

ILUMINACIÓN DE INTERIORES

La determinación de los niveles de iluminación adecuados para una instalación no es un trabajo sencillo. Hay que tener en cuenta que los valores recomendados para cada tarea y entorno son fruto de estudios sobre valoraciones subjetivas de los usuarios (comodidad visual, agradabilidad, rendimiento visual...). El usuario estándar no existe y por tanto, una misma instalación puede producir diferentes impresiones a distintas personas. En estas sensaciones influirán muchos factores como los estéticos, los psicológicos, el nivel de iluminación...

Como principales aspectos a considerar trataremos:

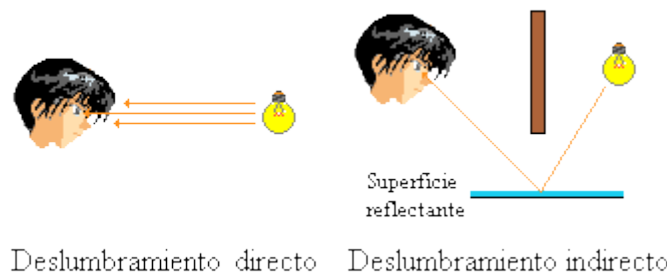
- [El deslumbramiento](#)
- [Lámparas y luminarias](#)
- [El color](#)
- [Sistemas de alumbrado](#)
- [Métodos de alumbrado](#)
- [Niveles de iluminación](#)
- [Depreciación de la eficiencia luminosa y mantenimiento](#)

Deslumbramiento

El deslumbramiento es una sensación molesta que se produce cuando la [luminancia](#) de un objeto es mucho mayor que la de su entorno. Es lo que ocurre cuando miramos directamente una bombilla o cuando vemos el reflejo del sol en el agua.

Existen dos formas de deslumbramiento, el **perturbador** y el **molesto**. El primero consiste en la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa; un ejemplo muy claro lo tenemos cuando conduciendo de noche se nos cruza un coche con las luces largas. El segundo consiste en una sensación molesta provocada porque la luz que llega a nuestros ojos es demasiado intensa produciendo fatiga visual. Esta es la principal causa de deslumbramiento en interiores.

Pueden producirse deslumbramientos de dos maneras. La primera es por observación directa de las fuentes de luz; por ejemplo, ver directamente las luminarias. Y la segunda es por observación indirecta o reflejada de las fuentes como ocurre cuando las vemos reflejada en alguna superficie (una mesa, un mueble, un cristal, un espejo...)



Estas situaciones son muy molestas para los usuarios y deben evitarse. Entre las medidas que podemos adoptar tenemos ocultar las fuentes de luz del campo de visión usando rejillas o pantallas, utilizar recubrimientos o acabados mates en paredes, techos, suelos y muebles para evitar los reflejos, evitar fuertes contrastes de

luminancias entre la tarea visual y el fondo y/o cuidar la posición de las luminarias respecto a los usuarios para que no caigan dentro de su campo de visión.

Lámparas y luminarias



Las **lámparas** empleadas en iluminación de interiores abarcan casi todos los tipos existentes en el mercado (incandescentes, halógenas, fluorescentes, etc.). Las lámparas escogidas, por lo tanto, serán aquellas cuyas características (fotométricas, cromáticas, consumo energético, economía de instalación y mantenimiento, etc.) mejor se adapte a las necesidades y características de cada instalación (nivel de iluminación, dimensiones del local, ámbito de uso, potencia de la instalación...)

Ámbito de uso	Tipos de lámparas más utilizados
Doméstico	<ul style="list-style-type: none"> • Incandescente • Fluorescente • Halógenas de baja potencia • Fluorescentes compactas
Oficinas	<ul style="list-style-type: none"> • Alumbrado general: fluorescentes • Alumbrado localizado: incandescentes y halógenas de baja tensión
Comercial (Depende de las dimensiones y características del comercio)	<ul style="list-style-type: none"> • Incandescentes • Halógenas • Fluorescentes • Grandes superficies con techos altos: mercurio a alta presión y halogenuros metálicos
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los tipos • Luminarias situadas a baja altura (≤ 6 m): fluorescentes • Luminarias situadas a gran altura (>6 m): lámparas de descarga a alta presión montadas en proyectores • Alumbrado localizado: incandescentes
Deportivo	<ul style="list-style-type: none"> • Luminarias situadas a baja altura: fluorescentes • Luminarias situadas a gran altura: lámparas de vapor de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos y vapor de sodio a alta presión

La elección de las **luminarias** está condicionada por la lámpara utilizada y el entorno de trabajo de esta. Hay muchos tipos de luminarias y sería difícil hacer una clasificación exhaustiva. La forma y tipo de las luminarias oscilará entre las más funcionales donde lo más importante es dirigir el haz de luz de forma eficiente como pasa en el alumbrado industrial a las más formales donde lo que prima es la función decorativa como ocurre en el alumbrado doméstico.

Las luminarias para lámparas incandescentes tienen su ámbito de aplicación básico en la iluminación doméstica. Por lo tanto, predomina la estética sobre la eficiencia luminosa. Sólo en aplicaciones comerciales o en luminarias para iluminación

suplementaria se buscará un compromiso entre ambas funciones. Son aparatos que necesitan apantallamiento pues el filamento de estas lámparas tiene una luminancia muy elevada y pueden producir deslumbramientos.

En segundo lugar tenemos las luminarias para lámparas fluorescentes. Se utilizan mucho en oficinas, comercios, centros educativos, almacenes, industrias con techos bajos, etc. por su economía y eficiencia luminosa. Así pues, nos encontramos con una gran variedad de modelos que van de los más simples a los más sofisticados con sistemas de orientación de la luz y apantallamiento (modelos con rejillas cuadradas o transversales y modelos con difusores).

Por último tenemos las luminarias para lámparas de descarga a alta presión. Estas se utilizan principalmente para colgar a gran altura (industrias y grandes naves con techos altos) o en iluminación de pabellones deportivos, aunque también hay modelos para pequeñas alturas. En el primer caso se utilizan las luminarias intensivas y los proyectores y en el segundo las extensivas.

El color

Para hacernos una idea de como afecta la luz al color consideremos una habitación de paredes blancas con muebles de madera de tono claro. Si la iluminamos con lámparas incandescentes, ricas en radiaciones en la zona roja del espectro, se acentuarán los tonos marrones de los muebles y las paredes tendrán un tono amarillento. En conjunto tendrá un aspecto cálido muy agradable. Ahora bien, si iluminamos el mismo cuarto con lámparas fluorescentes normales, ricas en radiaciones en la zona azul del espectro, se acentuarán los tonos verdes y azules de muebles y paredes dándole un aspecto frío a la sala. En este sencillo ejemplo hemos podido ver cómo afecta el color de las lámparas (su apariencia en color) a la reproducción de los colores de los objetos (el rendimiento en color de las lámparas).

La **apariencia en color** de las lámparas viene determinada por su **temperatura de color** correlacionada. Se definen tres grados de apariencia según la tonalidad de la luz: luz fría para las que tienen un tono blanco azulado, luz neutra para las que dan luz blanca y luz cálida para las que tienen un tono blanco rojizo.

Temperatura de color correlacionada	Apariencia de color
$T_c > 5.000 \text{ K}$	Fría
$3.300 \leq T_c \leq 5.000 \text{ K}$	Intermedia
$T_c < 3.300 \text{ K}$	Cálida

A pesar de esto, la apariencia en color no basta para determinar qué sensaciones producirá una instalación a los usuarios. Por ejemplo, es posible hacer que una instalación con fluorescentes llegue a resultar agradable y una con lámparas cálidas desagradable aumentando el nivel de iluminación de la sala. El valor de la [iluminancia](#) determinará conjuntamente con la apariencia en color de las lámparas el aspecto final.

Iluminancia (lux)	Apariencia del color de la luz		
	Cálida	Intermedia	Fría
$E \leq 500$	agradable	neutra	fría
$500 < E < 1.000$	↕	↕	↕

1.000 < E < 2.000 2.000 < E < 3.000 E ≥ 3.000	estimulante ↕ no natural	agradable ↕ estimulante	neutra ↕ agradable
---	--------------------------------	-------------------------------	--------------------------

El **rendimiento en color** de las lámparas es una medida de la calidad de reproducción de los colores. Se mide con el **Índice de Rendimiento del Color (IRC o Ra)** que compara la reproducción de una muestra normalizada de colores iluminada con una lámpara con la misma muestra iluminada con una fuente de luz de referencia. Mientras más alto sea este valor mejor será la reproducción del color, aunque a costa de sacrificar la eficiencia y consumo energéticos. La CIE ha propuesto un sistema de clasificación de las lámparas en cuatro grupos según el valor del IRC.

Grupo de rendimiento en color	Índice de rendimiento en color (IRC)	Apariencia de color	Aplicaciones
1	IRC ≥ 85	Fría	Industria textil, fábricas de pinturas, talleres de imprenta
		Intermedia	Escaparates, tiendas, hospitales
		Cálida	Hogares, hoteles, restaurantes
2	70 ≤ IRC < 85	Fría	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias de precisión (en climas cálidos)
		Intermedia	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias de precisión (en climas templados)
		Cálida	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, ambientes industriales críticos (en climas fríos)
3	Lámparas con IRC < 70 pero con propiedades de rendimiento en color bastante aceptables para uso en locales de trabajo		Interiores donde la discriminación cromática no es de gran importancia
S (especial)	Lámparas con rendimiento en color fuera de lo normal		Aplicaciones especiales

Apariencia de color y rendimiento en color (CIE)

Ahora que ya conocemos la importancia de las lámparas en la reproducción de los colores de una instalación, nos queda ver otro aspecto no menos importante: la elección del color de suelos, paredes, techos y muebles. Aunque la elección del color de estos elementos viene condicionada por aspectos estéticos y culturales básicamente, hay que tener en cuenta la repercusión que tiene el resultado final en el estado anímico de las personas.



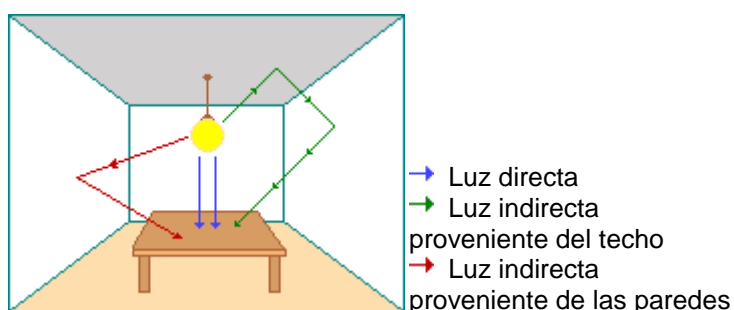
Influencia del color en el ambiente

Los tonos fríos producen una sensación de tristeza y reducción del espacio, aunque también pueden causar una impresión de frescor que los hace muy adecuados para la decoración en climas cálidos. Los tonos cálidos son todo lo contrario. Se asocian a sensaciones de exaltación, alegría y amplitud del espacio y dan un aspecto acogedor al ambiente que los convierte en los preferidos para los climas cálidos.

De todas maneras, a menudo la presencia de elementos fríos (bien sea la luz de las lámparas o el color de los objetos) en un ambiente cálido o viceversa ayudarán a hacer más agradable y/o neutro el resultado final.

Sistemas de alumbrado

Cuando una lámpara se enciende, el flujo emitido puede llegar a los objetos de la sala directamente o indirectamente por reflexión en paredes y techo. La cantidad de luz que llega directa o indirectamente determina los diferentes sistemas de iluminación con sus ventajas e inconvenientes.



La **iluminación directa** se produce cuando todo el flujo de las lámparas va dirigido hacia el suelo. Es el sistema más económico de iluminación y el que ofrece mayor rendimiento luminoso. Por contra, el riesgo de deslumbramiento directo es muy alto y produce sombras duras poco agradables para la vista. Se consigue utilizando luminarias directas.

En la **iluminación semidirecta** la mayor parte del flujo luminoso se dirige hacia el suelo y el resto es reflejada en techo y paredes. En este caso, las sombras son más suaves y el deslumbramiento menor que el anterior. Sólo es recomendable para techos que no sean muy altos y sin claraboyas puesto que la luz dirigida hacia el techo se perdería por ellas.

Si el flujo se reparte al cincuenta por ciento entre procedencia directa e indirecta hablamos de **iluminación difusa**. El riesgo de deslumbramiento es bajo y no hay sombras, lo que le da un aspecto monótono a la sala y sin relieve a los objetos iluminados. Para evitar las pérdidas por absorción de la luz en techo y paredes es recomendable pintarlas con colores claros o mejor blancos.

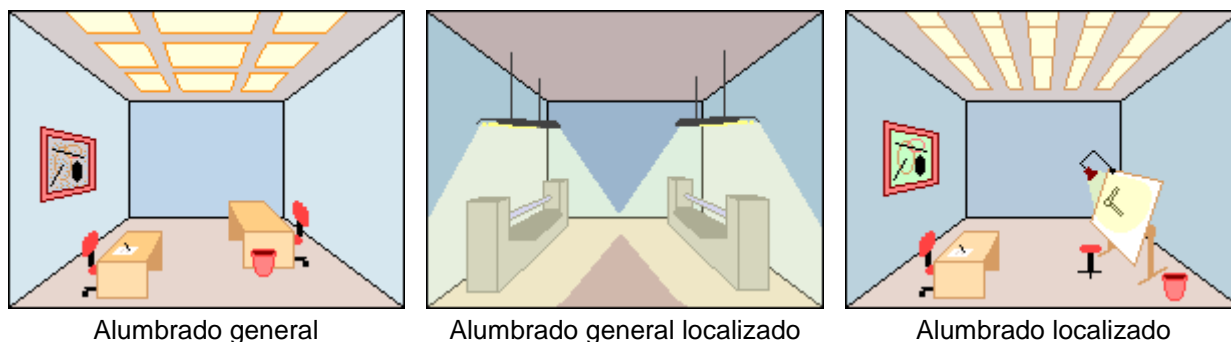
Cuando la mayor parte del flujo proviene del techo y paredes tenemos la **iluminación semiindirecta**. Debido a esto, las pérdidas de flujo por absorción son elevadas y los consumos de potencia eléctrica también, lo que hace imprescindible pintar con tonos claros o blancos. Por contra la luz es de buena calidad, produce muy pocos deslumbramientos y con sombras suaves que dan relieve a los objetos.

Por último tenemos el caso de la **iluminación indirecta** cuando casi toda la luz va al techo. Es la más parecida a la luz natural pero es una solución muy cara puesto que

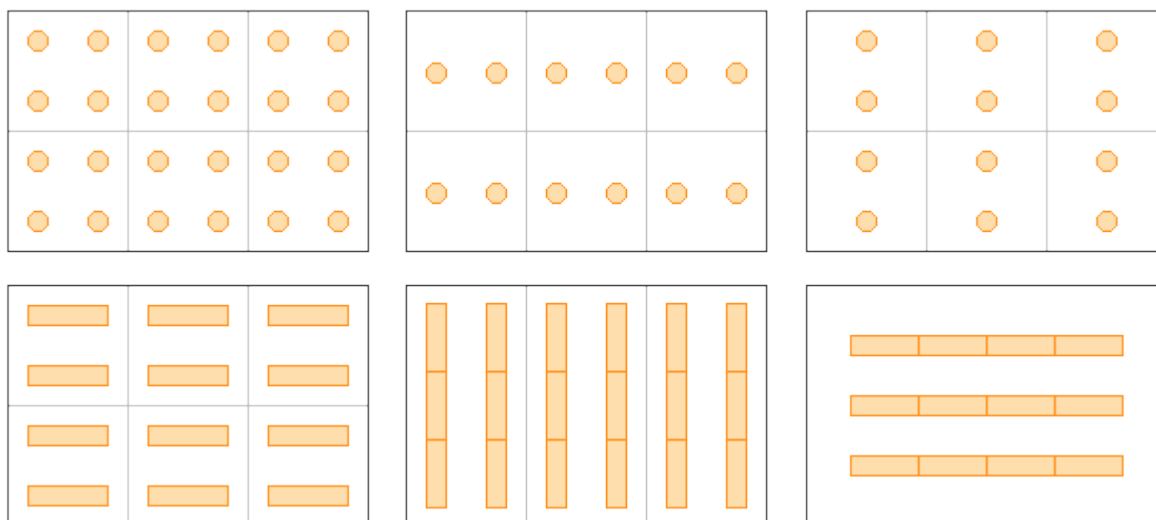
las pérdidas por absorción son muy elevadas. Por ello es imprescindible usar pinturas de colores blancos con reflectancias elevadas.

Métodos de alumbrado

Los métodos de alumbrado nos indican cómo se reparte la luz en las zonas iluminadas. Según el grado de uniformidad deseado, distinguiremos tres casos: alumbrado general, alumbrado general localizado y alumbrado localizado.



El **alumbrado general** proporciona una iluminación uniforme sobre toda el área iluminada. Es un método de iluminación muy extendido y se usa habitualmente en oficinas, centros de enseñanza, fábricas, comercios, etc. Se consigue distribuyendo las luminarias de forma regular por todo el techo del local

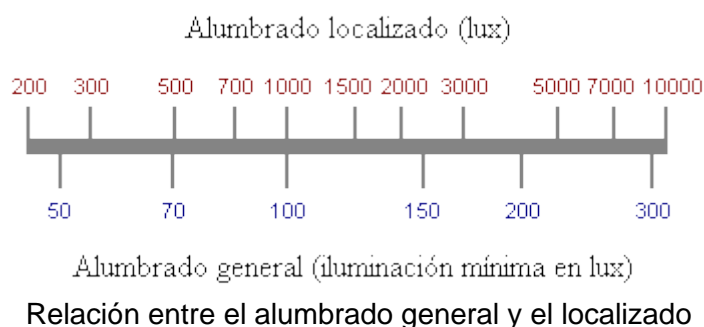


Ejemplos de distribución de luminarias en alumbrado general

El **alumbrado general localizado** proporciona una distribución no uniforme de la luz de manera que esta se concentra sobre las áreas de trabajo. El resto del local, formado principalmente por las zonas de paso se ilumina con una luz más tenue. Se consiguen así importantes ahorros energéticos puesto que la luz se concentra allá donde hace falta. Claro que esto presenta algunos inconvenientes respecto al alumbrado general. En primer lugar, si la diferencia de luminancias entre las zonas de trabajo y las de paso es muy grande se puede producir deslumbramiento molesto. El otro inconveniente es qué pasa si se cambian de sitio con frecuencia los puestos de trabajo; es evidente que si no podemos mover las luminarias tendremos un serio problema. Podemos conseguir este alumbrado concentrando las luminarias sobre las

zonas de trabajo. Una alternativa es apagar selectivamente las luminarias en una instalación de alumbrado general.

Empleamos el **alumbrado localizado** cuando necesitamos una iluminación suplementaria cerca de la tarea visual para realizar un trabajo concreto. El ejemplo típico serían las lámparas de escritorio. Recurrirémos a este método siempre que el nivel de iluminación requerido sea superior a 1000 lux., haya obstáculos que tapen la luz proveniente del alumbrado general, cuando no sea necesaria permanentemente o para personas con problemas visuales. Un aspecto que hay que cuidar cuando se emplean este método es que la relación entre las luminancias de la tarea visual y el fondo no sea muy elevada pues en caso contrario se podría producir deslumbramiento molesto.



Niveles de iluminación recomendados

Los niveles de iluminación recomendados para un local dependen de las actividades que se vayan a realizar en él. En general podemos distinguir entre tareas con requerimientos luminosos mínimos, normales o exigentes.

En el primer caso extraían las zonas de paso (pasillos, vestíbulos, etc.) o los locales poco utilizados (almacenes, cuartos de maquinaria...) con iluminancias entre 50 y 200 lx. En el segundo caso tenemos las zonas de trabajo y otros locales de uso frecuente con iluminancias entre 200 y 1000 lx. Por último están los lugares donde son necesarios niveles de iluminación muy elevados (más de 1000 lx) porque se realizan tareas visuales con un grado elevado de detalle que se puede conseguir con iluminación local.

Tareas y clases de local	Iluminancia media en servicio (lux)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación, pasillos	50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200
Centros docentes			
Aulas, laboratorios	300	400	500
Bibliotecas, salas de estudio	300	500	750
Oficinas			
Oficinas normales, mecanografiado, salas de proceso de datos,	450	500	750

salas de conferencias			
Grandes oficinas, salas de delineación, CAD/CAM/CAE	500	750	1000
Comercios			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superficies, supermercados, salones de muestras	500	750	1000
Industria (en general)			
Trabajos con requerimientos visuales limitados	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales	1000	1500	2000
Viviendas			
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio	300	500	750

Iluminancias recomendadas según la actividad y el tipo de local

En la tabla anterior tenemos un cuadro simplificado de los niveles de iluminancia en función del tipo de tareas a realizar en el local. Existen, no obstante, tablas más completas en la [bibliografía](#) donde se detallan las iluminancias para todo tipo de actividades humanas.

Depreciación de la eficiencia luminosa y mantenimiento

El paso del tiempo provoca sobre las instalaciones de alumbrado una disminución progresiva en los niveles de iluminancia. Las causas de este problema se manifiestan de dos maneras. Por un lado tenemos el ensuciamiento de lámparas, luminarias y superficies donde se va depositando el polvo. Y por otro tenemos la depreciación del flujo de las lámparas.

En el primer caso la solución pasa por una limpieza periódica de lámparas y luminarias. Y en el segundo por establecer un programa de sustitución de las lámparas. Aunque a menudo se recurre a esperar a que fallen para cambiarlas, es recomendable hacer la sustitución por grupos o de toda la instalación a la vez según un programa de mantenimiento. De esta manera aseguraremos que los niveles de iluminancia real se mantengan dentro de los valores de diseño de la instalación.

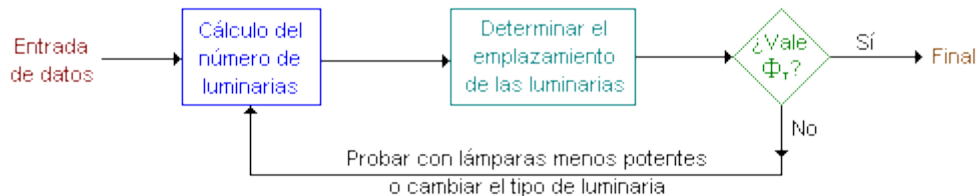
CÁLCULO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO

El cálculo de los niveles de iluminación de una instalación de alumbrado de interiores es bastante sencillo. A menudo nos bastará con obtener el valor medio del alumbrado general usando el [método de los lúmenes](#). Para los casos en que requiramos una mayor precisión o necesitemos conocer los valores de las iluminancias en algunos puntos concretos como pasa en el alumbrado general localizado o el alumbrado localizado recurriremos al [método del punto por punto](#).

Método de los lúmenes

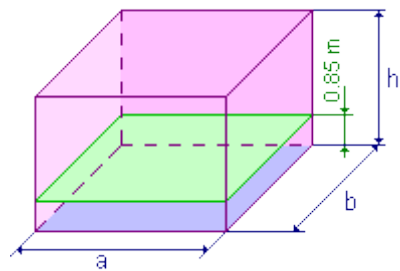
La finalidad de este método es calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores cuando la precisión necesaria no es muy alta como ocurre en la mayoría de los casos.

El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques:

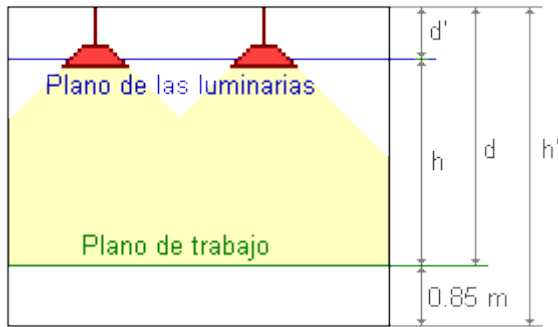


Datos de entrada

- Dimensiones del local y la altura del plano de trabajo (la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo), normalmente de 0.85 m.



- Determinar el [nivel de iluminancia media](#) (E_m). Este valor depende del tipo de actividad a realizar en el local y podemos encontrarlos tabulados en las normas y recomendaciones que aparecen en la bibliografía.
- Escoger el tipo de [lámpara](#) (incandescente, fluorescente...) más adecuada de acuerdo con el tipo de actividad a realizar.
- Escoger el [sistema de alumbrado](#) que mejor se adapte a nuestras necesidades y las [luminarias](#) correspondientes.
- Determinar la **altura de suspensión** de las luminarias según el sistema de iluminación escogido.



h: altura entre el plano de trabajo y las luminarias
 h': altura del local
 d: altura del plano de trabajo al techo
 d': altura entre el plano de trabajo y las luminarias

	Altura de las luminarias
Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Lo más altas posibles
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	Mínimo: $h = \frac{2}{3} \cdot (h' - 0.85)$ Óptimo: $h = \frac{4}{5} \cdot (h' - 0.85)$
Locales con iluminación indirecta	$d' \approx \frac{1}{4} \cdot (h' - 0.85)$ $h \approx \frac{3}{4} \cdot (h' - 0.85)$

- Calcular el **índice del local (k)** a partir de la geometría de este. En el caso del **método europeo** se calcula como:

	Sistema de iluminación	Índice del local
	Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
	Iluminación indirecta y semiindirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + 0.85) \cdot (a + b)}$

Donde **k** es un número comprendido entre 1 y 10. A pesar de que se pueden obtener valores mayores de 10 con la fórmula, no se consideran pues la diferencia entre usar diez o un número mayor en los cálculos es despreciable.

- Determinar los **coeficientes de reflexión** de techo, paredes y suelo. Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado. Si no disponemos de ellos, podemos tomarlos de la siguiente tabla.

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

En su defecto podemos tomar 0.5 para el techo, 0.3 para las paredes y 0.1 para el suelo.

- Determinar el **factor de utilización** (η , CU) a partir del índice del local y los factores de reflexión. Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes. En las tablas encontramos para cada tipo de luminaria los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local. Si no se pueden obtener los factores por lectura directa será necesario [interpolarse](#).

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.61	.56	.52	.60	.56	.52	.60	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
	10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

Ejemplo de tabla del factor de utilización

- Determinar el **factor de mantenimiento** (f_m) o **conservación** de la instalación. Este coeficiente dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual podemos tomar los siguientes valores:

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Cálculos

- Cálculo del flujo luminoso total necesario. Para ello aplicaremos la fórmula

$$\Phi_{\tau} = \frac{E \cdot S}{\eta \cdot f_m}$$

donde:

- Φ_{τ} es el flujo luminoso total
 - E es la iluminancia media deseada
 - S es la superficie del plano de trabajo
 - η es el factor de utilización
 - f_m es el factor de mantenimiento
- Cálculo del número de luminarias.

$$N = \frac{\Phi_{\tau}}{n \cdot \Phi_l} \quad \text{redondeado por exceso}$$

donde:

- N es el número de luminarias
- Φ_{τ} es el flujo luminoso total
- Φ_l es el flujo luminoso de una lámpara
- n es el número de lámparas por luminaria

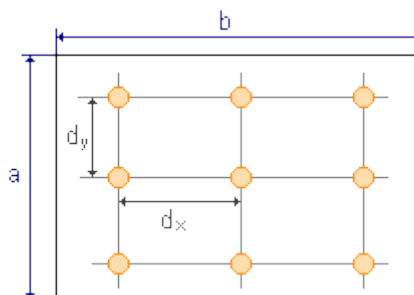
Emplazamiento de las luminarias

Una vez hemos calculado el número mínimo de lámparas y luminarias procederemos a distribuir las sobre la planta del local. En los locales de planta rectangular las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas:

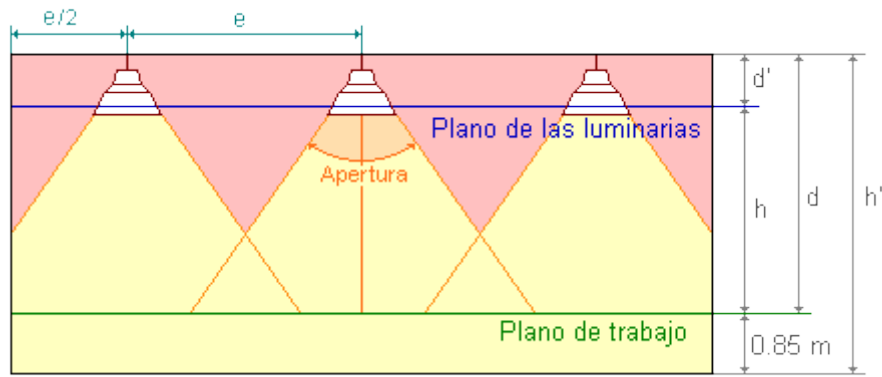
$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{Total}} \times \text{ancho}}{\text{largo}}}$$

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \times \left(\frac{\text{largo}}{\text{ancho}} \right)$$

donde N es el número de luminarias



La distancia máxima de separación entre las luminarias dependerá del ángulo de apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo. Veámoslo mejor con un dibujo:



Como puede verse fácilmente, mientras más abierto sea el haz y mayor la altura de la luminaria más superficie iluminará aunque será menor el nivel de [iluminancia](#) que llegará al plano de trabajo tal y como dice la ley inversa de los cuadrados. De la misma manera, vemos que las luminarias próximas a la pared necesitan estar más cerca para iluminarla (normalmente la mitad de la distancia). Las conclusiones sobre la separación entre las luminarias las podemos resumir como sigue:

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
intensiva	> 10 m	$e \leq 1.2 h$
extensiva	6 - 10 m	$e \leq 1.5 h$
semiextensiva	4 - 6 m	
extensiva	≤ 4 m	$e \leq 1.6 h$
distancia pared-luminaria: $e/2$		

Si después de calcular la posición de las luminarias nos encontramos que la distancia de separación es mayor que la distancia máxima admitida quiere decir que la distribución luminosa obtenida no es del todo uniforme. Esto puede deberse a que la potencia de las lámparas escogida sea excesiva. En estos casos conviene rehacer los cálculos probando a usar lámparas menos potentes, más luminarias o emplear luminarias con menos lámparas.

Comprobación de los resultados

Por último, nos queda comprobar la validez de los resultados mirando si la iluminancia media obtenida en la instalación diseñada es igual o superior a la recomendada en las tablas.

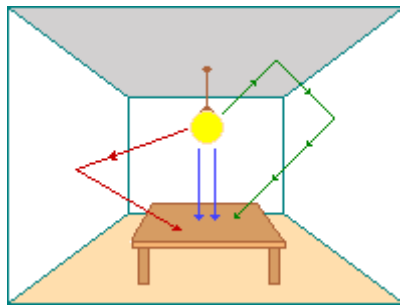
$$E_m = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} \geq E_{\text{tablas}}$$

Método del punto por punto

El método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general. Pero, qué pasa si queremos conocer cómo es la distribución de la iluminación en instalaciones de [alumbrado general localizado](#) o [individual](#) donde la luz no se distribuye uniformemente o cómo es exactamente la distribución en el [alumbrado general](#). En estos casos

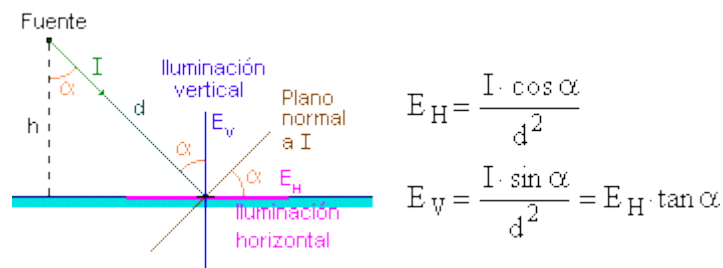
emplearemos el método del punto por punto que nos permite conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos.

Consideraremos que la iluminancia en un punto es la suma de la luz proveniente de dos fuentes: una componente **directa**, producida por la luz que llega al plano de trabajo directamente de las luminarias, y otra **indirecta o reflejada** procedente de la reflexión de la luz de las luminarias en el techo, paredes y demás superficies del local.



- Luz directa
- Luz indirecta proveniente del techo
- Luz indirecta proveniente de las paredes

En el ejemplo anterior podemos ver que sólo unos pocos rayos de luz serán perpendiculares al plano de trabajo mientras que el resto serán oblicuos. Esto quiere decir que de la luz incidente sobre un punto, sólo una parte servirá para iluminar el plano de trabajo y el resto iluminará el plano vertical a la dirección incidente en dicho punto.



Componentes de la iluminancia en un punto

En general, para hacernos una idea de la distribución de la iluminancia nos bastará con conocer los valores de la iluminancia sobre el plano de trabajo; es decir, la iluminancia horizontal. Sólo nos interesará conocer la iluminancia vertical en casos en que se necesite tener un buen modelado de la forma de los objetos (deportes de competición, escaparates, estudios de televisión y cine, retransmisiones deportivas...) o iluminar objetos en posición vertical (obras de arte, cuadros, esculturas, pizarras, fachadas...)

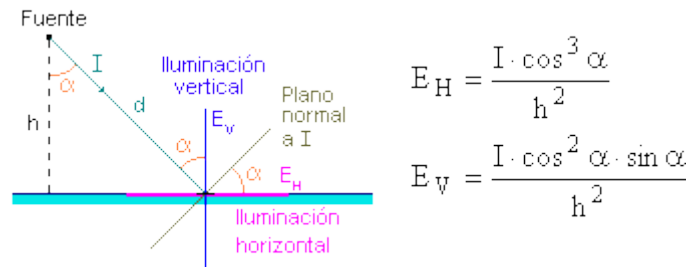
Para utilizar el método del punto por punto necesitamos conocer previamente las características fotométricas de las lámparas y luminarias empleadas, la disposición de las mismas sobre la planta del local y la altura de estas sobre el plano de trabajo. Una vez conocidos todos estos elementos podemos empezar a calcular las iluminancias. Mientras más puntos calculemos más información tendremos sobre la distribución de la luz. Esto es particularmente importante si trazamos los [diagramas isolux](#) de la instalación.

Como ya hemos mencionado, la iluminancia horizontal en un punto se calcula como la suma de la componente de la iluminación **directa** más la de la iluminación **indirecta**. Por lo tanto:

$$E = E_{\text{directa}} + E_{\text{indirecta}}$$

Componente directa en un punto

- **Fuentes de luz puntuales.** Podemos considerar fuentes de luz puntuales las lámparas incandescentes y de descarga que no sean los tubos fluorescentes. En este caso las componentes de la iluminancia se calculan usando las fórmulas.



$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}$$

$$E_V = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2}$$

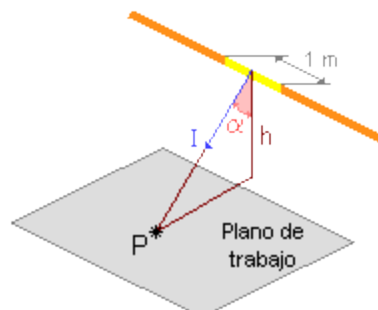
Donde I es la [intensidad luminosa](#) de la lámpara en la dirección del punto que puede obtenerse de los [diagramas polares](#) de la luminaria o de la [matriz de intensidades](#) y h la altura del plano de trabajo a la lámpara.

En general, si un punto está iluminado por más de una lámpara su iluminancia total es la suma de las iluminancias recibidas:

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^3 \alpha_i}{h_i^2}$$

$$E_V = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot \sin \alpha_i}{h_i^2}$$

- **Fuentes de luz lineales de longitud infinita.** Se considera que una fuente de luz lineal es infinita si su longitud es mucho mayor que la altura de montaje; por ejemplo una línea continua de fluorescentes. En este caso se puede demostrar por cálculo diferencial que la iluminancia en un punto para una fuente de luz difusa se puede expresar como:



$$E_H = \frac{\pi \cdot I}{2h} \cdot \cos^2 \alpha$$

$$E_V = \frac{\pi \cdot I}{2h} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

- En los extremos de la hilera de las luminarias el valor de la iluminancia será la mitad.

El valor de I se puede obtener del diagrama de intensidad luminosa de la luminaria referido a un metro de longitud de la fuente de luz. En el caso

de un tubo fluorescente desnudo I puede calcularse a partir del flujo luminoso por metro, según la fórmula:

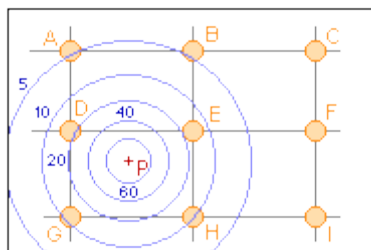
$$I = \frac{\Phi}{9.25}$$

- **Cálculo de las iluminancias horizontales empleando curvas isolux.**
Este método gráfico permite obtener las iluminancias horizontales en cualquier punto del plano de trabajo de forma rápida y directa. Para ello necesitaremos:

1. Las [curvas isolux](#) de la luminaria suministradas por el fabricante (fotocopiadas sobre papel vegetal o transparencias). Si no disponemos de ellas, podemos trazarlas a partir de la [matriz de intensidades](#) o de las [curvas polares](#), aunque esta solución es poco recomendable si el número de puntos que nos interesa calcular es pequeño o no disponemos de un programa informático que lo haga por nosotros.

2. La planta del local con la disposición de las luminarias dibujada con la misma escala que la curva isolux.

El procedimiento de cálculo es el siguiente. Sobre el plano de la planta situamos el punto o los puntos en los que queremos calcular la iluminancia. A continuación colocamos el diagrama isolux sobre el plano, haciendo que el centro coincida con el punto, y se suman los valores relativos de las iluminancias debidos a cada una de las luminarias que hemos obtenido a partir de la intersección de las curvas isolux con las luminarias.



Luminaria	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Total
Iluminancia (lux)	4	4	0	19	19	0	12	10	0	$E_T = 68 \text{ lx}$

Finalmente, los valores reales de las iluminancias en cada punto se calculan a partir de los relativos obtenidos de las curvas aplicando la [fórmula](#):

$$E_r = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{\Phi_c} \cdot \left(\frac{h_c}{h_r} \right)^2 = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{h_r^2} \cdot \frac{1}{1000}$$

Componente indirecta o reflejada en un punto

Para calcular la componente indirecta se supone que la distribución luminosa de la luz reflejada es uniforme en todas las superficies del local incluido el plano de trabajo. De esta manera, la componente indirecta de la iluminación de una fuente de luz para un punto cualquiera de las superficies que forman el local se calcula como:

$$E_{\text{indirecta}} = E_{\text{ind}_H} = E_{\text{ind}_V} = \frac{\Phi}{F_T} \cdot \frac{\rho_m}{1 - \rho_m}$$

donde:

- $F_T = \sum_n F_i$ es la suma del área de todas las superficies del local.
- ρ_m es la reflectancia media de las superficies del local calculada como

$$\rho_m = \frac{\sum_n \rho_i \cdot F_i}{\sum_n F_i}$$

siendo ρ_i la reflectancia de la superficie F_i

- y Φ es el flujo de la lámpara

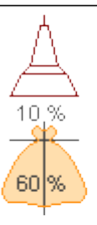
ILUMINACIÓN INTERIOR. EJERCICIOS

Problemas resueltos

1. Queremos diseñar una instalación de alumbrado para una nave industrial de 100 m de largo por 30 m de ancho y 6 m de altura. Para ello utilizaremos lámparas de vapor de sodio a alta presión de 400 W de potencia con un flujo luminoso de 50000 lm. Respecto a las luminarias, nos planteamos escoger entre los tipos 1, 2 y 3 cuyas tablas del factor de utilización, suministradas por el fabricante, se adjuntan a continuación.

Luminarias disponibles (todas son de tipo industrial suspendido):

Luminaria 1 ▼

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)																					
		Factor de reflexión del techo																					
		0.8			0.7			0.5			0.3			0									
		Factor de reflexión de las paredes																					
												0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
 <p>10 % 60 %</p>	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30										
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37										
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41										
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45										
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48										
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52										
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54										
3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56											
$D_{max} = 1.0 H_m$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58										
f_m	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59										

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Otros datos:

- Los coeficientes de reflexión de paredes y techo se considerarán cero debido a que los materiales empleados (superficies y estructuras metálicas) tienen coeficientes de reflexión extremadamente bajos.

- Es recomendable que el sistema de iluminación se instale por lo menos a 5.5 m del suelo, pues en la estructura superior de la nave, hasta 5 metros del suelo, existen equipos de transporte, como grúas, destinadas al traslado de objetos pesados a distintos puntos de la nave.
- En el techo existen claraboyas que ofrecen una iluminación diurna mínima de 75 lux lo suficientemente homogénea a la altura del suelo. En dicha nave sólo se trabajará de día.
- El nivel de iluminación aconsejado para las actividades que se desarrollan en el local es de 680 lux en el suelo.

Se pide determinar con cuál de los tres tipos de luminarias propuestas obtendremos la mejor solución.

Solución

Este es un ejemplo de problema resuelto con el [método de los lúmenes](#). Tenemos una gran nave que queremos iluminar con una iluminación homogénea de 680 lx.

Datos de entrada:

Dimensiones del local:

- largo: 100 m
- ancho: 30 m
- altura total: 6 m
- altura del plano de trabajo: 0 (nos piden la iluminancia a nivel del suelo)

Nivel de iluminancia media. Nos piden 680 lx pero teniendo en cuenta que sólo se trabaja de día y la iluminancia de la luz solar es de 75 lux, la iluminancia proporcionada por la iluminación será:

$$E_m = 680 - 75 = 605 \text{ lx}$$

Lámparas. Usaremos lámparas de vapor de sodio a alta presión de 400 W y 50000 lm de flujo.

Altura de suspensión de las luminarias: 5.5 m

Índice del local. Dado el tipo de luminarias propuestas (de iluminación directa), nos encontramos con un caso de iluminación directa. Por lo tanto:

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{100 \cdot 30}{5.5 \cdot (100 + 30)} = 4.2$$

Coefficientes de reflexión. Los coeficientes del techo y las paredes se suministran en el enunciado. Como no nos dicen nada del suelo tomaremos la hipótesis más pesimista vista en las tablas.

	Techo	Paredes	Suelo
Coefficiente de reflexión	0	0	0.1

Determinación del coeficiente de utilización (η). A partir de los factores de reflexión y el índice del local se leen en las tablas los factores de utilización. En este caso particular deberíamos interpol ya que no disponemos de valores para $k = 4.2$; pero como la diferencia entre el coeficiente para 4 y 5 es muy pequeña podemos aproximar con los valores de 4.

	Luminaria 1	Luminaria 2	Luminaria 3
Coeficiente de utilización (η)	0.58	0.92	0.73

Factor de mantenimiento. En este caso los valores vienen incluidos en las tablas de las luminarias. Como no nos dicen nada sobre la suciedad ambiental tomaremos los valores medios.

	Luminaria 1	Luminaria 2	Luminaria 3
Factor de Mantenimiento (f_m)	0.75	0.75	0.60

Cálculos:

Cálculo del flujo luminoso total.

Luminaria 1	$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_m} = \frac{605 \cdot 100 \cdot 30}{0.58 \cdot 0.75} = 4172414 \text{ lm}$
Luminaria 2	$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_m} = \frac{605 \cdot 100 \cdot 30}{0.92 \cdot 0.75} = 2630435 \text{ lm}$
Luminaria 3	$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_m} = \frac{605 \cdot 100 \cdot 30}{0.73 \cdot 0.60} = 4143835 \text{ lm}$

Por último se calcula el número mínimo de luminarias necesarias. Este es un valor de referencia pues es normal que al emplazar las luminarias y hacer las comprobaciones posteriores necesitemos un número mayor de ellas.

Luminaria 1	$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = \frac{4172414}{1.5 \cdot 10^4} = 83.4 \approx 84$
Luminaria 2	$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = \frac{2630435}{1.5 \cdot 10^4} = 52.6 \approx 53$
Luminaria 3	$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = \frac{4143835}{1.5 \cdot 10^4} = 82.9 \approx 83$

Emplazamiento de las luminarias:

Finalmente sólo nos queda distribuir las luminarias sobre la planta del local y comprobar que la distancia de separación entre ellas es inferior a la máxima admisible. En este caso la separación máxima viene indicada en las tablas de las luminarias.

	Luminaria 1	Luminaria 2	Luminaria 3
Ancho			
N luminarias	5	4	5
Separación (m)	30/5 = 6	30/4 = 7.5	30/5 = 6
Separación de las paredes (m)	6/2 = 3	7.5/2 = 3.75	6/2 = 3
Largo			
N luminarias	17	14	17
Separación (m)	100/17 = 5.88	100/14 = 7.14	100/17 = 5.88
Separación de las paredes (m)	5.88/2 = 2.94	7.14/2 = 3.57	5.88/2 = 2.94
Separación máxima entre luminarias (m)	1.1 · h _m = 6.05	0.7 · h _m = 3.85	1.1 · h _m = 6.05
Cumple los criterios	SI	NO	SI
Número total de luminarias	5 · 17 = 85	4 · 14 = 56	5 · 17 = 85

De todas las luminarias propuestas, la LUMINARIA 2 es la única que no cumple los criterios ya que la separación obtenida es superior a la máxima permitida. Esto quiere decir que si queremos utilizar esta luminaria tendremos que poner más unidades y reducir la separación entre ellas. Podemos calcular el nuevo número necesario tomando como distancia de separación la distancia máxima (3.85 m) y usando las fórmulas usadas para distribuirlas. Si hacemos las operaciones necesarias podremos ver que ahora se necesitan 208 luminarias.

En este caso es indiferente utilizar la LUMINARIA 1 o la 3, pero en general nos quedaríamos con la solución que necesitara menos luminarias. Si los consumos de las lámparas de las luminarias fueran diferentes unos de otros, tendríamos que tenerlos en cuenta para optar por la solución más barata, que sería la que necesitara menos potencia total.

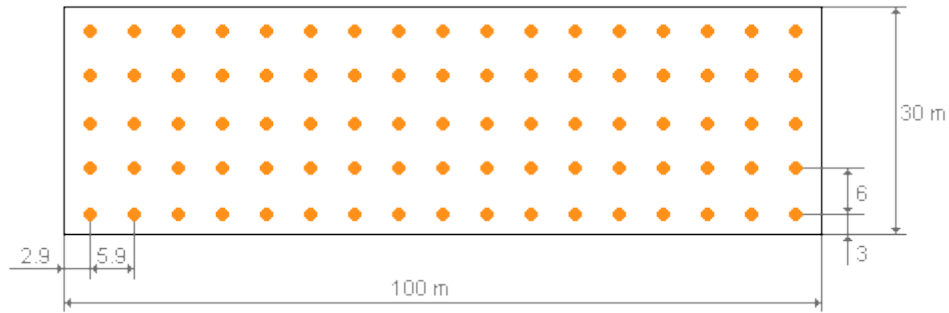
Comprobación de los resultados para la LUMINARIA 3:

$$E = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} = \frac{85 \cdot 50000 \cdot 0.73 \cdot 85}{30 \cdot 100} = 620.5 \text{ lx}$$

A nivel de suelo, la iluminancia total será: NI = 620.5 + 75 = 695.5 lx

Y la potencia consumida P = 85 · 400 = 34 kW

Distribución final de las luminarias:



Problemas propuestos

1. Queremos diseñar una instalación de alumbrado para una oficina con las siguientes dimensiones: 30 m de largo por 12 m de ancho y 3.5 m de alto. La altura del plano de trabajo es de 0.76 m sobre el suelo. Para ello se utilizarán lámparas del tipo fluorescentes de 40 W y un flujo de 2520 lm. Nos planteamos escoger entre los siguientes tipos de luminarias: 4, 5 y 6; cuyas tablas nos ha suministrado el fabricante.

Tablas de las luminarias:

Luminaria 1 (Industrial suspendida) ▼

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)																					
		Factor de reflexión del techo																					
		0.8			0.7			0.5			0.3			0									
		Factor de reflexión de las paredes																					
		0.5			0.3			0.1			0.5			0.3			0.1			0			
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30										
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37										
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41										
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45										
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48										
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52										
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54										
3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56											
$D_{max} = 1.0 H_m$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58										
f_m	.70	.75	.80	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59							

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Otros datos:

- A nivel del plano de trabajo, existe un nivel mínimo de iluminación natural de 0 lux.
- El nivel de iluminación recomendado para las actividades que se desarrollarán en el local es de 500 lux en el plano de trabajo.
- El factor de mantenimiento para las luminarias se considera 0.1.
- El techo tiene un coeficiente de reflexión 0.5 y el de las paredes es de 0.1. El coeficiente de reflexión del suelo es de 0.1.
- Por las características del local, de las luminarias y de las actividades que en él se desarrollan, la altura sobre el suelo de la instalación de alumbrado, debe ser de 3.5.

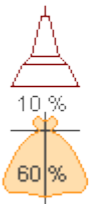
Determinar la solución más apropiada.

Resultados

2. Queremos diseñar una instalación de alumbrado para una oficina con las siguientes dimensiones: 12 m de largo por 4 m de ancho y 3 m de alto. La altura del plano de trabajo es de 0.95 m sobre el suelo. Para ello se utilizarán lámparas del tipo fluorescentes de 60 W y un flujo de 4600 lm. Nos planteamos escoger entre los siguientes tipos de luminarias: 7 y 8; cuyas tablas nos ha suministrado el fabricante.

Tablas de las luminarias:

Luminaria 1 (Industrial suspendida) ▼

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)														
		Factor de reflexión del techo														
		0.8			0.7			0.5			0.3			0		
		Factor de reflexión de las paredes														
		0.5		0.3		0.1		0.5		0.3		0.1		0		
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30			
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37			
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41			
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45			
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48			
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52			
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54			
3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56				
$D_{max} = 1.0 H_m$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58			
f_m	.70	.75	.80	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Otros datos:

- A nivel del plano de trabajo, existe un nivel mínimo de iluminación natural de 0 lux.
- El nivel de iluminación recomendado para las actividades que se desarrollarán en el local es de 150 lux en el plano de trabajo.
- El factor de mantenimiento para las luminarias se considera 0.5.
- El techo tiene un coeficiente de reflexión 0.5 y el de las paredes es de 0.3. El coeficiente de reflexión del suelo es de 0.1.
- Por las características del local, de las luminarias y de las actividades que en él se desarrollan, la altura sobre el suelo de la instalación de alumbrado, debe ser de 2.5.

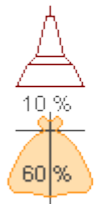
Determinar la solución más apropiada.

Resultados

3. Queremos diseñar una instalación de alumbrado para una oficina con las siguientes dimensiones: 6 m de largo por 4 m de ancho y 3.5 m de alto. La altura del plano de trabajo es de 0.76 m sobre el suelo. Para ello se utilizarán lámparas del tipo fluorescentes de 40 W y un flujo de 2500 lm. Nos planteamos escoger entre los siguientes tipos de luminarias: 9, 10 y 11; cuyas tablas nos ha suministrado el fabricante.

Tablas de las luminarias:

Luminaria 1 (Industrial suspendida) ▼

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (U)														
		Factor de reflexión del techo														
		0.8			0.7			0.5			0.3			0		
		Factor de reflexión de las paredes														
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0			
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30			
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37			
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41			
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45			
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48			
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52			
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54			
3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56				
$D_{max} = 1.0 H_m$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58			
f_m .70 .75 .80	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59			

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Otros datos:

- A nivel del plano de trabajo, existe un nivel mínimo de iluminación natural de 0 lux.
- El nivel de iluminación recomendado para las actividades que se desarrollarán en el local es de 100 lux en el plano de trabajo.
- El factor de mantenimiento para las luminarias se considera 0.3.
- El techo tiene un coeficiente de reflexión 0.5 y el de las paredes es de 0.5. El coeficiente de reflexión del suelo es de 0.1.
- Por las características del local, de las luminarias y de las actividades que en él se desarrollan, la altura sobre el suelo de la instalación de alumbrado, debe ser de 2.5.

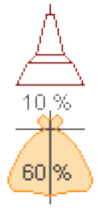
Determinar la solución más apropiada.

Resultados

4. Queremos diseñar una instalación de alumbrado para una oficina con las siguientes dimensiones: 12 m de largo por 6 m de ancho y 3.75 m de alto. La altura del plano de trabajo es de 0.75 m sobre el suelo. Para ello se utilizarán lámparas del tipo fluorescentes de 110 W y un flujo de 9000 lm. Nos planteamos escoger entre los siguientes tipos de luminarias: 12; cuyas tablas nos ha suministrado el fabricante.

Tablas de las luminarias:

Luminaria 1 (Industrial suspendida) ▼

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)																					
		Factor de reflexión del techo																					
		0.8			0.7			0.5			0.3			0									
		Factor de reflexión de las paredes																					
												0.5			0.3			0.1			0		
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30										
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37										
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41										
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45										
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48										
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52										
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54										
3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56											
$D_{max} = 1.0 H_m$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58										
f_m .70 .75 .80	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59										

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Otros datos:

- A nivel del plano de trabajo, existe un nivel mínimo de iluminación natural de 0 lux.
- El nivel de iluminación recomendado para las actividades que se desarrollarán en el local es de 750 lux en el plano de trabajo.
- El factor de mantenimiento para las luminarias se considera 0.3.
- El techo tiene un coeficiente de reflexión 0.8 y el de las paredes es de 0.5. El coeficiente de reflexión del suelo es de 0.1.
- Por las características del local, de las luminarias y de las actividades que en él se desarrollan, la altura sobre el suelo de la instalación de alumbrado, debe ser de 3.15.

Determinar la solución más apropiada.