

# ILUMINACIÓN INTERIOR E INDUSTRIAL

10.1. Generalidades .....	141
10.2. Nivel de iluminación .....	144
10.3. Deslumbramiento .....	145
10.4. Sombras y modelado .....	152
10.5. Calidad de la luz .....	153
10.6. Diseño de la iluminación .....	154
10.7. Cálculos de iluminación interior .....	156
10.8. Algunos niveles de iluminación recomendados .....	158



## 10.1. Generalidades

El hombre necesita estar informado del entorno que le rodea para poder llevar a cabo fácilmente y sin peligro sus actividades.

La mayoría de la información acerca del entorno llega al hombre a través de los ojos y, por lo tanto, es de naturaleza visual. El término visibilidad (de un objeto) se usa como medida de la facilidad, la rapidez y la precisión con que un objeto puede ser detectado y reconocido visualmente. En consecuencia, una buena visibilidad del entorno y de todo lo que contiene es esencial.

Para una buena visibilidad se requiere una buena iluminación. Aunque una buena visibilidad de los objetos relevantes es una condición necesaria, no siempre es una condición suficiente para llevar a cabo actividades fácilmente y con comodidad. En interiores donde se realiza un trabajo, la función principal de la iluminación es facilitar el confort de las tareas visuales allí realizadas, sin embargo, en áreas de circulación o salas de estar y lugares de descanso, el criterio de la capacidad visual no es tan importante; lo importante es el criterio de agrado y confort visual.

Por tanto, los criterios más importantes relacionados con el diseño de la iluminación, para una aplicación particular, son la visibilidad y la satisfacción visual. Además, estos factores deben estar equilibrados con relación a los costes de la instalación y funcionamiento.

### 10.1.1. Visibilidad / Rendimiento visual

Para el trabajo en espacios interiores, la influencia de la iluminación en la realización del trabajo es muy importante.

El rendimiento de una persona concreta, para un trabajo concreto, es esencialmente una función de la habilidad de la persona para realizar la tarea (potencial de ejecución) por una parte, y por otra de su actitud hacia la ejecución de la tarea (actitud de ejecución).

La actitud en la ejecución determina hasta qué punto el potencial de ejecución es utilizado eficazmente. Incluye factores tales como motivación, dedicación y concentración que son de naturaleza social o psicológica y que están fuera de nuestro estudio.

La iluminación, así como otros factores del entorno físico, pueden influir en el potencial de ejecución pero la influencia sobre la ejecución real también depende de la actitud de ejecución.

El *rendimiento visual* es el término que se utiliza para describir la velocidad de funcionamiento del ojo y la exactitud con la que se lleva a cabo una tarea.

La visibilidad de una tarea está generalmente determinada por la visibilidad del elemento de mayor dificultad que debe ser detectado o reconocido para que el trabajo pueda realizarse. Este detalle se denomina *detalle crítico*. La visibilidad del detalle crítico es una función de la dificultad experimentada para discriminarlo visualmente del fondo sobre el cual es visto y de otros detalles de sus alrededores más inmediatos.

#### Luminancia

Para el logro de una buena visibilidad en el trabajo, el factor más importante está relacionado con la luminancia de la tarea y su entorno.

El efecto general de la luminancia sobre la visibilidad es debido a la adaptación resultante, proceso por el cual las propiedades del sistema visual se modifican de acuerdo con las luminancias del campo visual. Para una distribución de luminancias dada en el campo visual, el proceso de adaptación alcanza un estado final expresado como luminancia de adaptación.

Las propiedades del sistema visual afectadas por adaptación a la luminancia son:

- Agudeza visual, que es la capacidad del sistema para discriminar entre detalles u objetos que están muy juntos.
- Sensibilidad al contraste, que es la capacidad del sistema para distinguir las pequeñas diferencias de luminancia relativa.
- Eficiencia de las funciones motoras oculares para la acomodación, convergencia, contracción pupilar, movimientos del ojo, etc.

La agudeza visual, la sensibilidad al contraste y la eficiencia de las funciones motoras oculares crecen con el aumento de la luminancia de adaptación hasta un cierto máximo nivel.

Para trabajos donde el tamaño angular del detalle es crítico con respecto a la visibilidad del trabajo, un incremento de agudeza visual debido a un incremento de luminancia es de gran importancia para mejorar en la visibilidad de la tarea. Sin

embargo, cuando el tamaño angular del tamaño crítico está muy por encima del umbral de la agudeza visual, la contribución al incremento de la misma es insignificante.

Lo mismo pasa con los otros factores anteriormente mencionados. Pueden, también, estar afectados positivamente por un incremento de la luminancia, la cual, sin embargo, dará como resultado una visibilidad mejorada en el trabajo, en tanto en cuanto estos factores sean críticos con respecto a la visibilidad de la tarea considerada.

#### Objetos difusores y su entorno

La luminancia de una superficie mate es proporcional al producto de la iluminancia en la superficie y su reflectancia. La luminancia como factor que influye en la visibilidad puede ser, en consecuencia, sustituido por la iluminancia y las reflectancias para superficies difusoras y su entorno. Las reflectancias son parte de las propiedades intrínsecas de la tarea y el interior. Éstas no están afectadas por la iluminación, por lo que para estas tareas sólo la iluminancia permanece como un factor del sistema de iluminación que afecta a la visibilidad. Debería tenerse en cuenta que para estas tareas, el contraste de luminancia no se ve afectado por la iluminancia, pero está determinado por las reflectancias de los detalles y el fondo. Por lo tanto, la visibilidad de la tarea se incrementará con el aumento de la iluminancia hasta un máximo nivel determinado. El efecto del incremento de la iluminancia sobre la visibilidad será mayor cuanto más pequeño sea el tamaño, o el contraste del detalle o la cantidad de exigencias de las funciones motoras de ojo. Para los detalles de tamaño angular grande, que tengan un alto contraste con el fondo y sean estáticos en una posición conocida, el efecto del crecimiento de la iluminancia en visibilidad sobre un nivel moderado será despreciable.

#### Objetos brillantes y sus alrededores

Considerando que la luminancia de un objeto perfectamente mate es proporcional al producto de la iluminancia y la reflectancia (difusa), la luminancia de una superficie reflectante regular es proporcional al producto de su reflectancia (regular) y la luminancia ambiental en la dirección de la reflexión.

En la práctica, la mayor parte de las superficies, sin embargo, no son ni de reflexión perfectamente difusa ni perfectamente regular, sino que tienen mezcladas las propiedades de reflexión de tal forma que su luminancia depende, tanto de la iluminancia en la superficie como de las luminancias del ambiente. Para relacionar la luminancia de las superficies de reflexión mixta con la iluminancia de una manera similar a como la luminancia de una superficie mate está relacionada con la iluminancia por su reflectancia, se ha introducido el factor de luminancia.

El *factor de luminancia* de una superficie en una dirección dada bajo unas condiciones de iluminación dadas, es la razón de la luminancia de la superficie en esa dirección a la luminancia de una superficie blanca difusora perfecta cuando se iluminan idénticamente.

De esta definición deducimos que el factor de luminancia de una superficie difusora perfecta es constante e igual a su reflectancia en todas direcciones y bajo todas las condiciones de iluminación.

En un ambiente de luminancia uniforme  $L$ , la luminancia de una superficie reflectante perfectamente regular es  $L$  en todas las direcciones y la luminancia de una superficie blanca difusora perfecta es también igual a  $L$ ; los factores de luminancia de esa superficie reflectante regular bajo esas condiciones de iluminación, son iguales a 1 en todas direcciones.

En un ambiente de luminancia igual a 0 excepto para un área de luminancia  $L$  limitada (fuente), la luminancia de una superficie blanca difusora perfecta es menor que  $L$  porque la iluminancia es menor que la iluminancia en un ambiente de luminancia uniforme  $L$ ; la luminancia de una superficie reflectante perfectamente regular es igual a 0 excepto en las direcciones de reflexión de la fuente en las cuales la luminancia es igual a  $L$ ; el factor de luminancia de esa superficie regular, de este modo, es mayor que 1 en las direcciones de la reflexión de la fuente y 0 en todas las demás direcciones.

Ya que las superficies brillantes tienen propiedades de reflexión en parte regular y en parte difusa, deducimos de lo anterior que para estas superficies de reflexión mixta, el factor de luminancia será constante e igual a su reflectancia (mixta) en todas direcciones sólo en un ambiente de luminancia uniforme; en otros ambientes puede alcanzar valores entre 0 y mayores que 1 dependiendo ambos de las propiedades de reflexión y de los sistemas de iluminación.

Esto significa también que los contrastes en objetos que no son perfectamente mates son afectados por la iluminación, porque están determinadas por los factores de luminancia de los detalles y del fondo, los cuales pueden alcanzar valores diferentes en direcciones de visión diferentes, especialmente en las direcciones de reflexión de luminancias altas.

La conclusión de todo lo anterior es que para tareas y contornos brillantes no sólo es importante la iluminancia para una buena visibilidad sino también la direccionabilidad de la iluminación, que es un término general que describe la distribución especial de la luz incidente en la tarea. Está determinada por la distribución de la luminancia del entorno y depende de factores tales como la geometría de la instalación, las luminancias de las luminarias y las reflectancias del interior.

### 10.1.2. Satisfacción visual

La satisfacción visual es un término utilizado para describir la aceptabilidad de las condiciones visuales.

Para trabajos en interiores, la satisfacción visual es esencialmente una función de la facilidad para el trabajo bajo las condiciones reales y de lo agradable o placentero que sea el ambiente visual, cuando ambos se concentran en la tarea y cuando mejoran o buscan la relajación.

La satisfacción visual está afectada por el ambiente luminoso y por las preferencias individuales.

Para interiores con superficies y tareas mates, los factores influyentes del ambiente luminoso son las iluminancias en las distintas superficies y en la tarea, o dar origen a brillo por reflexión, son un factor importante que afecta a la satisfacción visual.

Para interiores con tareas o alrededores brillantes, las luminancias del ambiente que se ven reflejadas en las superficies y que pueden velar el contraste de la tarea, o dar origen a brillo por reflexión, son un factor importante que afecta a la satisfacción visual.

Se han realizado muchas investigaciones para determinar un rango preferido de iluminancias horizontales en torno a los trabajos interiores teniendo cuidadosamente controlados los valores de la reflectancia de las superficies de la habitación. De los resultados obtenidos en Europa Occidental, en condiciones de iluminación fluorescente libre de brillos, se ha determinado una curva media indicando el porcentaje de observadores que consideran una iluminancia particular como "satisfactoria". Esta curva se muestra en la Fig. 1 junto con la valoración de "demasiado oscuro" y "demasiado claro".

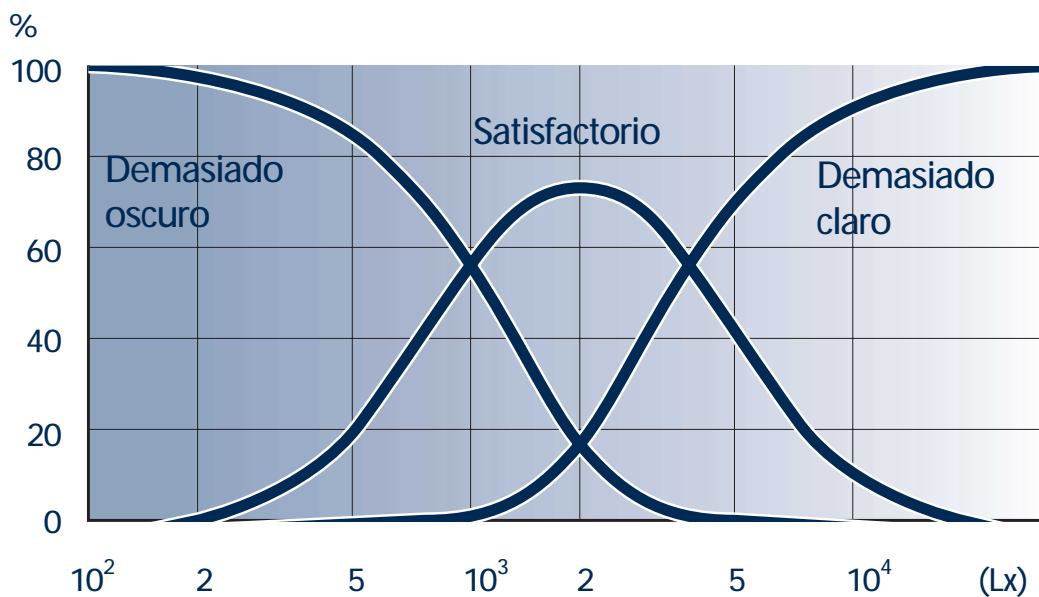


Figura 1. Combinaciones de respuesta.

### 10.1.3. Capacidad visual

Las capacidades visuales varían de un individuo a otro como ocurre con otros factores individuales característicos de las personas. La capacidad visual depende de factores tales como la forma y la transparencia de los elementos del sistema óptico de los ojos, la capacidad de acomodación, la convergencia y alineamiento de los ojos y la sensibilidad espectral de la retina. La capacidad visual reducida debida a errores de refracción puede ser corregida usando gafas graduadas.

Las capacidades visuales se ven disminuidas por el proceso de envejecimiento. El cambio más importante al envejecer el ojo es que el rango sobre el que es posible ajustar exactamente la acomodación a una distancia dada se ve reducido. Otros

cambios físicos en los ojos envejecidos son una reducción de la transmisión de la luz a través de los medios ópticos y un incremento de la dispersión en los medios. Esto significa que las personas mayores pueden ser menos sensibles a la luz central, lo cual puede reducir la visibilidad, y más sensibles a la luz periférica, la cual puede causar deslumbramientos. Proveer de una adecuada iluminación, libre de deslumbramientos, es incluso más importante para los trabajadores mayores que para las personas jóvenes.

#### 10.1.4. Parámetros de iluminación

El nivel y la calidad de la iluminación proporcionada por una instalación dada se pueden describir mediante los parámetros siguientes:

- Nivel de iluminación.
- Deslumbramientos.
- Sombras y modelado.
- Calidad de la luz.
- Diseño de la iluminación.

## 10.2. Nivel de iluminación

El nivel de iluminación requerido en una situación determinada se expresa en términos de iluminancia. Al final de este capítulo se muestran unas tablas donde consultar dicho nivel para la mayoría de las actividades.

### Superficie de referencia

La superficie de referencia de un interior es la superficie donde se va a suministrar la iluminancia apropiada recomendada, seleccionada de las tablas que se muestran al final de este capítulo. La superficie de referencia no necesita estar reducida a un área de superficie única, sino que puede comprender un número de áreas separadas. Las especificaciones de iluminación interior siempre deben incluir una definición clara de la superficie de referencia.

En interiores de trabajo, la superficie de referencia normalmente será el plano de trabajo. Para interiores donde las tareas no están restringidas a lugares fijos, se considera que el plano de trabajo es el plano horizontal limitado por las paredes del interior a una altura de 0'85 m. sobre el suelo. Para interiores donde las localizaciones de las tareas son conocidas y claramente especificadas, la superficie de referencia puede consistir en áreas específicas de zonas de trabajo o áreas de tareas.

Cuando la tarea no se realiza en un plano horizontal o está a una altura diferente, la superficie de referencia deberá tener el ángulo del plano de la tarea y estar a la altura de la misma.

En interiores donde no se trabaja, la superficie de referencia puede ser el piso, la pared, o cualquier plano importante en el mismo.

### Uniformidad de iluminancia

La iluminancia proporcionada en la superficie de referencia por una instalación de iluminación nunca será totalmente uniforme, ni en espacio ni en el tiempo.

#### Uniformidad en el espacio

La medida de la uniformidad de iluminancia sobre la superficie de referencia es la relación entre la iluminancia mínima y la iluminancia media.

En el caso de iluminación general, la uniformidad de iluminancia en la superficie de referencia no debe ser menor de 0'8 para proporcionar posibles ubicaciones de tareas equivalentes en todo el interior.

En el caso de iluminación general localizada o iluminación de áreas generales, la iluminancia media en las áreas que rodean las tareas no debe ser menor que un tercio del nivel para las áreas de tareas.

La relación entre las iluminancias medias para dos interiores adyacentes (por ejemplo, oficina y corredor) no debe exceder 5:1.

### Uniformidad en el tiempo

La iluminancia media proporcionada por una instalación disminuirá gradualmente a lo largo del tiempo debido a la depreciación del flujo luminoso de la lámpara y la acumulación de suciedad en las lámparas, luminarias y superficies de la habitación.

**Iluminación inicial:** Es la iluminancia media cuando la instalación es nueva y las superficies de la habitación están limpias. La iluminancia inicial debe ser elegida de acuerdo con los requisitos impuestos por el programa de mantenimiento. Su valor no se debería utilizar para recomendaciones de iluminancia.

**Iluminancia en servicio:** Es la iluminancia media en todo el ciclo de mantenimiento sobre la superficie de referencia. En algunos países se usa para recomendaciones de iluminancia.

**Iluminancia de mantenimiento:** Es la iluminancia media en la superficie de referencia durante el periodo entre dos operaciones de mantenimiento, sustituyendo las lámparas y/o limpiando las luminarias y las superficies de la habitación. En algunos países se usa para recomendaciones de iluminancia. En países donde la iluminancia recomendada está en términos de iluminancia de servicio, la iluminancia de mantenimiento no debería llegar a caer por debajo del 0'8 del valor recomendado.

## 10.3. Deslumbramiento

El deslumbramiento es la sensación producida por una luminancia exagerada dentro de un campo visual que altera la sensibilidad del ojo, causando molestia, reduciendo la visibilidad o ambas cosas.

El deslumbramiento se puede producir en dos formas, que a veces ocurren en forma separada, pero que generalmente se experimentan en forma simultánea. La primera se denomina deslumbramiento fisiológico (o perturbador), que reduce la capacidad visual y la visibilidad pero no causa necesariamente molestias. La segunda se denomina deslumbramiento psicológico (o molesto), que resulta molesto a la vista, pero que no necesariamente dificulta la observación de los objetos.

En la práctica de iluminación interior, el deslumbramiento psicológico (molesto) es probable que sea un problema mayor que el deslumbramiento fisiológico (perturbador), y las medidas tomadas para controlar el deslumbramiento molesto tendrán en cuenta también el deslumbramiento perturbador. La sensación de molestia experimentada por el deslumbramiento molesto tiende a incrementarse con el paso del tiempo, y contribuye a la tensión nerviosa y a la fatiga.

El deslumbramiento, cualquiera que sea el tipo, puede ser directo o por reflexión. El *deslumbramiento directo* es el deslumbramiento causado directamente por las luminancias de las fuentes de luz, tales como las lámparas, las luminarias y las ventanas, que aparecen en el campo de visión del observador. El *deslumbramiento por reflexión* es el deslumbramiento causado por las luminancias reflejadas desde las superficies con alta reflectancia, especialmente superficies especulares tales como metales brillantes, salvo que éstas formen parte de la luminaria. El deslumbramiento por reflexión debería distinguirse de otros tipos de reflexión que producen reducción del contraste de la tarea, y que se describen más correctamente como reflexiones de velo (la luminancia alta es reflejada por la tarea hacia los ojos, velándola y reduciendo los contrastes de la misma).

### 10.3.1. Control del deslumbramiento

El control del deslumbramiento directo de lámparas y luminarias consiste en controlar la luminancia de las mismas en la dirección de los ojos del observador.

Sin embargo el grado de deslumbramiento experimentado no solamente es una función de las luminarias en el campo visual del trabajador, también depende del tipo de actividad que se realiza. Cuanta más luz demande la tarea visual y cuanta mayor sea la necesidad de concentración, mayor será la molestia. Sin embargo, en aquellas situaciones donde el trabajador debe moverse para realizar la tarea, la molestia experimentada será menor.

Por lo tanto, el grado de control de la luminancia diferirá según el tipo de tarea o actividad. La C.I.E. ha clasificado las tareas y las actividades en cinco grupos según el grado de control de luminancia requerido. En la Tabla 1 se enumeran los cinco grupos que se refieren a las Clases de Calidad.

En términos generales, las luminancias más altas en un interior producidas por la instalación de iluminación son las de las lámparas. Generalmente estas luminancias son demasiado altas para utilizar las lámparas sin controlar su brillo en las

direcciones de los ojos. Por eso, una de las funciones de las luminarias es limitar la luminancia en las direcciones críticas a un nivel aceptable.

Clase de Calidad	Índice deslumbramiento (G)	Tipo de actividad o tarea
A, calidad muy alta	1,15	Tareas visuales muy exactas.
B, calidad alta	1,50	Tareas con grandes demandas visuales. Tareas con demandas visuales moderadas pero con alta concentración.
C, calidad media	1,85	Tareas con demandas visuales moderadas y demandas moderadas de concentración y con cierto grado de movilidad del trabajador.
D, calidad baja	2,20	Tareas con niveles de demanda de concentración y visual bajas con trabajadores en movimiento dentro del área establecida
E, calidad muy baja	2,55	Interiores donde los trabajadores no sólo se mueven dentro de la estación de trabajo sino de un lugar a otro y realizan tareas de baja demanda visual. Interiores generalmente no utilizados por las mismas personas.

Tabla 1. Clase de calidad C.I.E. de limitación de deslumbramiento.

### 10.3.2. Métodos prácticos para el control del deslumbramiento

Fundamentalmente, control del deslumbramiento significa control de la luminancia de foco en el intervalo de 45° a 90° (Fig. 6). Existen varios métodos para realizar este control. Entre ellos vamos a ver dos, desarrollando con más extensión el último en el punto 10.3.3.:

- Control con materiales translúcidos.
- Sistema de diseño C.I.E.

#### Control con materiales translúcidos

Este método controla la luminancia visible rodeando las lámparas con un material difusor o prismático; y, generalmente, los límites más estrictos vienen impuestos en la parte superior del intervalo "γ".

La altura de montaje de las luminarias, las dimensiones de la habitación, el grado de control de deslumbramiento que se desea y en algunos casos la orientación de las luminarias, influyen notablemente en la selección de los límites apropiados para cada intervalo "γ".

Estos factores han sido tenidos en cuenta en los diferentes sistemas que se han desarrollado para determinar el límite de luminancia apropiado y/o el grado de deslumbramiento que se espera tendrá una instalación determinada.

#### Sistema de diseño C.I.E.

Uno de los mayores objetivos de la C.I.E. sobre el deslumbramiento molesto ha sido desarrollar una fórmula matemática que pudiera generar valores de deslumbramiento para fuentes simples y para un grupo de fuentes. La fórmula propuesta es el término medio matemático más corrientemente aplicable entre los diferentes sistemas nacionales, y se sugiere que esta fórmula sea rigurosamente comprobada con vistas a su adopción como fórmula recomendada por la C.I.E.

$$G = 8 \cdot \log \left[ 2 \cdot \frac{1 + E_d / 500}{E_i + E_d} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot w}{p^2} \right]$$

donde:

- G: índice deslumbramiento C.I.E.
- E<sub>d</sub> y E<sub>i</sub>: iluminancias verticales en el ojo.



- E<sub>g</sub>: directamente de las fuentes de deslumbramiento.
- E<sub>i</sub>: indirectamente del fondo.
- L: luminancia de la fuente de deslumbramiento.
- w: tamaño de la fuente de deslumbramiento
- p: índice de posición Guth (índice de posición de cada luminaria, que se relaciona con el desplazamiento de la zona de visión).

### 10.3.3. Sistema de protección del deslumbramiento C.I.E.

Es el sistema de curva de la luminancia utilizado en combinación con un sistema de ángulo protector como un verificador adicional para luminarias que poseen lámparas, o partes de la misma, visibles dentro de la zona de visión crítica. Se considera que es el método más simple y más práctico, y es el que vamos a describir a continuación.

Las curvas de limitación de la luminancia (Fig. 2) abarcan una escala de índices de deslumbramientos, representando las clases de calidad desde A a E, y diferentes valores de iluminancia de servicio standard. Se deben utilizar dos diagramas que dependen del tipo de luminaria y de su orientación según la dirección de la visión.

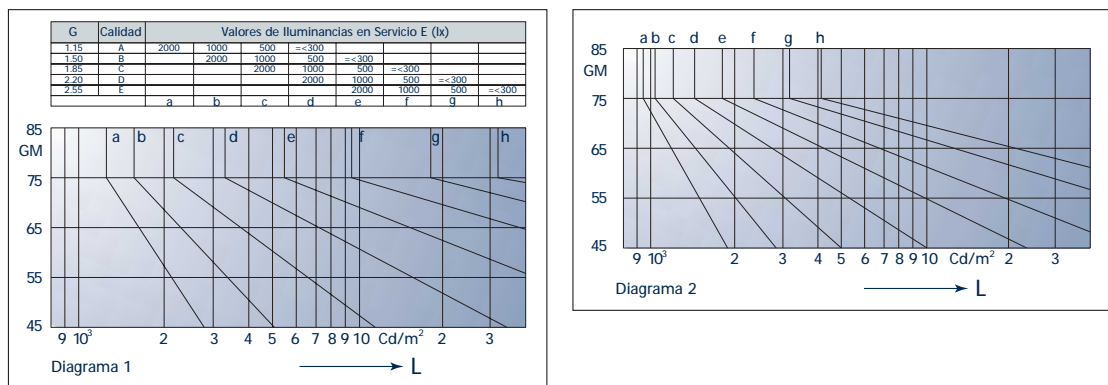


Figura 2. Diagramas de las curvas de luminancia para la evaluación del deslumbramiento directo.

Los diagramas de la Fig. 2 son diagramas de las curvas de luminancia para la evaluación del deslumbramiento directo. El diagrama 1 es para aquellas direcciones de la visión paralelas al eje longitudinal de cualquier luminaria elongada y para luminarias que no poseen paneles luminosos laterales observadas desde cualquier dirección. El diagrama 2 es para aquellas direcciones de visión en ángulos rectos al eje longitudinal de cualquier luminaria con paneles luminosos laterales.

La limitación de luminancia requerida depende del tipo y orientación de la luminaria, del ángulo de apantallamiento, del grado de aceptación o clase de calidad, y del valor de la iluminancia de servicio.

#### Tipo de luminaria

Los términos "laterales luminosos" y "elongada" utilizados para describir los tipos de luminaria se definen de la siguiente manera:

- *Laterales luminosos*: Se considera que una luminaria posee laterales luminosos si tiene un panel lateral luminoso con una altura de más de 30 mm.
- *Elongada*: Se considera que una luminaria es elongada cuando la relación entre la longitud y el ancho del área luminosa es superior a 2:1.

**Orientación de la luminaria**

Al utilizar los diagramas de la Fig. 2 se debe considerar la distribución de la luminancia de la luminaria en dos planos verticales: el plano  $C_0-C_{180}$  y el plano  $C_{90}-C_{270}$ .

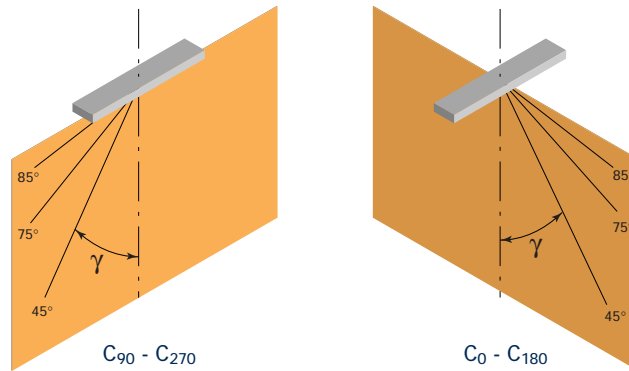


Figura 3. Planos C- $\gamma$  en los que se debe verificar la luminancia de la luminaria.

Cuando las luminarias se montan con el plano  $C_0-C_{180}$  paralelo al eje del local, la distribución de la luminaria en dicho plano se utiliza para controlar la limitación del deslumbramiento en la dirección longitudinal de la habitación, y la distribución de la luminancia en el plano  $C_{90}-C_{270}$  se utiliza para verificar la limitación del deslumbramiento en la dirección transversal a la habitación.

Cuando las luminarias se montan con el plano  $C_{90}-C_{270}$  paralelo al eje longitudinal del local, dicho plano se debe utilizar para verificar la limitación del deslumbramiento en la dirección longitudinal de la habitación, y la distribución de la luminancia en el plano  $C_0-C_{180}$  para verificar la limitación del deslumbramiento en el sentido transversal de la habitación.

Para luminarias elongadas el plano  $C_{90}-C_{270}$  se elige coincidente con (o paralelo a) el eje longitudinal de la/s lámpara/s. Cuando dicho plano es paralelo a la dirección de la visión percibida se dice que la misma es longitudinal, en cambio cuando el plano  $C_{90}-C_{270}$  está en ángulos rectos a la dirección de la visión, se considera que la visión es transversal.

**Ángulo de apantallamiento**

Para aquellas luminarias en las cuales, al observarlas desde ángulos de 45° o más con respecto a la vertical, se pueden ver las lámparas o partes de las mismas, se debe limitar no sólo la luminancia media de la luminaria según las curvas de la Fig. 4, sino también las lámparas deben estar bien apantalladas dependiendo de la luminancia de la lámpara y de la clase de calidad elegida.

Los ángulos de apantallamiento requerido (Fig. 4 y 5) se muestran en la Tabla 2. Si el ángulo de apantallamiento es igual o mayor que el tabulado, el deslumbramiento será de la clase especificada o mejor.

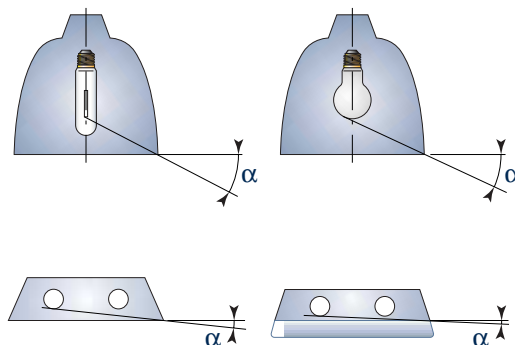


Figura 4. Ángulos de apantallamiento para varias luminarias.

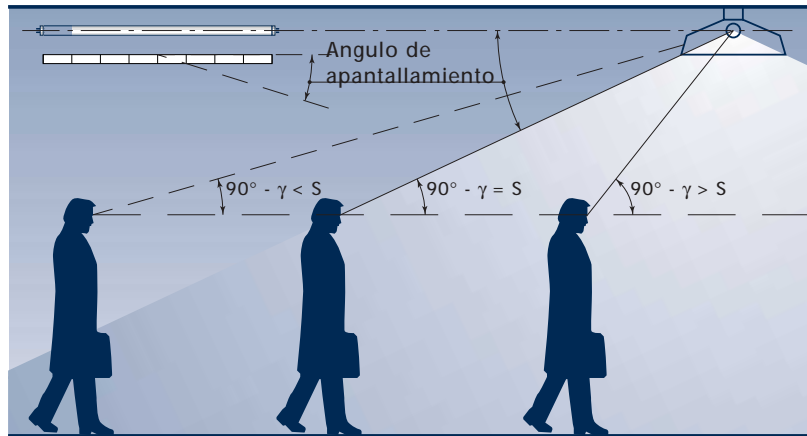


Figura 5. Control del deslumbramiento por apantallamiento.

Tipos de fuentes

Se sabe por experiencia estadística que el umbral mínimo de luminancia es de  $10^{-5}$  cd/m<sup>2</sup>, que el deslumbramiento aparece a partir de 5.000 cd/m<sup>2</sup> y que en ningún caso se debe pasar de 20.000 cd/m<sup>2</sup>. Para fines de control de deslumbramiento, conviene dividir las fuentes en dos grandes grupos, es decir, las que tienen una luminancia por debajo de 20.000 cd/m<sup>2</sup> y las que tienen una luminancia por encima de este valor.

Las fuentes que están por debajo de los 20.000 cd/m<sup>2</sup>, incluyen todos los tipos normales de lámparas fluorescentes. Las luminarias para este grupo de fuentes emplean, para el control del deslumbramiento, materiales translúcidos y el apantallamiento. En algunas circunstancias la luminancia de la lámpara es lo suficientemente baja para permitir emplearla desnuda.

El grupo de fuentes por encima de 20.000 cd/m<sup>2</sup> incluye la mayor parte de las lámparas de tipo compacto, con filamento incandescente y las variedades de descarga gaseosa. Aunque los dos métodos de control de deslumbramiento mencionados antes se emplean en lámparas de baja potencia, el método de apantallamiento se emplea casi exclusivamente para controlar el deslumbramiento en los tipos más potentes, en casos de alumbrado industrial; y en tales casos, debe de tenerse en cuenta tanto la iluminancia en el ojo del espectador como la luminancia. Por esta razón, se debería contar con el flujo que sale y la altura del montaje al calcular ángulos de apantallamiento convenientes para fuentes de esta clase.

Rango de luminancia media de la lámpara (cd/m <sup>2</sup> )	Clase de calidad de la limitación del deslumbramiento		Tipo de lámpara
	A B C	D E	
Menos de 20.000	20°	10° *	Fluorescente tubular.
De 20.000 a 50.000	30°	20°	A descarga de alta presión con bulbos difusores o fluorescentes.
Más de 50.000	30°	30°	A descarga de alta presión con bulbos tubulares de vidrio claro. Incandescentes de vidrio claro.

Tabla 2. Ángulos de apantallamiento mínimos requeridos adicionalmente.

Grado del deslumbramiento o clase de calidad

Las curvas comprenden una escala de cinco grados de deslumbramiento que corresponden a las cinco clases de calidad (Tabla 1).

Los grados de deslumbramiento surgen de la evaluación subjetiva del deslumbramiento llevada a cabo en el laboratorio por un grupo de observadores, utilizando una escala de nueve puntos donde se marcaron los puntos principales.

\* Para lámparas lineales vista de frente: 0°.

### Iluminancia en servicio estándar

El valor de la iluminancia de servicio estándar, de 300 lux en adelante, se utiliza junto a la clase de calidad, como parámetro al seleccionar la curva del límite de la luminancia adecuada.

### Relación a/h

En lugar del rango adecuado de los rangos críticos, se puede utilizar un rango de relaciones a/h críticas, donde "a" representa la distancia horizontal y "h" la distancia vertical entre el ojo del observador y la luminaria más lejana (Fig. 6). Estos valores están representados al lado derecho de los diagramas de deslumbramiento.

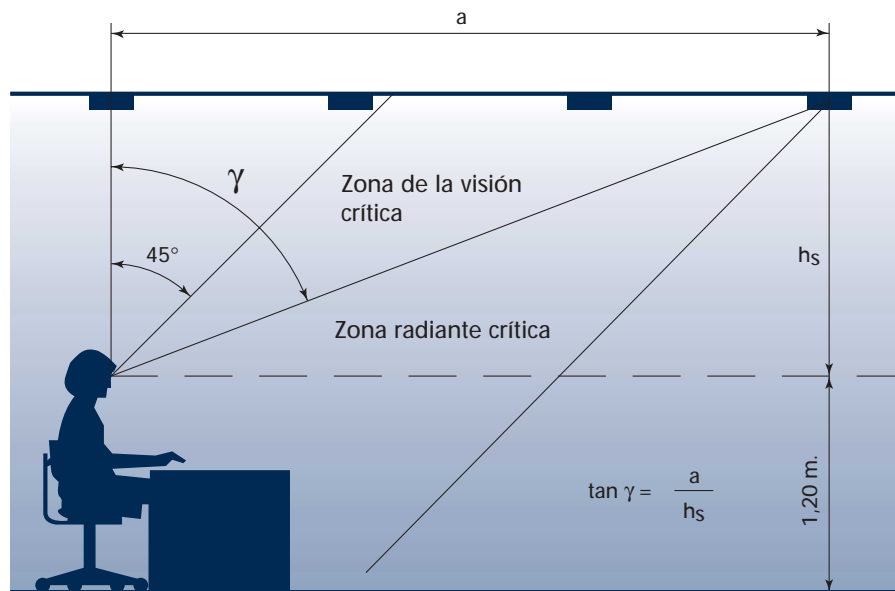


Figura 6. Zonas críticas de visión y radiante.

### Valores de luminancia

La distribución de la luminancia de las luminarias en los planos C<sub>0</sub>-C<sub>180</sub> y C<sub>90</sub>-C<sub>270</sub> son los valores iniciales. La luminancia media de la luminaria en una dirección dada se puede calcular como el cociente entre la intensidad luminosa en dicha dirección y el área luminosa aparente.

Las curvas de limitación son válidas para:

- Iluminación general.
- Líneas de visión predominantemente horizontales o hacia abajo.
- Reflectancias de al menos 0'5 para cielos rasos y paredes, y de por lo menos 0'25 para el mobiliario.

Para un techo luminoso, la limitación del deslumbramiento será suficiente siempre y cuando la luminancia en los ángulos mayores de 45° no exceda de 500 cd/m<sup>2</sup>.

### Procedimiento para el uso del sistema de protección al deslumbramiento

1. Determinar la luminancia media entre 45° y 85° y del tipo de luminaria elegida para la instalación.
2. Determinar la clase de calidad y el nivel de iluminancia requeridos para la instalación (supuesta nueva).
3. Seleccionar la curva adecuada (clase y nivel) del diagrama correspondiente.
4. Determinar el ángulo máximo, para la longitud y altura de la habitación, entre el nivel del ojo y el plano de las luminarias.
5. Tomar la línea horizontal del diagrama de limitación de deslumbramiento para el valor a/h encontrado en el paso anterior.

La parte de la curva sobre esta línea se puede ignorar.

6. Comparar la luminancia de una luminaria con la parte elegida de la curva de limitación.

No existirá deslumbramiento psicológico si el valor de la luminancia de la luminaria no supera la luminancia especificada por la curva de limitación elegida dentro del rango de ángulos de emisión. Si el resultado es diferente, deberá modificarse el diseño; por ejemplo, seleccionando otro tipo de luminaria.

Es aconsejable utilizar este método sólo en interiores de trabajo. En otras situaciones, es decir en lugares públicos, vestíbulos y entradas, se puede requerir iluminancias mayores ya que en esos lugares las fuentes de luz sirven como un elemento de animación.

**Nuevo desarrollo**

Un nuevo desarrollo en el área de los sistemas de deslumbramiento es el Sistema de Índice del Deslumbramiento Unificado (UGR, Unified Glare Rating) C.I.E., que es un nuevo sistema de evaluación para el deslumbramiento psicológico en la iluminación interior. Aunque todavía no ha sido aprobado internacionalmente, este sistema se puede adoptar para uso general.

*Fórmula UGR*

La fórmula para calcular el valor de UGR es la siguiente:

$$UGR = 8 \cdot \log \left[ \frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right]$$

donde:

- $L_b$  = luminancia de fondo ( $cd/m^2$ ).
- $L$  = luminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador ( $cd/m^2$ ).
- $\omega$  = ángulo sólido trazado por las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador (estereorradián).
- $p$  = índice de posición para cada luminaria, que se relaciona con el desplazamiento de la zona de visión (índice de posición Guth para cada luminaria)

La evaluación más exacta del deslumbramiento se logra mediante la aplicación directa de la fórmula UGR para la instalación considerada, para la cual se requiere un programa de ordenador.

*Tablas UGR*

Se puede obtener un valor de UGR más simple aunque no tan exacto utilizando las tablas de deslumbramiento UGR estándar. Estas tablas proporcionan el valor UGR calculado para diferentes situaciones estándar y para distintos tipos de luminarias.

Una desventaja de estas tablas es que no es posible clasificar las luminarias. Por esta razón, se han desarrollado las curvas de limitación UGR.

*Curvas de limitación UGR*

Las curvas de limitación del deslumbramiento calculadas utilizando el método UGR son ligeramente diferentes a las curvas de limitación del deslumbramiento C.I.E. descritas anteriormente. Las mismas comprenden cinco líneas en lugar de ocho, y el rango de luminancias abarcado es considerablemente mayor.

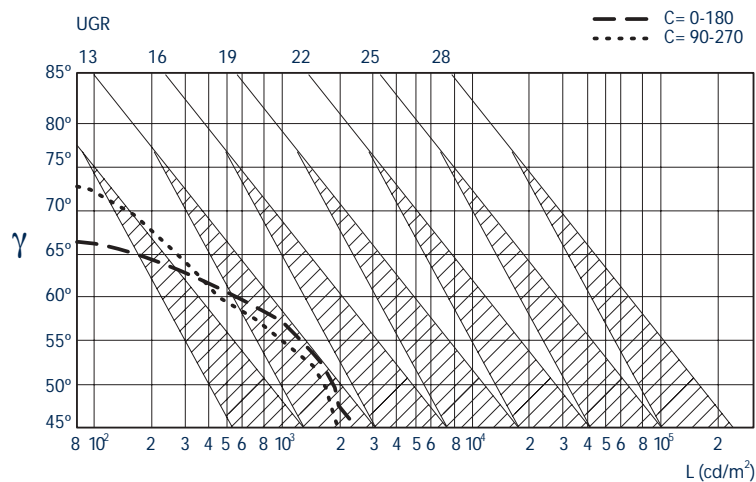


Figura 7

El rango del índice del deslumbramiento se extiende de 13 a 28 en escalones de 3 unidades, siendo éste el menor aumento que proporciona un cambio significativo en la sensación de deslumbramiento psicológico.

Otra diferencia es que con esas curvas la clasificación de la luminaria es independiente de la iluminancia. Gracias a las curvas se pueden clasificar las luminarias. Sin embargo, no son tan exactas como las tablas, ya que sólo consideran el efecto de la luminaria y no el de toda la instalación.

#### Deslumbramiento producido por las ventanas

La luminancia del cielo en el cual se comienza a percibir el deslumbramiento es aproximadamente de 2.000 cd/m<sup>2</sup> y corresponde a la iluminancia horizontal de 10.000 lux. bajo condiciones de nubosidad.

Ya que la luminancia del cielo no se puede disminuir, el deslumbramiento producido por las ventanas sólo se puede prevenir utilizando cortinas, persianas o celosías. Alternativamente, las posiciones de trabajo se pueden disponer de manera tal, que el deslumbramiento de las ventanas no penetre en el campo de la visión de los ocupantes.

El deslumbramiento psicológico producido por las ventanas se puede reducir utilizando decorados muy claros en las superficies inmediatas a las aperturas de las ventanas y esparciendo decorados sobre las mismas para permitir que la luz que la luz que incide sobre ellas reduzca el contraste de la ventana.

#### Reflexiones de velo y deslumbramiento reflejado

El brillo de una fuente de luz reflejada por una superficie mate o semi-mate en los ojos de un observador, produce una molestia que puede ser leve o considerable. Cuando esta reflexión se produce en una tarea se denomina *reflexión de velo*; cuando se produce fuera de la tarea se denomina *deslumbramiento reflejado*.

Las reflexiones de velo, además de producir molestias, reducen el contexto de la tarea y como consecuencia pérdida de detalles.

Tanto las *reflexiones de velo* como el *deslumbramiento reflejado* se puede minimizar de la siguiente manera:

1. Diseñando un sistema de iluminación o ubicando las áreas de trabajo de manera tal que ninguna parte de la tarea visual esté dentro o cerca del ángulo de reflexión de cualquier fuente de luz brillante con respecto al ojo.
2. Aumentando la cantidad de luz en ambos lados sobre la tarea visual aproximadamente en ángulos rectos a la dirección de la visión.
3. Utilizando luminarias que posean una amplia gama de emisión y baja luminancia.
4. Utilizando superficies de trabajo, papel, materiales de escribir, máquinas de oficina, etc. que tengan superficie mate para reducir los efectos de la reflexión.

## 10.4. Sombras y modelado

La apariencia de interiores se mejora cuando sus características estructurales y los objetos y las personas están iluminadas de tal forma que las siluetas se ven clara y agradablemente, y las sombras se forman sin confusión. Esto ocurre cuando la luz fluye de forma evidente en una dirección más que en cualquier otra. El término *modelado* se usa para describir la forma en la cual las siluetas de objetos tridimensionales se destacan por la iluminación.

El modelado puede ser fuerte o débil; el grado más efectivo para cualquier interior depende del tipo de construcción y las actividades implicadas. Cuando la luz viene desde muchas direcciones y es demasiado difusa, el modelado puede ser ligero y el interior puede ser poco interesante debido a la pérdida de contraste de la luminancia. Por otro lado, si el componente direccional es muy fuerte, el modelado será normalmente severo y las sombras se pueden confundir.

Sin embargo, las sombras pronunciadas, como las obtenidas con fuentes de luz concentradas sobre un área pequeña, se pueden usar para producir efectos dramáticos intencionados. Las tiendas, las salas de arte y muchos otros lugares requerirán una iluminación con provisión para sombras modeladas en diversos grados.

Una ventana o una luminaria grande puede producir un buen modelado sin sombras fuertes, pero si la fuente es muy grande en relación con la distancia del objeto iluminado, como puede ser el caso con la iluminación indirecta, el modelado quedará debilitado.

Las sombras profundas que producen contrastes de luminancia excesivos pueden ser suavizados mediante aplicación de fuentes de luz adicionales. Acabados con altas reflectancias difusoras en las superficies de la habitación resultan ser fuentes de luz secundarias

eficaces y reducen, materialmente, las sombras, reflejando una cantidad significativa de luz difusa dentro de áreas sombreadas. Las sombras con bordes suaves se obtienen con fuentes de áreas grandes tales como luminarias de lámparas fluorescentes o sistemas de iluminación indirecta.

## 10.5. Calidad de la luz

En el capítulo 4 dedicado a *El Color*, vimos que las características más importantes de la calidad de la luz son su Temperatura de Color ( $T_c$ ) y su Índice de Rendimiento de Color (IRC ó  $R_a$ ).

La Temperatura de Color ( $T_c$ ) tiene una notable influencia sobre el ambiente creado en cuanto a sus sensaciones de frío o calor, al tiempo que potencia o atenúa la cromacidad de los objetos en ese mismo sentido. Además, el término  $T_c$  no se puede manejar de un modo independiente, sino que se debe combinar de forma adecuada con la Iluminancia para que no se produzcan efectos distorsionadores de la percepción visual. Las curvas de Kruithof delimitan las posibles combinaciones entre  $T_c$  y la Iluminancia de cálculo (Fig. 8).

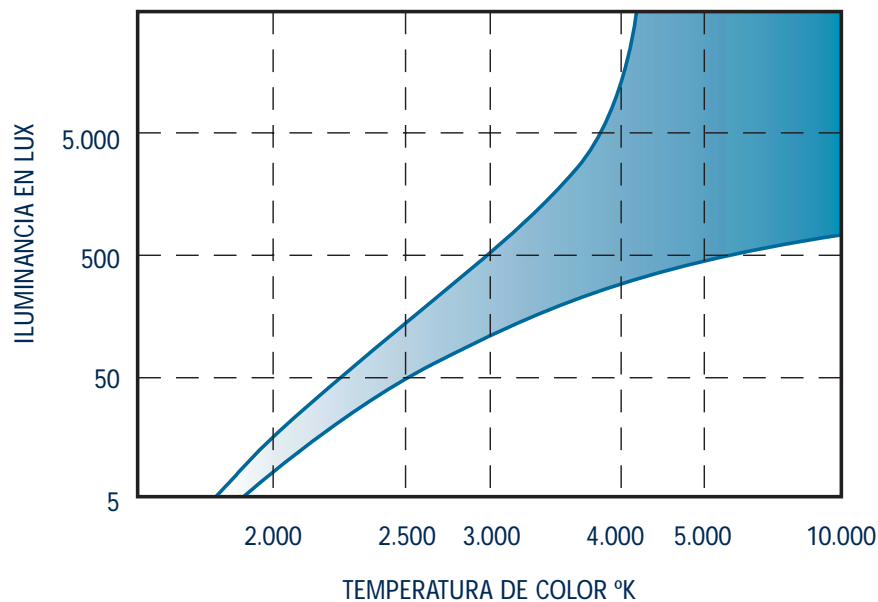


Figura 8. Curvas de Kruithof para la relación entre  $T_c$  y la Iluminancia.

El índice de reproducción cromática (IRC) tiene transcendental importancia en la calidad de la luz, siendo de primera magnitud en actividades donde la óptima reproducción cromática es imprescindible (ver capítulo 4).

### Luz y color en interiores

Aparte de las propiedades de color de las lámparas, otro aspecto del color que influye en el confort visual de una habitación, es el esquema de color elegido para las superficies de la habitación. En términos generales, para alcanzar alta eficiencia luminosa, se deben elegir colores claros para las áreas de superficie principal. Una superficie blanca reflejará alrededor del 80% de la luz incidente, un color claro el 50%, un color medio del 30% al 50%, y un color oscuro menos de un 10%. Para lograr los mejores resultados se deben elegir materiales y colores bajo igual o similar luz a la planeada para el medio diseñado, además de otros factores de tipo subjetivo, climático, de sexo, edad, de superficies de color que influyen en los demás colores, etc.

## 10.6. Diseño de la Iluminación

La iluminación es un arte y una ciencia, por lo tanto no puede haber reglas rígidas ni ligeras que regulen el proceso de diseño. El propósito básico de un buen diseño de iluminación es crear una instalación de iluminación que proporcione una buena visibilidad en la tarea y, a la vez, un entorno visual satisfactorio.

La función de un espacio influye enormemente en el modo en el cual debe aplicarse la iluminación. Por lo tanto, los requisitos visuales del espacio tienen que determinarse en primer lugar. Posteriormente y basándose en los resultados de estos análisis, se tomarán las decisiones apropiadas para la selección de los sistemas de iluminación, de las lámparas y de las luminarias.

En algunos casos, el diseñador de la iluminación puede elegir el tipo de sistema de iluminación; en otros casos el diseño arquitectónico y las condiciones estructurales pueden dictar un tipo de instalación en particular.

La decoración interior y especialmente las reflectancias de las superficies mayores de la habitación tienen también una influencia considerable en la apariencia de la iluminación.

Lo importante, sin embargo, es tener en cuenta que el proceso de diseño consiste en dos fases bien diferenciadas. La primera fase empieza con el cliente, e incluye el estudio de los diferentes factores locales que influirán en el diseño. La segunda fase es el proceso de diseño mismo, y es aquí donde se toma la primera decisión entre muchas con respecto al diseño.

### 10.6.1. Distribución de luminancias en superficies

La distribución de luminancias dentro de un campo de visión es un criterio extremadamente importante en el diseño de la iluminación. Debe ser considerada como complementaria de la distribución de iluminación en el interior.

Para un nivel de iluminación dado, las diferencias en luminancia pueden deberse a diferencias en la reflectancia de las superficies. Aunque la iluminación sea apropiada para la tarea visual, no necesariamente proporcionará un balance de luminancia aceptable en el interior. Dicho balance dependerá de las reflectancias elegidas para las superficies. La iluminación en este aspecto puede contribuir a mejorar la situación más pobre, pero el resultado será siempre visualmente insatisfactorio. Por lo tanto, la distribución de luminancia debe considerarse como suplementaria en el proyecto de iluminación de interiores. Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Luminancia de la tarea y luminancia de sus alrededores.
2. Valores extremos de la luminancia de techos y paredes.
3. Supresión del deslumbramiento limitando la luminancia de las luminarias y ventanas.

En la Fig. 9 se puede observar la escala de luminancias para iluminación interior, que es dato de gran importancia para la distribución de luminancias.

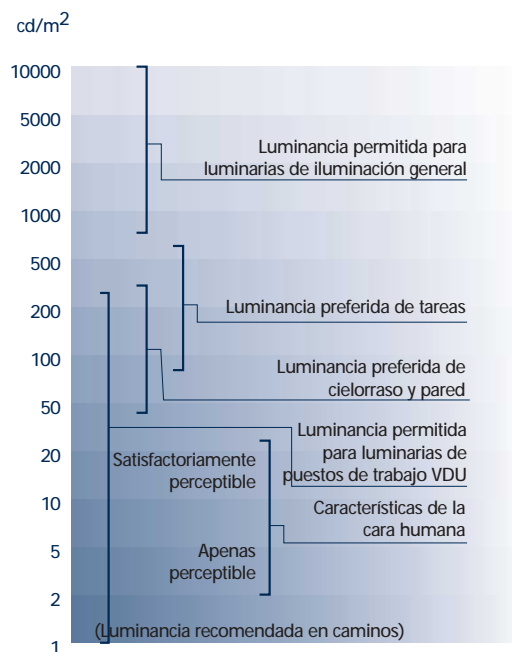


Figura 9. Escalas de luminancias para iluminación interior.



Distribución de luminancia en el área de trabajo

Las luminancias de los alrededores inmediatos de la tarea deberían, si es posible, ser más bajas que las luminancias de la tarea, pero preferiblemente no menos de 1/3 de este valor. Esto implica que la razón de la reflectancia del fondo inmediato de una tarea al de la tarea misma, debería estar preferiblemente en el rango 0'3 ÷ 0'5. Este es un requisito práctico o útil para oficinas, pero su aplicación es difícil, y algunas veces imposible, en la mayoría de las fábricas donde la tarea es a menudo oscura y el diseñador de iluminación puede, raramente, especificar la reflectancia del fondo.

10.6.2. Depreciación de la emisión de luz

La iluminancia proporcionada inicialmente por una instalación de iluminación disminuirá de manera gradual durante el uso debido a una reducción en los lúmenes de la lámpara, a lámparas que se quemen, y a la acumulación de suciedad en las lámparas, luminarias y superficies de la habitación. Sin embargo, es posible mantener la iluminancia en o sobre el mínimo valor permitido (denominado valor mantenido) limpiando el equipo de iluminación y las superficies de la habitación y cambiando las lámparas quemadas o gastadas a intervalos adecuados de acuerdo con un programa de mantenimiento previamente acordado. El valor de dicho programa de mantenimiento se indica en la Fig.10. Claramente, en el caso ilustrado, la iluminancia en el sistema no mantenido disminuirá hasta el 40% del valor inicial dentro de los tres años y continuará decayendo. Pero con una limpieza anual y un recambio de lámparas y de pintura cada tres años, la iluminancia llega al 60% del valor inicial. En tres años, el sistema mantenido proporciona una iluminancia 50% mayor que la del sistema sin mantenimiento.

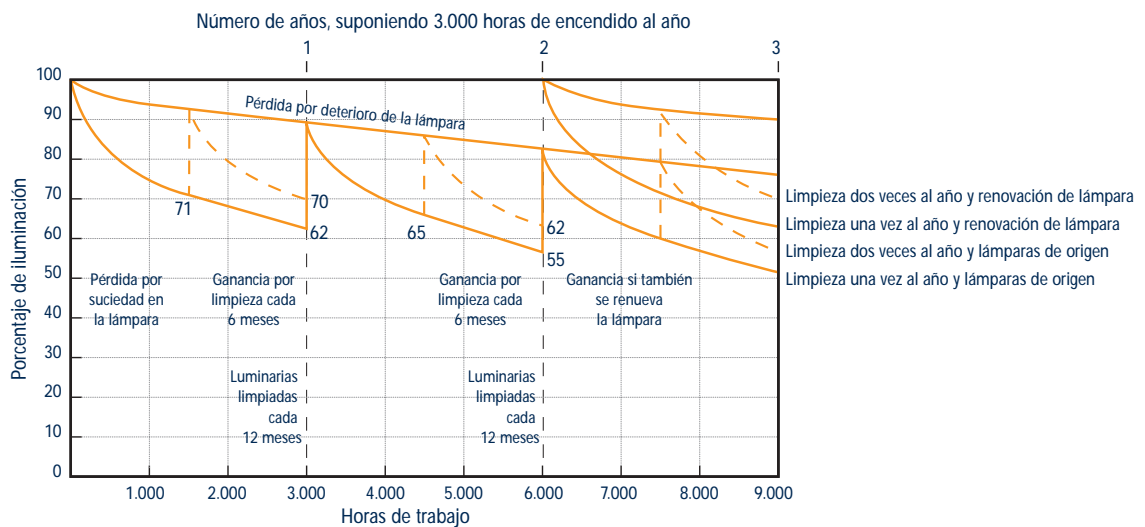


Figura 10. Curvas combinadas de depreciación mostrando el efecto de limpieza y renovación en una instalación de lámparas fluorescentes.

Factores a considerar en la depreciación de la iluminación de interiores

Suciedad en lámparas y luminarias

La mayor parte de la pérdida de luz se puede atribuir a la suciedad que se acumula en las lámparas y en las superficies de control de luz (reflejada, refractada o difusa) de las luminarias.

La velocidad de depreciación causada por la suciedad que se deposita en las superficies de control de la luz es afectada por el ángulo de inclinación, la terminación, y la temperatura de la superficie, por el grado de ventilación o hermetismo de la luminaria, y por el grado de contaminación de la atmósfera que rodea la luminaria.

La depreciación en la emisión de luz puede ser reducida seleccionando luminarias apropiadas para cada lugar determinado. Las luminarias de bases abiertas y superficies cerradas acumulan suciedad a mayor velocidad que aquellas que tienen ventilación. En las luminarias ventiladas, las corrientes de convección sacan el polvo y la suciedad hacia afuera a través de agujeros o ranuras en el dosel o reflector y los llevan fuera de las superficies de reflexión. En atmósferas altamente contaminadas es preferible utilizar luminarias herméticas o a prueba de polvo, algunas de las cuales tienen un filtro interior que permite que se lleve a cabo la "respiración" necesaria.

### Suciedad sobre las superficies de la habitación

La suciedad acumulada en techos (cielorrasos) y paredes reduce el valor de reflectancia de los mismos y por lo tanto la cantidad de luz reflejada. La relación que éste tenga con el cálculo de la iluminancia obviamente dependerá del tamaño de la habitación de que se trate y de la distribución de luz de las luminarias. El efecto será más pronunciado en habitaciones pequeñas o cuando haya luminarias con un gran componente indirecto.

### Depreciación del flujo de la lámpara

El rendimiento luminoso de todas las lámparas disminuye con el uso, pero la velocidad de dicha disminución varía ampliamente según los tipos de lámparas y fabricantes. Los cálculos para iluminación deben, por lo tanto, tener en cuenta la depreciación específica en el rendimiento luminoso de cada lámpara en particular.

Debe tenerse en cuenta que estos datos mostrados en las figuras, están basados en ciertas suposiciones relacionadas con las condiciones de funcionamiento, y uno o más de los factores siguientes pueden influir en el índice de depreciación:

- Temperatura ambiente.
- Posición de funcionamiento de la lámpara.
- Voltaje suministrado.
- Tipo de equipo de control utilizado, si es relevante.

### Fallo de la lámpara

El promedio de vida de la lámpara depende del tipo de lámpara utilizado y, en el caso de lámparas de descarga, del ciclo de encendido. Los fallos en las lámparas causan no sólo una reducción en los niveles de iluminancia, sino que también pueden ocasionar una reducción inaceptable en el grado de uniformidad de la iluminación.

### Factor de mantenimiento ( $f_m$ )

El  $f_m$  se define como la razón de la iluminancia producida por la instalación de iluminación a un tiempo especificado, a la iluminancia producida por la misma instalación cuando es nueva.

El  $f_m$ , por lo tanto, combina las pérdidas causadas por la depreciación del flujo de la lámpara, la depreciación de la luminaria y la depreciación de la superficie de la habitación. Si cada una de estas causas de depreciación está cuantificada por un periodo específico de uso, se obtiene un factor general, producto de los tres factores.

$$f_m = \text{factor pérdida flujo lámpara} \times \text{factor pérdida luminaria} \times \text{factor pérdida superficie habitación}$$

Calculado el factor de pérdida de luz para diferentes situaciones de mantenimiento, es posible predecir la situación de la iluminancia producida por la instalación en relación con el tiempo transcurrido.

## 10.7. Cálculos de iluminación interior

### 10.7.1. Niveles de iluminación y recomendaciones

Antes de comenzar los cálculos de iluminación, hay que obtener los valores requeridos para el tipo de actividad a desarrollar en el local que queremos iluminar. Dichos valores los podemos encontrar al final de capítulo y son:

- Iluminancia media en servicio.
- Calidad de limitación del deslumbramiento.

Además de estos requerimientos, también son fundamentales los valores de las dimensiones del local y de la altura del plano de trabajo, así como la cota de montaje de las luminarias.

### 10.7.2. Índice del local

Los locales a iluminar se clasifican según la relación que existe entre sus dimensiones, la altura de montaje y el tipo de alumbrado. Es lo que denominamos índice del local y nos sirve después para determinar el *factor de utilización*.

Se calcula de la siguiente forma:

- Para luminarias directas, semidirectas, directas-indirectas y general difusa:

$$\text{Relación del local} = \frac{A \cdot L}{h \cdot (A + L)}$$

- Para luminarias indirectas y semi-indirectas:

$$\text{Relación del local} = \frac{3 \cdot A \cdot L}{2 \cdot h \cdot (A + L)}$$

En ambas fórmulas:

A = Ancho del local (m.).

L = Longitud del local (m.).

h = Altura de montaje (m.). Se considera la distancia que hay desde la luminaria hasta el plano útil o de trabajo.

La altura del local, H, es suma de la cota de suspensión de la luminaria, C, más la altura de montaje, h, y más los 0'85\* m. a los que está el plano de trabajo del suelo.

Como H y C son datos previos de la instalación, se calcula la altura de montaje mediante la fórmula:

$$h = H - C - 0'85 \text{ (m.)}$$

### 10.7.3. Factor de mantenimiento ( $f_m$ )

En términos generales, se pueden establecer los factores de mantenimiento que aparecen en la Tabla 3, que son función del ambiente de trabajo. Este factor se obtiene por multiplicación de tres factores (la depreciación del flujo de la lámpara, la depreciación de la luminaria y la depreciación de la superficie de la habitación) como ya habíamos comentado anteriormente.

Ambiente de trabajo	$F_m$
Acerías, fundiciones	0'65
Industrias de soldadura, mecanizado	0'70
Oficinas industriales, salas	0'75
Patios de operaciones, locales públicos	0'80
Despachos, oficinas comerciales, informáticas	0'85

Tabla 3

### 10.7.4. Factor de utilización o utilancia ( $f_u$ )

El factor de utilización de un sistema de alumbrado es la relación entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo y el flujo total que emiten las lámparas instaladas.

Este es un dato muy importante para el cálculo del alumbrado y depende de la diversidad de factores, como son: el valor adecuado de nivel de iluminación, el sistema de alumbrado, las luminarias, las dimensiones del local, la reflexión (techos, paredes y suelo) y el factor de mantenimiento.

En general, para su determinación, se utiliza el método de las reflectancias y existen, actualmente, muchas situaciones y valores tabulados según cada fabricante e incluso programas de ordenador para usuarios. A la hora de manejar este factor, hay que tener en cuenta si éste está o no multiplicado por el rendimiento de la luminaria ( $\eta$ ), para su posterior uso en la fórmula de cálculo de alumbrado.

\* Distancia a la que está el plano de trabajo del suelo según la NTE (Norma Tecnológica de Edificación).

### 10.7.5. Proceso de cálculo

Actualmente este proceso está informatizado (programa **INDALWIN**), pero vamos a indicar en este apartado el proceso a seguir para realizar un proyecto de iluminación en un interior, teniendo en cuenta las recomendaciones que establece la C.I.E. en cuanto a iluminancias de servicio, calidad de limitación de deslumbramiento directo y el grupo de rendimiento de color (IRC o Ra) más recomendado para una instalación concreta (almacenes, oficinas, aulas, etc.). Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1) Características geométricas del local.
- 2) Características de reflexión de las diferentes superficies.
- 3) Obtención de los valores requeridos para el tipo de actividad a desarrollar en el local (iluminancia media de servicio, calidad limitación del deslumbramiento, IRC), de las tablas de la C.I.E.
- 4) Seleccionar el tipo de luminaria a instalar en función de las características del local, el cual nos definirá si la luminaria es de empotrar en falso techo, de adosar o suspender.
- 5) Comprobar que la luminaria cumple la calidad de limitación de deslumbramiento directo.
- 6) Como el nivel medio es el que se mantendrá en la instalación, es preciso aplicar, a los valores iniciales, unos coeficientes de depreciación de la misma. Éstos son los vistos anteriormente.
- 7) Cuando realizamos el cálculo de la iluminación de un local por el método del factor de utilización, es necesario conocer el rendimiento de la luminaria y el factor de utilización (para lo que necesitamos saber el valor de K y las reflexiones de techo, paredes y suelo).
- 8) Una vez que tenemos todos los datos, aplicamos la fórmula fundamental de la iluminación:

donde:

$$E_{ms} = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta \cdot f_u \cdot f_m}{S}$$

$E_{ms}$  = Iluminación media en servicio.

$\Phi$  = Flujo luminoso unitario de la lámpara.

$N$  = Número de lámparas (a determinar).

$\eta$  = Rendimiento de la luminaria.

$f_u$  = Factor de utilización.

$f_m$  = Factor de mantenimiento.

$S$  = Superficie a iluminar.

## 10.8. Algunos niveles de iluminación recomendados

Áreas de construcción en general

Tipo de área	Iluminancia en servicio (lux)	Clase de calidad
Áreas de circulación corredores	100	D-E
Baños, servicios	100	C-D
Negocios, depósitos	100	D-E
Escaleras, escaleras mecánicas	150	C-D

### Talleres de montaje

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Trabajo preliminar: montaje maquinaria pesada	300	C-D
Trabajo intermedio: montaje de motores y cuerpo del vehículo	500	B-C
Trabajo fino: montaje de maquinaria de oficina y electrónica	750	A-B
Trabajo refinado: montaje de instrumentos	1.500	A-B

### Industrias del caucho, del plástico y química

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Procesos automáticos	150	C-D
Área general de planta interior	300	C-D
Salas de control, laboratorios	500	C-D
Elaboración farmacéutica	500	C-D
Fabricación de neumáticos	500	C-D
Inspección	750	A-B
Combinación de colores	1.000	A-B

### Fábricas de indumentaria

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Planchado	500	A-B
Costura	750	A-B
Inspección	1.000	A-B

### Industria eléctrica

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Fabricación de cables	300	B-C
Devanado de bobina	500	A-B
Montaje de teléfonos, radios, Tos	1.000	A-B
Evaluación, ajuste	1.000	A-B
Montaje de partes de ultra-precisión componentes electrónicos	1.500	A-B

### Industria alimenticia

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Proceso automático	200	D-E
Áreas de trabajo general	300	C-D
Decoración artesanal	500	A-B

### Fundiciones

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Áreas de fundición	200	D-E
Moldura preliminar, construcción de núcleos preliminares	300	C-D
Moldura fina, construcción de núcleos, inspección	500	A-B

### Fábrica de vidrios y alfarería

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Hornos/salas de hornos	150	D-E
Salas de mezclado, salas de formación, moldura y horneado	300	C-D
Acabado, esmaltado y lustre	300	B-C
Pulido y grabado a máquina	500	B-C
Pulido y grabado a mano	750	A-C
Trabajo refinado	1.000	A-B

### Talleres metalúrgicos

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Plantas de producción totalmente automáticas	50	D-E
Plantas de producción semi-automáticas	200	D-E
Estaciones de trabajo con personal permanente en las plantas de producción	300	D-E
Plataformas de control e inspección	500	A-B

### Industria del cuero

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Áreas de trabajo general	300	B-C
Prensado, corte, costura, fabricación de zapatos	750	A-B
Clasificación, apilado, control de calidad	1.000	A-B

## Talleres de máquinas y ajustes

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Fundición de partes pequeñas	200	D-E
Banco preliminar y trabajo a máquina, soldadura	300	C-D
Banco intermedio y trabajo a máquina	500	B-C
Banco fino y trabajo a máquina, inspección y verificación	750	A-B
Trabajo refinado, medición e inspección de las pequeñas partes complejas	1.500	A-B

## Talleres de pintura y cabinas de rociado

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Lavado, rociado preliminar	500	C-D
Rociado y pintura general	750	B-C
Pintura fina, rociado y acabado, retoque y mezcla	1.000	A-B

## Fábrica de papel

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Procesos automáticos	200	D-E
Fabricación de cartón y papel	300	C-D
Inspección, clasificación	500	A-B

## Impresiones y encuadernaciones

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Máquina impresora	500	C-D
Encuadernación	500	A-B
Salas de composición, corrección, recortes, realzado	750	A-B
Retocado, grabado	1.000	A-B
Reproducción del color e impresión	1.500	A-B
Grabado de cobre y acero	2.000	A-B

## Industrias textiles

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Cardado, dibujo	300	D-E
Hilado, devanado, teñido	500	C-D
Retorcido, tejido	750	A-B
Costura, inspección	1.000	A-B

### Artesanías en madera y fabricación de muebles

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Aserraderos	200	D-E
Banco de trabajo, montaje	300	C-D
Máquinas para trabajar la madera	500	B-C
Acabado	750	A-B
Inspección final, control de calidad	1.000	A-B

### Oficinas

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Archivos	200	C-D
Salas de conferencia	300	A-B
Oficinas generales, mecanografía, salas con actividades realizadas en pantallas de ordenadores	500	A-B
Oficinas abiertas y profundas	750	A-B
Oficinas de dibujo	1.000	A-B

### Escuelas

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Talleres, bibliotecas, salas de lectura	300	A-B
Aulas de clase, aulas de conferencias, laboratorios, aulas de arte, gimnasios	500	A-B

### Negocios y tiendas

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Negocios convencionales	300	B-C
Autoservicios	500	B-C
Supermercados, almacenes	750	B-C



## Edificios públicos

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Auditorio cines	50	B-C
Vestíbulo cines	150	B-C
Auditorio de teatros y salas de conciertos	100	B-C
Vestíbulos de teatros y salas de conciertos	200	B-C
Exposición de objetos sensitivos a la luz en museos y galerías de arte	150	B-C
Exposición de objetos no sensitivos a la luz en museos y galerías de arte	300	B-C
Nave de iglesias	100	B-C
Coro, Altar y púlpito de iglesias	300	B-C

## Casas

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Dormitorio en general	50	B-C
Cabecera del dormitorio	200	B-C
Baño en general	100	B-C
Lugar para afeitarse y maquillarse en el baño	500	B-C
Vivienda en general	100	B-C
Lugar para leer y coser	500	B-C
Escaleras	100	B-C
Cocina en general	300	B-C
Área de trabajo en la cocina	500	B-C
Escritorio	300	B-C
Cuarto de los niños	100	B-C

## Hoteles y restaurantes

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Comedores	200	B-C
Cuarto de huéspedes y baños en general	100	B-C
Cuarto de huéspedes y baños local	300	B-C
Entradas y salas de conferencia en general	300	B-C
Cocinas	500	B-C

Hospitales

Tipo de área	Iluminación en servicio (lux)	Clase de calidad
Pasillos por la noche	50	A-B
Pasillos por día/tarde	200	A-B
Iluminación general para guardias	150	A-B
Iluminación general para salas de exámenes	500	A-B
Iluminación general para exámenes locales	1.000	A-B
Observación en terapia intensiva	750	A-B
Enfermerías	300	A-B
Sala de pre-operación	500	A-B
Iluminación general de la sala de operaciones	1.000	A-B
Iluminación local de la sala de operaciones	100.000	A-B
Iluminación general en salas de autopsias	750	A-B
Iluminación local en salas de autopsias	5.000	A-B
Iluminación general de laboratorios y farmacias	750	A-B
Iluminación local de laboratorios y farmacias	1.000	A-B
Iluminación general de salas de consulta	500	A-B
Iluminación local de salas de consulta	750	A-B