

46

Director del capítulo
Juan Guasch Farrás

Sumario

Tipos de lámparas e iluminación	
<i>Richard Forster</i>	46.2
Condiciones necesarias para el confort visual	
<i>Fernando Ramos Pérez y Ana Hernández Calleja</i>	46.7
Condiciones de la iluminación general	
<i>N. Alan Smith</i>	46.13

● TIPOS DE LAMPARAS E ILUMINACION

Richard Forster

Una lámpara es un convertidor de energía. Aunque pueda realizar funciones secundarias, su principal propósito es la transformación de energía eléctrica en radiación electromagnética visible. Hay muchas maneras de crear luz, pero el método normalmente utilizado en la iluminación general es la conversión de energía eléctrica en luz.

Tipos de luz

Incandescencia

Los materiales sólidos y líquidos, al calentarse, emiten radiación visible a temperaturas superiores a 1.000 K; este fenómeno recibe el nombre de incandescencia.

Las lámparas de filamentos se basan en este calentamiento para generar luz: una corriente eléctrica pasa a través de un fino hilo de tungsteno, cuya temperatura se eleva hasta alcanzar entre 2.500 y 3.200 K, en función del tipo de lámpara y su aplicación.

Existe un límite para este método, que viene descrito por la Ley de Planck para el comportamiento de un radiador de cuerpo negro, de acuerdo con la cual, la distribución espectral de la energía radiada aumenta con la temperatura. A unos 3.600 K o más, se produce un marcado aumento en la emisión de radiación visible y la longitud de onda de la máxima energía se desplaza hacia la banda visible. Es una temperatura cercana al punto de fusión del tungsteno, que es el material utilizado como filamento, de modo que, en la práctica, el límite de temperatura es de unos 2.700 K, por encima del cual la evaporación del filamento resulta excesiva. Una consecuencia de estos desplazamientos espectrales es que una gran parte de la radiación desprendida no se emite en forma de luz, sino en forma de calor en la región de infrarrojos. Por consiguiente, las bombillas de filamentos pueden ser dispositivos de calefacción eficaces y se utilizan en lámparas diseñadas para secar materiales impresos, preparar alimentos y criar animales.

Descarga eléctrica

La descarga eléctrica es una técnica utilizada en las modernas fuentes de luz para el comercio y la industria, debido a que la producción de luz es más eficaz. Algunos tipos de lámparas combinan la descarga eléctrica con la fotoluminiscencia.

Una corriente eléctrica que pasa a través de un gas excita los átomos y moléculas para emitir radiación con un espectro característico de los elementos presentes. Normalmente se utilizan dos metales, sodio y mercurio, porque sus características dan lugar a radiaciones útiles en el espectro visible. Ninguno de estos metales emite un espectro continuo y las lámparas de descarga tienen espectros selectivos. La reproducción del color nunca será idéntica a la obtenida con espectros continuos. Las lámparas de descarga suelen dividirse en las categorías de baja o alta presión, aunque estos términos sólo son relativos, y una lámpara de sodio de alta presión funciona a menos de una atmósfera.

Tipos de luminiscencia

La *fotoluminiscencia* se produce cuando la radiación es absorbida por un sólido y reemitida en una longitud de onda diferente. Cuando la radiación reemitida está dentro del espectro visible, el proceso se denomina *fluorescencia* o *fosforescencia*.

La *electroluminiscencia* se produce cuando la luz es generada por una corriente eléctrica que pasa a través de ciertos sólidos, como los materiales fosfóricos. Se utiliza en cuadros de instrumentos y

Tabla 46.1 • Mejora de los requisitos de rendimiento lumínico y vataje de algunas lámparas de tubo fluorescente de 1.500 mm.

Potencia (W)	Diámetro (mm)	Gas interior	Eficiencia lumínica (lúmenes)
80	38	argón	4.800
65	38	argón	4.900
58	25	criptón	5.100
50	25	argón	5.100

(equipo de alta frecuencia)

letreros luminosos, pero no ha demostrado ser una fuente de luz práctica para la iluminación de edificios o exteriores.

Evolución de las lámparas eléctricas

Aunque el progreso tecnológico ha permitido producir diferentes lámparas, los principales factores que han influido en su desarrollo han sido fuerzas externas al mercado. Por ejemplo, la producción de las lámparas de filamentos que se utilizaban a principios de siglo sólo fue posible cuando se dispuso de buenas bombas de vacío y del proceso de trefilado del tungsteno. Con todo, fue la generación y distribución de electricidad a gran escala, para satisfacer la demanda de iluminación eléctrica, la que determinó el crecimiento del mercado. La iluminación eléctrica ofrecía muchas ventajas en comparación con la luz generada por gas o aceite, como la estabilidad de la luz, el escaso mantenimiento, la mayor seguridad que supone no tener una llama desnuda y la ausencia de subproductos locales de combustión.

Durante el período de recuperación que siguió a la segunda Guerra Mundial, lo importante era la productividad. La lámpara fluorescente tubular se convirtió en la fuente de luz dominante porque con ella era posible iluminar fábricas y oficinas sin sombras y comparativamente sin calor, aprovechando al máximo el espacio disponible. En la Tabla 46.1 se indican los requisitos de vataje y rendimiento lumínico de una lámpara fluorescente tubular típica de 1.500 mm.

En el decenio de 1970 aumentó el precio del petróleo y los costes energéticos se convirtieron en una parte importante de los costes de explotación. El mercado demandaba lámparas fluorescentes que produjesen la misma cantidad de luz con un menor consumo eléctrico, por lo que se perfeccionó el diseño de la lámpara de varias maneras. A medida que se aproxima el fin de siglo, aumenta la conciencia de los problemas ambientales globales. Factores como el mejor aprovechamiento de las materias primas escasas, el reciclaje o la seguridad en el vertido de los productos y la continua preocupación por el consumo de energía (sobre todo de la generada a partir de combustibles fósiles) influyen en el diseño de las lámparas actuales.

Criterios de rendimiento

Los criterios de rendimiento varían según la aplicación. En general, no existe una jerarquía concreta de importancia de estos criterios.

Rendimiento lumínico: la emisión de lúmenes de una lámpara determinará su idoneidad en relación con la escala de la instalación y la cantidad de iluminación necesaria.

Coloración y reproducción del color: se aplican escalas y valores numéricos independientes a la coloración y a la reproducción del color. Es importante recordar que las cifras sólo son orientativas y que algunas sólo son aproximaciones. Siempre que sea posible, deberán realizarse valoraciones de idoneidad con

lámparas reales y con los colores o materiales aplicables a la situación.

Vida útil de la lámpara: la mayoría de las lámparas tienen que ser reemplazadas varias veces durante la pervivencia de la instalación de alumbrado y los diseñadores deben reducir al mínimo los inconvenientes para los ocupantes como consecuencia de las averías esporádicas y del mantenimiento. Las lámparas tienen muy diversas aplicaciones. La previsión de vida útil media suele ser un compromiso entre coste y rendimiento. Por ejemplo, la lámpara de un proyector de diapositivas durará unos cuantos cientos de horas, porque es importante que alcance el máximo rendimiento lumínico para conseguir una imagen de buena calidad. Por el contrario, algunas lámparas de alumbrado de carreteras pueden durar hasta dos años, lo que representa unas 8.000 horas de encendido.

Además, la vida útil de la lámpara se ve afectada por las condiciones de trabajo, por lo que no existe una cifra válida para todas las situaciones. De igual manera, la duración efectiva de la lámpara puede venir determinada por diferentes formas de deterioro. El fallo físico, como la rotura del filamento o de la propia lámpara, puede venir precedido de una reducción del rendimiento lumínico o de cambios en la coloración. La duración de la lámpara resulta afectada por condiciones ambientales externas como la temperatura, la vibración, la frecuencia de encendido, las fluctuaciones de la tensión de alimentación, la orientación, etcétera.

Es preciso observar que la vida media establecida para un tipo de lámpara es el tiempo que tardan en fallar el 50 % de las lámparas de una partida de pruebas. No es probable que esta definición de vida útil sea aplicable a muchas instalaciones comerciales o industriales, por lo que la duración de una lámpara suele ser inferior en la práctica a los valores publicados, que sólo deberán utilizarse a efectos de comparación.

Eficiencia: como norma general, la eficiencia de un tipo determinado de lámpara será mejor cuanto mayor sea el régimen de potencia, porque la mayoría de las lámparas tienen cierta pérdida fija. Ahora bien, comparando diferentes tipos de lámparas se observan marcadas variaciones de eficiencia. Es conveniente utilizar las lámparas de mayor eficiencia, siempre que se cumplan al mismo tiempo los criterios de tamaño, color y vida útil. No debe ahorrarse energía a expensas del confort visual o del rendimiento de los

Tabla 46.2 • Rendimientos típicos de las lámparas.

Eficiencia de las lámparas	
Lámpara de filamento de 100 W	14 lúmenes/vatio
Tubo fluorescente de 58 W	89 lúmenes/vatio
Lámpara de sodio de alta presión de 400 W	125 lúmenes/vatio
Lámpara de sodio de baja presión de 131 W	198 lúmenes/vatio

ocupantes. En la Tabla 46.2 se ofrecen algunos valores típicos de eficiencia.

Principales tipos de lámparas

A lo largo de los años, se han ido desarrollando varios sistemas de nomenclatura en los registros y normas nacionales e internacionales.

En 1993, la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) publicó un nuevo Sistema Internacional de Codificación de Lámparas (SICL) pensado para sustituir a los sistemas de codificación nacionales y regionales ya existentes. En la Tabla 46.3 figuran algunos códigos SICL en formato abreviado para diversas lámparas.

Lámparas incandescentes

Utilizan un filamento de tungsteno dentro de un globo de vidrio al vacío o lleno de un gas inerte que evite la evaporación del tungsteno y reduzca el ennegrecimiento del globo. Existen lámparas de muy diversas formas, que pueden resultar muy decorativas. En la Figura 46.1 se muestran los componentes de una lámpara típica de iluminación general (General Lighting Service, GLS).

Las lámparas incandescentes también se presentan en una amplia gama de colores y acabados. En la Tabla 46.4 aparecen algunas formas típicas y los códigos SICL.

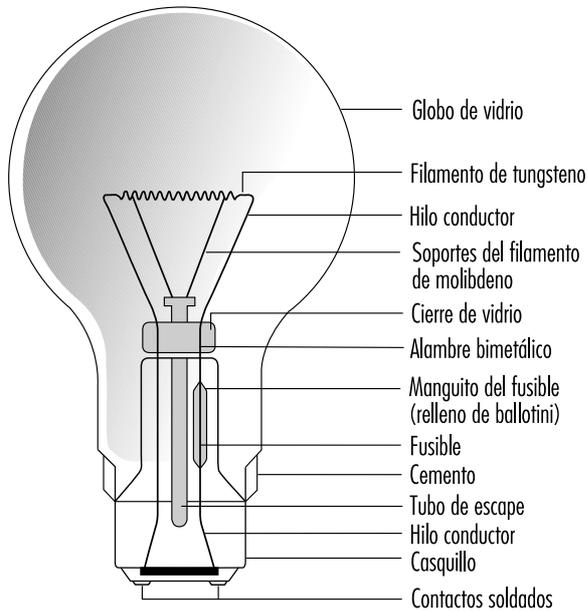
Se trata de unas lámparas que siguen teniendo aceptación en la iluminación doméstica debido a su bajo coste y pequeño tamaño. Con todo, su baja eficiencia genera costes de explotación muy altos en la iluminación comercial e industrial, por lo que normalmente se prefieren las lámparas de descarga. Una lámpara de 100 W tiene una eficiencia típica de 14 lúmenes/vatio en comparación con los 96 lúmenes/vatio de una lámpara fluorescente de 36 W.

Las lámparas incandescentes todavía se utilizan cuando la atenuación de la luz es una característica de control conveniente, ya que resulta fácil atenuarlas reduciendo la tensión de alimentación.

Tabla 46.3 • Sistema Internacional de Codificación de Lámparas (SICL), sistema de codificación en formato abreviado para algunos tipos de lámparas.

Tipo (código)	Potencia normal (vatios)	Reproducción del color	Temperatura colorimétrica (K)	Vida útil (horas)
Lámparas fluorescentes de tamaño reducido (FS)	5–55	buena	2.700–5.000	5.000–10.000
Lámparas de mercurio de alta presión (QE)	80–750	correcta	3.300–3.800	20.000
Lámparas de sodio de alta presión (S-)	50–1.000	de incorrecta a buena	2.000–2.500	6.000–24.000
Lámparas incandescentes (I)	5–500	buena	2.700	1.000–3.000
Lámparas de inducción (XF)	23–85	buena	3.000–4.000	10.000–60.000
Lámparas de sodio de baja presión (LS)	26–180	color amarillo monocromático	1.800	16.000
Lámparas halógenas de tungsteno de baja tensión (HS)	12–100	buena	3.000	2.000–5.000
Lámparas de haluro metálico (M-)	35–2.000	de buena a excelente	3.000–5.000	6.000–20.000
Lámparas fluorescentes tubulares (FD)	4–100	de correcta a buena	2.700–6.500	10.000–15.000
Lámparas halógenas de tungsteno (HS)	100–2.000	buena	3.000	2.000–4.000

Figura 46.1 • Construcción de una lámpara GLS.



El filamento de tungsteno es una fuente de luz de tamaño reducido, que puede enfocarse fácilmente con reflectores o lentes. Las lámparas incandescentes son útiles en la iluminación de expositores, donde se requiere control direccional.

Lámparas halógenas de tungsteno

Son parecidas a las lámparas incandescentes y producen luz de la misma manera, a partir de un filamento de tungsteno. Ahora bien, el globo contiene gas halógeno (bromo o yodo) que actúa controlando la evaporación del tungsteno (véase la Figura 46.2).

Es fundamental para el ciclo del halógeno que la bombilla se mantenga a una temperatura mínima de 250 °C para que el haluro de tungsteno permanezca en estado gaseoso y no se condense sobre la superficie del globo. Tal temperatura da lugar a que las bombillas se fabriquen con cuarzo en lugar de vidrio. El cuarzo permite reducir el tamaño de la bombilla.

La mayoría de las lámparas halógenas de tungsteno duran más tiempo que sus equivalentes incandescentes y el filamento alcanza una temperatura más alta, creando más luz y un color más blanco.

Figura 46.2 • El ciclo halógeno.

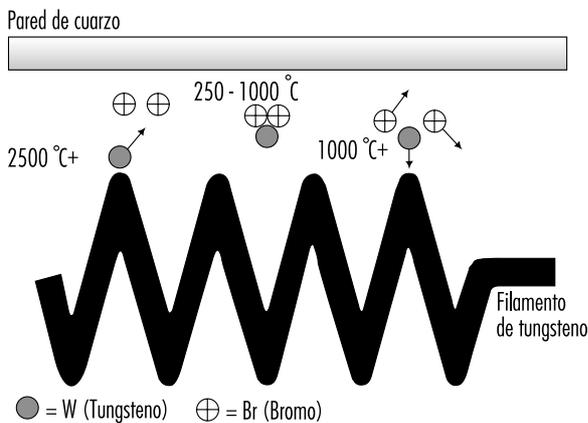


Tabla 46.4 • Colores y formas comunes a las lámparas incandescentes, con sus códigos del SICL.

Color/Forma	Código
Transparente	/C
Esmerilado	/F
Blanco	/W
Rojo	/R
Azul	/B
Verde	/G
Amarillo	/Y
Forma de pera (GLS)	IA
Forma cilíndrica	IB
Forma cónica	IC
Forma de globo	IG
Forma de seta	IM

Las lámparas halógenas de tungsteno han encontrado aceptación en situaciones cuyos principales requisitos son un tamaño reducido y un alto rendimiento. Como ejemplo típico cabe citar la iluminación de escenarios, incluyendo el cine y la televisión, donde el control direccional y la atenuación son requisitos habituales.

Lámparas halógenas de tungsteno de baja tensión

Fueron diseñadas originalmente para proyectores de diapositivas y películas. A 12 V, un filamento diseñado para los mismos vatios que en el caso de una corriente de 230 V se hace más pequeño y grueso. Puede enfocarse más eficazmente, y la mayor masa del filamento permite una temperatura de trabajo más alta, aumentando el rendimiento lumínico. El filamento grueso es más robusto. Son características que se han considerado ventajosas en el mercado de los expositores comerciales y, aunque es necesario incorporar un transformador reductor, estas lámparas dominan actualmente la iluminación de escaparates (véase la Figura 46.3).

Aunque los usuarios de proyectores cinematográficos desean el máximo de luz posible, un exceso de calor deteriora el medio

Figura 46.3 • Lámpara reflectora dicróica de baja tensión.

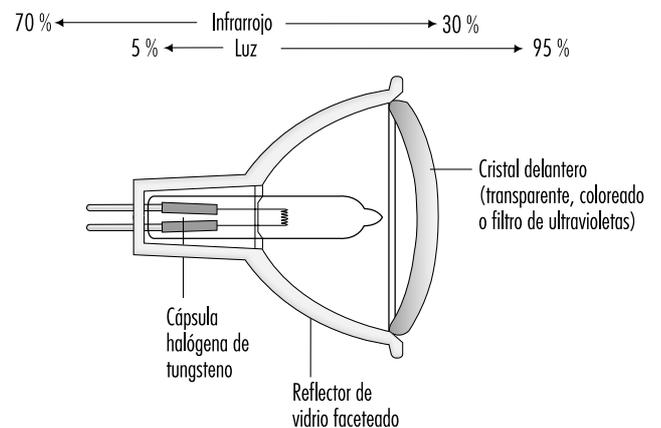
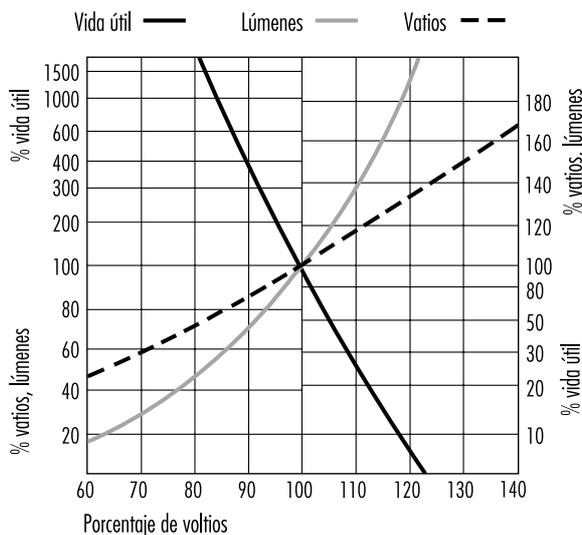


Figura 46.4 • Lámparas de filamento GLS y tensión de alimentación.



de la transparencia. Se ha desarrollado un tipo especial de reflector que sólo refleja la radiación visible, permitiendo que la radiación de infrarrojos (calor) pase a través de la parte trasera de la lámpara. En la actualidad, esta característica está incorporada en muchas lámparas de reflectores de baja tensión para la iluminación de expositores, así como en equipos de proyección.

Sensibilidad a la tensión. todas las lámparas de filamentos son sensibles a las variaciones de tensión, viéndose afectadas en términos de rendimiento lumínico y vida útil. Se está consiguiendo "armonizar" la tensión de alimentación a 230 V en toda Europa ampliando las tolerancias de trabajo de las autoridades que regulan la generación de electricidad. Se tiende a un $\pm 10\%$, que es una gama de tensiones de 207 a 253 V. En esta gama no es razonable trabajar con lámparas incandescentes ni con lámparas halógenas de tungsteno, por lo que será necesario adaptar la tensión de alimentación efectiva a la potencia de las lámparas (véase la Figura 46.4).

Las lámparas de descarga también se verán afectadas por tan grandes variaciones de tensión, de modo que será importante la correcta especificación del equipo de control.

Lámparas fluorescentes tubulares

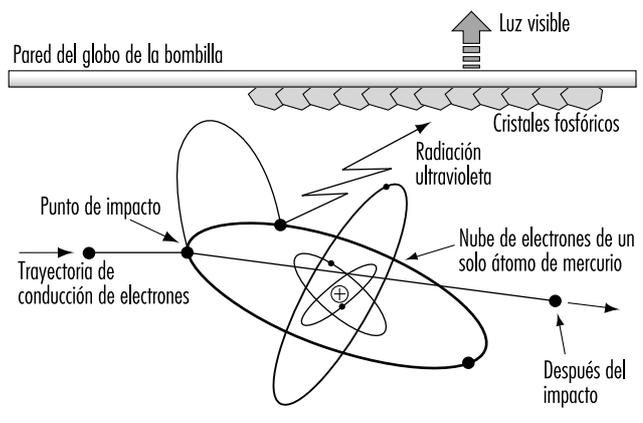
Son lámparas de mercurio de baja presión que están disponibles en versiones de "cátodo caliente" y "cátodo frío". La primera versión es el tubo fluorescente convencional para fábricas y oficinas; "cátodo caliente" se refiere al cebado de la lámpara por precalentamiento de los electrodos para que la ionización del gas y del vapor de mercurio sea suficiente para realizar la descarga.

Las lámparas de cátodo frío se utilizan principalmente en letreros y anuncios publicitarios (véase la Figura 46.5).

Las lámparas fluorescentes necesitan equipo de control externo para efectuar el cebado y para regular la corriente de la lámpara. Además de la pequeña cantidad de vapor de mercurio, hay un gas de cebado (argón o criptón).

La baja presión del mercurio genera una descarga de luz de color azul pálido. La mayor parte de la radiación está en la región ultravioleta a 254 nm, una frecuencia de radiación característica del mercurio. En el interior de la pared del tubo hay un fino revestimiento fosfórico, que absorbe los rayos ultravioleta e irradia la energía en forma de luz visible. El color de la luz viene

Figura 46.5 • Principio de la lámpara fluorescente.



determinado por el revestimiento fosfórico. Existe toda una gama de materiales fosfóricos con diversas características de coloración y reproducción del color.

Durante el decenio de 1950 los materiales fosfóricos disponibles ofrecían la posibilidad de elegir entre una eficiencia razonable (60 lúmenes/vatio) con una luz deficiente en rojos y azules, o una mejor reproducción del color a partir de materiales fosfóricos "de lujo" pero de menor eficiencia (40 lúmenes/vatio).

En el decenio de 1970 ya se habían desarrollado nuevos materiales fosfóricos de banda estrecha que irradiaban luz roja, azul y verde por separado, pero que, en combinación, producían luz blanca. El ajuste de las proporciones dio lugar a toda una gama de coloraciones diferentes, todas ellas con similares y excelentes propiedades de reproducción del color. Se trata de materiales trifosfóricos más eficaces que los primeros tipos y representan la solución de iluminación más económica, aunque las lámparas sean más caras. La mayor eficiencia reduce los costes de explotación e instalación.

El principio del material trifosfórico ha venido a ampliarse con las lámparas multifosfóricas en situaciones donde la reproducción del color es esencial, como en galerías de arte y en la comparación de colores en la industria.

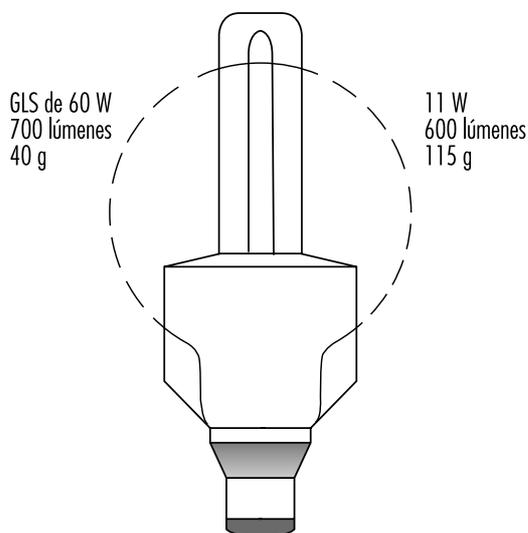
Los modernos materiales fosfóricos de banda estrecha son más duraderos, mejoran la constancia del flujo luminoso y aumentan la vida útil de la lámpara.

Lámparas fluorescentes de tamaño reducido

El tubo fluorescente no es un sustituto práctico para la lámpara incandescente debido a su forma alargada. Pueden hacerse tubos cortos y estrechos de aproximadamente el mismo tamaño que la lámpara incandescente, pero esto impone una carga eléctrica muy superior al material fosfórico. Para que la lámpara tenga una vida útil aceptable es esencial utilizar trifosfóricos (véase la Figura 46.6).

En todas las lámparas fluorescentes de tamaño reducido se utilizan trifosfóricos, de modo que, si se utilizan junto con las alargadas, también deberán utilizarse en estas últimas, para mantener la coherencia de los colores. Algunas lámparas de tamaño reducido incluyen el equipo de control necesario para crear dispositivos de conversión para lámparas incandescentes. La gama va en aumento y permite actualizar fácilmente las instalaciones de alumbrado ya existentes para utilizar más eficazmente la energía. En el caso de que los controles originales lo permitieran, estas unidades integradas no serían adecuadas para el efecto de atenuación.

Figura 46.6 • Fluorescente de tamaño reducido de cuatro patas.



Equipo electrónico de control de alta frecuencia: si la frecuencia normal de alimentación de 50 o 60 Hz aumenta a 30 kHz, se produce un 10 % de aumento en la eficiencia de los tubos fluorescentes. Los circuitos electrónicos pueden manejar las lámparas individualmente a tales frecuencias. El circuito electrónico está diseñado para proporcionar el mismo rendimiento lumínico que el equipo de control de hilo bobinado, con menor potencia en la lámpara. Con ello es posible compatibilizar el paquete lumínico, con la ventaja de que la menor carga en la lámpara aumentará notablemente la vida útil de ésta. El equipo de control electrónico puede trabajar en toda una gama de tensiones de alimentación.

No existe una norma común para el equipo de control electrónico y el rendimiento de las lámparas puede diferir de la información publicada por los fabricantes.

El uso de equipo electrónico de alta frecuencia elimina el problema normal de parpadeo de la luz, al que algunos ocupantes pueden ser sensibles.

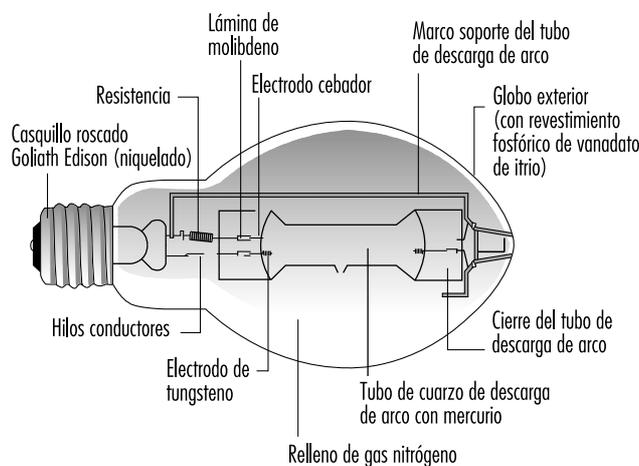
Lámparas de inducción

Recientemente han aparecido en el mercado lámparas que utilizan el principio de inducción. Son lámparas de mercurio de baja presión con revestimientos trifosfóricos y cuya producción de luz es similar a la de las lámparas fluorescentes. La energía se transmite a la lámpara por radiación de alta frecuencia, aproximadamente a 2,5 MHz, desde una antena situada en el centro de la lámpara. No existe conexión física entre la bombilla y la bobina. Sin electrodos u otras conexiones alámbricas, la construcción del recipiente de descarga es más sencilla y duradera. La vida útil de la lámpara se determina principalmente por la fiabilidad de los componentes electrónicos y la constancia del flujo luminoso del revestimiento fosfórico.

Lámparas de mercurio de alta presión

Las descargas de alta presión son más compactas y tienen mayores cargas eléctricas; por consiguiente, requieren tubos de descarga de arco hechos de cuarzo para soportar la presión y la temperatura. El tubo de descarga de arco va dentro de una envoltura exterior de vidrio con una atmósfera de nitrógeno o argón-nitrógeno para reducir la oxidación y el chisporroteo. La bombilla filtra eficazmente la radiación ultravioleta del tubo de descarga de arco (véase la Figura 46.7).

Figura 46.7 • Componentes de una lámpara de mercurio.



A alta presión, la descarga de mercurio es principalmente radiación azul y verde. Para mejorar el color, un revestimiento fosfórico aplicado a la bombilla añade luz roja. Existen versiones de lujo con mayor contenido de rojo, que proporcionan un mayor rendimiento lumínico y reproducen mejor el color.

A todas las lámparas de descarga de alta presión les cuesta alcanzar su pleno rendimiento. La descarga inicial se realiza a través del gas conductor interior y el metal se evapora a medida que aumenta la temperatura de la lámpara. A presión estable, la lámpara no se vuelve a cebar inmediatamente sin un equipo de control especial. Se produce una demora mientras la lámpara se enfría suficientemente y se reduce la presión, de modo que basta la tensión de alimentación normal o el circuito de ignición para restablecer el arco.

Las lámparas de descarga tienen una característica de resistencia negativa, por lo que es necesario el equipo de control externo para regular la corriente. Existen pérdidas debidas a los componentes de estos equipos de control, de modo que el usuario deberá tener en cuenta el vataje total al estudiar los costes de explotación y la instalación eléctrica. Las lámparas de mercurio de alta presión constituyen una excepción, y uno de sus tipos contiene un filamento de tungsteno que actúa como dispositivo limitador de corriente y además agrega colores cálidos a la descarga verde/azul. Con lo cual, las lámparas incandescentes pueden reemplazarse directamente.

Aunque las lámparas de mercurio tienen una larga vida útil, de alrededor de 20.000 horas, su rendimiento lumínico disminuye hasta aproximadamente el 55 % del inicial al final de este período y, por consiguiente, su vida económica puede ser menor.

Lámparas de haluro metálico

Es posible mejorar el color y el rendimiento lumínico de las lámparas de descarga de mercurio añadiendo diferentes metales al arco de mercurio. La dosis es pequeña en cada lámpara y, a efectos de precisión en la aplicación, es más conveniente manejar los metales en polvo, en forma de haluros, que se disgrega cuando la lámpara se calienta y libera el metal.

Una lámpara de haluro metálico puede utilizar varios metales diferentes, cada uno de los cuales emite un color característico específico. Entre ellos cabe citar:

- disprosio — verde-azul de banda ancha
- indio — azul de banda estrecha
- litio — rojo de banda estrecha

- escandio — verde-azul de banda ancha
- sodio — amarillo de banda estrecha
- talio — verde de banda estrecha
- estaño — rojo-naranja de banda ancha

No existe una mezcla estándar de metales, por lo que puede ser que las lámparas de haluro metálico de diferentes fabricantes no sean compatibles en aspecto o funcionamiento. En las lámparas de menor vataje, de 35 a 150 W, existe una compatibilidad física y eléctrica más próxima a una norma común.

Las lámparas de haluro metálico necesitan equipo de control, pero la falta de compatibilidad significa que es necesario combinar bien cada lámpara con su equipo para que las condiciones de cebado y funcionamiento sean correctas.

Lámparas de sodio de baja presión

El tubo de descarga de arco tiene un tamaño similar al tubo fluorescente, pero está hecho de un vidrio contrachapado especial con una capa interior resistente al sodio. El tubo de descarga de arco tiene forma de "U" estrecha y va dentro de una envoltura exterior al vacío para asegurar la estabilidad térmica. Durante el cebado, el gas neón del interior de la lámpara produce un intenso resplandor rojo.

La radiación característica del vapor de sodio a baja presión es de un amarillo monocromático. Es un color próximo a la sensibilidad máxima del ojo humano y las lámparas de sodio de baja presión son las más eficaces que existen, a casi 200 lúmenes/vatio. Ahora bien, su aplicación viene limitada por la condición de que la discriminación de los colores no tenga importancia visual, como en el caso de las carreteras principales, los pasos subterráneos y las calles residenciales.

En muchas situaciones estas lámparas están siendo reemplazadas por lámparas de sodio de alta presión. Su menor tamaño ofrece mejor control óptico, particularmente en el alumbrado de carreteras, donde existe cada vez mayor preocupación por el excesivo resplandor del cielo.

Lámparas de sodio de alta presión

Son parecidas a las de mercurio de alta presión, pero ofrecen mejor eficiencia (más de 100 lúmenes/vatio) y una excelente constancia del flujo luminoso. La naturaleza reactiva del sodio requiere que el tubo de descarga de arco se fabrique con alumina policristalina translúcida, ya que el vidrio o el cuarzo son inadecuados. El globo de vidrio exterior contiene un vacío para evitar el chisporroteo y la oxidación. La descarga de sodio no emite radiación ultravioleta, por lo que los revestimientos fosfóricos no tienen ninguna utilidad. Algunas bombillas son esmeriladas o revestidas para difuminar la fuente de luz (véase la Figura 46.8).

Figura 46.8 • Componentes de una lámpara de sodio de alta presión.

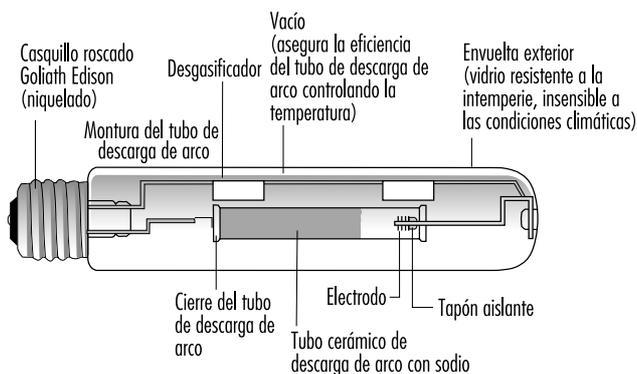


Tabla 46.5 • Tipos de lámparas de sodio de alta presión.

Tipo de lámpara (Código)	Color (K)	Rendimiento (lúmenes/vatio)	Vida útil (horas)
Normal	2.000	110	24.000
De lujo	2.200	80	14.000
Blanca (SON)	2.500	50	

Al aumentar la presión del sodio, la radiación se convierte en una banda ancha alrededor del pico amarillo y su coloración es de un blanco dorado. Ahora bien, al aumentar la presión, disminuye la eficiencia. Actualmente existen tres tipos independientes de lámparas de sodio de alta presión, como se ilustra en la Tabla 46.5.

Generalmente, se utilizan las lámparas normales para el alumbrado exterior, las lámparas de lujo para los interiores industriales y las blancas son para aplicaciones comerciales y de exposición.

Atenuación de las lámparas de descarga

Las lámparas de alta presión no pueden atenuarse satisfactoriamente, ya que al cambiar la potencia de la lámpara cambia la presión y, por consiguiente, las características fundamentales de la lámpara.

Las lámparas fluorescentes pueden atenuarse utilizando suministros eléctricos de alta frecuencia generados normalmente con el equipo de control electrónico. La coloración permanece muy constante. Además, el rendimiento lumínico es aproximadamente proporcional a la potencia de la lámpara, con el consiguiente ahorro de energía eléctrica cuando se reduce dicho rendimiento. La integración del rendimiento lumínico de la lámpara con el nivel predominante de luz natural puede dar lugar a un nivel de iluminancia casi constante en un interior.

CONDICIONES NECESARIAS PARA EL CONFORT VISUAL

Fernando Ramos Pérez y Ana Hernández Calleja

Los seres humanos poseen una capacidad extraordinaria para adaptarse a su ambiente y a su entorno inmediato. De todos los tipos de energía que pueden utilizar los humanos, la luz es la más importante. La luz es un elemento esencial de nuestra capacidad de ver y necesaria para apreciar la forma, el color y la perspectiva de los objetos que nos rodean en nuestra vida diaria. La mayor parte de la información que obtenemos a través de nuestros sentidos la obtenemos por la vista (cerca del 80 %). Y al estar tan acostumbrados a disponer de ella, damos por supuesta su labor. Ahora bien, no debemos olvidar que ciertos aspectos del bienestar humano, como nuestro estado mental o nuestro nivel de fatiga, se ven afectados por la iluminación y por el color de las cosas que nos rodean. Desde el punto de vista de la seguridad en el trabajo, la capacidad y el confort visuales son extraordinariamente importantes, ya que muchos accidentes se deben, entre otras razones, a deficiencias en la iluminación o a errores cometidos por el trabajador, a quien le resulta difícil identificar objetos o los riesgos asociados con la maquinaria, los transportes, los recipientes peligrosos, etcétera.

Los trastornos visuales asociados con deficiencias del sistema de iluminación son habituales en los lugares de trabajo. Dado que la vista es capaz de adaptarse a situaciones de iluminación

deficiente, a veces no se tienen estos aspectos en cuenta con la seriedad que se debería.

El correcto diseño de un sistema de iluminación debe ofrecer las condiciones óptimas para el confort visual. Para conseguir este objetivo, debe establecerse una primera línea de colaboración entre arquitectos, diseñadores de iluminación y los responsables de higiene en el trabajo, que debe ser anterior al inicio del proyecto, con el fin de evitar errores que pueda ser difícil corregir una vez terminado. Entre los aspectos más importantes que es preciso tener en cuenta cabe citar el tipo de lámpara y el sistema de alumbrado que se va a instalar, la distribución de la luminancia, la eficiencia de la iluminación y la composición espectral de la luz.

El hecho de que la luz y el color afectan a la productividad y al bienestar psicofisiológico del trabajador debe animar a los técnicos en iluminación, fisiólogos y ergonomistas a tomar iniciativas destinadas a estudiar y determinar las condiciones más favorables de luz y color en cada puesto de trabajo. La combinación de iluminación, el contraste de luminancias, el color de la luz, la reproducción del color o la elección de los colores son los elementos que determinan el clima del colorido y el confort visual.

Factores que determinan el confort visual

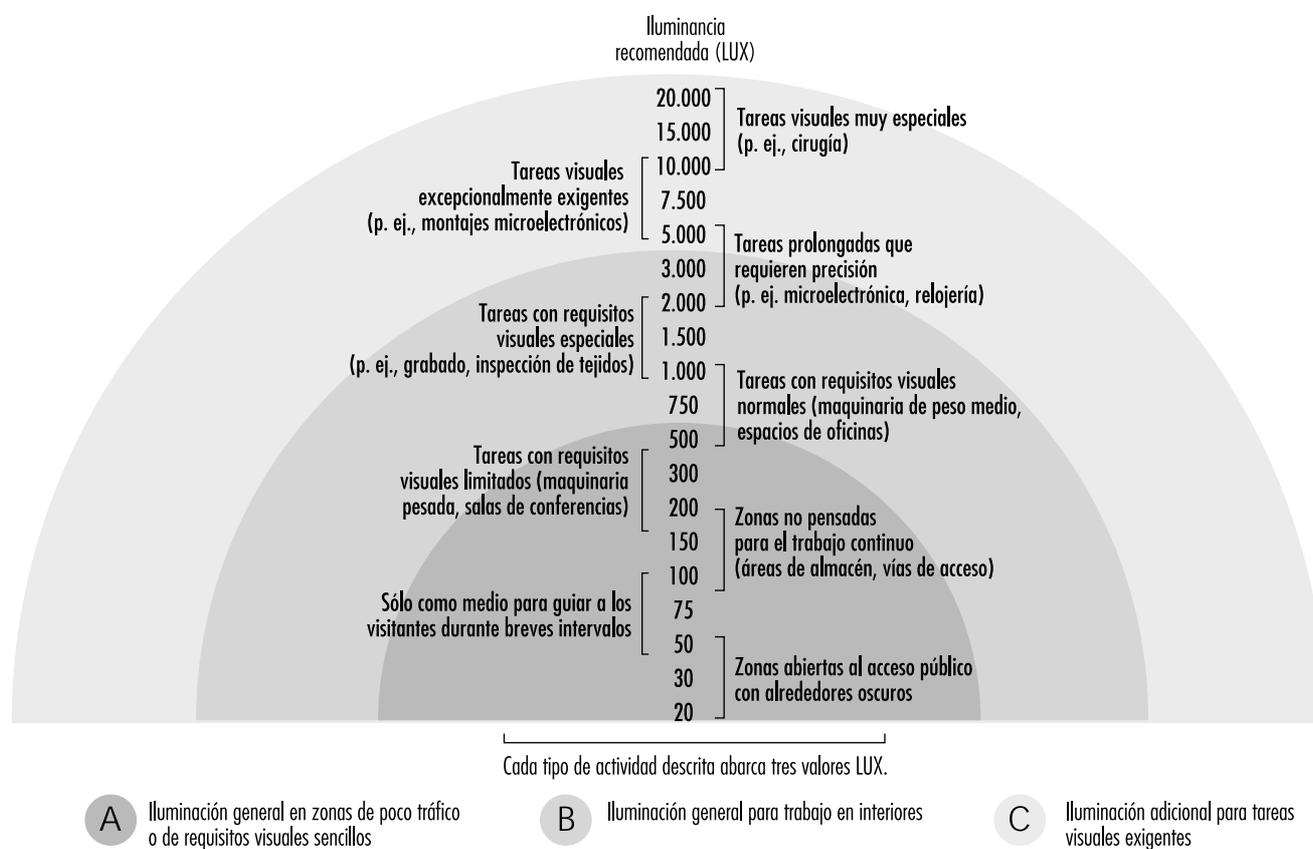
Los requisitos que un sistema de iluminación debe cumplir para proporcionar las condiciones necesarias para el confort visual son los siguientes:

- iluminación uniforme;
- luminancia óptima;
- ausencia de brillos deslumbrantes;
- condiciones de contraste adecuadas;
- colores correctos,
- ausencia de luces intermitentes o efectos estroboscópicos.

Es importante examinar la luz en el lugar de trabajo no sólo con criterios cuantitativos, sino también cualitativos. El primer paso es estudiar el puesto de trabajo, la precisión que requieren las tareas realizadas, la cantidad de trabajo, la movilidad del trabajador, etcétera. La luz debe incluir componentes de radiación difusa y directa. El resultado de la combinación de ambos producirá sombras de mayor o menor intensidad, que permitirán al trabajador percibir la forma y posición de los objetos situados en el puesto de trabajo. Deben eliminarse los reflejos molestos, que dificultan la percepción de los detalles, así como los brillos excesivos o las sombras oscuras.

El mantenimiento periódico de la instalación de alumbrado es muy importante. El objetivo es prevenir el envejecimiento de las lámparas y la acumulación de polvo en las luminarias, cuya consecuencia será una pérdida constante de luz. Por esta razón, es importante elegir lámparas y sistemas fáciles de mantener. Una bombilla incandescente mantiene su eficiencia hasta los momentos previos al fallo, pero no ocurre lo mismo con los tubos fluorescentes, cuyo rendimiento puede sufrir una reducción del 75 % después de mil horas de uso.

Figura 46.9 • Niveles de iluminación en función de las tareas realizadas.



Niveles de iluminación

Cada actividad requiere un nivel específico de iluminación en el área donde se realiza. En general, cuanto mayor sea la dificultad de percepción visual, mayor deberá ser el nivel medio de la iluminación. En varias publicaciones se ofrecen directrices de niveles mínimos de iluminación asociados a diferentes tareas. En concreto, los recogidos en la Figura 46.9 se han tomado de las normas europeas CEN TC 169 y se basan más en la experiencia que en el conocimiento científico.

El nivel de iluminación se mide con un luxómetro que convierte la energía luminosa en una señal eléctrica, que posteriormente se amplifica y permite una fácil lectura en una escala de lux calibrada. Al elegir un cierto nivel de iluminación para un puesto de trabajo determinado, deberán estudiarse los siguientes puntos:

- la naturaleza del trabajo;
- la reflectancia del objeto y de su entorno inmediato;
- las diferencias con la luz natural y la necesidad de iluminación diurna,
- la edad del trabajador.

Unidades y magnitudes de iluminación

En el campo de la iluminación se utilizan habitualmente varias magnitudes. Las más básicas son las siguientes:

Flujo luminoso: energía luminosa emitida por una fuente de luz durante una unidad de tiempo. Unidad: lumen (lm).

Intensidad luminosa: flujo luminoso emitido en una dirección determinada por una luz que no tiene una distribución uniforme. Unidad: candela (cd).

Nivel de iluminación: nivel de iluminación de una superficie de un metro cuadrado que recibe un flujo luminoso de un lumen. Unidad: lux = lm/m².

Luminancia o brillo fotométrico: se define para una superficie en una dirección determinada, y es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie vista por un observador situado en la misma dirección (superficie aparente). Unidad: cd/m².

Contraste: diferencia de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes de un objeto.

Reflectancia: proporción de la luz que es reflejada por una superficie. Es una cantidad no dimensional. Su valor varía entre 0 y 1.

Factores que afectan a la visibilidad de los objetos

El grado de seguridad con que se ejecuta una tarea depende, en gran parte, de la calidad de la iluminación y de las capacidades

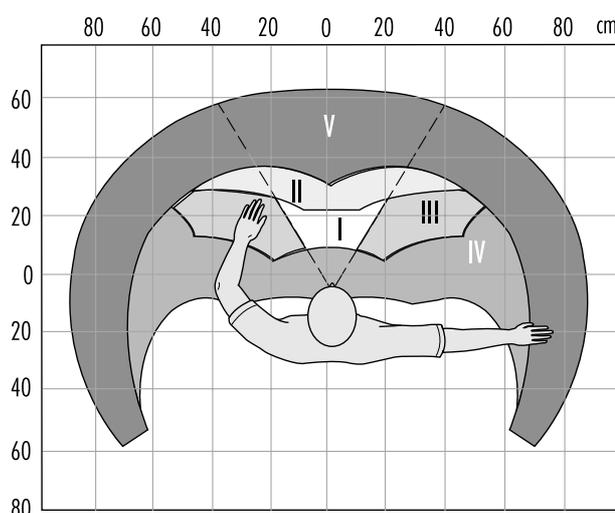
visuales. La visibilidad de un objeto puede resultar alterada de muchas maneras. Una de las más importantes es el contraste de luminancias debido a factores de reflexión, a sombras, o a los colores del propio objeto y a los factores de reflexión del color. Lo que el ojo realmente percibe son las diferencias de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes del mismo objeto. En la Tabla 46.6 se muestran los contrastes entre colores por orden descendente.

La luminancia de un objeto, de su entorno y del área de trabajo influyen en la facilidad con que puede verse un objeto. Por consiguiente, es de suma importancia analizar minuciosamente el área donde se realiza la tarea visual y sus alrededores.

Otro factor es el tamaño del objeto a observar, que puede ser adecuado o no, en función de la distancia y del ángulo de visión del observador. Los dos últimos factores determinan la disposición del puesto de trabajo, clasificando las diferentes zonas de acuerdo con su facilidad de visión. Podemos establecer cinco zonas en el área de trabajo (véase la Figura 46.10).

Un factor adicional es el intervalo de tiempo durante el que se produce la visión. El tiempo de exposición será mayor o menor en función de si el objeto y el observador están estáticos, o de si uno de ellos o ambos se están moviendo. La capacidad del ojo para adaptarse automáticamente a las diferentes iluminaciones de los objetos también puede influir considerablemente en la visibilidad.

Figura 46.10 • Distribución de las zonas visuales en el puesto de trabajo.



ZONAS VISUALES EN LA ORGANIZACION DEL ESPACIO DE TRABAJO

	Movimientos de trabajo	Esfuerzo visual
Gama I	Movimientos frecuentes, implican que se emplea mucho tiempo	Gran esfuerzo visual
Gama II	Movimientos menos frecuentes	Esfuerzo visual frecuente
Gama III	Implican poco tiempo	La información visual no es importante
Gama IV	Aún menos frecuentes, poco tiempo	No requiere un esfuerzo visual en particular
Gama V	Deben evitarse	Debe evitarse

Tabla 46.6 • Contrastes de color.

Contrastes de color por orden descendente	
Color del objeto	Color del fondo
Negro	Amarillo
Verde	Blanco
Rojo	Blanco
Azul	Blanco
Blanco	Azul
Negro	Blanco
Amarillo	Negro
Blanco	Rojo
Blanco	Verde
Blanco	Negro

Distribución de la luz; deslumbramiento

Los factores esenciales en las condiciones que afectan a la visión son la distribución de la luz y el contraste de luminancias. Por lo que se refiere a la distribución de la luz, es preferible tener una buena iluminación general en lugar de una iluminación localizada, con el fin de evitar deslumbramientos. Por esta razón, los accesorios eléctricos deberán distribuirse lo más uniformemente posible con el fin de evitar diferencias de intensidad luminosa. El constante ir y venir por zonas sin una iluminación uniforme causa fatiga ocular y, con el tiempo, esto puede dar lugar a una reducción de la capacidad visual.

Cuando existe una fuente de luz brillante en el campo visual se producen brillos deslumbrantes; el resultado es una disminución de la capacidad de distinguir objetos. Los trabajadores que sufren los efectos del deslumbramiento constante y sucesivamente pueden sufrir fatiga ocular, así como trastornos funcionales, aunque en muchos casos ni siquiera sean conscientes de ello.

El deslumbramiento puede ser directo (cuando su origen está en fuentes de luz brillante situadas directamente en la línea de visión) o reflejado (cuando la luz se refleja en superficies de alta reflectancia). En el deslumbramiento participan los factores siguientes:

1. *Luminancia de la fuente de luz:* la máxima luminancia tolerable por observación directa es de 7.500 cd/m². En la Figura 46.11 se recogen algunos de los valores aproximados de luminancia para varias fuentes de luz.
2. *Ubicación de la fuente de luz:* el deslumbramiento se produce cuando la fuente de luz se encuentra en un ángulo de 45 grados con respecto a la línea de visión del observador. Las figuras siguientes ilustran maneras y métodos de evitar el deslumbramiento directo y reflejado (véase la Figura 46.12).

En general, se produce más deslumbramiento cuando las fuentes de luz están montadas a poca altura o en grandes habitaciones, porque las fuentes de luz así ubicadas pueden entrar fácilmente en el ángulo de visión que provoca deslumbramiento.

3. *Distribución de luminancias entre diferentes objetos y superficies:* cuanto mayores sean las diferencias de luminancia entre los objetos situados en el campo de visión, más brillos se crearán y mayor será el deterioro de la capacidad de ver provocado por los efectos ocasionados en los procesos de adaptación de la visión. Los valores máximos recomendados de disparidad de luminancias son:
 - Tarea visual: superficie de trabajo = 3:1.
 - Tarea visual: alrededores = 10:1.
4. *Tiempo de exposición:* incluso las fuentes de luz de baja luminancia pueden provocar deslumbramiento si se prolonga demasiado la exposición.

Figura 46.11 • Valores aproximados de luminancia.



Evitar el deslumbramiento es un propósito relativamente sencillo y puede conseguirse de diferentes maneras. Una de ellas, por ejemplo, es colocar rejillas bajo las fuentes de iluminación, o utilizar difusores o reflectores parabólicos que puedan enfocar la luz apropiadamente, o instalar las fuentes de luz de modo que no interfieran con el ángulo de visión. A la hora de diseñar el ambiente de trabajo, la correcta distribución de la luminancia es tan importante como la propia iluminación, pero también es importante considerar que una distribución de luminancias excesivamente uniforme dificulta la percepción espacial y tridimensional de los objetos.

Sistemas de iluminación

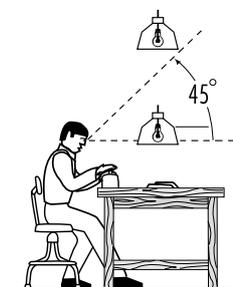
El interés por la iluminación natural ha aumentado recientemente. Y no se debe tanto a la calidad de este tipo de iluminación como al bienestar que proporciona. Pero como el nivel de iluminación de las fuentes naturales no es uniforme, se necesita un sistema de iluminación artificial. Los sistemas de iluminación más utilizados son los siguientes:

Iluminación general uniforme

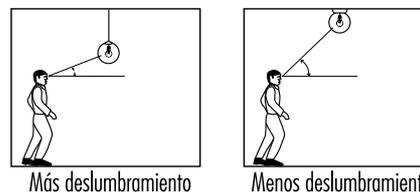
En este sistema, las fuentes de luz se distribuyen uniformemente sin tener en cuenta la ubicación de los puestos de trabajo. El nivel medio de iluminación debe ser igual al nivel de iluminación necesario para la tarea que se va a realizar. Son sistemas utilizados principalmente en lugares de trabajo donde no existen puestos fijos.

Debe tener tres características fundamentales: primero, estar equipado con dispositivos antibrillos (rejillas, difusores, reflectores, etcétera); segundo, debe distribuir una fracción de la luz

Figura 46.12 • Factores que afectan al deslumbramiento.



1. Altura de la instalación de alumbrado



2. Tamaño de la habitación

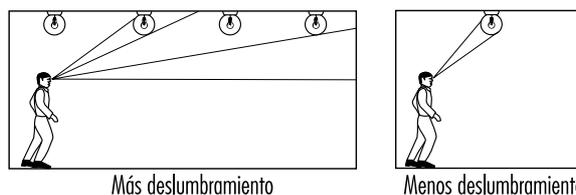
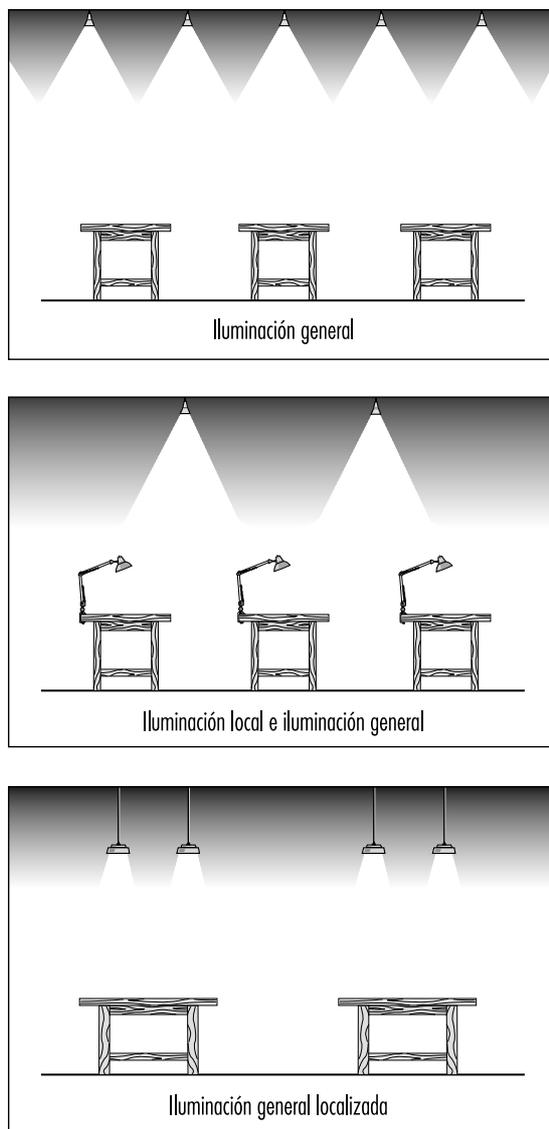


Figura 46.13 • Sistemas de iluminación.

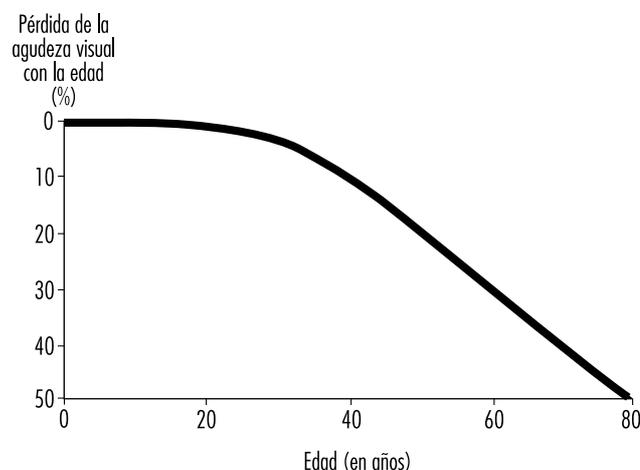


hacia el techo y la parte superior de las paredes, y tercero, las fuentes de luz deben instalarse a la mayor altura posible, para minimizar los brillos y conseguir una iluminación lo más homogénea posible (véase la Figura 46.13).

Iluminación general e iluminación localizada de apoyo

Se trata de un sistema que intenta reforzar el esquema de la iluminación general situando lámparas junto a las superficies de trabajo. Las lámparas suelen producir deslumbramiento y los reflectores deberán situarse de modo que impidan que la fuente de luz quede en la línea directa de visión del trabajador. Se recomienda utilizar iluminación localizada cuando las exigencias visuales sean cruciales, como en el caso de los niveles de iluminación de 1.000 lux o más. Generalmente, la capacidad visual del trabajador se deteriora con la edad, lo que obliga a aumentar el nivel de iluminación general o a complementarlo con iluminación localizada. En la Figura 46.14 se aprecia claramente este fenómeno.

Figura 46.14 • Pérdida de la agudeza visual con la edad.



Iluminación general localizada

Es un tipo de iluminación con fuentes de luz instaladas en el techo y distribuidas teniendo en cuenta dos aspectos: las características de iluminación del equipo y las necesidades de iluminación de cada puesto de trabajo. Está indicado para aquellos espacios o áreas de trabajo que necesitan un alto nivel de iluminación y requiere conocer la ubicación futura de cada puesto de trabajo con antelación a la fase de diseño.

Color: conceptos básicos

Elegir el color adecuado para un lugar de trabajo contribuye en gran medida a la eficiencia, la seguridad y el bienestar general de los empleados. Del mismo modo, el acabado de las superficies y de los equipos que se encuentran en el ambiente de trabajo contribuye a crear condiciones visuales agradables y un ambiente de trabajo agradable.

La luz ordinaria consiste en radiaciones electromagnéticas de diferentes longitudes de onda que corresponden a cada una de las bandas del espectro visible. Mezclando luz roja, amarilla y azul, podemos obtener la mayoría de los colores visibles, incluyendo el blanco. Nuestra percepción del color de un objeto depende del color de la luz con la que se ilumina y de la manera en que el propio objeto refleja la luz.

Las lámparas pueden clasificarse en tres categorías, en función de la coloración de la luz que emiten:

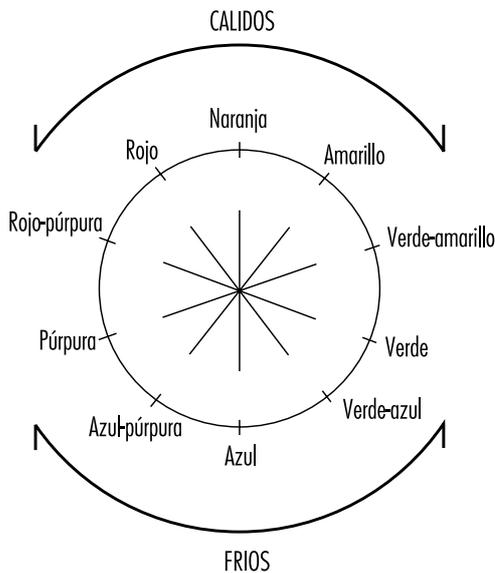
- color cálido: para usos residenciales se recomienda una luz blanca de tono rojizo;
- color intermedio: para ambientes de trabajo se recomienda una luz blanca,
- color frío: para tareas que requieren un alto nivel de iluminación o para climas calientes, se recomienda una luz blanca de tono azulado.

Los colores también pueden clasificarse en calientes o fríos según su tonalidad (véase la Figura 46.15).

Contraste y temperatura de diferentes colores

Los contrastes de color resultan afectados por el color de la luz elegida y, por esa razón, de ello dependerá la calidad de la iluminación en una aplicación concreta. El color de la luz que se va a utilizar deberá decidirse en función de la tarea que se deba realizar bajo ella. Si el color es próximo al blanco, la

Figura 46.15 • Tonalidades de colores "cálidos" y "fríos".



reproducción del color y la difusión de la luz serán mejores. Cuanta más luz se aproxime al extremo rojo del espectro, peor será la reproducción del color, pero el ambiente será más cálido y atractivo.

La coloración de la iluminación no sólo depende del color de la luz, sino también de la intensidad luminosa. La temperatura colorimétrica está relacionada con las diferentes formas de iluminación. La sensación de satisfacción con la iluminación de un ambiente determinado depende de esta temperatura. De este modo, por ejemplo, la temperatura colorimétrica de una bombilla de filamento incandescente de 100 W es de 2.800 K, la de un tubo fluorescente es de 4.000 K y la de un cielo encapado es de 10.000 K.

Kruithof definió, a través de observaciones empíricas, un diagrama de bienestar para diferentes niveles de iluminación y temperaturas colorimétricas en un ambiente determinado (véase la Figura 46.16). De este modo, demostró que es posible sentirse cómodo en ciertos ambientes con bajos niveles de iluminación si la temperatura colorimétrica también es baja (si el nivel de iluminación es de una candela, por ejemplo, con una temperatura colorimétrica de 1.750 K).

Los colores de las lámparas eléctricas pueden subdividirse en tres grupos en relación con sus temperaturas colorimétricas:

- blanco de luz diurna: alrededor de 6.000 K;
- blanco neutro: alrededor de 4.000 K,
- blanco cálido: alrededor de 3.000 K.

Combinación y elección de los colores

La elección de los colores es muy relevante si la estudiamos conjuntamente con aquellas funciones en las que es importante identificar los objetos que se han de manipular. También es relevante a la hora de delimitar vías de comunicación y en aquellas tareas que requieren un contraste nítido.

La elección de la tonalidad no es una cuestión tan importante como la elección de las cualidades reflectantes apropiadas de una superficie. Existen varias recomendaciones que pueden aplicarse a este aspecto de las superficies de trabajo:

Techos: la superficie de un techo debe ser lo más blanca posible (con un factor de reflexión del 75 %), porque entonces reflejará la luz de manera difusa, disipando la oscuridad y reduciendo los

brillos de otras superficies. A ello se añade el ahorro en iluminación artificial.

Paredes y suelos: las superficies de las paredes situadas a nivel de los ojos pueden provocar deslumbramiento. Los colores pálidos con factores de reflexión del 50 al 75 % suelen ser adecuados para las paredes. Aunque las pinturas brillantes tienden a durar más tiempo que los colores mate, son más reflectantes. Por consiguiente, las paredes deberán tener un acabado mate o semibrillante.

Los acabados de los suelos deberán ser de colores ligeramente más oscuros que las paredes y los techos para evitar brillos. El factor de reflexión de los suelos debe oscilar entre el 20 y el 25 %.

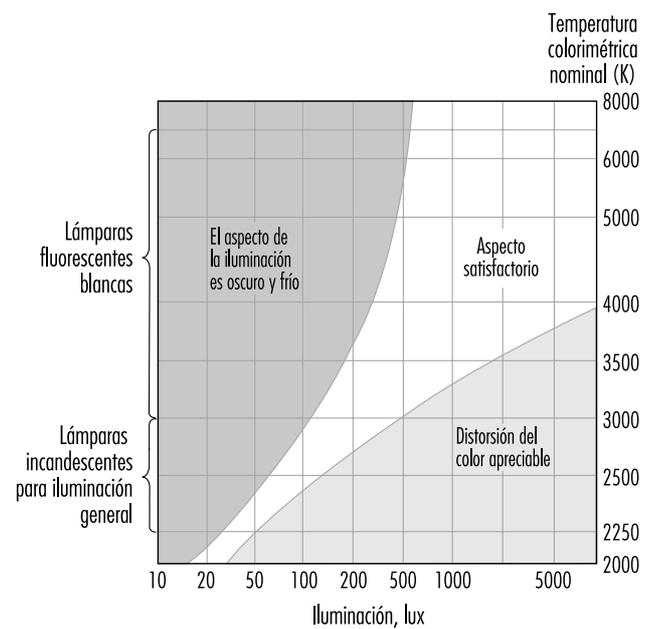
Equipos: las superficies de trabajo, mesas y maquinaria deberán tener factores de reflexión de entre un 20 y un 40 %. Los equipos deberán tener un acabado duradero de un color puro —grises o marrones claros— y el material no deberá ser brillante.

El uso apropiado de los colores en el ambiente de trabajo contribuye al bienestar, aumenta la productividad y puede tener efectos positivos para la calidad. También puede contribuir a mejorar la organización y a prevenir accidentes.

Existe la creencia generalizada de que blanquear paredes y techos y suministrar niveles adecuados de iluminación es todo lo que puede hacerse por lo que se refiere al confort visual de los empleados. Pero estos factores de confort pueden mejorarse combinando el blanco con otros colores, evitando así la fatiga y el aburrimiento que caracterizan a los ambientes monocromáticos. Los colores también afectan al nivel de estímulo de una persona: los colores cálidos tienden a activar y relajar, mientras los colores fríos se utilizan para inducir al individuo a liberar su energía.

El color de la luz, su distribución y los colores utilizados en un espacio determinado son, entre otros, los principales factores que influyen en las sensaciones que tienen las personas. Dado los muchos colores y factores de confort existentes, es imposible establecer directrices precisas, especialmente teniendo en cuenta

Figura 46.16 • Diagrama de confort en función de la iluminación y las temperaturas colorimétricas.



que todos estos factores deben combinarse de acuerdo con las características y necesidades de un determinado puesto de trabajo. Por lo demás, es posible citar varias normas prácticas básicas y generales que pueden contribuir a crear un ambiente habitable.

- Los colores brillantes provocan sentimientos de confort, estímulo y serenidad, mientras los colores oscuros tienden a tener un efecto deprimente.
- Las fuentes de luz de colores cálidos ayudan a reproducir bien los colores cálidos. Los objetos de colores cálidos son más agradables a la vista con luz cálida que con luz fría.
- Los colores claros y apagados (como los pasteles) son muy apropiados como colores de fondo, mientras que los objetos deben tener colores ricos y saturados.
- Los colores cálidos excitan el sistema nervioso y transmiten la sensación de que aumenta la temperatura.
- Los colores fríos son preferibles para objetos. Tienen un efecto calmante y pueden utilizarse para producir el efecto de curvatura. Los colores fríos contribuyen a crear una sensación de descenso de la temperatura.
- La sensación de color de un objeto depende del color de fondo y del efecto de la fuente de luz sobre su superficie.
- Los ambientes físicamente fríos o calientes pueden atemperarse utilizando iluminación cálida o fría, respectivamente.
- La intensidad de un color será inversamente proporcional a la parte del campo visual normal que ocupe.
- El color puede influir en la apariencia espacial de una habitación. El techo de la habitación parecerá ser más bajo si sus paredes se pintan de un color claro y el techo y el suelo de color más oscuro, y parecerá tener un techo más alto si las paredes son más oscuras y el techo claro.

Identificación de los objetos por el color

La elección de los colores puede afectar a la eficacia de los sistemas de iluminación al influir en la fracción de luz que se refleja. Pero el color también desempeña un papel importante a la hora de identificar objetos. Podemos utilizar colores brillantes y atractivos o contrastes de color para destacar situaciones u objetos que requieran especial atención. En la Tabla 46.7 figuran algunos de los factores de reflexión para diferentes colores y materiales.

En cualquier caso, la identificación por colores sólo deberá emplearse cuando sea verdaderamente necesario, ya que sólo funcionará correctamente si no hay demasiados objetos

Tabla 46.7 • Factores de reflexión de diferentes colores y materiales iluminados con luz blanca.

Color/material	Factor de reflexión (%)
Blanco	100
Papel blanco	80–85
Marfil, amarillo lima	70–75
Amarillo brillante, ocre claro, verde claro, azul pastel, rosa claro, crema	60–65
Verde lima, gris pálido, rosa, naranja, gris azulado	50–55
Madera clara, azul celeste	40–45
Roble, hormigón seco	30–35
Rojo oscuro, verde árbol, verde oliva, verde hierba	20–25
Azul oscuro, púrpura	10–15
Negro	0

destacados por su color. A continuación se indican algunas recomendaciones para identificar diferentes elementos por su color:

- *Equipos de incendios y de seguridad:* es aconsejable identificar estos equipos colocando un gráfico reconocible en la pared más próxima, de modo que puedan localizarse rápidamente.
- *Maquinaria:* es crucial que los dispositivos de parada o de emergencia de todas las máquinas sean de colores brillantes. También es aconsejable marcar con colores las áreas que requieran lubricación o mantenimiento periódico, lo cual puede facilitar y añadir funcionalidad a estos procedimientos.
- *Tuberías y canalizaciones:* si son importantes o transportan sustancias peligrosas, lo mejor es colorearlas por completo. En algunos casos puede ser suficiente colorear solamente una línea en toda su longitud.
- *Escaleras:* con el fin de facilitar el descenso, es preferible que cada escalón tenga una sola franja coloreada y no varias.
- *Riesgos:* sólo debe utilizarse el color para identificar un riesgo cuando éste no pueda eliminarse. La identificación será mucho más eficaz si se realiza de conformidad con un código de colores predeterminado.

CONDICIONES DE LA ILUMINACION GENERAL

N. Alan Smith

La iluminación de los ambientes interiores tiene por objeto satisfacer las siguientes necesidades:

- contribuir a crear un ambiente de trabajo seguro;
- ayudar a realizar tareas visuales,
- crear un ambiente visual apropiado.

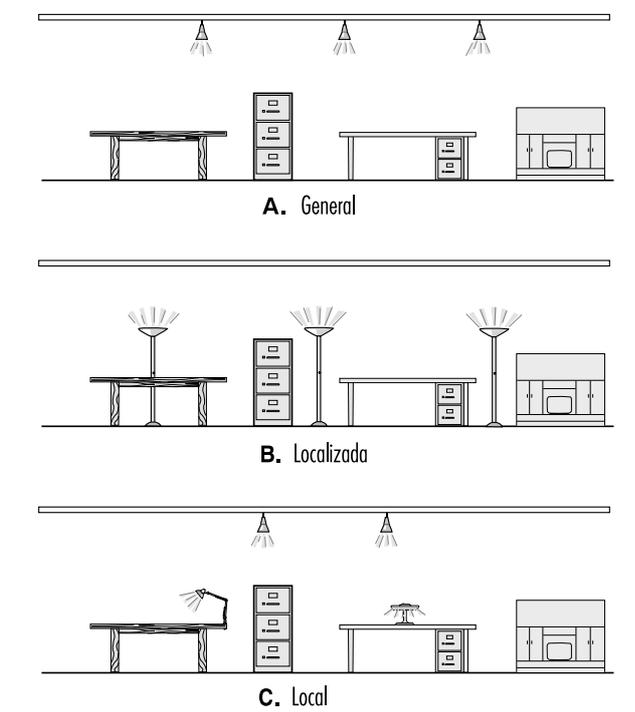
La creación de un ambiente de trabajo seguro tiene que estar en el primer lugar de la lista de prioridades y, en general, se aumenta la seguridad haciendo que los peligros sean claramente visibles. El orden de prioridad de las otras dos necesidades dependerá en gran medida del uso dado al ambiente interior. La realización de la tarea puede mejorarse haciendo que sea más fácil ver todos sus detalles, mientras que se crean ambientes visuales apropiados variando el énfasis de iluminación dado a los objetos y superficies existentes dentro del ambiente interior.

La luz y el color influyen en nuestra sensación general de bienestar, incluyendo la moral y la fatiga. Con bajos niveles de iluminación, los objetos tienen poco o ningún color o forma y se produce una pérdida de perspectiva. A la inversa, el exceso de luz puede ser tan incómodo como su escasez.

En general, la gente prefiere una habitación con luz diurna a una habitación sin ventanas. Además, se considera que el contacto con el mundo exterior contribuye a la sensación de bienestar. La introducción de controles de iluminación automáticos, junto con la atenuación de altas frecuencias en las lámparas fluorescentes, ha permitido proporcionar a los ambientes interiores una combinación controlada de luz natural y luz artificial. A ello se añade la reducción de los costes energéticos.

En la percepción del carácter de un ambiente interior influyen el brillo y el color de sus superficies visibles, tanto interiores como exteriores. Las condiciones de iluminación general de un ambiente interior pueden conseguirse utilizando luz

Figura 46.17 • Sistemas de iluminación.



natural o iluminación artificial, o lo que es más probable, con una combinación de ambas.

Evaluación de la iluminación

Requisitos generales

Los sistemas de iluminación utilizados en interiores comerciales pueden subdividirse en tres categorías principales: iluminación general, iluminación localizada e iluminación local.

Normalmente, las instalaciones de iluminación general proporcionan una iluminancia aproximadamente uniforme en todo el plano de trabajo. Son sistemas que suelen estar basados en el método luménico de diseño, donde una iluminancia media es:

$$\text{Iluminancia media (lux)} = \frac{\text{Flujo luminoso (lúmenes)} \times \text{factor de utilización} \times \text{factor de mantenimiento}}{\text{Área (m}^2\text{)}}$$

Los sistemas de iluminación localizada proporcionan iluminancia en áreas de trabajo generales con un nivel reducido de iluminancia simultáneo en áreas adyacentes.

Los sistemas de iluminación locales proporcionan iluminancia para áreas relativamente pequeñas que incorporan tareas visuales. Normalmente, estos sistemas se complementan con un nivel especificado de iluminación general. En la Figura 46.17 se recogen las diferencias típicas entre los sistemas descritos.

Cuando hay que realizar tareas visuales, es esencial alcanzar el nivel exigido de iluminancia y estudiar las circunstancias que afectan a su calidad.

El uso de luz natural para iluminar tareas tiene tanto ventajas como limitaciones. Las ventanas por las que entra la luz natural a un ambiente interior favorecen la realización de tareas de modelado tridimensional y, aunque la distribución espectral de la luz natural varía a lo largo del día, se considera que, en general, su reproducción del color es excelente.

Con todo, no es posible proporcionar una iluminancia constante para una tarea utilizando sólo la luz natural, debido a su gran variabilidad, y si la tarea está dentro del mismo campo de visión que un cielo brillante, es probable que se produzcan brillos deslumbrantes que entorpecen la realización de la tarea. La utilidad de la luz natural para iluminar tareas es sólo parcial, por lo que la iluminación artificial, sobre la que puede ejercerse un mayor control, tiene un papel importante que desempeñar.

Como el ojo humano sólo percibe superficies y objetos a través de la luz que reflejan, de ello se deduce que el aspecto del ambiente se verá afectado por las características de la superficie y los valores de reflectancia, junto con la cantidad y calidad de la luz.

A la hora de estudiar la iluminación de un ambiente interior, es esencial determinar el nivel de *iluminancia* y compararlo con los niveles recomendados para diferentes tareas (véase la Tabla 46.8).

Iluminación para tareas visuales

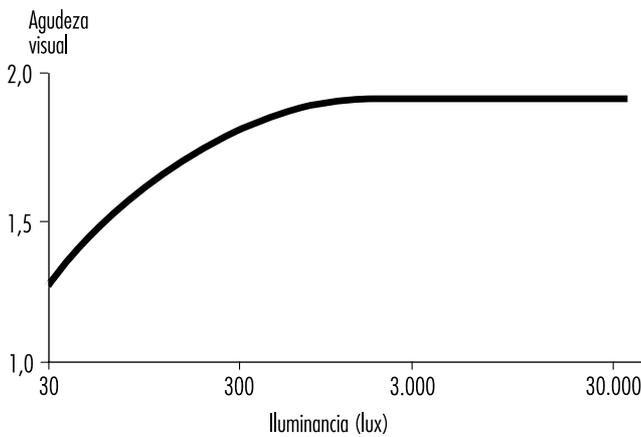
En la capacidad del ojo humano para distinguir los detalles —*agudeza visual*— influyen significativamente el tamaño de la tarea, el contraste y el rendimiento visual del observador. El aumento de la cantidad y calidad de la iluminación también mejorará significativamente el *rendimiento visual*. Los detalles cruciales de la tarea y el contraste entre ésta y su entorno circundante influyen en cómo afecta la iluminación a su realización. En la Figura 46.18 se muestran los efectos de la iluminancia sobre la agudeza visual. A la hora de estudiar la iluminación de las tareas visuales, es importante tener en cuenta la capacidad del ojo humano para realizar la tarea con rapidez y precisión, lo que se conoce como *rendimiento visual*. En la Figura 46.19 se muestran los efectos típicos de la iluminancia sobre el rendimiento visual de una tarea determinada.

La predicción de la iluminancia que alcanzará una superficie de trabajo es de suma importancia para el diseño de la iluminación. Ahora bien, el sistema visual humano responde a la distribución de la luminancia dentro del campo de visión. La escena existente dentro de un campo visual se interpreta diferenciando entre el color superficial, la reflectancia y la iluminación. La luminancia depende tanto de la iluminancia sobre una superficie como de la reflectancia de la misma. Tanto la luminancia como la iluminancia son cantidades objetivas. Sin embargo, la respuesta al brillo es subjetiva.

Tabla 46.8 • Niveles típicos recomendados de iluminancia mantenida para diferentes ubicaciones o tareas visuales.

Ubicación/Tarea	Valor típico recomendado de iluminancia mantenida (lux)
Oficinas generales	500
Puestos de trabajo informatizados	500
Áreas de montaje en fábrica	
Trabajo de poca precisión	300
Trabajo medio	500
Trabajo de precisión	750
Trabajo de alta precisión	
Montaje de instrumentos	1.000
Montaje/repares de joyería	1.500
Quirófanos de hospital	50.000

Figura 46.18 • Relación típica entre la agudeza visual y la iluminancia.



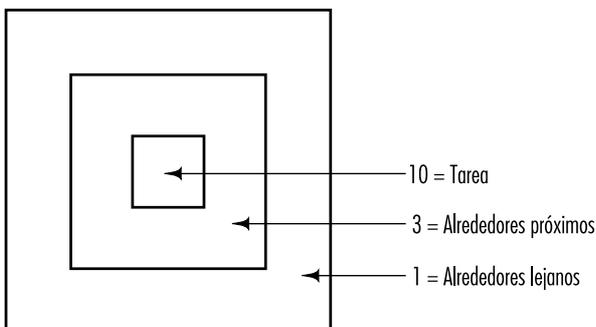
Con el fin de producir un ambiente que proporcione satisfacción, confort y rendimiento visual, es preciso equilibrar las luminancias existentes dentro del campo de visión. Lo ideal es que las luminancias existentes alrededor de una tarea disminuyan gradualmente, evitándose así fuertes contrastes. La Figura 46.20 ilustra la variación de luminancia recomendada en los alrededores de una tarea.

El método luménico de diseño de la iluminación da lugar a una iluminancia media en el plano horizontal de trabajo y es posible utilizar un método de establecer valores de iluminancia media en los techos y paredes de un interior, que pueden convertirse en valores de luminancia media a partir de los detalles del valor de reflectancia media de las superficies de la habitación. La ecuación que relaciona la luminancia y la iluminancia es la siguiente:

$$Luminancia (cd \cdot m^{-2}) = \frac{Iluminancia (lux) \times Reflectancia}{\pi}$$

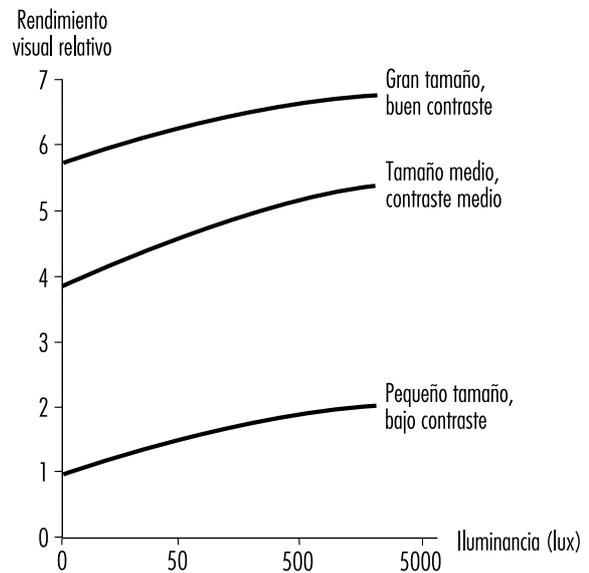
En la Figura 46.21 se ilustra una oficina típica con valores relativos de iluminancia (de un sistema de iluminación general de techo) sobre las superficies principales de la habitación, junto con recomendaciones de reflectancia. El ojo humano tiende a ser atraído a la parte más brillante de la escena visual. De ello se deduce que habitualmente se producen valores superiores de luminancia en las áreas de realización de tareas visuales. El ojo

Figura 46.20 • Variación de la luminancia a lo largo de una tarea.



Variación de luminancia en los alrededores de una tarea

Figura 46.19 • Relación típica entre el rendimiento visual y la iluminancia.



humano reconoce los detalles de una tarea visual distinguiendo entre las partes más claras y más oscuras de la misma. La variación en el brillo de una tarea visual se determina calculando el *contraste de luminancias*:

$$Contraste \text{ de luminancias } (C) = \frac{|L_t - L_b|}{|L_b|}$$

donde

L_t = luminancia de la tarea;

L_b = luminancia del fondo;

y ambas luminancias se miden en $cd \cdot m^{-2}$.

Las líneas verticales de esta ecuación significan que todos los valores de contraste de luminancias han de considerarse positivos.

En el contraste de una tarea visual influyen las propiedades de reflectancia de la propia tarea (véase la Figura 46.21).

Figura 46.21 • Valores típicos de iluminancia relativa junto con valores recomendados de reflectancia.

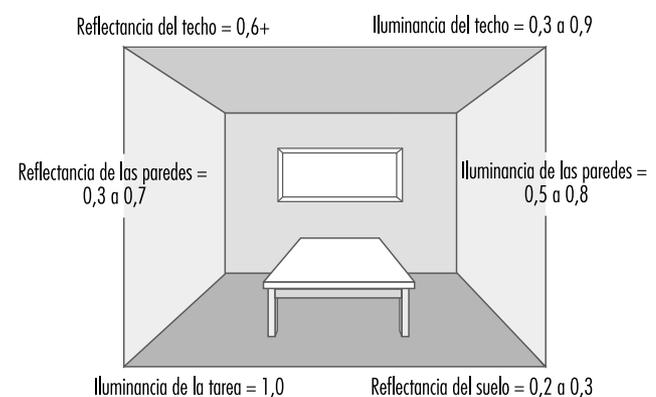
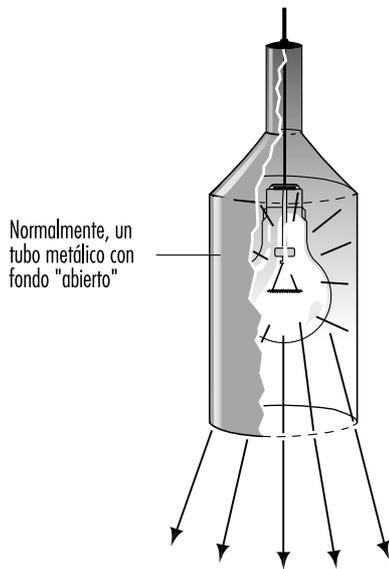


Figura 46.22 • Control del flujo luminoso por obstrucción.



Control óptico de la iluminación

Si se utiliza una lámpara desnuda en una luminaria, es improbable que la distribución de la luz sea aceptable y, casi con toda seguridad, el sistema no será práctico desde el punto de vista económico. En estas situaciones, es probable que la lámpara desnuda se convierta en una fuente de deslumbramiento para los ocupantes de la habitación y, aunque eventualmente pueda llegar algo de luz al plano de trabajo, es probable que la eficacia de la instalación se vea seriamente reducida a consecuencia del brillo.

Será evidente la necesidad de alguna forma de control de luz, detallándose a continuación los métodos más empleados.

Obstrucción

Si se instala una lámpara en una caja opaca, con una sola abertura para que salga la luz, la distribución de la luz será muy limitada, como puede verse en la Figura 46.22.

Reflexión

En este método se utilizan superficies reflectantes, que pueden variar desde un acabado mate hasta un acabado de tipo especular. Es un método de control más eficaz que la obstrucción, ya que se recoge la luz dispersa y se vuelve a enfocar hacia el punto donde es necesaria. El principio de reflexión se ilustra en la Figura 46.23.

Figura 46.24 • Control del flujo luminoso por difusión.

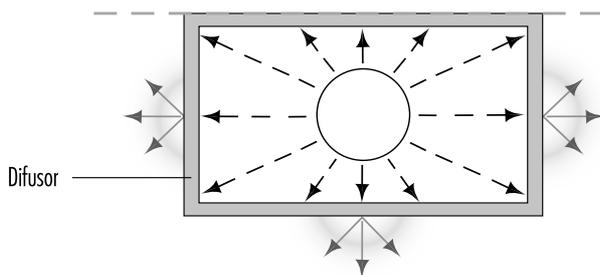
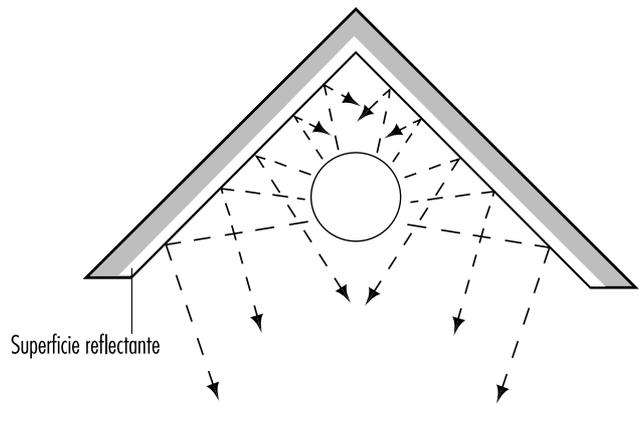


Figura 46.23 • Control del flujo luminoso por reflexión.



Difusión

Si se instala una lámpara dentro de un material translúcido, aumenta el tamaño aparente de la fuente de luz y se obtiene al mismo tiempo una reducción de brillo. Lamentablemente, los difusores prácticos absorben parte de la luz emitida, reduciendo en consecuencia la eficiencia global de la luminaria. El principio de difusión se recoge en la Figura 46.24.

Refracción

En este método se utiliza el efecto "prisma", por el que un material prismático de vidrio o plástico "curva" los rayos luminosos y, al hacerlo, enfoca la luz de nuevo hacia el punto donde es necesaria. Es un método muy apropiado para la iluminación general de interiores. Tiene la ventaja de combinar un buen control del brillo con una eficacia aceptable. En la Figura 46.25 se muestra la influencia de la refracción en control óptico.

En muchos casos, se utilizará en la luminaria una combinación de los métodos de control óptico aquí descritos.

Distribución de luminancias

La distribución del flujo luminoso de una luminaria es importante para determinar las condiciones visuales que se experimentarán en consecuencia. Cada uno de los cuatro métodos de control óptico antes descritos proporcionará a la luminaria diferentes propiedades de distribución del flujo luminoso.

En las áreas donde hay instaladas PVD (pantallas de visualización de datos) suelen producirse *reflejos cegadores*. Los síntomas que se suelen experimentar en tales situaciones son una

Figura 46.25 • Control del flujo luminoso por refracción.

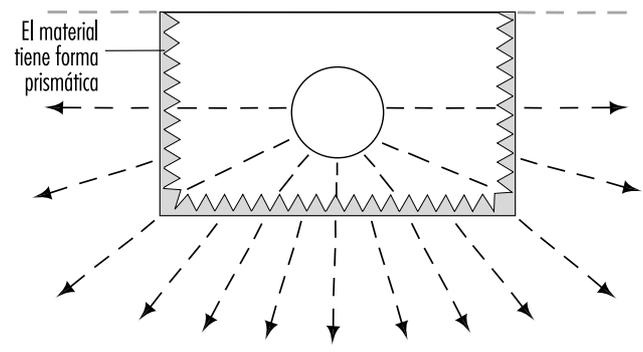
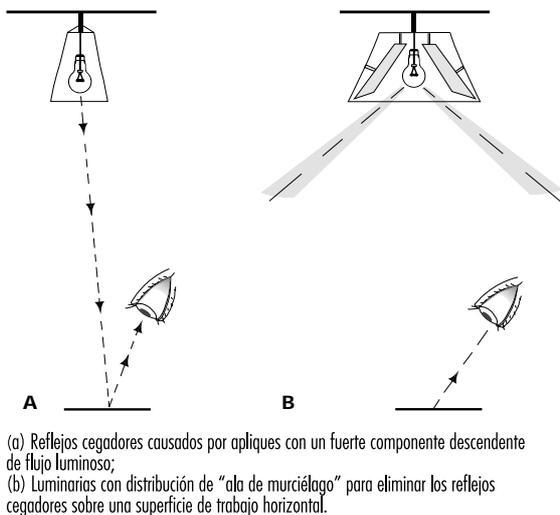


Figura 46.26 • Reflejos cegadores.



reducción de la capacidad para leer correctamente el texto de una pantalla, provocada por la aparición de imágenes de alta luminancia no deseadas en la propia pantalla, normalmente procedentes de luminarias instaladas en el techo. Puede crearse una situación en la que estos reflejos también aparezcan en papel sobre un escritorio o mesa de trabajo.

Si las luminarias de un ambiente interior tienen un fuerte componente de flujo luminoso descendente en vertical, cualquier papel sobre una mesa situada debajo de una de estas luminarias reflejará la fuente de luz hacia los ojos de un observador que esté leyendo el papel o trabajando con él. Si el papel tiene un acabado satinado, la situación se agrava.

La solución del problema es disponer que la distribución del flujo luminoso de las luminarias utilizadas se realice predominantemente en ángulo con respecto a la vertical descendente, de modo que, siguiendo las leyes fundamentales de la física (ángulo de incidencia = ángulo de reflexión), se minimice el brillo reflejado. En la Figura 46.26 se muestra un ejemplo típico del problema y de su solución. La distribución del flujo luminoso que realiza la luminaria utilizada para resolver el problema se conoce con el nombre de *distribución de "ala de murciélago"*.

La distribución de la luz de las luminarias también puede provocar un *deslumbramiento directo* y, en un intento por resolver este problema, es conveniente instalar unidades de iluminación local fuera del "ángulo prohibido" de 45 grados, como puede verse en la Figura 46.27.

Condiciones óptimas de iluminación para el confort y el rendimiento visual

Al investigar las condiciones de iluminación adecuadas para el confort y el rendimiento visual, es apropiado estudiar los factores que afectan a la capacidad de ver los detalles. Pueden subdividirse en dos categorías: las características del observador y las características de la tarea.

Características del observador. Entre ellas cabe citar:

- la sensibilidad del sistema visual de la persona al tamaño, el contraste y el tiempo de exposición;
- las características de adaptación transitoria;
- la susceptibilidad al deslumbramiento;
- la edad,
- las características psicológicas y de motivación.

Características de la tarea. Entre ellas cabe citar:

- la configuración de los detalles;
- contraste del detalle con el fondo;
- luminancia del fondo,
- la especularidad del detalle.

Por lo que respecta a tareas específicas, es preciso responder a las siguientes preguntas:

- ¿Resulta fácil ver los detalles de la tarea?
- ¿Es probable que la tarea se realice durante períodos prolongados?
- Si se cometen errores al realizar la tarea, ¿serán graves sus consecuencias?

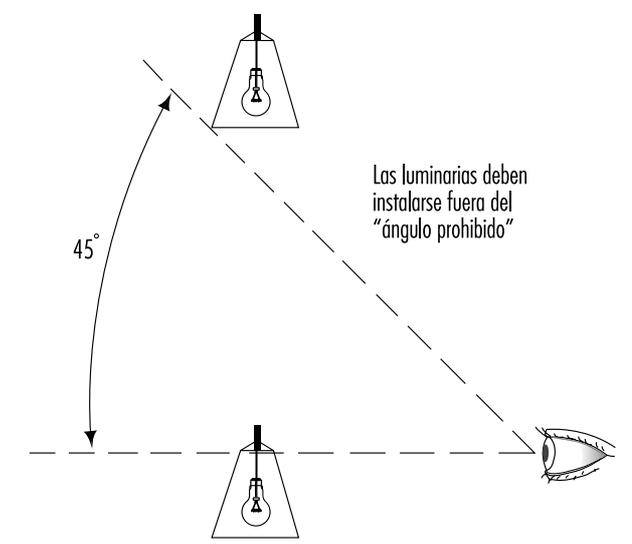
A fin de crear condiciones óptimas de iluminación en el lugar de trabajo, es importante analizar lo que se exige de la instalación de alumbrado. Lo ideal sería que la iluminación de tareas revelase las características de color, tamaño, relieve y superficie de una tarea, evitando al mismo tiempo la creación de sombras posiblemente peligrosas, brillos deslumbrantes y un entorno "difícil" para la propia tarea.

Deslumbramiento. Cuando existe exceso de luminancia en el campo de visión se producen brillos y sus efectos en la visión pueden dividirse en dos grupos, denominados *deslumbramiento incapacitante* y *deslumbramiento molesto*.

Consideremos el ejemplo del deslumbramiento provocado por los faros de un vehículo que se nos aproxima en la oscuridad. Los ojos no pueden adaptarse al mismo tiempo a los faros del vehículo y al brillo de la carretera, muy inferior. Se trata de un ejemplo de deslumbramiento incapacitante, ya que la alta luminancia de las fuentes de luz produce un efecto incapacitante debido a la dispersión de la luz en el medio óptico. El deslumbramiento incapacitante es proporcional a la intensidad de la fuente de luz perjudicial.

El deslumbramiento molesto, que es más probable que se produzca en interiores, puede reducirse o incluso eliminarse por completo reduciendo el contraste entre la tarea y su entorno. Es preferible que las superficies de trabajo tengan acabados mate, de reflexión difusa, en lugar de acabados de reflexión especular, y la posición de cualquier fuente de luz perjudicial deberá

Figura 46.27 • Representación esquemática del ángulo prohibido.



quedar fuera del campo normal de visión. En general, se consigue un rendimiento visual correcto cuando la propia tarea es más brillante que su entorno inmediato, pero no demasiado.

A la magnitud de deslumbramiento molesto se le da un valor numérico y se compara con valores de referencia a fin de predecir si será aceptable. En el apartado de "Medición" se analiza el método de cálculo de los índices de deslumbramiento que se utiliza en el Reino Unido y en otros lugares.

Medición

Estudios de iluminación

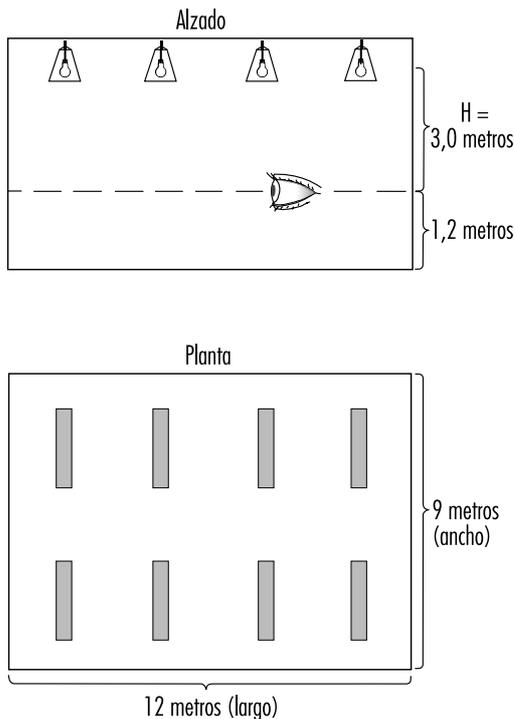
Frecuentemente se utiliza una técnica de estudio fundamentada en una cuadrícula de puntos de medición que cubre toda la zona analizada. La base de esta técnica es la división del interior en varias áreas iguales, cada una de ellas idealmente cuadrada. Se mide la iluminancia existente en el centro de cada área a la altura del tablero de una mesa (típicamente a 0,85 metros sobre el nivel del suelo) y se calcula un valor medio de iluminancia. En la precisión del valor de iluminancia media influye el número de puntos de medición utilizados.

Existe una relación que permite calcular el número *mínimo* de puntos de medición a partir del valor del *índice de local* (Room Index, RI) aplicable al interior analizado.

$$\text{Índice de local (RI)} = \frac{\text{Longitud} \times \text{Anchura}}{\text{Altura de montaje} \times (\text{Longitud} + \text{Anchura})}$$

Aquí, la longitud y la anchura son las dimensiones del recinto y la altura de montaje es la distancia vertical entre el centro de la fuente de luz y el plano de trabajo.

Figura 46.28 • Alzado y planta de un interior típico (utilizado como ejemplo).

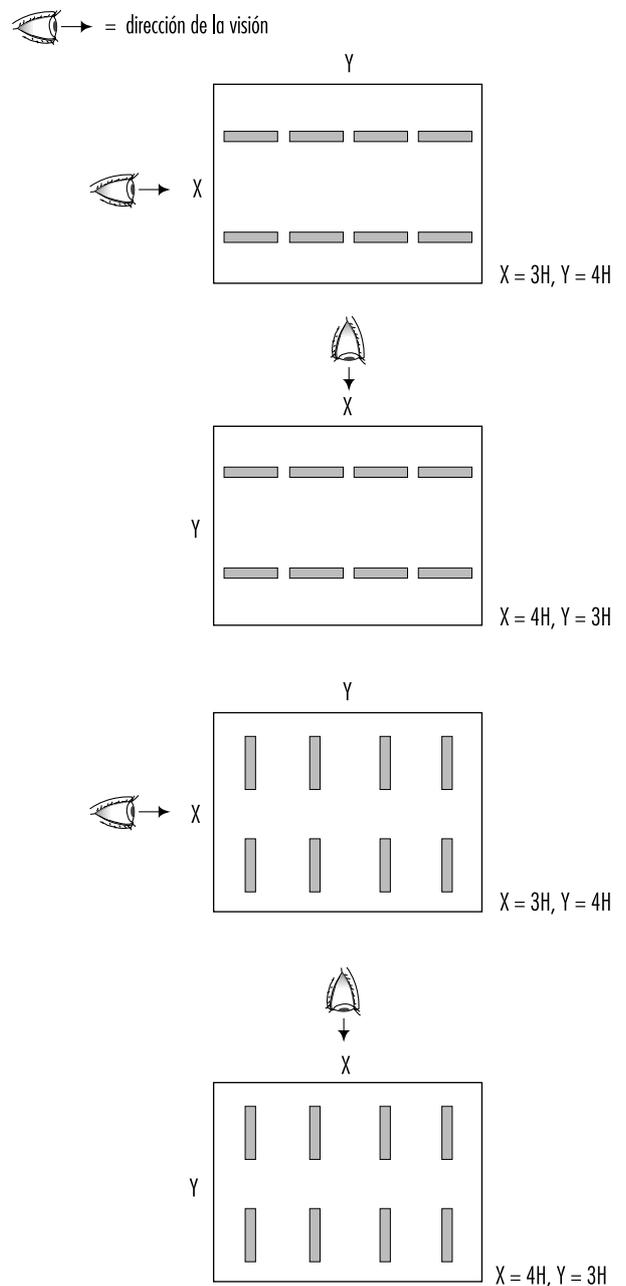


La relación mencionada se expresa de la forma siguiente:

$$\text{Número mínimo de puntos de medición} = (x + 2)^2$$

donde "x" es el valor del índice de local redondeado al entero superior, excepto que para todos los valores de RI iguales o mayores que 3, el valor de x es 4. A partir de la ecuación se obtiene el número mínimo de puntos de medición, pero las condiciones suelen requerir la utilización de un número de puntos superior a este mínimo.

Figura 46.29 • Posibles combinaciones de orientación de las luminarias y la dirección de la visión dentro del interior analizado como ejemplo.



Al analizar la iluminación de un área de trabajo y su entorno inmediato, es preciso tener en cuenta la variancia de la iluminancia o *uniformidad* de la iluminancia.

$$\text{Uniformidad de la iluminancia} = \frac{\text{Iluminancia mínima}}{\text{Iluminancia media}}$$

Sobre cualquier área de trabajo y su entorno inmediato, la uniformidad no deberá ser inferior a 0,8. En muchos lugares de trabajo, es innecesario proporcionar el mismo nivel de iluminación a todas las áreas. Con la iluminación localizada o local puede ahorrarse algo de energía, pero cualquiera que sea el sistema utilizado, la variancia de la iluminancia no debe ser excesiva en un ambiente interior.

La *diversidad* de la iluminancia se expresa de la forma siguiente:

$$\text{Diversidad de la iluminancia} = \frac{\text{Iluminancia máxima}}{\text{Iluminancia mínima}}$$

La diversidad de la iluminancia no deberá exceder de 5:1 en ningún punto del área principal del ambiente interior.

Los instrumentos utilizados para medir la luminancia y la iluminancia suelen tener respuestas espectrales que varían con respecto a la respuesta del sistema visual humano. Las respuestas se corrigen, normalmente utilizando filtros. Cuando los instrumentos incorporan filtros, se dice que disponen de *corrección de color*.

Los medidores de iluminancia tienen una corrección adicional que compensa la dirección de la luz que incide sobre la célula detectora. Cuando los instrumentos son capaces de

medir la iluminancia con precisión desde direcciones variables de luz incidente, se dice que disponen de *corrección cosenoidal*.

Medición del índice de deslumbramiento

El sistema que se utiliza con frecuencia en el Reino Unido, con variaciones en otros lugares, es en esencia un proceso de dos fases. En la primera fase, se determina el valor del *índice de deslumbramiento sin corrección* (Uncorrected Glare Index, UGI). En la Figura 46.28 se presenta un ejemplo.

La altura H es la distancia vertical entre el centro de la fuente de luz y el nivel de los ojos de un observador sentado, normalmente aceptado como 1,2 metros sobre el nivel del suelo. Las principales dimensiones de la habitación se convierten entonces en múltiplos de H. De este modo, como H = 3,0 metros, la longitud = 4H y la anchura = 3H. Es preciso realizar cuatro cálculos independientes del índice UGI con el fin de determinar el peor escenario posible de acuerdo con las disposiciones representadas en la Figura 46.29.

Los fabricantes de equipos de iluminación preparan tablas que especifican, para valores determinados de reflectancia de tejidos en una habitación, valores del índice de deslumbramiento sin corrección para cada combinación de valores de X e Y.

La segunda fase del proceso es aplicar factores de corrección a los valores UGI en función de los valores de flujo luminoso de las lámparas y de la desviación del valor de altura (H).

Después se compara el valor del índice de deslumbramiento definitivo con el valor del índice de deslumbramiento límite (Limiting Glare Index, LGI), indicado en referencias tales como el Código CIBSE de Iluminación de Interiores (CIBSE Code for Interior Lighting, 1994)

Referencias

Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE). 1993. *Lighting Guide*. Londres: CIBSE.

—. 1994. *Code for Interior Lighting*. Londres: CIBSE.

Comisión Electrotécnica Internacional (CEI). 1993. *International Lamp Coding System*. IEC document no. 123-93. Londres: CEI.

Comisión Internacional de Iluminación (CIE). 1992. *Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems*. CIE Technical Report No. 97. Austria: CIE.

Lighting Industry Federation. 1994. *Lighting Industry Federation Lamp Guide*. Londres: Lighting Industry Federation.

Otras lecturas recomendadas

Department of Productivity. 1979. *Artificial Light at Work*. Occupational Safety and Health Working Environment, No. 6. Canberra: Australian Government Publishing Service.

—. 1980. *Colour at work*. Occupational Safety and Health Working Environment, No. 8. Canberra: Australian Government Publishing Service.

Association française de normalisation. 1975. *Couleurs d'ambiance pour les lieux de travail*. Norme française enregistrée NF X 08-004. Documento del CIS Núm. 76-1288. París: Tour Europe.

Bestratén, M, R Chavarría, A Hernandez, P Luna, C Nogareda, S Nogareda, M Oncins, MG Solé. 1994. *Ergonomía. Centro Nacional De Condiciones De Trabajo*. Barcelona: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Cayless, MA, AM Marsden. 1983. *Lamps and Lighting*. Londres: E Arnold.

Comisión Europea (CE). 1989. *Directiva marco*. Directiva de la CE núm. 89/391/EEC. Bruselas: CE.

De Boer, JB, D Fischer. 1981. *Interior Lighting*. Antwerp: Philips Technical Library.

Gardiner, K, JM Harrington. 1995. *Occupational Hygiene*. Oxford: Blackwell Science.

Grandjean, E. 1988. *Fitting the Task to the Man*. Londres: Taylor & Francis.

Greene, TC, PA Bell. 1980. *Additional Considerations Concerning the Effect of 'Warm' and 'Cool' Wall Colours On Energy Conservation*. Londres: Ergonomics.

Illuminating Engineers Society of North America. 1979. *American National Standard. Practice of Industrial Lighting*. ANSI/IES RP-7-1979. Nueva York: Illuminating Engineers Society of North America.

—. 1981. *Lighting Handbook*. Nueva York: Illuminating Engineers Society of North America.

Mandelo, P. 1994. *Fundamentos de Ergonomía*. Barcelona: Universidad Politécnica de Barcelona.

Moon, P. 1961. *Scientific Basis of Illuminating Engineering*. Londres: Dover Publications.

Organización Internacional del Trabajo (OIT). N.d. *Artificial Lighting in Factory and Office*. CIS Information Sheet No. 11. Ginebra: OIT.

Walsh, JWT. N.d. *Textbook of Illuminating Engineering*. Londres: Pitman.

