

Calibración de los instrumentos

10.1 Generalidades

Los instrumentos industriales pueden medir, transmitir y controlar las variables que intervienen en un proceso. En la realización de estas funciones existe una relación entre la variable de entrada y la de salida del instrumento. Por ejemplo, la presión del proceso a lectura de presión de la escala en un manómetro, la temperatura real a señal de salida electrónica en un transmisor electrónico de temperatura, la señal digital de entrada a señal digital de salida en un controlador digital, la señal de entrada neumática a posición del vástago del obturador en una válvula de control, etc.

Esta relación puede encontrarse, también, en las partes internas de un instrumento, en particular, cuando éste es complejo, por ejemplo, en el caso de un controlador electrónico miniatura para montaje en panel que está compuesto por varios bloques: unidad de punto de consigna, unidad de control, etc. En la unidad de punto de consigna existirá una relación entre la posición del botón de mando y la señal estándar que va al bloque controlador. En la unidad de control estarán ligadas la señal de error (diferencia entre el punto de consigna y la variable) y la señal de salida a la válvula de control, relación que será función de las acciones que posea el controlador.

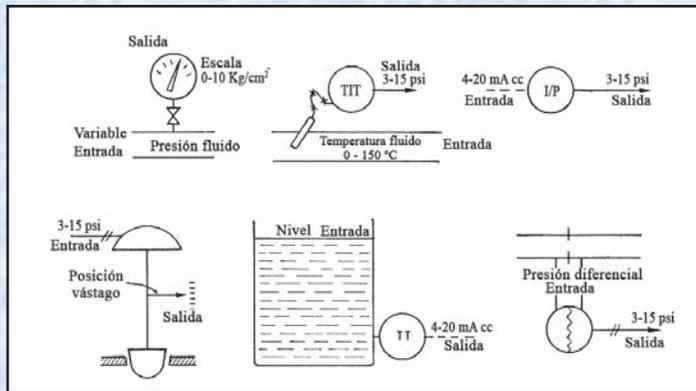


Figura 10.1 Relación salida-entrada en varios tipos de instrumentos

Existirá una correspondencia entre la variable de entrada y la de salida (figura 10.1), representando esta última el valor de la variable de entrada. Siempre que el valor representado corresponda exactamente al de la variable de entrada, el instrumento está efectuando una medición correcta. Ahora bien, en la práctica, los instrumentos de medición y control indican unos valores inexactos que se apartan, en mayor o menor grado, del valor real de la señal de entrada. El valor verdadero no se puede establecer, sólo sus límites que entran dentro de la exactitud del instrumento. De este modo, un instrumento estará descalibrado si al compararlo, con otro instrumento patrón, la lectura se aparta del valor de la exactitud dado por el fabricante.

10.2 Errores de los instrumentos. Procedimiento general de calibración

En un instrumento ideal (sin error), la relación entre los valores reales de la variable comprendidos dentro del campo de medida y los valores de lectura del aparato es lineal.

Se considera que un instrumento está bien calibrado cuando, en todos los puntos de su campo de medida, la diferencia entre el valor real de la variable y el valor indicado, o registrado o transmitido, está comprendido entre los límites determinados por la exactitud del instrumento.

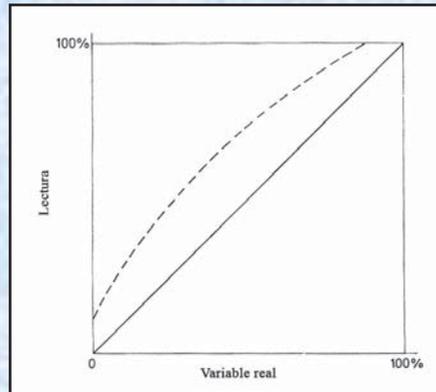


Figura 10.2 Curva variable real-lectura

En condiciones de funcionamiento estático, las desviaciones de la curva variable real-lectura de un instrumento típico (figura 10.2) con relación a la recta ideal representan los errores de medida del aparato. Esta curva puede descomponerse en tres que representan individualmente los tres tipos de errores que pueden hallarse en forma aislada o combinada en los instrumentos.

- **Error de cero.** Todas las lecturas o señales de salida están desplazadas un mismo valor con relación a la recta ideal. Este tipo de error puede verse en la figura 10.3a, donde se observa que el desplazamiento puede ser positivo o negativo. Cambia el punto de partida o de base de la recta representativa sin que varíe la inclinación o la forma de la curva.
- **Error de multiplicación.** Todas las lecturas o señales de salida aumentan o disminuyen progresivamente con relación a la recta representativa (figura 10.3b), sin que el punto de partida cambie. La desviación puede ser positiva o negativa.
- **Error de angularidad.** La curva coincide con los puntos 0% y 100% de la recta representativa, pero se aparta de la misma en los restantes. En la figura 10.3c puede verse un error de este tipo. El máximo de la desviación suele estar a la mitad de la escala.

Los instrumentos pueden ajustarse para corregir estos errores, si bien hay que señalar que muchos instrumentos, por su tipo de construcción, no pueden tener el error de angularidad. La combinación de estos tres tipos de errores da lugar a una curva de relación medida real-lectura, como la representada en la figura 10.2.

En general, el *error de cero* se corrige con el llamado *tornillo de cero* que modifica directamente la posición final del índice, la pluma o la señal de salida del instrumento. En algunos instrumentos, por ejemplo un manómetro, es posible extraer el índice y fijarlo al eje de lectura en otra posición.

El *error de multiplicación* se corrige actuando sobre el *tornillo de multiplicación* (o *span* en inglés), que modifica directamente la relación de amplitud de movimientos de la señal de salida (índice o pluma), es decir que aumenta o disminuye, progresivamente, las lecturas sobre la escala.

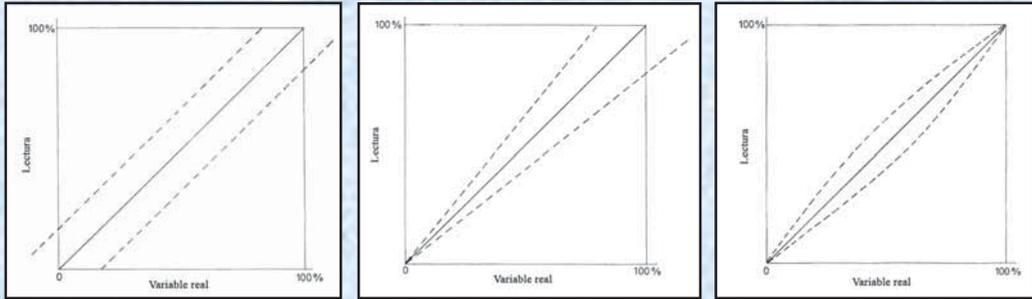


Figura 10.3 Errores de cero, multiplicación y angularidad

El *error de angularidad* se presenta prácticamente sólo cuando el instrumento tiene una transmisión por palancas del movimiento del elemento primario, o de la variable medida, al índice de lectura o de registro. En los instrumentos electrónicos o digitales no existe y, si se presenta, ello indica que el instrumento es defectuoso y hay que sustituirlo. El error de angularidad es nulo cuando las palancas quedan exactamente a escuadra con la variable al 50% de su valor. Se corrige, bien procediendo al escuadrado previo de las palancas o bien aumentando el error (unas cinco veces aproximadamente) en la misma dirección, para alisar la curva de angularidad correspondiente.

Sentadas estas bases, el procedimiento general para calibrar un instrumento (figura 10.4) es el siguiente:

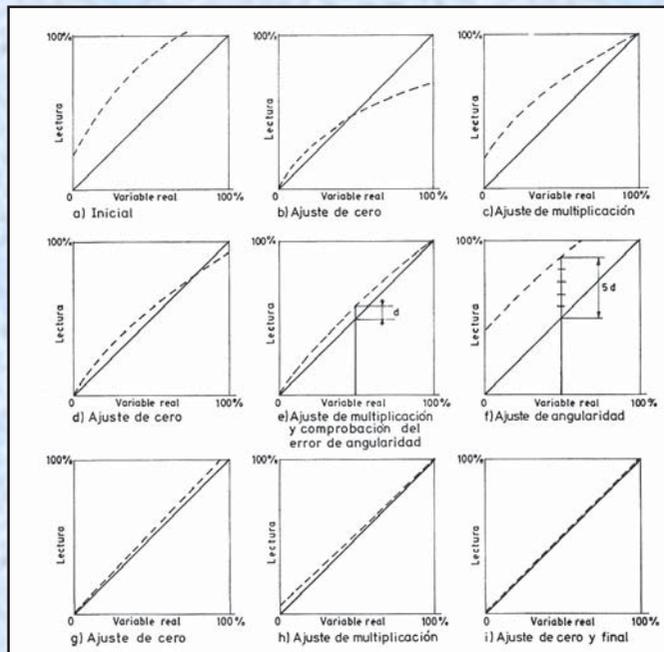


Figura 10.4 Método general de calibración

1. Situar la variable en el valor mínimo del campo de medida y, en este valor, ajustar el tornillo de cero del instrumento hasta que el índice señale el punto de base.
2. Colocar la variable en el valor máximo del campo de medida y, en este valor, ajustar el tornillo de multiplicación hasta que el índice señale el valor máximo de la variable.
3. Repetir los puntos anteriores 1 y 2 sucesivamente hasta que las lecturas sean correctas en sus valores máximo y mínimo (es decir, estén comprendidas dentro de la exactitud del instrumento).
4. Si el instrumento tiene error de angularidad (sólo los mecánicos de transmisión por palancas), ajustar el tornillo de angularidad hasta mover el índice en la dirección del error unas cinco veces (la curva variable-lectura se aplanará).
5. Reajustar, nuevamente, los tornillos de cero y de multiplicación hasta conseguir la exactitud deseada o requerida.
6. Comprobar los puntos intermedios 25%, 50%, 75% de la calibración.

También se pueden realizar las comprobaciones al 10% y al 90% de la escala en lugar del 0% al 100%, con el fin de disponer de más holgura en la calibración al principio y al final de la escala, particularmente en los instrumentos indicadores y registradores analógicos.

La posición de los tornillos de cero y multiplicación varía con el tipo de instrumento. Algunos carecen de alguno de ellos. En particular, los termómetros bimetálicos tienen usualmente tornillo de cero, los manómetros poseen tornillo de cero y tornillo de multiplicación y de angularidad. Los instrumentos electrónicos no suelen poseer tornillo de angularidad.

En la calibración de manómetros es necesario extraer la aguja para ajustar el cero, a no ser que el propio manómetro disponga de un engranaje con accionamiento exterior que modifique la posición de la aguja. Es una operación que se debe realizar cuidadosamente, so pena de dañar la aguja y los mecanismos del movimiento, de modo que es necesario emplear extractores.

En los instrumentos digitales inteligentes, los datos de calibración están almacenados en una EPROM y, de este modo, están corregidas con exactitud las no linealidades de los sensores para toda la vida útil del instrumento. Se encuentran grabados unos 126 puntos o más en lugar de los cinco (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) que se consideran cuando se calibra un instrumento convencional. Un comunicador portátil con teclado alfanumérico permite comprobar desde el propio transmisor, o bien desde la consola de control, o bien desde cualquier punto de la línea de conexión (dos hilos), o bien a distancia por infrarrojos, el estado y calibración del transmisor. Estos instrumentos presentan la ventaja de que no es necesaria su calibración.

En todo caso, puede ajustarse el aparato enviando, a través del teclado alfanumérico del comunicador, el número de identificación del instrumento y los valores inferior y superior del campo de medida con los que se desea reajustar el aparato. Es decir, más que considerar la calibración de los instrumentos digitales se puede hablar de explorar el instrumento para configurarlo, planificar su mantenimiento preventivo, investigar las causas de posibles averías o registrar la configuración actual para un uso futuro. Esta información también se puede tratar desde un ordenador de bolsillo o desde un PC.

En la tabla 10.1 se presentan los valores típicos de calibración de los instrumentos convencionales.

Otros errores provienen de la lectura del instrumento por el observador (instrumentos analógicos) (figura 10.5) y son:

Variable %	Señal neumática psi	Señal neumática, bar	mA c.c.	V c.c.	V c.c.	V c.c.	V c.c.				
0	3	0,2	4	1	10	0	0	1	0	0	0
25	6	0,4	8	2	20	1,25	5	2	2,5	12,5	25
50	9	0,6	12	3	30	2,5	10	3	5	25	50
75	12	0,8	16	4	40	3,75	15	4	7,5	37,5	75
100	15	1	20	5	50	5	20	5	10	50	100

Tabla 10.1 Valores generales de calibración de los instrumentos

- *Error de paralaje* que se produce cuando el observador efectúa la lectura de modo que la línea de observación al índice no es perpendicular a la escala del instrumento. Para disminuirlo, algunos instrumentos tienen el sector graduado separado de la escala y a muy poca distancia del índice, y otros poseen un sector espejular, con lo que la línea de observación debe ser perpendicular a la escala para que coincidan el índice y su imagen.
- *Error de interpolación* que se presenta cuando el índice no coincide exactamente con la graduación de la escala y el observador redondea sus lecturas por exceso o por defecto.



Figura 10.5 Errores de paralaje y de interpolación

Evidentemente, estos errores de paralaje y de interpolación no existen en los instrumentos de salida digital.

La calibración de los instrumentos requiere disponer de aparatos patrones y de dispositivos de comprobación colocados, usualmente, en el taller de instrumentos. Los aparatos patrones deben tener una exactitud 4 veces superior, como mínimo, a la de los instrumentos que van a calibrarse.

10.3 Calibración de instrumentos de presión, caudal y nivel

10.3.1 Presión

Para calibrar los *instrumentos de presión* pueden utilizarse varios dispositivos que emplean, generalmente, manómetros patrón. Estos son manómetros de alta exactitud del orden del $\pm 0,2\%$ de toda la escala.

Poseen las siguientes características:

- Dial con una superficie especular, efectuándose la lectura por coincidencia del índice y de su imagen.
- Finura del índice y de las graduaciones de la escala.
- Compensación de temperatura con un bimetal.
- Tubo Bourdon de varias espiras.
- Se consigue todavía mayor exactitud (0,1%) situando marcas móviles para cada incremento de lectura del instrumento.

También pueden utilizarse, como aparatos patrón de presión, los transmisores digitales inteligentes por la exactitud elevada que poseen, del orden del $\pm 0,2\%$.

La calibración periódica de los manómetros patrón se consigue mediante el *comprobador de manómetros de pesas* llamado también *de peso muerto* (*dead weight tester*) (figura 10.6a). Consiste en una bomba de aceite o de fluido hidráulico con dos conexiones de salida, una conectada al manómetro patrón y la otra a un cuerpo de cilindro dentro del cual desliza un pistón de sección calibrada que incorpora un juego de pesas. La comprobación se lleva a cabo accionando la bomba hasta levantar el pistón que soporta las pesas calibradas. Con la mano se hace girar este pistón. Su giro libre indica que la presión es la adecuada, ya que el conjunto pistón-pesas está flotando sin roces.

Existen tipos de pistones de baja y de alta presión, con juegos de pesas que permiten obtener márgenes muy variados (por ejemplo, 0-20, 20-100, 30-150, 70-350 bar).

Un comprobador de manómetros de pesas puede alcanzar una exactitud del $\pm 0,06\%$, y los pistones y las pesas utilizados pueden certificarse a $\pm 0,008\%$. El uso frecuente del comprobador puede degradar la exactitud en $\pm 0,015\%$ por año, por lo que puede ser necesaria una recertificación periódica.

La exactitud general de la medida es de $\pm 0,1\%$.

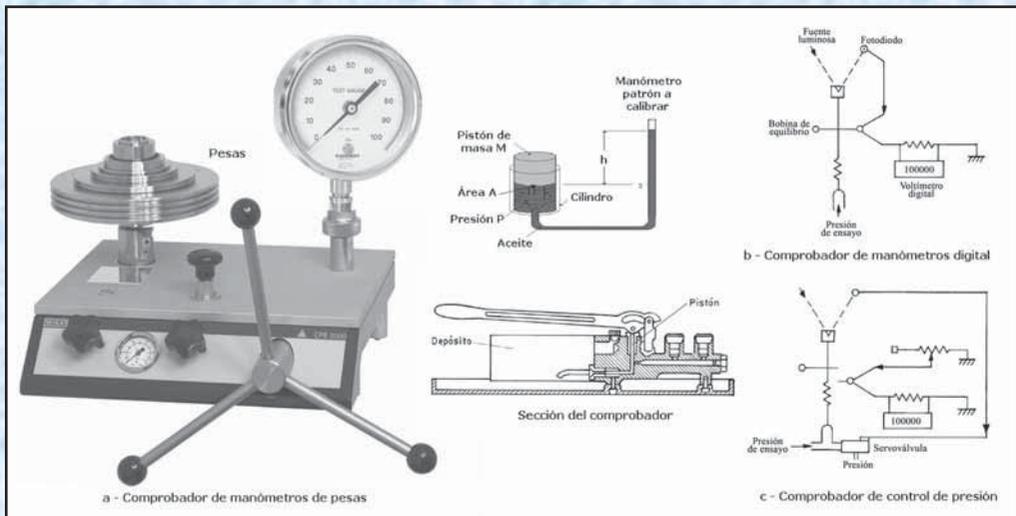


Figura 10.6 Comprobador de manómetros de peso muerto, portátil y digital

Otro uso es la generación de presiones de gas, o bien aire, o bien N₂ para otras calibraciones.

El *comprobador de manómetros digital* (figura 10.6b) consiste en un tubo Bourdon con un espejo soldado que refleja una fuente luminosa sobre un par de fotodiodos equilibrados. Se genera así una señal de corriente que crea un par igual y opuesto al de la presión que actúa sobre el tubo Bourdon. Una resistencia de exactitud crea una señal de tensión directamente proporcional a la presión del sistema. La exactitud del comprobador de manómetros digital alcanza el $\pm 0,003\%$ de toda la escala, con una estabilidad del $\pm 0,005\%$ de la lectura.

Complementando el instrumento anterior con potenciómetros de ajuste y una servoválvula, se obtiene un *comprobador de presión de exactitud* (figura 10.6c). Añadiendo un ordenador y el software adecuado se consigue una automatización de la calibración con salida gráfica y por impresora, lo que permite satisfacer los requerimientos de la norma de calidad ISO 9000.

Los *calibradores de presión portátiles* (figura 10.7) son un buen sustituto del banco de pruebas de instrumentos descrito para presiones hasta 20 bar. Mediante una bomba manual pueden generar vacíos de hasta -800 mbar y presiones de hasta 20 bar. Los resultados de la calibración pueden almacenarse en la memoria del instrumento y analizarse más adelante o transferirse a un ordenador vía la interfase RS232. El sistema de calibración integrado permite el uso de la norma de calidad ISO9000. El calibrador alcanza una exactitud del $\pm 0,05\%$ de la lectura de presión efectuada.

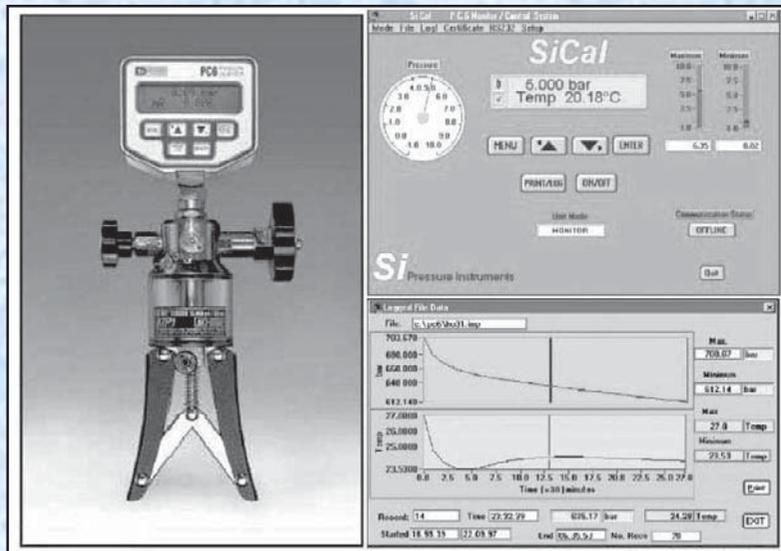


Figura 10.7 Calibrador de instrumentos de presión. Fuente: Beamex

Las *maletas de calibración neumáticas* consisten en un pequeño compresor de aire sin aceite (aros de grafito) apto para alimentar dos o tres instrumentos a la presión mínima de 2 Kg/cm², a fin de acoplarle un manorreductor que proporcione la presión de alimentación de 1,4 Kg/cm².

Esta maleta de comprobación permite calibrar los instrumentos neumáticos de campo o de panel, o bien simular las presiones obtenidas en los instrumentos de nivel de diafragma o en bajas presiones. Si no se dispone de ella, puede utilizarse como fuente de aire la propia de la planta y emplear para la calibración manómetros patrón o columnas de mercurio.

Para presiones bajas, del orden de 1 bar o vacío, se emplean *columnas de mercurio* portátiles o de fijación mural, y para la medida de presiones más bajas se utilizan *columnas de agua* hasta 2,5 m de longitud.

Los *transmisores de presión inteligentes* son compatibles con sensores de capacidad o piezoresistivos y contienen un microprocesador, una memoria no-volátil, un convertidor analógico-digital y un formato de comunicaciones con el sistema de control.

La configuración de un transmisor de presión inteligente se efectúa seleccionando los parámetros de operación (número de código, valores del campo de medida y las unidades de ingeniería). La comprobación de la calibración (que ya ha sido efectuada en fábrica y no precisa de ajustes) puede realizarse aplicando una presión estándar.

Los modelos existentes en el mercado disponen de autodiagnóstico y permiten la configuración y la comprobación remotas del transmisor a través de un intercomunicador portátil o bien desde el propio sistema central de control.

El método usual de comprobación es el ensayo del transmisor (comprueba la integridad del circuito y la compatibilidad del software) y la integridad del lazo (el transmisor se convierte en una fuente de corriente que genera cualquier valor entre 4 y 20 mA c.c., lo que permite comprobar la bondad de los instrumentos ligados al lazo de control). Estas comprobaciones pueden llevarse a cabo desde cualquier punto del transmisor, de la línea o del receptor, o bien a distancia por infrarrojos.

Por otro lado, el transmisor dispone de autodiagnóstico que detecta problemas internos y que, a través del software de comunicaciones, alerta automáticamente al operador. El operador, por su parte puede iniciar cuando lo desee una rutina completa de autodiagnóstico y recibe un mensaje detallado describiendo el tipo y las condiciones de la avería.

10.3.2 Caudal

Los *instrumentos de presión diferencial de medida de caudal* utilizan una columna de agua o de mercurio (o un patrón digital) y un compresor o la fuente de aire de la planta.

Por ejemplo, en un transmisor de presión diferencial de campo de medida de 2.500 mm c.d.a. (columna de agua) se conectará la toma de alta presión a un tubo con agua hasta una altura de 2,5 m y la toma de baja presión a la atmósfera, para simular el 100% de la variable (o bien a manómetros patrón); para valores intermedios de calibración será necesario convertir las lecturas de caudal, leídas en el instrumento, en los valores de la presión diferencial introducidos en la toma de alta del aparato.

En la tabla 10.2 se da la correspondencia entre estos límites.

En un instrumento de presión diferencial inteligente la configuración se efectúa seleccionando los parámetros de operación (número de código, valores del campo de medida, constante de tiempo de amortiguamiento y las unidades de ingeniería). La comprobación de la calibración (que ya ha sido efectuada en fábrica y no precisa de ajustes) puede realizarse aplicando una presión estándar de forma parecida a la descrito en los transmisores inteligentes de presión.

Los *rotámetros* no pueden calibrarse, sólo pueden comprobarse, exceptuando la parte transmisora cuando la llevan incorporada.

Uno de los motivos de la calibración de los *medidores de turbina* suele ser la erosión, a lo largo del tiempo, si el fluido es algo agresivo (y no se han seleccionado bien los materiales en contacto con el

fluido), o si falla el filtro que se coloca aguas arriba del medidor. En estos casos deja de cumplirse la curva de ciclos por litro (que es prácticamente una recta horizontal) que da el fabricante, y la única solución es el cambio del rotor.

La comprobación del medidor de turbina se reduce a hacer pasar varios caudales conocidos (medidos con otro medidor de turbina de exactitud en un laboratorio, o bien con una unidad portátil para una comprobación rápida o bien acoplando dos turbinas en serie durante un tiempo suficiente) y verificar la indicación o la señal de salida para cada uno de ellos.

Presión diferencial (lineal)	Caudal (escala raíz cuadrada)	Caudal (escala lineal)	0,2 - 1 bar	3 - 15 psi	4 - 20 mA c.c.	Escala 0-100 lineal	Escala 0-10 raíz cuadrada
0	0	0	0,2	3	4	0	0
1	1	10				1	
4	2	20				4	
9	3	30				9	
10	3,2	32	0,208	3,12	4,16	10	1
16	4	40				16	
20	4,5	45	0,232	3,48	4,64	20	2
25	5	50	0,25	3,75	5	25	2,5
30	5,5	55	0,272	4,08	5,44	30	3
36	6	60				36	
40	6,3	63	0,328	4,92	6,56	40	4
49	7	70				49	
50	7,1	71	0,4	6	8	50	5
60	7,7	77	0,488	7,32	9,76	60	6
64	8	80				64	
70	8,4	84	0,592	8,88	11,84	70	7
75	8,7	87	0,65	9,75	13	75	
80	8,9	89	0,712	10,68	14,24	80	8
81	9	90				81	
90	9,5	95	0,848	12,72	16,96	90	9
100	10	100	1	15	20	100	10

Tabla 10.2 Relaciones presión diferencial-caudal

El *medidor de remolino* y el *vórtex* se han calibrado en fábrica y no necesitan ajustes especiales. Sin embargo, si se cambia el sensor o bien si cambian las condiciones de servicio, es necesario reajustarlo, siguiendo las instrucciones de operación.

Los *medidores volumétricos* (desplazamiento positivo) pueden verificarse en el lugar en que están instalados si se dispone de medios para intercalar en serie otro medidor patrón que permitirá comprobar las medidas.

Los *medidores directos de caudal masa* se calibran en la propia instalación con el mismo fluido de trabajo, asegurando un caudal masa constante y midiendo, en un sistema receptor, la masa del fluido corregida y el tiempo que ha transcurrido en la experiencia con un cronómetro de exactitud. Pueden verificarse en el lugar en que están instalados si se dispone de medios para intercalar en serie otro medidor patrón que permitirá comprobar las medidas.

10.3.3 Nivel

La *calibración de los instrumentos de nivel* basados en la presión hidrostática se realiza de forma análoga a los instrumentos de presión, transformando la altura de líquido al valor correspondiente de la presión a simular.

Los medidores de nivel de presión diferencial se calibran de forma similar a los utilizados en la medida de caudal por presión diferencial. Es preciso tener en cuenta las condiciones particulares del transmisor, es decir, si se instalará en un tanque abierto o cerrado y si dispone de resorte de supresión o de elevación para corregir la condensación en el lado de baja presión del instrumento, o compensar su instalación en un punto de cota muy inferior a la base del tanque. En la figura 10.8 puede verse un esquema de calibración de los instrumentos basados en la presión hidrostática.

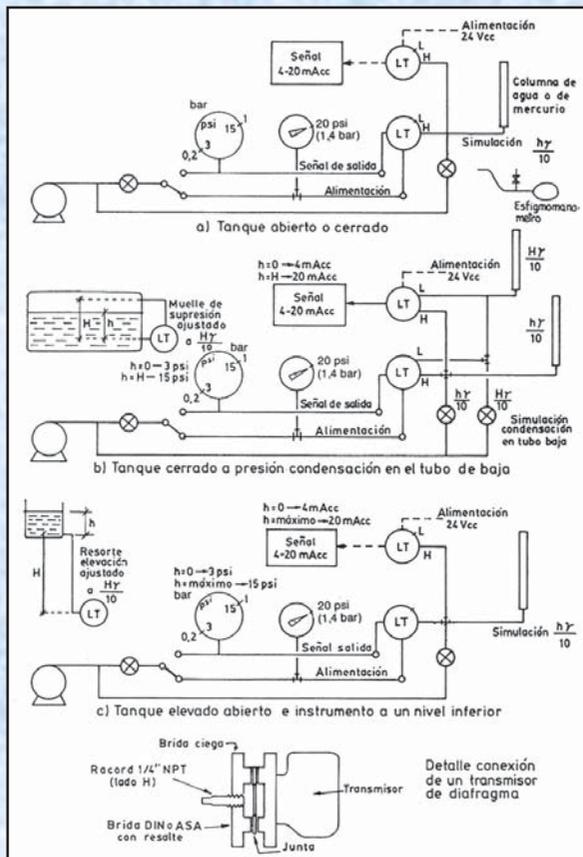


Figura 10.8 Esquema de calibración de instrumentos de nivel de presión hidrostática

De forma análoga, se calibran los *instrumentos de nivel de desplazamiento* y los basados en las *características eléctricas* del líquido.

Los medidores de nivel de *radiación* requieren un extremo cuidado en su manejo y es preciso seguir fielmente las instrucciones descritas en el manual del fabricante, y las normas y recomendaciones vigentes por los peligros que entraña la no observancia de los mismos.

10.4 Calibración de instrumentos de temperatura

Para la calibración de instrumentos de temperatura se emplean *baños de temperatura* (*calibradores de bloque metálico*, de *baño de arena* y de *baño de líquido*), *hornos*, *comprobadores potenciales* y de *punto de Wheatstone* y *comprobadores universales*.

El calibrador de *bloque metálico* (figura 10.9a) consiste en un bloque metálico, calentado por resistencias, con un controlador de temperatura de exactitud ($\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) adecuado para aplicaciones de alta temperatura ($-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$). El control se realiza con aire comprimido, lo que permite reducir la temperatura desde $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a la ambiente en unos 10-15 minutos. En el calibrador hay orificios de inserción para introducir un termopar patrón y la sonda de temperatura a comprobar.

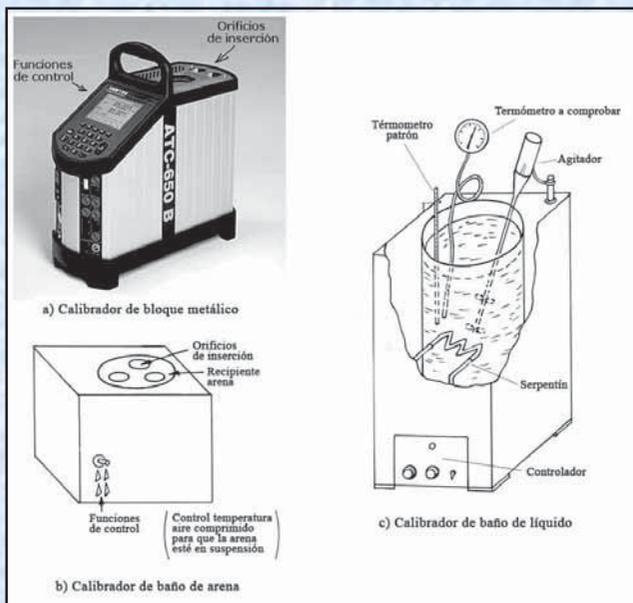


Figura 10.9 Baño de temperaturas. Fuente: Ametek

El calibrador de *baño de arena* (figura 10.9b) consiste en un depósito de arena muy fina que contiene tubos de inserción para la sonda de resistencia o el termopar patrón y para las sondas de temperatura a comprobar.

La arena caliente es mantenida en suspensión por medio de una corriente de aire, asegurando así la distribución uniforme de temperaturas a lo largo de los tubos de inserción.

El calibrador de *baño de líquido* (figura 10.9c) consiste en un tanque de acero inoxidable lleno de líquido con un agitador incorporado, un termómetro patrón sumergido y un controlador de temperatura que actúa sobre un conjunto de resistencias calefactoras. Se utilizan varios tipos de fluidos dependiendo de la temperatura de trabajo, tricloroetileno ($-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente), etilenglicol y agua ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente), aceite fluido y aceite de silicona (ambiente a $260\text{ }^{\circ}\text{C}$) y sales ($220\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $700\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Los *hornos de temperatura* son hornos de mufla calentados por resistencias eléctricas y con tomas adecuadas para introducir los elementos primarios del instrumento a comprobar.

Dentro del horno pueden introducirse crisoles con sales específicas que funden a temperaturas determinadas. En la tabla 10.3 puede verse la escala internacional de temperaturas de 1990, basada en 17 puntos fijos que cubren un intervalo de temperaturas desde $-270,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $1.084,62\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Punto fijo nº	Cuerpo	Estado	Temperatura $^{\circ}\text{C}$
1	He	Vapor	$-270,15$ a $-268,15$
2	E - H ₂	Punto triple	$-259,3467$
3	E - H ₂	Vapor	$-256,16$
4	E - H ₂	Vapor	$-252,85$
5	Neón	Punto triple	$-248,5939$
6	O ₂	Punto triple	$-218,7916$
7	Ar	Punto triple	$-189,3442$
8	Hg	Punto triple	$-38,8344$
9	H ₂ O	Punto triple	$0,01$
10	Ga	Fusión	$29,7646$
11	In	Solidificación	$156,5985$
12	Sn	Solidificación	$231,928$
13	Zn	Solidificación	$419,527$
14	Al	Solidificación	$660,323$
15	Ag	Solidificación	$961,78$
16	Au	Solidificación	$1064,18$
17	Cu	Solidificación	$1084,62$

Tabla 10.3 Escala internacional de temperaturas (año 1990)

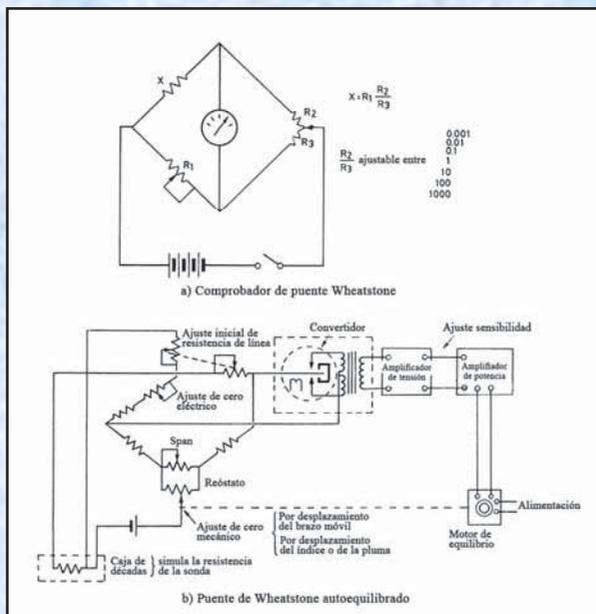


Figura 10.10 Comprobador de puente de Wheatstone

2. Se lee la f.e.m. generada por el termopar en el potenciómetro.
3. En las tablas de f.e.m. referidas a 0 °C se determinan los milivoltios correspondientes a la temperatura de la unión fría.
4. La suma algebraica de los dos valores anteriores de f.e.m. se pasa al valor correspondiente de temperatura mediante la tabla de f.e.m. correspondiente al termopar.
Los valores se suman, ya que dentro del potenciómetro se encuentra la junta fría y la f.e.m. leída es menor en un valor V_a (correspondiente a t_a) a la V que se obtendría si la unión fría estuviera a 0 °C.
5. La temperatura obtenida debe corresponder, dentro de los límites de exactitud del termopar, a la temperatura del baño o del horno. En caso de no ser así, el termopar es defectuoso y debe ser sustituido por otro nuevo.

b) Calibración de un instrumento de temperatura galvanométrico o potenciométrico

Se coloca un termómetro de vidrio en la caja del instrumento y se procede del modo siguiente:

1. Se determina la temperatura de la unión fría del instrumento por lectura del termómetro de vidrio.
2. En las tablas de f.e.m. referidas a 0 °C se determinan los milivoltios correspondientes a la temperatura a verificar del instrumento.
3. La diferencia algebraica de los valores anteriores se sitúa en el comprobador, debiendo leer el instrumento la temperatura a verificar.

Los valores se restan, ya que el instrumento tiene compensación de temperatura ambiente y, si ésta aumenta, la f.e.m. útil disminuye en el valor correspondiente a la f.e.m. generada por el termopar a esta temperatura, situándose siempre el índice del instrumento en el valor de la temperatura de la unión caliente.

10.4.1 Pirómetros de radiación

Los *pirómetros de radiación* pueden calibrarse captando la radiación de un cuerpo negro de temperatura conocida. El cuerpo puede situarse dentro de un horno de temperatura y enfocar el pirómetro hacia el cuerpo a través de un agujero practicado previamente en el horno. El cuerpo estará en condiciones de cuerpo negro ya que absorberá todas las radiaciones y no emitirá ninguna y, por lo tanto, su coeficiente de emisión será la unidad.

10.4.2 Transmisores de temperatura inteligentes

Los *transmisores de temperatura inteligentes* son compatibles con una amplia variedad de sensores: sondas de resistencia Pt100, Pt200, Pt500, de dos, tres y cuatro hilos, sondas de resistencia de níquel de dos, tres y cuatro hilos, termopares tipo B, E, J, K, R, S, T, impedancia externa de 0 a 2000 ohmios, f.e.m. de -10 a 100 milivoltios y escalas en unidades de ingeniería, ohmios, milivoltios, grados Fahrenheit, °C, grados Kelvin o Rankine. El instrumento contiene un microprocesador, una memoria no volátil, un convertidor analógico-digital y un formato de comunicaciones con el sistema de control.

Los modelos existentes en el mercado disponen de autodiagnóstico y permiten la configuración y la comprobación remotas del transmisor a través de un intercomunicador portátil o bien desde el propio sistema central de control. El método usual de comprobación es el ensayo del transmisor (comprueba la integridad del circuito y la compatibilidad del software) y la integridad del lazo (el

transmisor se convierte en una fuente de corriente que genera cualquier valor entre 4 y 20 mA c.c., lo que permite comprobar la bondad de los registradores, indicadores u otros aparatos ligados al lazo de control).

10.4.3 Calibradores universales de temperatura

Los *calibradores universales* de temperatura (figura 10.12) reúnen en un solo aparato las características de los comprobadores potenciométricos y de puente de Wheatstone descritos, midiendo y generando señales de termopar, termoresistencia, ohm, mV, V y mA. Son muy exactos ($\pm 0,02\%$) y pueden estar dotados de capacidad de comunicación RS232 con un ordenador. Un programa de calibración guía directamente al operador, proporcionándole las instrucciones de calibración necesarias. Los resultados documentados cumplen los requisitos de la norma de calidad ISO 9000.

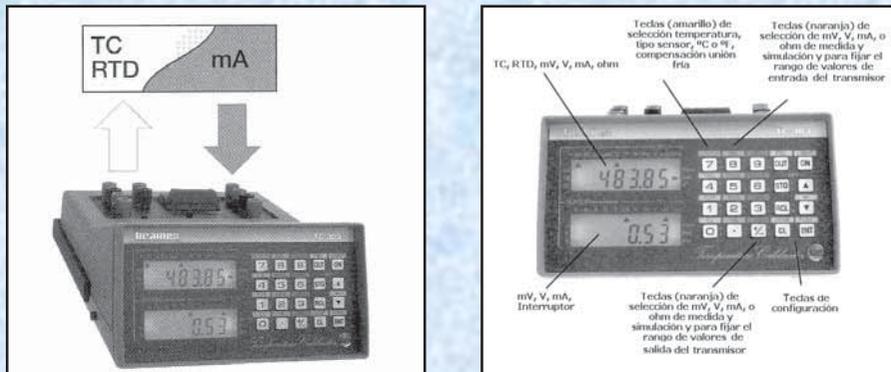


Figura 10.12 Calibrador de temperatura. Fuente: Beamex

10.5 Calibración de válvulas de control

Para calibrar una *válvula de control* se ajusta correctamente el tornillo de cero y el de multiplicación para que la carrera completa se efectúe de 3 a 15 psi (0,2 a 1 bar).

Siguiendo el procedimiento general, la calibración se realiza del modo siguiente:

- Sin aire sobre la válvula, se acopla un microrruptor con una luz piloto o un palpador de exactitud en un saliente del vástago (o bien se apoya un dedo sobre el vástago) para detectar el inicio de la carrera del obturador de la válvula.

Se acciona el manorreductor para aumentar, poco a poco, la señal y a 0,2 bar (3 psi), la válvula debe iniciar ya su abertura; si no ocurre así, se acciona el tornillo de cero (posición A de la figura 10.13), que regula la carrera del vástago, lo justo para que la válvula empiece a abrir a 0,2 bar (3 psi), notándose el punto correcto porque cuesta girar el tornillo. En esta posición se fija la plaquita exterior de indicación de carrera de la válvula de modo que marque el 0%.

- Seguidamente, con el manorreductor se da aire a la presión de 1 bar (15 psi) y el indicador de posición debe marcar el 100% de la carrera. Si no es así, se aprieta el tornillo de multiplicación (*span*) B que regula el recorrido del muelle hasta que el índice señale el 100%.
- Se repiten, nuevamente, los ajustes de 0% y 100% el número suficiente de veces para que la válvula quede calibrada correctamente.

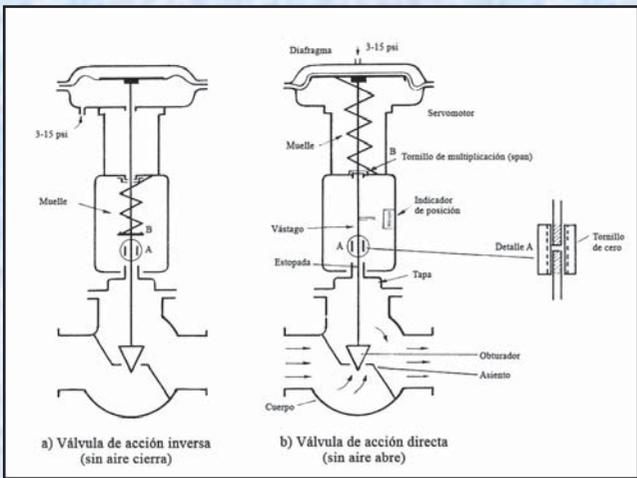
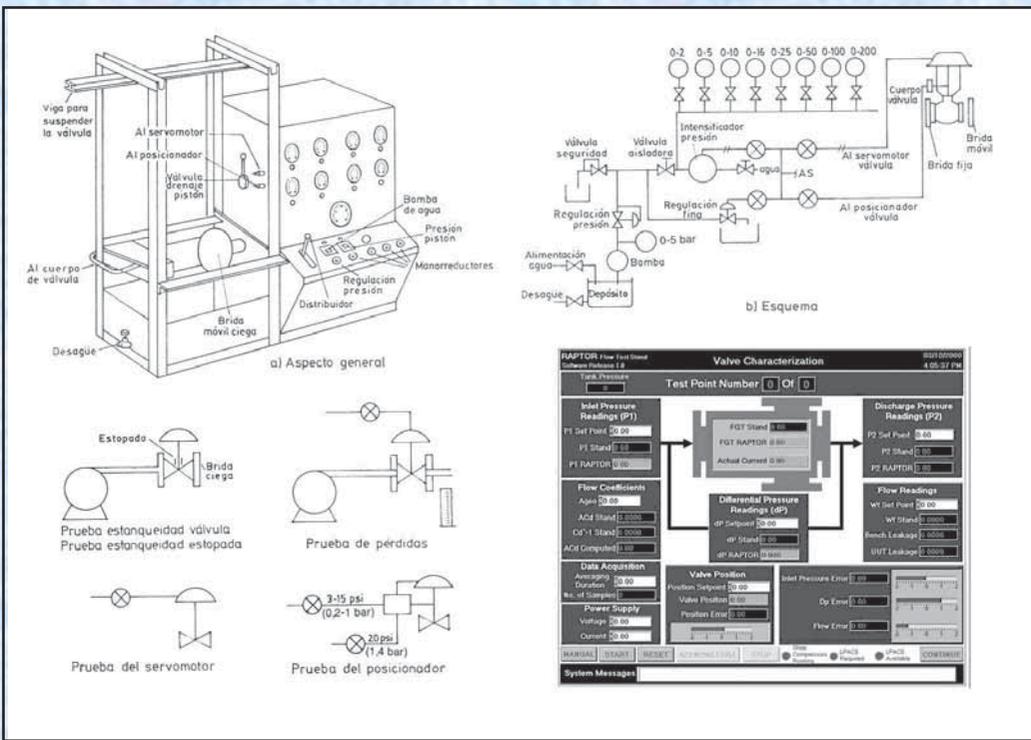


Figura 10.13 Calibración de una válvula de control: Fuente: Flor Systems

Los pasos anteriores se han realizado con una válvula de acción inversa (sin aire, cierra). La calibración de una válvula de acción directa (sin aire, abre) se efectuaría a la inversa, es decir, a 1 bar (15 psi) la válvula debería estar cerrada, mientras que a 0,2 bar (3 psi) estaría completamente abierta; los tornillos a ajustar serían, en el primer caso, el de multiplicación (B) y, en el segundo, el de cero (A).

Otras pruebas que pueden realizarse en las válvulas de control mediante un banco de pruebas son: prueba hidrostática, prueba de estanqueidad de la estopada, prueba de pérdidas de la válvula con el obturador en posición de cierre, prueba del servomotor y prueba del posicionador.

Los posicionadores neumáticos se calibran siguiendo el procedimiento general de calibración mientras que los electroneumáticos se calibran a través de la parte electrónica.

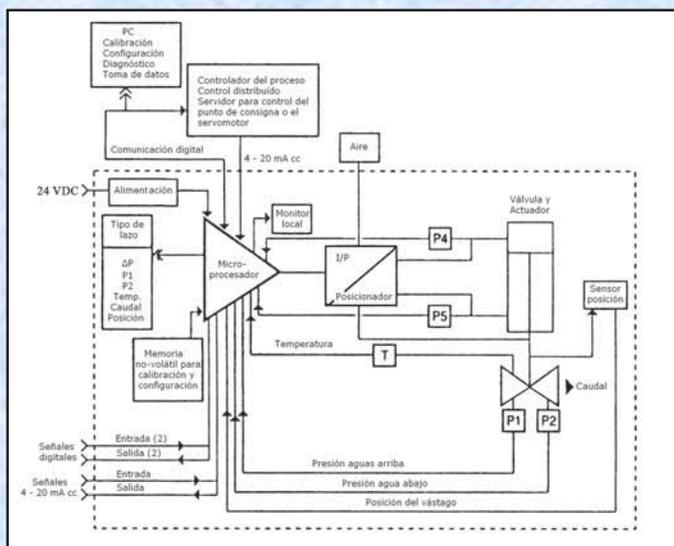


Figura 10.14 Posicionador electroneumático/digital inteligente

El *posicionador inteligente* (figura 10.14) dispone de una interfase con protocolos de comunicación *HART* (*Highway Addressable Remote Transducer*) o *Fieldbus FOUNDATION* (u otro sistema de comunicaciones) y de un microprocesador, lo que le permite realizar diversas funciones, aparte de la propia del posicionador que es la de posicionar el obturador de la válvula, y convertir la señal digital a señal neumática de salida hacia el servomotor neumático de la válvula. Dispone de las siguientes características de calibración:

- Operación, calibración y configuración, locales y remotas, e histórico.
- Caracterización de la válvula a las curvas lineal, isoporcentual, apertura rápida y personalizada por el usuario.
- Rozamiento e histéresis de la válvula.
- Longitud recorrida por el vástago de la válvula (odómetro).
- Calibración del margen de recorrido y de la velocidad del vástago.
- Ajuste automático del recorrido de la válvula.
- Ajuste de la fuerza de asentamiento del obturador de la válvula.
- Compatibilidad con actuadores de acción directa o inversa.
- Configuración del cero y el *span* para operación con margen partido.
- Entradas adicionales (interruptores final de carrera, etc.).
- Datos de fábrica y funcionamiento (firmas).

Como el posicionador conoce por retroalimentación la posición del vástago de la válvula, una función de diagnóstico incorporada permite conocer el estado del mantenimiento de la válvula, del actuador y del propio posicionador. De este modo, el servicio de mantenimiento puede realizar su trabajo cuando sea realmente necesario, al poder visualizar a distancia datos tales como el recorrido total del vástago desde la puesta en servicio de la válvula, el rozamiento de la estopada, la velocidad instantánea del vástago, el registro del tiempo de funcionamiento de la válvula, los datos históricos de calibración, la configuración de la válvula y la base de datos iniciales del fabricante.

Esta función avanzada de mantenimiento predictivo permite averiguar el estado de la válvula sin desmontarla. La "firma" (figura 10.15), es decir, el registro gráfico del estado del conjunto válvula-actuador (medida de la histéresis, zona muerta y linealidad, gráficos o "firmas" del posicionador, del asentamiento, del actuador, de la presión de alimentación con relación al recorrido del vástago) puede compararse con "firmas previas" grabadas en la puesta en servicio y en estados posteriores para descubrir cambios, en el funcionamiento de la válvula, antes de que causen problemas reales en el control del proceso. Puede también realizarse un diagnóstico del proceso y de las comunicaciones y un análisis de fallos. La información puede obtenerse directamente en la válvula, o a través de un ordenador personal o de una consola de operador en la sala de control.

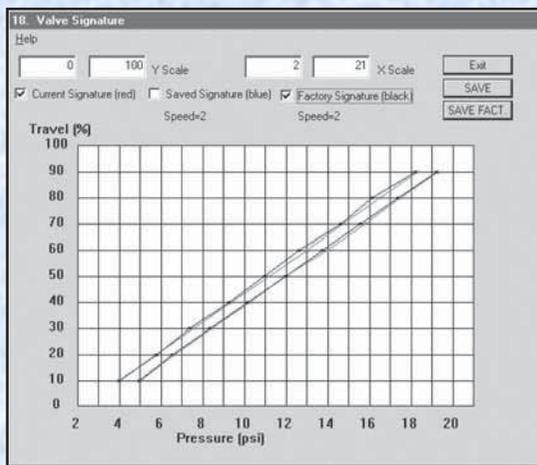


Figura 10.15 Gráfico de firma de la válvula

10.6 Calibración de instrumentos digitales

Aunque los procedimientos dependen del fabricante, y es recomendable leer y aplicar las instrucciones del manual, la marcha general es la que veremos a continuación.

10.6.1 Controlador universal o multifunción

Se llama el programa *SET UP*, donde se dispone de los valores de las entradas de alta y baja calibración. Se entra el modo de calibración, se aplica la señal de referencia y se pulsa la tecla *CAL* (calibración). El microprocesador del controlador establece automáticamente el campo de medida, eliminando, de este modo, los ajustes mecánicos. Se anotan los valores de las constantes de calibración, con lo que una nueva recalibración a los mismos valores del campo de medida que pueda efectuarse más adelante será muy sencilla, bastando entrar los valores conocidos de las constantes de calibración.



Figura 10.16 Técnico de mantenimiento calibrando un transmisor de presión diferencial con un calibrador multifunción. Fuente: Beamex MC5, MC5P

Existen bancos de calibración aptos para unos 7 o más canales para señales de temperatura, presión y eléctricas que pueden almacenar hasta 70.000 resultados y con comunicaciones *HART* y *Foundation Fieldbus*.

10.6.2 Resto de instrumentos de la planta

El software analiza los datos e interpreta los síntomas y fallos, generando una acción recomendada de mantenimiento. De este modo, el técnico de mantenimiento le basta pulsar unas pocas teclas para comprobar a distancia un instrumento, configurarlo y calibrarlo. Y el equipo de mantenimiento puede vigilar el estado de los instrumentos a través del monitor, con lo que sabe inmediatamente si existe un problema, lo que, evidentemente, ahorra paros de la planta inesperados.



Figura 10.17 Banco de calibración y transmisor electrónico temperatura por termoresistencia. Fuente: Beamex

Se crea, además, una base de datos de todos los instrumentos comunicados con el sistema y la gestión de su mantenimiento.

10.7 Mantenimiento de instrumentos

Los instrumentos requieren un mantenimiento para su funcionamiento. Este mantenimiento puede ser:

- **Correctivo.** Los instrumentos se reparan cuando fallan por completo o cuando ya están en su etapa final de desgaste cuando su coste de servicio es extremadamente alto. En el caso de instrumentos en lazos críticos, puede presentarse un paro parcial o total de la planta. El Departamento de Mantenimiento debe reparar los instrumentos implicados posiblemente en el peor momento y con prisas y sin disponer de los aparatos y las piezas de recambio correspondientes.

En los controladores digitales y en el control distribuido e integrado, el sistema dispone de un autodiagnóstico que avisa al Departamento de Mantenimiento de los fallos y de su localización, facilitando la reparación por sustitución de la tarjeta electrónica donde esté el componente averiado.

- **Preventivo.** Los instrumentos se revisan a intervalos regulares de acuerdo con su historial de averías en la planta y las recomendaciones del fabricante. Las revisiones se planifican por anticipado, presumiblemente, en las fechas de paro de la planta y estando el servicio preparado con los aparatos, piezas de recambio y recursos humanos necesarios. Una desventaja de este método es que, en muchas ocasiones, se revisa un instrumento sin necesidad, con lo cual, puede posiblemente alterarse su funcionamiento, lo que puede conducir a un fallo prematuro del mismo.
- **Predictivo.** Los instrumentos se revisan de acuerdo con el dictamen realizado mediante aparatos que avisan del posible fallo del instrumento en un tiempo determinado. Si bien el mantenimiento predictivo está muy extendido en máquinas rotativas, todavía no está desarrollado suficientemente en los instrumentos.

La seguridad de funcionamiento de los elementos de medida y transmisión depende de la correcta aplicación y de la instalación adecuada de los aparatos. Por ejemplo, un medidor de turbina que mida caudales de líquidos con partículas en suspensión, y que esté instalado sin filtro, tendrá seguramente una vida útil corta, aparte de indicar caudales erróneos todo el tiempo que continúe funcionando con las palas de la turbina desgastadas. Y un medidor de caudal de presión diferencial que utilice una placa-orificio en fluidos con sólidos abrasivos en suspensión, dará lugar a una degradación gradual de la medida, ya que el orificio de la placa irá desgastándose con el tiempo y perderá sus dimensiones y su forma.

Aunque la fiabilidad de los instrumentos depende mucho de la aplicación local en cada planta, por las diferentes condiciones de servicio y ambientales a que están sometidos, es útil tener una idea aproximada del llamado *tiempo medio entre fallos* de los aparatos. La tabla 10.4 ilustra estos valores para cada tipo de instrumento, debiendo señalar que los valores indicados son aproximados.

Es útil conocer el tiempo medio entre fallos del lazo de control, el cual puede determinarse por la inversa de la suma de inversas de los tiempos medios de cada instrumento. Por ejemplo, un lazo de control constituido por un transmisor de presión, un presostato de alarma, una válvula de solenoide y una válvula todo-nada, tendrá el valor:

$$\text{Tiempo medio} = \frac{1}{(1/250) + (1/250) + (1/4000) + (1/2500)} = 116 \text{ dias}$$

Variable	Instrumento	Tiempo medio entre fallos (años)
Presión		0,1 - 5
Caudal	Placa-orificio, Tobera, Tubo Venturi	0,2 - 5
	Turbina	0,1 - 1
	Desplazamiento positivo	0,1 - 1
	Magnético	0,5 - 1
Nivel	Burbujeo	1 - 2
	Presión Diferencial	1 - 5
	Flotador	0,2 - 2
	Vidrio	0,1 - 5
Temperatura		0,5 - 2
Densidad	Nuclear	1 - 3
	Mecánico	0,1 - 0,5
Análisis	pH y ORP	0,1 - 0,4
Conductividad		0,1 - 0,4
	Transmisor	0,7
	Válvula todo-nada	7
	Válvula de solenoide	7
	Microrruptor	0,7

Tabla 10.4 Tiempo medio entre fallos de los instrumentos. Fuente U.S. Environmental Protection Agency

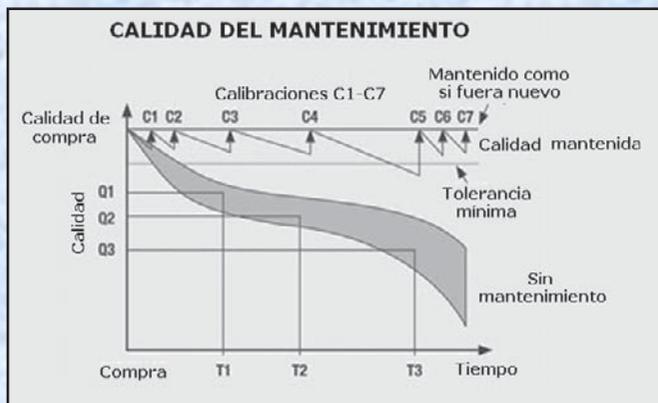


Figura 10.18 Comparación entre la calidad mantenida mediante calibraciones periódicas y una política de mantenimiento nula. Fuente: Beamex

Para aumentar la fiabilidad del sistema, el proyectista puede aumentar la fiabilidad de cada instrumento individual, con especial énfasis en los lazos críticos, especificando instrumentos con auto-diagnóstico y controladores con autoajuste, estableciendo programas de mantenimiento preventivo y duplicando los aparatos. Por ejemplo, es obvio que el cable de la vía de comunicaciones del control distribuido acostumbra a ser redundante para aumentar la seguridad de funcionamiento del control de la planta.

Aparte de la lectura de la tabla 10.4, que puede servir de guía para establecer la periodicidad del mantenimiento, las plantas de proceso acostumbran a calibrar los instrumentos una vez por año, y dos veces por año en procesos donde la calidad del producto es crítica.

Sin embargo, un análisis de la deriva del instrumento fuera de la exactitud dada por el fabricante o exigida por la propia industria que se refleja en el histórico de mantenimiento del instrumento puede dar la clave para saber la frecuencia de mantenimiento que necesita el aparato de acuerdo con el tipo de servicio que realiza en el proceso. De este modo, se reducen costes y se mejora el rendimiento del instrumento y lo que también es importante la eficacia del servicio de mantenimiento que, de este modo, se concentra en los lazos que lo necesitan sin perder tiempo ni esfuerzos en calibraciones innecesarias.

Además, de este modo, el usuario puede comparar diferentes tipos de instrumentos y de fabricantes en las mismas condiciones de servicio y encontrar aparatos (sensores, etc.) que mantienen su grado de exactitud durante mucho tiempo y no necesitan ser recalibrados. En la figura 10.19 puede verse el gráfico de la frecuencia del mantenimiento de un transmisor de presión PT0005 de margen 0-10 bar y señal de salida 4-20 mA c.c.

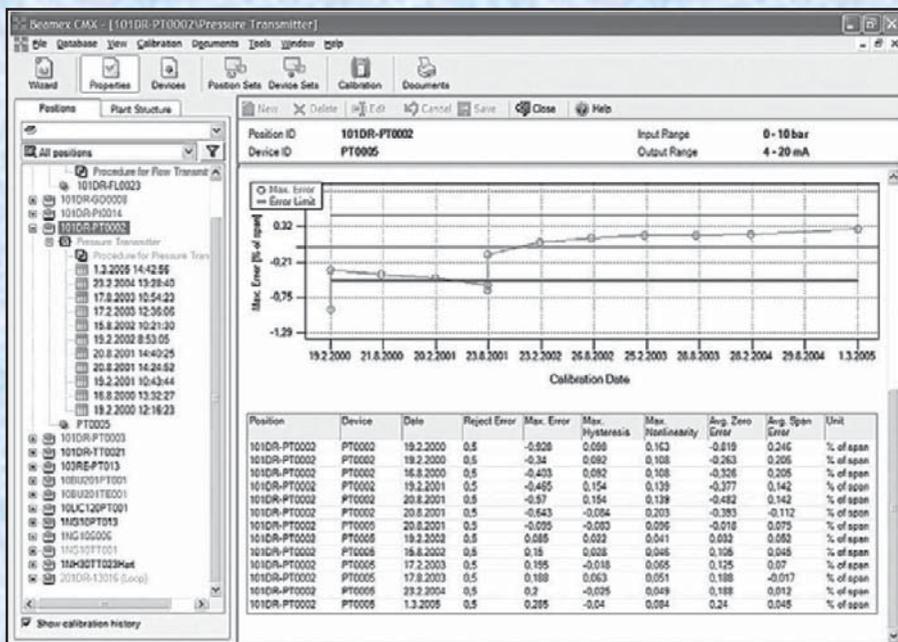


Figura 10.19 Histórico de mantenimiento de un transmisor de presión. Fuente: Beamex

En plantas de gran tamaño, con numerosos instrumentos y lazos de control, es complicado organizar las funciones de mantenimiento y la confección de la documentación para todas las actividades de mantenimiento.

El instrumentista, una vez establecida la ruta de calibración de los instrumentos y el esquema de calibración (puntos específicos del instrumento, exactitud), sigue los pasos siguientes:

1. Entrada manual de los datos en el calibrador manual portátil, lo que consume tiempo y está sujeto a errores.

2. En la planta, coloca el calibrador en cada instrumento y aplica el valor correcto de la variable (presión, temperatura, etc.), registra las lecturas en el instrumento y las compara con la información disponible para comprobar la exactitud.
3. Si el instrumento falla en el ensayo de calibración, vuelve a repetir el test y en caso negativo, pasa a otro instrumento.
4. Cuando termina, regresa al taller de mantenimiento de instrumentos donde escribe un informe de cada instrumento mediante la información recogida en el calibrador, lo que representa un consumo engorroso de tiempo.
5. El instrumentista guarda el informe para referencias futuras o para demostrar que ha cumplido con su trabajo de calibración.

Procediendo de este modo, el técnico puede emplear 8 horas para calibrar y documentar 8 aparatos.

El software dedicado a la gestión del mantenimiento de instrumentos reduce esta labor y evita errores. Guarda el esquema de calibración de cada instrumento, mantiene las rutas de calibración, carga los esquemas de calibración antes de efectuar los ciclos de calibración y graba los resultados del test en el software de objetivos (AMS = *Asset Management Software*).

De este modo, al regresar el instrumentista al taller, se limita a conectar el calibrador al ordenador y descargar los resultados. El ahorro conseguido con el software es del orden de 20 a 80 euros por aparato.

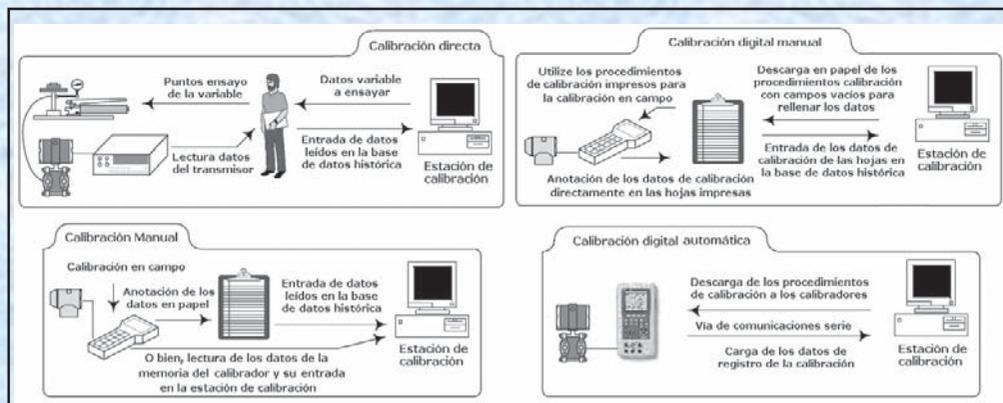


Figura 10.20 Comparación calibración manual y automática

En el mercado se encuentran programas de gestión de mantenimiento, entre los que figuran: AMS de Fisher Rosemount, ASSET MAX de Honeywell, PDM de Siemens, SMARTVISION de ABB, PC20 de Foxboro, etc.

Como beneficios adicionales cabe citar que, en una central nuclear, los parámetros de operación (potencia del reactor, capacidad de refrigeración, etc.), determinados con un sistema de medida cuyas variables se calibraron periódicamente, permitieron pasar de la exactitud en la potencia del $\pm 2\%$ al $\pm 0,4\%$, lo que facilitó un aumento en la producción anual de energía de cada unidad de la central del 1,6%.

En una fábrica de investigación y desarrollo de productos farmacéuticos efectuando más de 8.000 calibraciones/año de numerosas variables (presión, caudal, temperatura, peso, pH, conductividad,

oxígeno disuelto, velocidad, etc.), estiman un ahorro de 200.000 euros/año gracias al tiempo reducido de la calibración, obtenido al utilizar el software de calibración y mantenimiento.

Como resumen de la comparación entre el mantenimiento con instrumentos convencionales neumáticos y electrónicos y el que se realiza con instrumentos inteligentes, el lector puede examinar la figura 10.21, y su elección será clara.



Figura 10.21 Mantenimiento convencional e inteligente

10.8 Normativa de calidad ISO 9000:2000 aplicada a la instrumentación

El organismo ISO, cuyas siglas significan *International Standards Organization* (Organización Internacional de Normas) tiene la finalidad de crear una normativa común basada en las normas utilizadas en muchos países y que cubren una gran variedad de temas. La norma ISO 9000 de 1994 fue actualizada en el año 2000 bajo el nombre de ISO 9000-2000. La norma europea EN ISO 9000 de diciembre de 2000 la adopta íntegramente, así como la española UNE-EN ISO 9000.

La norma editada el año 1994 constaba de las partes:

- ISO 9000 - *Generalidades.*
- ISO 9001 - *Proyecto, fabricación, instalación y servicios.*
- ISO 9002 - *Producción e instalación.*
- ISO 9003 - *Inspección y ensayo final del producto.*
- ISO 9004 - *Sistemas de dirección de la calidad.*

Y se orientaba al aseguramiento de la calidad (procedimientos documentales).

En la nueva norma ISO 9000:2000 desaparece la idea de predeterminado y sistemático, cambiando la exigencia de procedimientos documentados por la de procesos adecuados (con o sin procedimiento documental), siendo uno de sus objetivos principales el aumento de la satisfacción del cliente. El número de estándares queda reducido a:

- ISO 9000 - *Fundamentos de la gestión de la calidad y terminología.*
- ISO 9001 - *Requisitos del proyecto, fabricación, instalación y servicios de productos.*
- ISO 9004 - *Sistemas de dirección y organización de la calidad.*

- ISO 19011 - Auditorias de gestión de calidad y gestión ambiental.

Los requisitos del cliente son productos con características que satisfacen las necesidades y expectativas del cliente y que se expresan en la especificación del producto. La realización del producto y las mediciones para garantizar su calidad corresponden a la empresa atendiendo a las variables críticas del proceso de fabricación.

Este comportamiento de la empresa conduce a una satisfacción del cliente y ello repercute en un análisis y mejora del proceso de producción en la forma vista en la figura 10.22 del modelo de gestión de calidad (ISO 10012).

La norma ISO 10012 establece el sistema de gestión de las medidas metrológicas.

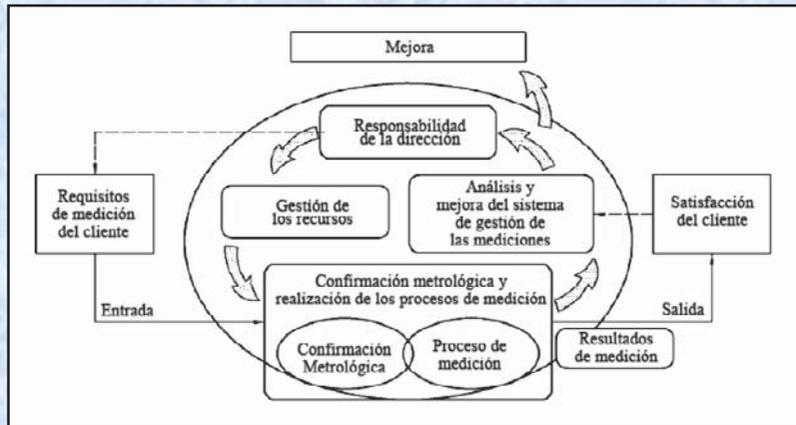


Figura 10.22 Gestión de las medidas según ISO 10012

Desde el punto de vista de calibración de los instrumentos, la norma más importante es la ISO 9001 de la que se cita una información adicional resumida.

10.8.1 ISO 9001

Los requisitos que se establecen en esta norma tienen como objetivo fundamental evitar productos no conformes en todas las etapas, desde el proyecto del producto hasta el final de su vida útil o, si estos se producen, detectarlos antes de su instalación y tomar las medidas correctivas oportunas. Estas medidas pueden contener una inspección final y los ensayos correspondientes.

La norma describe los 20 apartados que una compañía debe implementar para lograr unos resultados económicos satisfactorios, y es, además, una base excelente para realizar esfuerzos de mejora continuos con vistas a la satisfacción del cliente.

En general, el sector industrial cumple la norma ISO 9000 de 1994, por lo que se recomienda que aporte un plan estratégico de requerimientos adicionales y criterios de nivel correcto de cumplimiento.

Con relación al apartado de "*Equipos de inspección, medida y ensayo*", el sistema de calidad ISO 9001 establece que el suministrador de un producto debe aportar una confirmación metrológica (conjunto de operaciones necesarias para asegurar que el equipo de medición cumple con los requisitos para a su previsto uso).

Es decir:

- Identificar, calibrar y ajustar todo el equipo de inspección, medida y ensayo que puede afectar a la calidad del producto, a intervalos definidos con relación a equipos de calibración certificados por un organismo reconocido.
- Establecer, documentar y mantener los procedimientos de calibración de los instrumentos y de los equipos de calibración.
- Asegurar que las condiciones ambientales son adecuadas para las operaciones de calibración, inspección, medida y ensayos que se efectúen en los instrumentos.

Asimismo, la empresa debe establecer una función metrológica, es decir, una función con responsabilidad en la organización para definir e implementar el sistema de control de las mediciones. La implantación de la norma ISO 9002 presupone la redacción de manuales de calibración de los instrumentos afectados (clave en la obtención de la calidad esperada del producto fabricado por la empresa), la creación de procedimientos documentados para la calibración y la conformidad o no-conformidad de los instrumentos y equipos de calibración, el entrenamiento del personal destinado a la calibración ISO 9001 y la creación de un área separada dentro del taller de instrumentos donde se encontrarán ubicados los equipos y herramientas de calibración.

El período de calibración de cada instrumento es fijado por la propia empresa, de acuerdo con la experiencia que posea sobre el trabajo en la planta. Normalmente suele ser de un año para los aparatos normales.

A señalar que existen en el mercado calibradores compactos controlados por microprocesador para la calibración de presión, temperatura, frecuencia y otras variables de proceso, que, ligados con un PC, automatizan el proceso de calibración permitiendo almacenar en CD o en *pendrive* y registrar en impresora los datos de los instrumentos calibrados. Las compañías que suministran estas herramientas indican que constituyen el sistema ideal de calibración para cumplir con la norma ISO 9000, y de hecho lo son, puesto que alcanzan una exactitud del orden del $\pm 0,05\%$.

En la figura 10.23 puede verse un ejemplo de metodología a seguir en el control de los equipos de inspección, medición y ensayo.

La *certificación ISO 9000* es un trámite al que pueden aspirar aquellas empresas que hayan establecido un sistema de aseguramiento de la calidad y que quieran ser certificadas por una entidad de carácter independiente, que pueda determinar, mediante auditoria, la adecuación al sistema y su mantenibilidad de acuerdo con los criterios de alguna de las normas ISO que se aplique y que sean de carácter contractual.

En una concesión de certificación por parte de un organismo de certificación, como AENOR por ejemplo, hay un compromiso, por parte de la empresa adjudicataria, de mantener el sistema de acuerdo con los principios y procedimientos establecidos en los distintos manuales, y otro compromiso por parte del organismo de certificación, de independencia, objetividad y comprobación de desviaciones cada vez que se produzcan o que pueda sospecharse tal desviación y que no haya sido informada preceptivamente.

La marca "ER" (Empresa Registrada), concedida por AENOR, tiene una validez de tres años y debe realizarse, a su expiración, otra auditoria de renovación de la certificación.

Asimismo, cada año se realiza una auditoria de comprobación del mantenimiento del sistema de calidad.

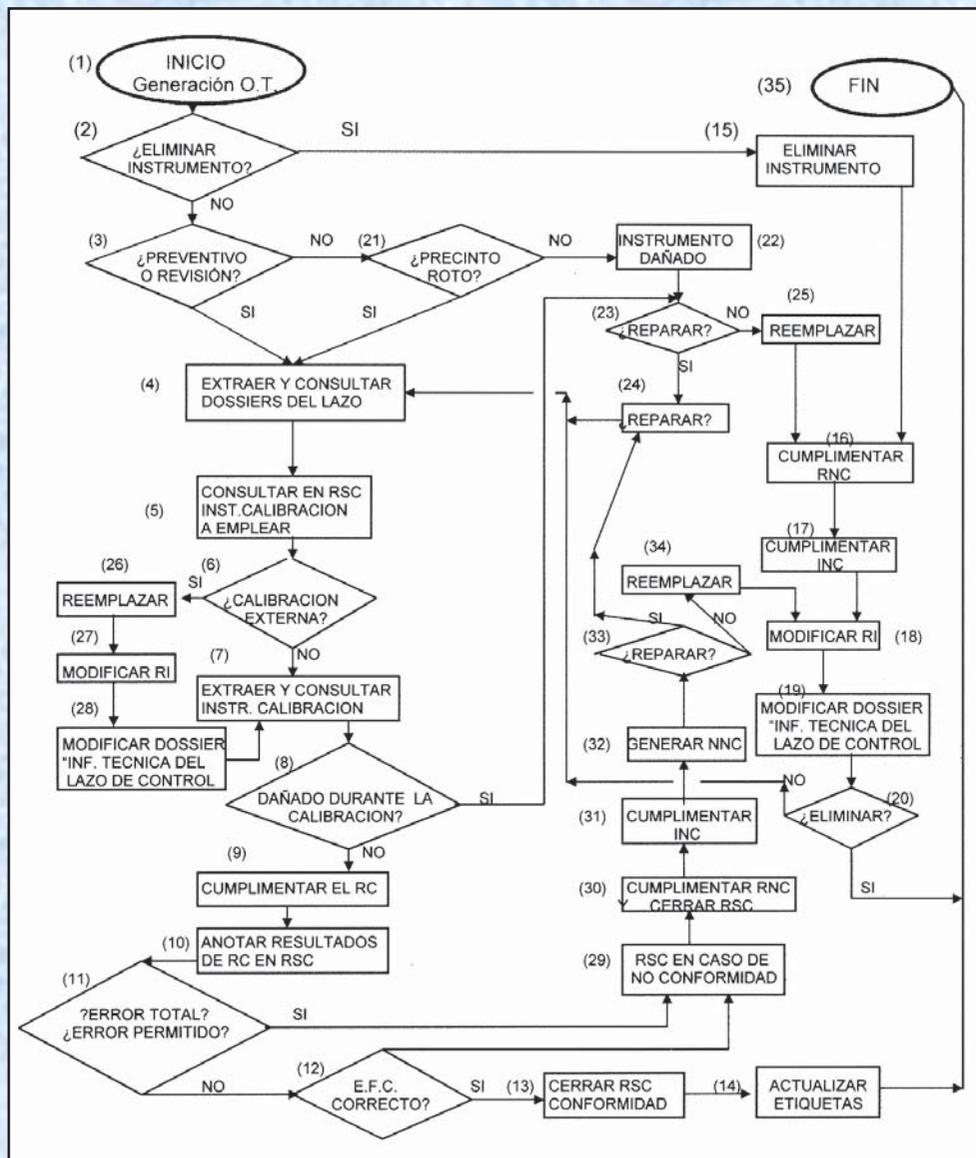


Figura 10.23 Control de los instrumentos y de los equipos

Aparentemente, la implantación de la norma ISO 9002 parece sencilla, pero no es una tarea fácil. Es necesario que el equipo de calibración esté certificado por un organismo reconocido, que dicho equipo se calibre periódicamente así como los instrumentos de medición y control afectados, que se identifiquen perfectamente los instrumentos, se entrene al personal y que todo ello esté perfectamente documentado. Supone una mentalidad totalmente nueva dentro de la empresa, englobando a todos sus departamentos y personal y contando con su convencimiento y con su aportación individual. Si no es así, será difícil conseguir una implantación adecuada.