismo, 240
Frecuencia
levantamiento, 345f, 438
multiplicador, NIOSH, 166-167
ruido, 243
vibración, 258-259
Frecuencia cardiaca
guía, 159-161
pico, 160
recuperación, 160
Frecuencia natural, 259
Fresado, 471
Fresado plano, 472
Fuente de luz de haluro metálico, 239t
Fuente de luz de mercurio, 239t
Fuente de luz de sodio a alta presión, 239t
Fuente de luz de sodio a baja presión, 239t
Fuentes de luz, 238
Fuentes de luz artificial, 239t
Fuerza de agarre en la mujer, 217
Fuerza de trabajo contra trabajo disponible, 593-595
Fuerza dinámica, 135
Fuerza estática de flexión de los dedos, 218t
Fuerza muscular, 127, 130-135
área de sección cruzada, 135
ciclos de trabajo-reposo, 137-138
contracción rítmica, 138f
control motriz, 139-146
derecho o zurdo, 138-139
dinámica, 132, 135
efecto de la edad, 129-130
efecto del sexo, 138
estática, 133f, 134t, 211
fatiga, 135-138, 140
isocinéticos, 132
isométrica, 133, 135
isotónica, 132
máximo, 211
psicofísica, 135
resistencia, 135-137
tipos, 132-135
zurdos, 139
Fuerza muscular, 436
Fuerza producida baja, 140
Fuerza psicofísica, 135
Fuerzas de compresión en la espalda, 161-166
Fuerzas de compresión en la espalda baja, 161-166. *Vea también* Anatomía para guías de levantamiento NIOSH,166-169
área lumbar, 161, 162f
discos,163-164
discos desviados, 163
espina erectora, 161
modelos de predicción de fuerza estática, 164
vértebras, 161-164
Funcionalidad, 197
Funciones esenciales, 364
Funciones trigonométricas, 692-693

G

Gantt, Henry Laurence, 13
Gases, 272

Gasto o consuno de energía, 154-158, 440
ácido láctico, 156
aeróbica, 135, 155-156
anaeróbica, 135, 155-156, 158
asignar descanso, 158
cálculo, 157
déficit de oxígeno, 156
deuda de oxígeno, 156
ejemplos, 157f
fosfato de creatina (CP), 155-156
glucosa, 156
guía, 159
límite aceptable, 158
máximo, 158
trifosfato de adenosina (ATP), 154-156
Gastos generales, 598
Gilbreth, Frank y Lilian, 11-12
Glosario, 672-687
Grados de trabajo, 360, 361
Gráfica de Gantt, 25-26
Gráfica de Gantt basada en máquina o proceso, 26f
Gráficas cruzadas (o de punto de equilibrio), 338-342
Gráficas de control, 536-540
Gráficas de curvas, 461-462, 465-468
de aprendizaje, 641-647
normal, 182-183e, 410-411
Gráficas de recorrido, 111, 112f
Gráficas PERT, 21, 27-30, 64
holgura, 28
red, 28-29
ruta crítica, 28-29
Gráficas, 461-462
Grúa de brazo, 103f
Grúa de camión, 103f
Grúa móvil tipo puente, 103f
Grúa portátil, tipo cuello de ganso, 103f
Guantes, 222
GUI, 322
Guía de análisis del trabajo/lugar de trabajo, 30, 31
Guía de levantamiento NIOSH, 17t, 166-175
distancia horizontal, 172
ejemplo, 171-172e
guías generales de levantamiento, 172-173
índice de levantamiento (IL), 169
índice de levantamiento compuesto (ILC), 170-171
levantamiento con tareas multiples, 170-172
límite de peso recomendado (LPR), 166
movimientos torcidos, 172
multiplicador de acoplamiento, 167-169
multiplicador de frecuencia, 167-169
Guía de levantamiento, 166-173
Guías de levantamiento con tareas múltiples, 170-172
Guías. *Vea también* Niveles recomendados
calificación de velocidad, 413-414
calificación, Westinghouse, 414-418
exposición a la vibración, 258-261
gasto de energía, 157-158
guía de levantamiento (NIOSH), 166-172
niveles de iluminación, 234-241
niveles de ruido, 242-250
niveles de tensión por calor, 250-255
recuperación de ritmo cardiaco, 159-160
requerimientos de ventilación, 255-258
suplementos (ILO), 437t
suplementos (revisados), 453t
trabajo por turno, 261-268
zona de comodidad térmica, 250-253

H

H.B. Maynard & Company, 580
Habilidad
impacto en la evaluación del trabajo, 357-360
tabla de calificaciones de Westinghouse, 415t
Herramientas, 94-100. *Vea también* Herramientas para resolver problemas
agarre de pistola, 223
alineado, 215
carburo de titanio, 99
cuchillo, 213, 215, 216f, 217
de potencia, 222-225
desarmador, 100, 213, 222
eficientes, 99-100
geometría de, 99
martillo, 213
sierra, 217
uso completo de, 86
Herramientas de corte recubiertas, 99
Herramientas de decisiones económicas, 345-348

Herramientas de potencia, 222-224
agarre de pistola, 223
balanceadores de herramientas, 224
barras de reacción, 224
desarmadores, 222
en línea, 223
mecanismo de apagado, 224
orientación, 222-223
torque, 224
Herramientas para dos manos, 219
Herramientas revestidas con carburo de titanio (TiC), 99
Herramientas tipo pulso, 224
Hertz (Hz), 243
Hoja de resumen de muestreo de trabajo, 542f
Hoja de trabajo para el análisis de tareas múltiples, 172, 173f
Hoja de trabajo para el análisis de tareas múltiples de NIOSH, 172,173f
Holgura, 28
Hombres diestros, 217
Hombres zurdos, 217
Horarios de trabajo, 261-268
cansancio después de comer, 262
productividad, 266-267
ritmos circadianos, 262, 263f
rotación rápida, 262-265
semana de trabajo comprimida, 267-268
tiempo extra, 266-267
tiempo flexible, 268
turnos de ocho horas, 264t
trabajo por turnos, 261-266
turnos de doce horas, 265t
Human Factors and Ergonomics Society, 14-15
Human Factors, 15
Hz, 243

I

I, 150t
I&D, 6
Iconos, 323
IIE, 14
IL independiente de la frecuencia (ILIF), 170
ILC, 170
ILIF, 170
ILST, 170
Iluminación o luz directa, 239, 240f
Iluminación, 234-241, 280, 442-443
al ras, 241f
ángulo visual, 235, 444
candela, 234
color, 241-242t
contraste, 235, 444
curvas de Blackwell, 235-236
directa, 239-240
eficiencia, 238, 239t
estudio Hawthorne, 351-352
fototropismo, 240
fuente puntual, 234
iluminancia, 234, 235, 237-238, 443-445
iluminación translúcida, 241 f
indirecta, 238
intensidad, 234
intensidad luminosa, 234
luminarias, 238-240, 241f
niveles recomendados, 236-238
medidor de luz, 237
pie-Lambert, 234
pies-candela, 234
reflectancia, 234-235, 237-238, 241f
reflejo, 240
rendimiento de color, 238
superficie mate, 240
suplementos, 442-443
visibilidad, 235-236, 280
Iluminancia, 236-238
Implementación del programa de evaluación de puestos, 361
IMPROSHARE, 621-622
Incentivos. *Vea* Pago de salarios
Índice de dificultad, 301
Índice de factor de viento, 254
Índice de levantamiento (IL), 169
Índice de levantamiento compuesto (ILC), 170
Índice de levantamiento de una sola tarea (ILST), 170
Información, 307-308
alfanumérica, 308
cualitativa, 307
cuantitativa, 307
de estado, 308
de fase de tiempo, 308
dinámica, 307
estática, 307
Información útil, 699. *Vea también* Tablas especiales

Ingeniería de métodos, 5-7, 22
análisis de la operación, 71-119
analizar los datos, 30-64
dar seguimiento, 364, 585-588
desarrollar el método ideal, 23, 42-64
desarrollar análisis de puesto, 354-364
desarrollos históricos, 9-16
diseñar herramientas, 212-215
diseñar máquinas y equipo, 198-206
diseño del entorno de trabajo, 233-282
diseño del lugar de trabajo, 181-206
diseño del trabajo manual, 127-175
establecer los tiempos estándar, 373-580
mano de obra indirecta y general, 555-580
obtener y presentar datos, 23
presentar e instalar el método, 6, 333, 348-352, 365-367
procedimiento sistemático, 5-7
seleccionar el proyecto, 22-30
Ingeniería del valor, 335
Inhibición recíproca, 141
Inspección de 100%, 81
Inspección puntual, 81
Inspección, 81-82, 274-275, 445e
del 100%, 81
lote por lote, 81
puntual, 81
visual, 445e
Inspeccionar, 150t
Inspecciones del lugar de trabajo, 274-275
Instalaciones mecánicas, 91
Institute of Industrial Engineers (IIE), 14
Instrucciones escritas, 640
Instrucciones gráficas, 640
Interacción persona-computadora, 317-325
agendas electrónicas, 322
dispositivos para señalar, 320-321
interfaz gráfica de usuario, 322
monitor, 321-322
portátiles, 322
teclados, 317-320
Interacciones humanas, 654-662
Interfaz gráfica de usuario (GUI), 322
International Ergonomics Association, 15
Intervalos para ajuste de asientos, 192t
Investigación y desarrollo (I&D), 6
Irregularidades del material, 447
ISO 9000, 666
Isocinéticos, 132
Isométrica, 133
Isotónica, 132

J

Jack, 183
Jerarquía de necesidades humanas de Maslow, 650-652
JIT, 96, 664
Jornada de trabajo medida, 618-619
Juicio absoluto, 309
Juicio relativo, 309
Juran, J. M., 665
Justo a tiempo (JIT), 96

K

Kaizen, 664
Kanban, 664
Keiretsu, 87

L

Lecturas, reloj (W)
continuas, 373, 378, 386-389, 396
regresos a cero, 378, 381f, 386-388
Lenguaje corporal, 658
Lesión de trabajo, 274
Lesiones por movimientos repetitivos, 206
Letreros, 316
Levantamiento de una caja, 171-172
Levantamiento manual, 172-173
Ley de Fitts, 301
Ley de Hick-Hyman, 299, 302f
Ley de los cosenos, 693
Ley de los senos, 692
Ley de Weber, 309, 310f
Ley de Yerkes-Dodson, 305, 306f
Límite de peso recomendado (LPR), 166
Lista de evaluación de preparaciones y herramientas, 95f
Lista de verificación
de economía de movimientos, 149t
de herramientas, 225f
de la estación de trabajo, 199f
de la interfaz gráfica de usuario, 325f
de therbligs, 154f
del análisis de la operación, 120-121f

para el diseño de pantallas, 318-319f
para evaluar el trabajo cognitivo, 307f
Lista evaluación de máquinas, 207-208f
Listas de verificación. *Vea también* Análisis; Diagramas; Guías
análisis de la operación, 120-121f
análisis MTM-2, 516-519f
análisis therblig, 154-155f
economía de movimientos, 149f
entorno de trabajo, 282t
evaluación de la estación de trabajo, 199f
evaluación de máquinas, 207-208f
evaluación de preparación y herramientas, 96f
evaluación de postura general y tarea, 165f
evaluación de tareas, 175f
incentivo salarial, 629f
índice de riesgo de desorden por trauma acumulado, 212f
guía de análisis de trabajo/lugar de trabajo, 31f
verificación de herramientas, 225f
Lluvia de ideas, 661
Logaritmos, 689
Longitud del mango, 218-219
Lordosis, 189
LPR de una sola tarea (LPRST), 170
LPR independiente de la frecuencia (LPRIF), 170
LPR, 166
LPRIF, 170
LPRST, 170
Luces de advertencia, 315
Luces indicadoras, 315
Luminarias, 238
Luminarias de nave alta, 240f
Luminarias de nave baja, 240f
Luminarias de techo, 240f
Luminarias en lugares húmedos, 240f
Luminarias suplementarias, 241f
Lux, 234f
Luz difusa, 240f
Luz directa-indirecta, 239, 240f
Luz fluorescente, 239t
Luz hacia abajo, 240f
Luz incandescente, 239t
Luz indirecta, 238, 240f
Luz intermitente, 315

M

M, 150t
Malacate en monorriel, 103f
Manejo de materiales, 100-109
almacén, 101, 103f
códigos de barras, 107-109
definición, 100
equipo, 101-106
estándares, 558
grúa mecanizada, 107, 108f
manejar con más cuidado, 107
máquina de almacenamiento vertical, 104f
mesa elevador, 102f
montacargas de horquilla, 103f
principios, 109
utilizar mejor, 106
vehículo de guía automatizada (AGV), 104
Mangos, 213, 214, 215f, 217-221
diámetro, 217-218
forma y tamaño, 220-221
superficie, 221
mango T, 221
Manivelas, 200
MannequinPro, 183
Mano de obra directa, 600
Mano de obra general, 555
Mano de obra indirecta, 555, 600
Mantenimiento, 268-272
Manufactura esbelta, 663
Manufactura, 87-93
cercana a la forma final, 91-92
mecanización de operaciones manuales, 89-91
operación más eficiente, 91-92
reorganización de operaciones, 88-89
uso eficiente de instalaciones, 91-92
uso de robots, 92-93
Mapa o gráfica de incomodidad del cuerpo, 210, 211f
Mapeo del espacio, 206
Mapeo, 206
Máquina herramienta operada con el pie, 147f
Material, 82-87
desperdicio, 85-86
encontrar el mejor proveedor, 87
estandarización, 86-87
keiretsu, 87
más fácil de procesar, 84

menos costoso, 82-83
recubrimientos en polvo, 84
recuperación, 85-86
suministros, 86
uso económico de, 84-86
uso total de suministros y herramientas, 86
Materiales corrosivos, 271
Materiales de recuperación, 85
Materiales inflamables, 272
Materiales irritantes, 272
Materiales tóxicos, 272
Materiales, 82-87
Matriz de arrepentimiento, 344
Maxi MOST, 513
Meany, George, 626
Mecanización del trabajo, 91
Mejora continua, 664
Mejora continua de la calidad, 665
Mejora de métodos, 365-367
Memoria de corto plazo, 296
Memoria de largo plazo, 297
Memoria de trabajo, 295-297
Memoria, 295-297
Menú, 323
Mesa elevador hidráulica, 102f, 105f
Metabolismo aeróbico, 155-156
Metabolismo anaeróbico, 135, 156
Método
continuo, 388-389
de Ashcroft, 55
de clasificación, 355
de comparación de factores, 356-358
de flujo de efectivo descontado, 346
de jerarquización, 356
de pagos, 346
de regresos a cero, 386-388
de rendimiento sobre la inversión, 346
de rendimiento sobre ventas, 346
de voltear camiseta, 518f
de medición de tiempo (MTM), 485-507
Metrónomo, 383
MI, STD-1567A, 715-718
Mini MOST, 513
Mini-Gym, 132
Miofibrillas, 129
Modalidad del despliegue, 308
Modelo completo, 465
Modelo de procesamiento de información humano, 289-295
Modelo reducido, 465
Modelos computarizados, 164-165
Modelos de predicción de fuerza estática 3-D, 164, 165
Molestia, 248
Monotonía, 446
Montacargas, 103f, 106f
con motor, control manual, 103f
con plataforma baja, 102f
de elevación alta, 103f
de horquilla, 103f
Mordaza automática, 103f
MOST, 508-514, 580
Motivación, 649-654
Motogrúa industrial, 103f
Motor eficiente en energía, 99e
Mover, 150t
Movimiento
balanceado, 141
balísticos, 141
curvos continuos, 144
de clase cuatro, 145
de clase dos, 145
de clase tres, 145
de clase uno, 146
de los dedos, 145
del antebrazo, 145
del cuerpo, 145
del hombro, 145
en línea recta, 144
lentos, 131
torcidos, 172
MTM, comparación de sistemas, 508
MTM-1,485-491
MTM-2 lista de verificación para análisis de métodos, 516-517f
MTM-2, 484-485, 491-500, 515-518, 580
casos, 495-496
ejemplos, 499f, 518e
lista de verificación, 516-517f
MTM-3,500-501
MTM-C, 502-504
MTM-C Nivel 1, 502-503
MTM-C Nivel 2, 503-504
MTM-M, 504-507
MTM-MEK, 507
MTM-TE, 507
MTM-UAS, 507-508
MTM-V, 501

Muestreo del trabajo, 525-550, 555, 557, 579
autoobservación, 544-546
comparación con estudio de tiempos, 525, 591t, 592t
computarizado, 548-549
estándares de tiempo, 591t, 592t
exactitud o precisión, 527, 533-534
forma, 535-536, 537f, 540, 542f, 546f
frecuencia de las observaciones, 534-535
gráficas de control, 536-540
observaciones necesarias, 533-534
planeación del estudio, 532-540
registro de datos, 540
suplementos, 431, 433-434, 525, 541-543
teoría de, 526-531
tiempo estándar, 525, 543, 545e, 547-548e
utilización de máquinas, 525, 540-541
venta, 531-532
Multimedia Video Task Analysis (MVTA), 380, 383
Multiplicador de acoplamiento, 168
Muñeca, 215
Muñeca derecha, 215
Murray, Philip, 627
Músculo
bíceps, 128,214
espina erectora, 161
extensor de carpo, 208
flexor de carpo, 208
MVTA, 380, 383

N

Naranja, 242t, 269
National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 16, 274
Necesidades
de autoestima, 650, 652
de seguridad, 650, 651
fisiológicas, 650-652
personales, 434
sociales, 650, 652
Negro, 269
Nervio de sordera, 244
Neutralidad térmica, 251
Nivel de ruido, 440-442
Nivel de sonido con ponderación A, 243, 245
Niveles de estrés por calor, 253f
Niveles de iluminación, 442-443
Niveles recomendados. *Vea también* Guías
frecuencia cardiaca, 159-161
gasto de energía, 158
iluminación, 234-239
peso (LPR), 166
radiación, 261
ruido, 246-247
vibración, 259, 260f
Nomogramas, 461-462, 463f
Número de observaciones
para estudio de tiempos, 390-394
para muestreo del trabajo, 533-534
Número de
ciclos para estudio de tiempos, 390-394
observaciones necesarias para muestreo del trabajo, 533-534
ocurrencias de elementos en un ciclo, 397
operarios para balanceo de líneas, 57-58
Números aleatorios, 699-700

O

Objetivos, 8-9
Objetivos del sindicato, 662-663
Occupational Safety and Health Act (OSHA), 273-274
Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 16, 18t, 233, 246-247, 273-280
administración médica, 279
análisis del lugar de trabajo, 278-279
citatorios, 275-276
guía de administración del programa de ergonomía, 18t, 233, 277-280
inspecciones, 274-275
multas, 276
NIOSH, 274
OSHAct, 16, 18t, 166, 233, 273-275
tasas de incidencia, 278
tasas de severidad, 278
violaciones, 276
Operación de presa de dos botones, 270, 271f
Operaciones manuales mecanizadas, 89-91
Organizaciones profesionales, 14-15
Organizaciones que promueven ingeniería de métodos y diseño del trabajo
American Management Association, 14, 17t
American Society of Mechanical Engineers (ASME), 9, 14

Ergonomics Research Society, 14, 17t
Human Factors and Ergonomics Society, 14, 17t
International Labour Office (ILO), 435-436
Society for the Advancement of Management, 14, 17t
Organizaciones técnicas, 14-15
Oscilaciones, 259
OSHA, 16, 273
estándares, 274
inspecciones, 274-275
nivel de ruido, 246-247
programa de ergonomía, 277-280
OSHA Act, 273-274

P

P, 150t
Pácticas administrativas, 639-668
análisis transaccional, 654-658
capacitación, 640-648
comunicaciones, 658-662
interacciones humanas, 654-658
motivación de empleados, 649-654
relaciones laborales, 662-663
Pago de salarios, 613-635
actitudes del sindicato, 626-627
administración del sistema, 630-634
costos unitarios de mano de obra, 614, 617, 625e, 633
diseño de, 628-630
ejemplos, 622e, 625e
falla de, 630
fracción de participación, 622-623
ganancias compartidas o reparto de utilidades, 614, 622-626, 635t
horas estándar, 616-618, 622
IMPROSHARE, 620, 621-622
jornada de trabajo medida, 618-619
lista de verificación, 629t
motivación, 628-630
no financieros, 634
pieza trabajada, 613, 616, 617
plan de Rucker, 621
plan Scanlon, 620
planes de compensación flexibles, 613, 615-626, 635t
planes de jornada de trabajo, 634-635
planes de obtención de utilidades, 614, 619-626
principios, 628
requisitos de un plan de incentivos salariales, 627-628
trueque con lesiones, 635
Palancas, 200
Palear
experimento, 10
frecuencia natural, 143
suplemento de descanso, 440-441e
Palmadas negativas, 656-657
Palmadas positivas, 656-657
PalmCAWS, 548
PalmCITS, 380
Pantalla de información auditiva, 316-317
Pantalla de tacto, 320
Pantalla digital, 312f, 313
Pantalla electrónica, 312f
Pantallas, 206. *Vea también* Controles
compatibilidad, 206
de monitor, 321
retroalimentación, 206
mapeo, 206
Papeles desempeñados, 661
Participación de los empleados, 277
Paso normal, 374
Patrón de llegadas Poisson, 560, 561-562f
Peligro inminente, 276
Percentiles, 182
Percepción, 290
Pérdida de audición, 244-245
Pérdida de calor por convección, 254
Pérdida de calor por evaporación, 254
Perillas de posición graduada, 208f
Perillas de rotación fraccionaria, 208
Perronet, Jean Rodolphe, 9
Peso, 154t
Peso de herramientas, 228
Pesos (barras de acero y discos), 707
Pie-Lambert (L), 254
Pies-candela (fc), 254
Pirámide (formación), 662
Pizza, 256
PL, 256
Planeamiento, 1022
Plan de compensación de equipo, 1262
Plan de compensación diferida, 1262
Plan de participación de ganancias y de reparto de utilidades, 1262

Plan de horas estándar, 616-618
Plan de obtención de acciones, 622
Plan por pieza trabajada, 616, 617
Plan Rucker, 621
Plan Scanlon, 620
Planeación de la distribución de Muther, 197
Planeación sistemática de la distribución (PSD), 111-114
Planeación sistemática de la distribución de Muther, 111-114
Planear, 150t
Planes combinados, 624
Planes de calidad de vida en el trabajo, 634
Planes de compensación flexibles, 615
Planes de ganancias compartidas, 619-626
Planes de ganancias diferidas, 623
Planes de incentivos de grupo, 615-616
Planes de jornada de trabajo, 614-615
Planes de motivación no financieros, 634
Planes de productividad compartida, 619-626
Planes de reparto de utilidades, 614, 622-626, 635t
  planes combinados, 624
  planes de efectivo, 623
  planes diferidos, 623-624
Planes individuales de incentivos, 615-616
Plataforma de arrastre, 102f
Plataforma elevador, 102f
Plataformas, 102f
Pluma de luz, 320
Polvos, 272
Polvos para recubrimiento, 84
Portadocumentos, 193f
Posición de prueba para fuerza de levantamiento
  con el torso, 133f
  con la pierna, 133f
  con el brazo, 133f
Posicionar, 150t
Postura, 436
Postura general y lista de verificación para evaluación de tareas, 175
Posturas de sentado, 189f
PP, 150t
PPT, 247
Preparación, 94-100
Preparaciones parciales, 402-403
Preparaciones y herramientas, 94-100
  eficiencia en energía, 98-99
  estándares, 400-402
  herramientas, 94-100
  justo a tiempo, 96
  lista de evaluación, 95f
  parciales, 402-403
  reducción de, 96-98
  SMED, 96
  tecnología de grupos, 94
  utilización de la capacidad total, 98-99
Preposicionar, 150t
Presión con dedos, 213f, 214
Prestaciones, 613
Principio ambiental, 119
Principio de
  automatización, 109
  carga unitaria, 109
  costo del ciclo de vida, 109
  estandarización, 109
  excepción, 608
  movimientos combinados, 498
  movimientos limitantes, 498
  movimientos simultáneos, 497
  planeación, 109
  razón insuficiente, 343
  sistema, 109
  tamaño, 140
  utilización del espacio, 109
  Warrick, 206
Principio del trabajo, 109
Principio ergonómico, 119
Principios. *Vea también* Criterio; Guías
  antropometría, 181-187
  de diseño de herramientas, 212-225
  de diseño de máquinas y equipo, 198-206
  de diseño del entorno de trabajo, 233-282
  de diseño del lugar de trabajo, 181-206
  de diseño del trabajo manual, 127-175
  de manejo de materiales, 109
  de economía de movimientos, 130-147
  frecuencia de uso, 196
  importancia, 196
  movimientos limitantes (MTM), 498
  movimientos simultáneos (MTM), 498-499
  para diseño de equipo, 198-199
  tamaño, unidades motoras, 139
  para incentivos salariales, 628
Principios de la Administración Científica (Taylor), 664
Prisma (fórmula), 691
Problemas de administración, 608

Procedimiento de análisis de riesgo de DTA, 211
Procedimiento de seguridad para levantamientos, 174f
Procesamiento de abajo arriba, 291
Procesamiento de arriba abajo, 290
Procesamiento de información humano, 289-306
  ejecución de la respuesta, 303
  inspección, 293-295
  ley de Fitts, 146, 301-302e
  memoria, 295-297
  percepción, 290
  recursos de atención, 290f
  selección de respuesta, 297-302
  teoría de detección de señales, 290-295
  toma de decisiones, 297-302
Proceso de Taylor-White de tratamiento térmico, 10
Producción justo a tiempo (JIT), 664
Productividad
  en el trabajo del turno, 266-267
  importancia, 1-5
  mejoras a la, 336-337e, 351-352
Programa de control de la calidad en toda la compañía, 665
Programación, 595-597
Programación a largo plazo, 595
Programación de órdenes recibidas, 595
Programación detallada de la producción, 595
Programas de capacitación en la planta, 647
Programas de construcción, 117
Programas de mejoramiento, 117
Programas de trabajo alternativos, 268
Pronación, 210f
Propósito de la operación, 73-76
Protección del oído, 249-250
Proveedores, 87
Proyecto basado en la gráfica de Gantt, 26f
Prueba lineal general, 465
PSD, 111-114
Pulgar, 217, 218t
Punto de comparación (*benchmark*)
  calificación, 410, 418, 420, 421
  estándares, 570, 572-575
Punto de cruce
  análisis cruzado (punto de equilibrio), 339-342, 601-602
  incentivos salariales con lesiones, 635
  toma de decisiones, 344
  velocidad-exactitud, 141
Puntos, 624
Puntos de rastreo, 320
Púrpura, 242t, 269

Q

Quality Control Handbook (Juran), 665
QuickTimes, 380
QuickTS, 380, 382, 408

R

Radiación, 261
  calor, 250-251, 254
  dosis, 261
  gama, 261
  límites, 261
  rad, 261
  rem, 261
Rango medio de movimiento, 130-131
Ratón de bola, 320
Ratón, 320
Razón C/R, 203, 205f
Razón control-respuesta (C/R), 203, 205f
RE, 150t
Recubrimiento en polvo, 84
Redundancia, 289, 311
Reflectancia, 234, 235
Reflejo directo, 240
Reflejo, 239-241
Reforzamiento positivo, 651
Región cervical, 162f
Región torácica, 162f
Regla, 80-20, 23
Regla de Miller, 296, 309, 314
Regresión hacia la media, 425
  cronómetro, 374, 377-379
  equipo de capacitación, 383
  paso normal, 374
  regresos a cero, 378, 381f, 386-388
  verificación de tiempo, 373, 397
  videograbación, 379
Reingeniería corporativa, 5
Relación fuerza-longitud, 130
Relación fuerza-velocidad, 132
Relaciones de trabajos, 662-663

Relaciones hombre-máquina, 42-64
balanceo de líneas, 56-64
diagrama de flujo del proceso, 34-38
diagrama de proceso del operario, 30-34
diagramas de proceso hombre-máquina, 40-44
diagramas de flujo, 38-40
servicio aleatorio, 50-53
servicio sincronizado, 44-50
Rem, 261
Rendimiento sobre
inversión, 346-348
ventas, 346
Reorganización de operaciones, 88
Reorganización del trabajo, 653
Representación de información, 308
Requerimientos de caballos de fuerza, 707-709
Resistencia al cambio, 350-351
Resistencia de control, 203
Resonancia, 259
Responsabilidades del
analista, 375-376
operario, 377
sindicato, 377
supervisor, 376
Restricciones de zonas, 60-61
Retraso inevitable, 150t, 447-448
Retrasos o demoras evitables, 150t, 448
Retroceso, 645
RI, 150t
Rigidez en la postura, 192
Ritmos circadianos, 262, 263
Ritmos naturales del cuerpo, 143
Rituales, 657
Robots, 92-93
Roentgen (R), 261
Rojo, 242t, 269, 310
Roosevelt, Franklin D., 13
Rotación de turnos de doce horas, 264-265
Rotación de turnos de ocho horas, 264
Rotación del trabajo, 652
Rucker, Allen W., 621
Ruido de banda ancha continuo, 245
Ruido de banda ancha intermitente, 245
Ruido de banda ancha, 244-245
Ruido significativo, 244-245
Ruido, 242-250, 280
bandas de octava, 245f, 248, 249t
control de, 248-249, 250f
decibel, 243-244
dosis,246-247
intensidad, 243-244
molestia, 248
niveles permisibles, 246-248
pérdida de audición, 244-246
ponderado A, 243
promedio ponderado de tiempo, 248
protección del oído, 249-250
sonido, 242-243
suma logarítmica del, 243
suplemento, 440-442
Ruta crítica, 28, 29
Rutas entre los centros de trabajo, 597

S

S, 150t
Sacro, 162f
SAM, 14
Scanlon, Joseph, 620
SE, 150t
Seleccionar el proyecto, 6, 21-28
análisis de Pareto (regla 80-20), 23-24
diagrama de pescado (causa y efecto), 24-25
gráfica de Gantt, 25-26
gráfica PERT, 27-30
Seleccionar, 150t
Sección cruzada circular, 220
Sección cruzada rectangular, 220
Sección triangular, 220
Secciones cruzadas hexagonales, 220
Secuencia de uso, 197
Secuencia y procesos de manufactura, 87-93
Seguimiento y mantenimiento de tiempos estándar, 586-589
Seguimiento, 364, 585-589
Seguridad, 233, 268-273, 280
corredores, escaleras, 268-269
equipo de protección personal, 272-273
mantenimiento, 268-272, 281
materiales inflamables, 271
vapores químicos, 271-272
Selección de respuesta, 297-302
Semana de trabajo comprimida, 267
Señal de alto, 311
Señalador, 323
Señales auditivas de dos etapas, 316
Señales auditivas, 316-317

Sensibilidad, 293, 296f
Servicio al cliente, 608
Servicio aleatorio, 50-53
Servició sincronizado, 44-50
Sesgos, 298
Sholes, C. L., 317
"Shop Management" (Taylor), 9
Silla ajustable, 189f
Silla de montar, 191f
Sillas, 188-192, 193f
Simplificación del trabajo, 653
Simulación Monte Carlo, 566-568
Síndrome de dedos pálidos, 259
Síndrome de Raynaud, 209, 260
Síndrome de túnel de carpo, 208-209
Sistema de calificaciones de Westinghouse, 414-418
Sistema de producción Toyota (SPT), 663-664
Sistema de puntos, 356
Sistema de tiempos predeterminados Work-Factor, 484
Sistema de turnos de rotación rápida, 262-264
Sistema de turnos de siete días rotación rápida, 264
Sistema óseomuscular, 128-132, 206-212
  agonista, 128
  antagonista, 128
  desviación cubital, 208
  desviación radial, 208, 209
  extensión, 128, 208, 210f
  filamentos, 129-133
  flexión, 128, 208, 210f
  fuerza, 127, 135
  longitud de reposo, 129
  momento, 132
  músculo, 128-129, 131
  nervio mediano, 209f
  postura de descanso, 129
  postura neutral, 129
  rango de movimiento, 129
  relación fuerza-longitud, 130-131
  relación fuerza-velocidad, 132
  tendón, 208
  teoría de filamento deslizante, 129-131
Sistema SAE de designación numérica para aceros, 708
Sistema Vision 3000, 164
Sistemas aditivos, 484
Sistemas de aceleración-desaceleración, 484
Sistemas de ganancias compartidas, 622-626
Sistemas de movimiento promedio, 484
Sistemas de tiempos predeterminados, 483-518, 555, 558, 591t, 592t
  análisis de métodos, 515-518
  aplicación, 514-518
  comparación, 508
  datos de estándares, 514-515
  ejemplo, 518e
  grupos, 484
  historia, 483-485
  lista de verificación, 516-517f
  Methods Time Measurement (MTM), 484-508
  MOST, 485, 508-514
  MTM-1, 485-491
  MTM-2, 485, 491-500, 518e
  MTM-3, 500-501
  MTM-C, 502-504
  MTM-M, 504-507
  MTM-MEK, 507
  MTM-TE, 507
  MTM-UAS, 507-508
  MTM-V, 501
  Work-Factor (therblig), 484-485
Sistemas MTM especializados, 507-508
Sitios de Internet
  ergonómicos, 332
  NIOSH, 180
SMED, 96, 664
SO, 150t
Society for the Advancement of Management (SAM),14
Society of Industrial Engineers, 14
Software
  calificación del desempeño, 427
  datos de estándares, 481
  diseño de herramientas, 285, 332
  ergonomía, 189-190,232
  estudio de tiempos, 380-383, 406-407
  herramientas para la solución de problemas, 70
  muestreo del trabajo, 548-549, 553
Software para computadora. *Vea* Software
Software para estudio de tiempos, 380-383
Software para muestreo del trabajo, 548-549
Soltar, 150t
Sonido, 242-250. *Vea también* Ruido
  niveles equivalentes, 245f

ondas, 242-243
velocidad, 243
Soporte lumbar, 189
Sostener, 150t
SPIRAL, 117-118
SPT, 663-664
STORM, 64
Subgrupos, 661
Superficie de agarre, 221
Superficie de herramientas, 221
Supinación, 210f
Suplemento de descanso, 434-447. *Vea también* Suplemento por fatiga básica
Suplemento por fatiga básica, 434
Suplementos adicionales, 448-450
Suplementos constantes, 434
Suplementos especiales, 447-451
Suplementos para lubricación de máquinas, 450t
Suplementos para mantenimiento de herramientas, 449-450, 451t
Suplementos por fatiga variable, 435-447
condiciones atmosféricas, 440-442
fuerza muscular, 436-440
iluminación, 442-443
monotonía, 446
postura anormal, 436
principios básicos, 435-436
ruido, 440-442
tedio, 446-447
tensión mental, 445
tensión visual, 444-445
Suplementos por política, 450
Suplementos recomendados ILO, 437t
Suplementos, 431-453, 457-458, 525, 541-543, 557
adicionales, 434, 448-450, 631
alimentación automática, 449-450
antropométrico, 186e
aplicaciones de los, 451
calor, 437
condiciones atmosféricas, 440
datos de estándares, 364
demoras evitables, 434, 448
demoras inevitables, 434, 447-448, 541
especiales, 434, 447-451
estación de trabajo limpia, 449-450
fatiga, 434-447
fatiga variable, 435-447
fuerza muscular, 436-440
ILO, 435, 437t
industriales típicos, 432t
iluminación, 442-443
interferencia de máquina, 448-450
lubricación de máquina, 449
mantenimiento de herramientas, 448-450
monotonía,446
muestreo del trabajo para determinar, 541-543
necesidades personales, 434
política, 434, 450-451
postura anormal, 436
propósito de, 431
ruido, 440-442
tabla de, 453t
tedio, 446-447
tensión mental, 445-446
tensión visual, 444-445
tipos, 434f
valores, 453t

T

T, 150t
Tabla de conversión al sistema métrico, 713-714
Tabla de multiplicadores de frecuencia (FM), 167
Tabla de producción por hora, 701-702
Tablas de acciones de riesgo, 334, 335
Tablas de decisiones, 334-335
Tablas de información. *Vea también* Tablas especiales
Tablas especiales, 693-714
cálculos de velocidad, alimentación, 703
distribución normal estándar, 697
distribución *t*, 696
factores de interés compuesto (15%), 200
información útil, 701
números aleatorios, 699-700

pesos (barras de acero y latón), 705
requerimientos de caballos de fuerza, 707-709
senos y tangentes naturales, 695-696
sistema SAE de designación numérica para aceros, 706
tabla de conversión al sistema métrico, 713-714
tabla de producción por hora, 703-705
tiempo de espera por interferencia, 710-712
tiempo de operación, 710-712
velocidades de corte (tamaños fraccionales), 706
Tablero de carátulas, 314, 315
Tablero de estudio de tiempos, 379-380
Tableta digitalizadora, 320
Taladro, 468
distancia de recorrido de la broca, 469
trabajo con, 468-470
velocidad, 469
Taladro de mano, 223
Taladros
datos de estándares, 468-470
puntas de carburo, 99
Tamaño
de agarraderas, 217-220
del control, 202
Tamaño del pecho, l84t
Tapetes antifatiga, 192
Tapones para los oídos, 249
Tarea de barrenado de Fitts, 303
Tarea de color y palabras de Stroop, 301
Tareas repetitivas, 446
Tarimas, 102f
Tarjeta de datos BasicMOST, 510-512f
Tarjeta de operación de producción, 399f
Tasa de reducción de ruido (TRR), 249
Tasa de salarios *Vea también* Pago de salarios
Tasas de círculo rojo, 361
Taylor Society, 14
Taylor, Frederick W., 9-11, 457
TDCM, 339
TDS, 291-295
Teclado Dvorak, 319
Teclado QWERTY, 317, 319
Teclados, 317-320
Técnica secuencial de operación Maynard (MOST), 508-514
Técnicas de exploración, 23-30
Técnicas de registro y análisis, 30-42
Técnicas para la solución de problemas, 21-64
análisis de Pareto (regla 80-20), 23-24
balanceo de líneas, 56-64
diagramas de pescado (causa y efecto), 24-25
diagrama de flujo, 38-40
diagrama de flujo del proceso, 34-38
diagramas hombre-máquina, 40-44
diagramas de proceso de grupo, 41-42
diagrama de proceso de la operación, 30-34
guía de análisis de trabajo/lugar de trabajo, 31f
gráfica de Gantt, 25-26
gráfica PERT, 27-30
servicio aleatorio, 50-53
servicio sincronizado, 44-50
Tecnología de grupos, 94, 96f
Tedio, 446
Teléfono, 193f
Temperatura de bulbo húmedo natural (BHN), 252
Temperatura de bulbo seco (BS), 252
Temperatura de globo (TG), 252
Temperatura equivalente con factor de viento, 254
Temperatura global de bulbo húmedo (TGBH), 251
Temperatura, 250-255
aclimatar, 254-255
control de, 253-254
intercambio de calor, 251
niveles recomendados, 253
núcleo, 250-253
rotación, 254
temperatura global de bulbo húmedo (TGBH), 251-253, 440
tensión por calor, 251-254
tensión por frío, 254-255
zona de comodidad térmica, 250-253
Tendinitis, 208
Tenosinovitis, 208
Tensión mental, 445
Tensión por calor, 251-254
Tensión por frío, 254-255
clo, 255
índice de factor de viento, 254
temperatura equivalente con factor de viento, 254
Tensión visual, 444-445

Teorema binomial, 526, 689
Teoría de colas, 559-565
Teoría de detección de señales (TDS), 290-295
Teoría de filamento deslizante, 129
Teoría de la información, 288-289
Teoría de mantenimiento de la motivación, 653-654
TG, 252
TGBH, 251
Therbligs, 148-150, 154-155f, 195-196, 483
  definición, 148
  efectivos, 150t
  no efectivos, 150t
  verificación, 154-155f
Tiempo de atención del operario, 41, 43, 44
Tiempo de espera de interferencia, 710-712
Tiempo de espera por interferencia de máquina, 710-712
Tiempo de interferencia, 557
Tiempo de interferencia de máquina, 54-56
Tiempo de limpieza de estación de trabajo y lubricación de máquina, 449
Tiempo de máquina de alimentación automática, 449
Tiempo de operación, 710-712
Tiempo de respuesta simple, 300
Tiempo de selección-reacción, 299
Tiempo de servicio, 44-52
Tiempo de suplemento adicional, 632
Tiempo estándar, 397-398. *Vea también* Estándares
  a partir de datos de estándares, 473-478
  a partir de estudio de tiempos, 395, 397-403,450-451
  a partir de muestreo del trabajo, 525, 543, 545e, 547-548e
  a partir de sistemas de tiempos predeterminados, 514-515
  comparación de métodos para establecer, 591t
  de curvas de aprendizaje, 644-647
  maneras de establecerlo, 591-592t
Tiempo extra, 266-267
Tiempo flexible, 268
Tiempo
  ajuste secundario, 203
  de atención, 449
  de ciclo total, 432
  de inicio, 386, 397
  de cronómetro, 386
  de máquina, 432
  de terminación, 397
  de viaje primario, 203
  efectivo, 397,403
  esfuerzo manual, 432
  estándar. *Vea* Tiempo estándar
  no afectivo, 403
  no registrado, 397, 403
  normal, 380, 395-397,403
  observado, 380, 387, 395-396,403
  para ver, 444
  total registrado, 397, 403
  transcurrido, 403
  transcurrido antes del estudio, 397
  transcurrido después del estudio, 397
  verificación, 397, 403
Tiempos de movimientos básicos, 483
Tiempos sintéticos, 483
TimerPalm, 548
TimStudy, 380
Tolerancias, 79-82
Toma de decisiones con criterios múltiples (TDCM), 339
Toma de decisiones, 297-302
Tomar, 150t
Tornos, 470
Torres de absorción, 272
Total Quality Control (Feigenbaum), 665
TQ, 664-666
TQM, 665
Trabajo de torno, 470-471
Trabajo directo, 558
Trabajo en el área de herramientas, 558
Trabajo en fresadora, 471-473
Trabajo por turno, 261-265, 233, 261-266, 280
  cansancio después de comer, 262
  productividad, 266-267
  ritmos circadianos, 262, 263f
  rotación rápida, 264-265
  turnos de ocho horas, 254f
  turnos de doce horas, 265f
Trabajos compartidos, 268
Tractor, 103f
Transacción complementaria, 654, 655f
Transacción cruzada, 654, 656f
Transacción padre a hijo, 654, 655f
Transacción ulterior, 654, 656f
Transportador, 102f

Transportador de rodillos, 103f
Transportador de ruedas, 102f
Transportador de tornillo, 102f
Transportador suspendido de cadena, 103f
Transporte, 558
Triángulos rectángulos, 690
Tronco de cono circular derecho, 690
Trueque velocidad-exactitud, 141,300
Túnel de carpo, 209
Twelve Principles of Efficiency (Emerson), 12

U

U, 150t
UILS, 572-575
Unidad motora, 139
Unidades de ángulos, 690
Usar, 150t
Usos de estándares, 589-608
administración, 585, 608
calidad, 607-608
control de la producción, 595-597
costeo, 598-607
comparar métodos, 585, 590
compra de nuevos equipos, 592-593
determinar la capacidad de la planta, 585, 592
eficiencia de la mano de obra, 597-599
incentivos salariales, 585, 590
maneras de establecerlos, 591t, 592t
servicio a clientes, 585, 608
utilización efectiva del espacio, 590
Utilización del espacio, 590, 592
Utilización efectiva, 375

V

Valor del dinero en el tiempo, 346
Valor presente, 346
Valores de suplementos para limpieza de máquinas, 450t
Valores en decibeles de sonidos comunes, 244f
Vapores, 272
Variaciones, 607
Vehículo de guía automatizada (AGV), 104
Velocidades de corte (tamaños fraccionales), 703
Velocidades de corte
broca, 469-470
fresadora, 471-472
torno, 470-471
Ventajas de los estándares del trabajo indirecto, 579-580
Ventanas, 322
Ventilación, 255-258
Verde, 242t, 269
Vibración, 209, 222, 233, 258-261
amplitud, 258
dedo pálido, 259
desplazamiento, 258
frecuencia, 258-259
límites, 259, 260f
resonancia, 259
síndrome de Raynaud, 260
Videocintas
para capacitación de operarios, 641
muestreo del trabajo, 553
Vigilancia y control, 607-608
Vigilancia, 305
Violación
intencional, 276
mínima, 276
no seria, 276
repetida, 276
seria, 276
Violaciones, 275-276
Violeta, 242t
Visibilidad, 235
Vista fija, 147
Volantes, 200

W

Westinghouse Electric Corporation, calificación del desempeño, 414-418
WIMP, 322
Work-Factor, 580
WorkSamp, 548

Z

Zona de comodidad térmica, 251, 252f
Zona, 60

Universidad de Occidente · Biblioteca · Unidad Los Mochis

Ingeniería Industrial

MÉTODOS, ESTÁNDARES Y DISEÑO DEL TRABAJO

La obra más completa de ingeniería industrial, que en esta edición totalmente actualizada, continúa conjugando los elementos tradicionales del estudio de tiempos y movimientos con temas modernos que consideran factores humanos y de ergonomía. También tiene el objetivo de describir la ingeniería de métodos para medir, analizar y diseñar el trabajo manual; además se complementa con información en línea que podrá bajar de Internet y con DesignTools, un poderoso software para el estudio de tiempos, muestreo de trabajo, datos estándar y costeo, entre otras funciones. Es una obra dirigida a profesionales y estudiantes de ingeniería, administración y diseño industrial.

Se presenta un capítulo nuevo que aborda los aspectos cognitivos del trabajo, procesamiento de información y la interfaz hombre-computadora. Desarrolla ejemplos adicionales, numerosos ejercicios y casos de estudio de aplicaciones en la industria de servicios. Se redujeron algunos temas de menor importancia y otros se actualizaron con los recientes cambios tecnológicos. Paso a paso presenta datos y fórmulas de estándares, sistemas de tiempos predeterminados, teorías del muestreo del trabajo, estándares de mano de obra indirecta y general, el seguimiento, uso y mantenimiento de estándares y los distintos planes para el pago de salarios, hasta programas de capacitación y prácticas modernas de administración.

- Desde la dirección http://www.ie.psu.edu/courses/ie327/ en Internet, podrá bajar información, exámenes de práctica y sus soluciones, formas electrónicas, videos, ejemplos y software.
- En cada capítulo encontrará conceptos teóricos, un resumen, preguntas, problemas, referencias bibliográficas, empleo de software y ligas a Internet.
- Explica cómo implantar un método propuesto, el empleo de herramientas de toma de decisiones, la evaluación y el estudio de tiempos, y la calificación del desempeño.
- Describe el diseño del trabajo manual, del lugar de trabajo, del equipo y herramientas, del entorno de trabajo, y del trabajo cognitivo.



El CD contiene el programa DesignTools versiones 3 y 4 para el estudio de tiempos, muestreo de trabajo, datos estándar, y costeo entre otras funciones; y los programa ión de datos para el estudio de tiempo a Palm.

ISBN 970-15-0993-5

Alfaomega Grupo Editor