

LUMINARIAS

7.1.	Generalidades	69
7.2.	Clasificación de luminarias por el grado de protección eléctrica	70
7.3.	Clasificación de luminarias por condiciones operativas	70
7.4.	Grado de inflamabilidad de la superficie de montaje	71
7.5.	Clasificación de las luminarias por sus condiciones de servicio	72
7.6.	Datos básicos fotométricos	85
7.7.	Eficiencia de las luminarias	86

7.1. Generalidades

Debido a la muy alta *luminancia* de las lámparas, es preciso aumentar la superficie aparente de emisión para evitar molestias visuales (deslumbramientos). Por otro lado, es necesario apantallar las lámparas para protegerlas de los agentes exteriores y para que dirijan el flujo en la forma más adecuada a la tarea visual.

De esta forma, los distintos estudios e investigaciones contemporáneos le dan una importancia capital al conjunto formado por la lámpara y la luminaria.

Según la Norma UNE-EN 60598-1*, se define **luminaria** como *aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas, (excluyendo las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación.*

Elementos generales

Con independencia de otras definiciones que puedan ser más o menos descriptivas, podríamos definir la luminaria como un objeto formado por un conjunto de elementos destinados a proporcionar una adecuada radiación luminosa de origen eléctrico. La materialización de esos elementos pasa en cada caso por la conjunción entre un buen diseño formal y una razonable economía de medios.

Al primero corresponde resolver el control luminoso según las necesidades, que es el fin primordial; un control térmico que haga estable su funcionamiento; y un control eléctrico que ofrezca las debidas garantías al usuario. Al segundo corresponde prever un producto de fabricación sólida y eficaz; una relativa sencillez en su instalación; y un mínimo mantenimiento durante su uso.

En cuanto a los elementos genéricos más característicos, cabe mencionar la carcasa o armadura, el equipo eléctrico, el reflector, la celosía o difusor y el filtro. Todos ellos definen, al mismo tiempo, otras tantas clasificaciones que veremos posteriormente.

1. Armadura o carcasa: Es el elemento físico mínimo que sirve de soporte y delimita el volumen de la luminaria conteniendo todos sus elementos. Por este concepto pueden distinguirse varios tipos:
 - Para interiores o exteriores.
 - De superficie o empotradas.
 - Suspendidas o de carril.
 - De pared, para brazo o sobre columna.
 - Abierta, cerrada o estanca.
 - Para ambientes normales o de riesgo (de corrosión o explosión).
2. Equipo eléctrico: Sería el adecuado a los distintos tipos de fuentes de luz artificial y en función de la siguiente clasificación:
 - Incandescentes normales sin elementos auxiliares.
 - Halógenas de alto voltaje a la tensión normal de la red, o de bajo voltaje con transformador o fuente electrónica.
 - Fluorescentes. Con reactancias o balastos, condensadores e ignitores, o conjuntos electrónicos de encendido y control.
 - De descarga. Con reactancias o balastos, condensadores e ignitores, o conjuntos electrónicos de encendido y control.
3. Reflectores: Son determinadas superficies en el interior de la luminaria que modelan la forma y dirección del flujo de la lámpara. En función de cómo se emita la radiación luminosa pueden ser:
 - Simétrico (con uno o dos ejes) o asimétrico.
 - Concentrador (haz estrecho menor de 20°) o difusor (haz ancho entre 20 y 40°; haz muy ancho mayor de 40°).
 - Especular (con escasa dispersión luminosa) o no especular (con dispersión de flujo).
 - Frío (con reflector dicróico) o normal.
4. Difusores: Elemento de cierre o recubrimiento de la luminaria en la dirección de la radiación luminosa. Los tipos más usuales son:
 - Opal liso (blanca) o prismática (metacrilato traslúcido).
 - Lamas o reticular (con influencia directa sobre el ángulo de apantallamiento).
 - Especular o no especular (con propiedades similares a los reflectores).
5. Filtros: En posible combinación con los difusores sirven para potenciar o mitigar determinadas características de la radiación luminosa.

* La Norma UNE-EN 60598-1 adopta la Norma Internacional CIE 598-1.

7.2. Clasificación de luminarias por el grado de protección eléctrica

Las luminarias deben asegurar la protección de las personas contra los contactos eléctricos. Según el grado de aislamiento eléctrico, las luminarias pueden clasificarse como:

Clase 0: Luminaria con aislamiento funcional, pero sin aislamiento doble ni reforzado en su totalidad y sin conexión a tierra.

Clase I: Luminaria con al menos aislamiento funcional en su totalidad y con el terminal o contacto de conexión a tierra.

Clase II: Luminaria con aislamiento doble y/o aislamiento reforzado en su totalidad y sin provisión para descarga a tierra.

Clase III: Luminaria diseñada para ser conectada a circuitos de voltaje extra-bajo, y que no tiene circuitos, ni internos ni externos, que operen a un voltaje que no sea el extra-bajo de seguridad.

7.3. Clasificación de luminarias por condiciones operativas

El sistema IP (International Protection – Protección Internacional) fijado por la UNE-EN 60598 clasifica las luminarias de acuerdo con el grado de protección que poseen contra el ingreso de cuerpos extraños, polvo y humedad. El término cuerpos extraños incluye aquellos elementos herramientas y dedos que entran en contacto con las partes que llevan energía.

La designación para indicar los grados de protección consiste en las letras características de IP seguidas por dos números (tres números en Francia) que indican el cumplimiento de las condiciones establecidas en las tablas 1., 2. y 3. El primero de estos números es una indicación de la protección contra el ingreso de cuerpos extraños y polvo, el segundo número indica el grado de sellado para evitar el ingreso de agua, mientras que el tercer número en el sistema francés indica el grado de resistencia a los impactos.

Primer número característico	Breve descripción	Símbolo
0	No protegida.	No tiene
1	Protegida contra objetos sólidos mayores de 50 mm.	No tiene
2	Protegida contra objetos sólidos mayores de 12'5 mm.	No tiene
3	Protegida contra objetos sólidos mayores de 2'5 mm.	No tiene
4	Protegida contra objetos sólidos mayores de 1 mm.	No tiene
5	Protegida contra polvo.	
6	Hermética al polvo.	

Tabla 1. Clasificación EN-60598 por grado de protección contra polvo (1ª cifra).

Segundo número característico	Breve descripción	Símbolo
0	No protegida.	No tiene
1	Protegida contra gotas de agua en caída vertical.	
2	Protegida contra caída de agua verticales con una inclinación máxima de 15° de la envolvente.	No tiene
3	Protegida contra el agua en forma de lluvia fina formando 60° con la vertical como máximo.	
4	Protegida contra proyecciones de agua en todas las direcciones.	
5	Protegida contra chorros de agua en todas las direcciones.	
6	Protegida contra fuertes chorros de agua en todas las direcciones.	No tiene
7	Protegida contra efectos de inmersión temporal en agua.	
8	Protegida contra la inmersión continua en agua.	

Tabla 2. Clasificación EN-60598 por grado de protección contra el agua (2ª cifra).

Tercera cifra del código

Esta cifra hace referencia a ensayos mecánicos a choque. En la siguiente tabla se indican las cifras características con una breve descripción.

Tercer número característico	Breve descripción	Símbolo
0	Ninguna protección	No tiene
1	Protección contra un impacto de 0,225 J. de energía	No tiene
3	Protección contra un impacto de 0,5 J. de energía	No tiene
5	Protección contra un impacto de 2 J. de energía	No tiene
7	Protección contra un impacto de 6 J. de energía	No tiene
9	Protección contra un impacto de 20 J. de energía	No tiene

Tabla 3. Clasificación EN-60598 contra impactos mecánicos.

En lugar de esta tercera cifra, también es de aplicación la Norma EN-50102 sobre "Grados de Protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra impactos mecánicos externos (código IK)".

En dicha Norma, el grado de protección proporcionado por una envolvente contra los impactos se indica mediante el código IK de la siguiente forma:

- Letras del código (protección mecánica internacional): IK
- Grupo de cifras características: De 00 a 10

Cada grupo de cifras características representa un valor de la energía de impacto, cuya correspondencia se presenta en la Tabla 4.

Código IK	IK00	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Energía de impactos en Julios.	*	0,15	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20

Tabla 4. Correspondencia entre código IK y la energía de impacto.

Generalmente, el grado de protección se aplica a la envolvente en su totalidad. Si algunas partes de esta envolvente tienen grados de protección diferentes, éstos deben indicarse por separado.

7.4. Grado de inflamabilidad de la superficie de montaje

Las luminarias no pueden ser montadas sobre cualquier superficie conveniente. La inflamabilidad de esa superficie y la temperatura del cuerpo de la luminaria imponen ciertas restricciones al respecto. Naturalmente, si la superficie es no-combustible, no existe ningún problema.

A los fines de la clasificación, la EN-60598 define a las superficies inflamables como normalmente inflamables o fácilmente inflamables. La clasificación *normalmente inflamable* hace referencia a aquellos materiales cuya temperatura de ignición es de al menos 200 °C y que no se debilitan ni deforman a esa temperatura.

La clasificación *fácilmente inflamable* hace referencia a aquellos materiales que no pueden ser clasificados como normalmente inflamables o no-combustibles. Los materiales de esta categoría no pueden ser utilizados como superficie de montaje para luminarias. El montaje suspendido es la única alternativa en estos casos.

En la Tabla 5 se puede observar la clasificación de montaje que se ha hecho sobre la base de estos requerimientos.

Clasificación	Símbolo
Luminarias adecuadas para montaje directo sólo sobre superficies no combustibles.	Sin símbolo, sólo se requiere una nota de advertencia.
Luminarias adecuadas para montaje directo sobre superficies normalmente inflamables.	 Sobre la placa de tipo.

Tabla 5. Clasificación de la EN-60598 para montaje de luminarias.

7.5. Clasificación de las luminarias por sus condiciones de servicio

Por sus condiciones de servicio, las luminarias se pueden clasificar en los siguientes tipos:

7.5.1. Luminarias para instalaciones de iluminación interior

Entendemos que dentro de este grupo están las luminarias destinadas a la iluminación de locales y naves dedicadas a centros comerciales, industrias, oficinas, edificios docentes, instalaciones deportivas cubiertas, etc. Por lo tanto, este tipo de alumbrado trata de dotar de la iluminación adecuada a aquellos lugares donde se desarrolla una actividad laboral o docente.

Las luminarias para la iluminación general de interiores se encuentran clasificadas por la C.I.E. de acuerdo con el porcentaje de flujo luminoso total distribuido por encima y por debajo del plano horizontal.

Clase de luminaria	% distribución del flujo hacia arriba	% distribución del flujo hacia abajo
Directa	0 - 10	90 - 100
Semi-directa	10 - 40	60 - 90
Directa-indirecta	40 - 60	40 - 60
General difusa	40 - 60	40 - 60
Semi-indirecta	60 - 90	10 - 40
Indirecta	90 - 100	0 - 10

Tabla 6. Clasificación C.I.E. para luminarias de iluminación general de interiores.

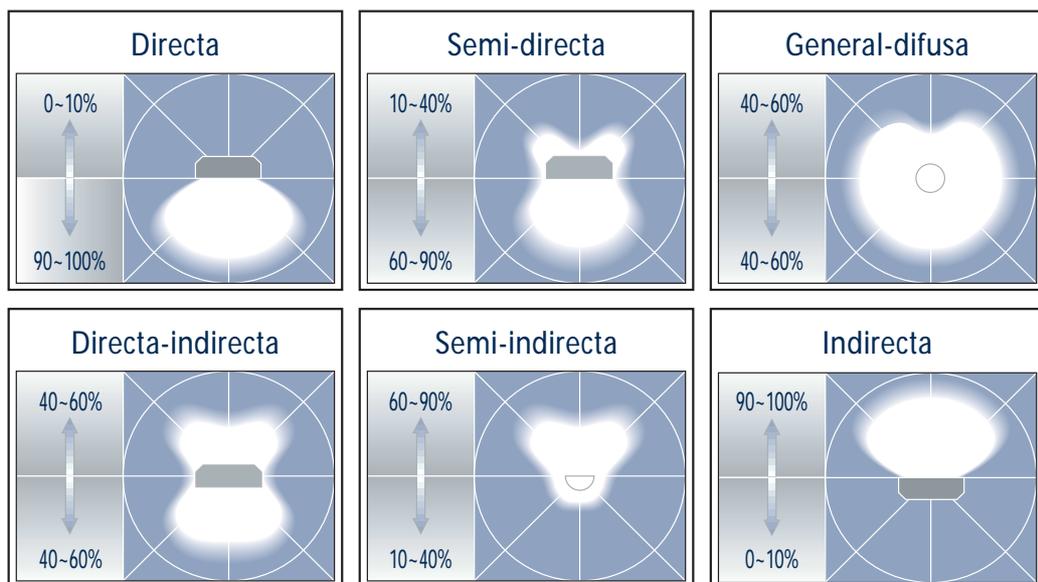


Figura 1. Clasificación de luminarias según la radiación del flujo luminoso.

A su vez, con respecto a la simetría del flujo emitido, se puede hacer una clasificación en dos grupos:

- 1) *Luminarias de distribución simétrica:* Aquellas en las que el flujo luminoso se reparte de forma simétrica respecto al eje de simetría y la distribución espacial de las intensidades luminosas se puede representar en una sola curva fotométrica.
- 2) *Luminarias de distribución asimétrica:* Son aquellas en las que el flujo luminoso se distribuye de forma no simétrica respecto al eje de simetría y la distribución espacial de las intensidades luminosas se expresa mediante un sólido fotométrico o, parcialmente, con una curva plana de dicho sólido según diversos planos característicos.

Información fotométrica que acompaña a las luminarias para iluminación interior

Curvas de distribución polar

Estas curvas generalmente se suelen representar para el sistema de coordenadas C- γ . Como existen infinitos planos, se dan en general tres planos C representados, que son:

- El plano $C = 0^\circ$.
- El plano $C = 45^\circ$.
- El plano $C = 90^\circ$.

Las curvas de distribución polar están en las unidades de cd por 1.000 lúmenes de flujo emitido por lámpara y se representa por cd/1.000 lm o cd/Klm. (Fig. 2).

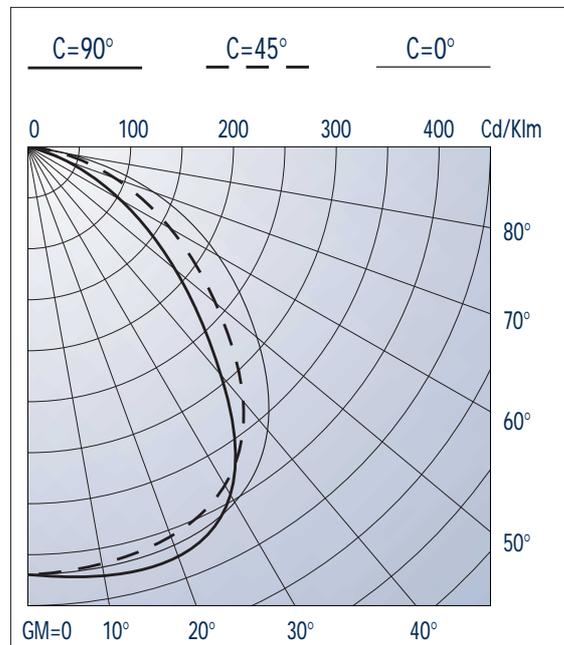


Figura 2. Diagrama polar en el sistema C- γ .

Diagrama de flujo zonal

Estos diagramas nos indican el flujo recibido por la superficie a iluminar directamente desde la luminaria en función del ángulo γ . La obtención de este diagrama se basa en la creación de conos cuyos ejes coinciden con el vertical de la luminaria y los ángulos de generatriz con este eje son los ángulos γ . El tanto por ciento de luz recogida por cada uno de estos conos es lo que se representa en el diagrama (Fig. 3).

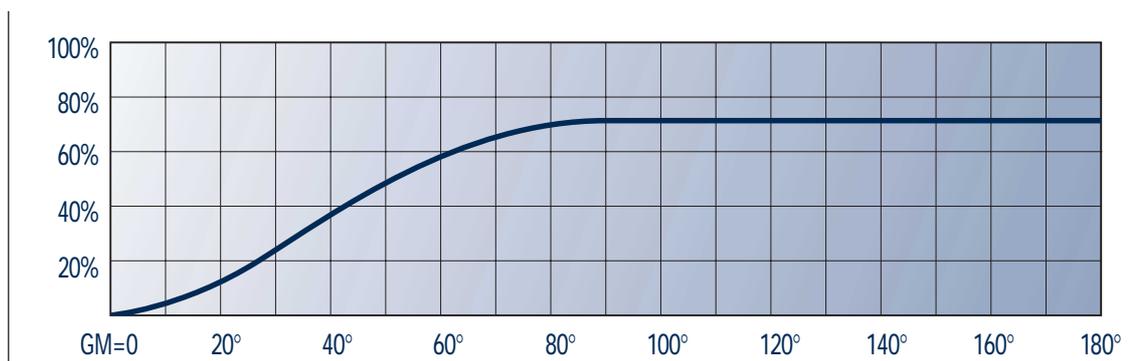


Figura 3. Diagrama de Flujo Zonal.

Para luminarias concentradoras, a partir de ángulos pequeños se obtendrá un alto porcentaje de flujo, por lo que el diagrama inicialmente mostrará una curva de gran pendiente en los primeros ángulos y a partir de un cierto ángulo se mantiene prácticamente paralela al eje de abscisas. Esto es debido a que casi la totalidad del flujo se distribuye en ángulos pequeños, es decir, se concentra en un pequeño rango de ángulos.

Para luminarias dispersoras el diagrama mostrará una curva de pendiente más atenuada, ya que el flujo varía poco a poco a medida que aumentamos el ángulo.

Diagrama de deslumbramiento

Estos diagramas se basan en el *Sistema de protección del deslumbramiento de la C.I.E.* Las curvas que representan estos diagramas son de limitación de la luminancia. Dichas curvas abarcan una escala de índices de deslumbramiento (clases de calidad desde A a la E marcadas por la C.I.E.) y diferentes valores de iluminancia de servicio standard.

Se deben utilizar dos diagramas que dependen del tipo de luminaria y de la orientación según la visión.

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

En la Fig. 4a y 4b se muestran los 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.

Se define:

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

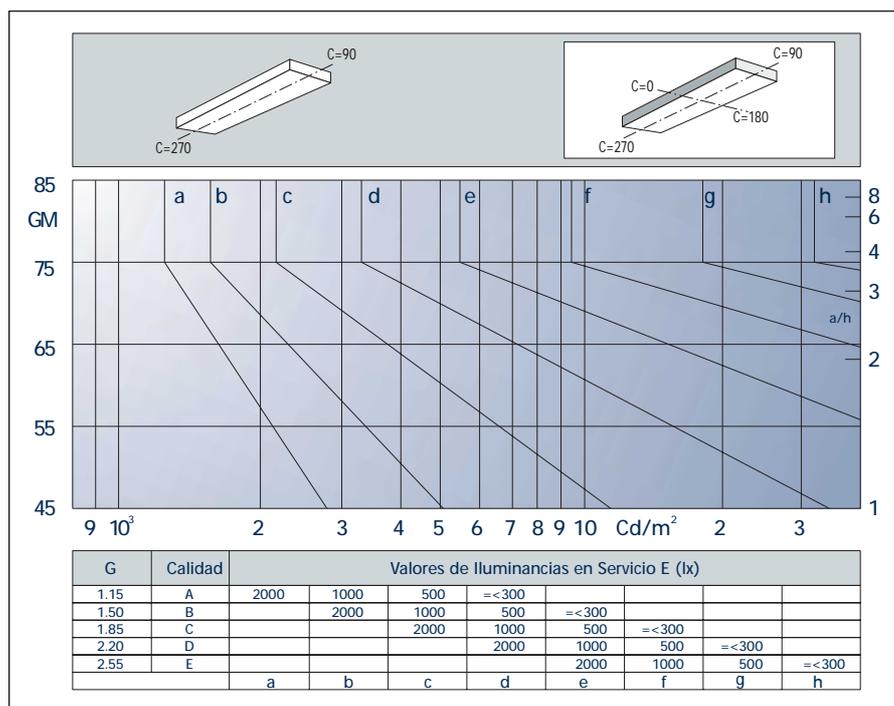


Figura 4a. Diagramas de deslumbramiento.

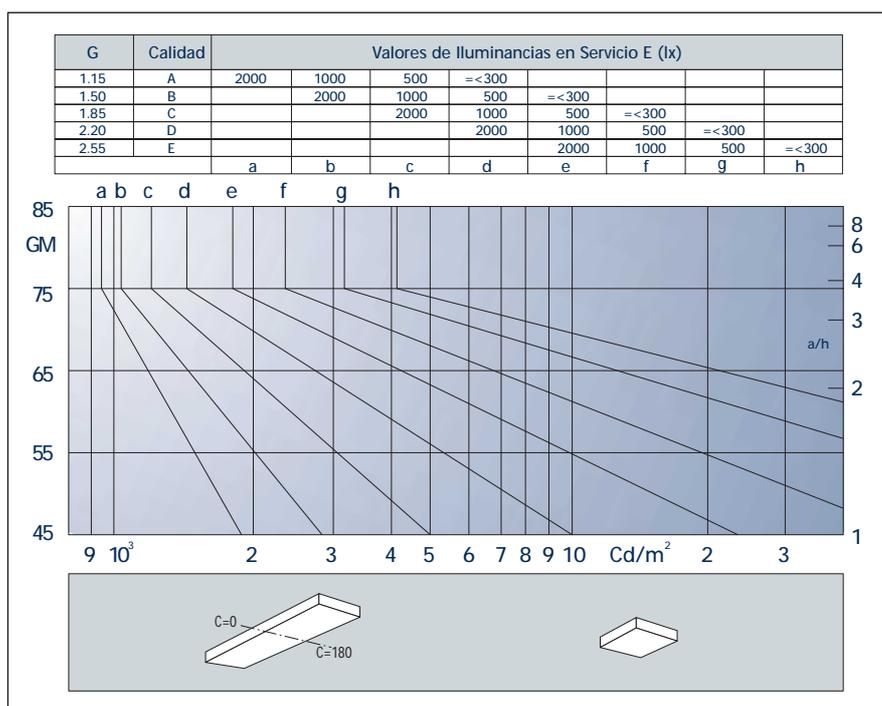


Figura 4b. Diagramas de deslumbramiento.

Al utilizar los diagramas de la Fig. 4a y 4b se debe considerar la distribución de la luminancia de la luminaria en dos planos verticales: el plano $C_0 - C_{180}$ paralelo al eje del interior, la distribución de la luminancia 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 luminaria en el plano $C_{90} - C_{270}$ se utiliza para verificar la limitación del deslumbramiento en la dirección transversal al lugar a iluminar. Cuando las luminarias se montan con el plano $C_{90} - C_{270}$ paralelo al eje longitudinal del interior, dicho plano se debe utilizar para verificar la limitación del deslumbramiento en la dirección longitudinal del lugar, y la distribución de la luminancia en el plano $C_0 - C_{180}$ para evitar la limitación del deslumbramiento en el sentido transversal del lugar. 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. Estos diagramas se usan generalmente para luminarias de iluminación interior.

7.5.2. Luminarias para instalaciones de iluminación pública

Dentro de este tipo grupo tenemos luminarias de parques y jardines así como las de iluminación pública viaria. Para las primeras, son instalaciones típicas, como su nombre indica, parques, jardines, zonas residenciales, etc. En el segundo tipo tenemos vías urbanas, autopistas, túneles, etc.

La C.I.E. ha introducido un nuevo sistema para la clasificación de las luminarias para iluminación de viales y así sustituir al sistema que introdujo en el año 1965, en el que se hacía la clasificación cut-off, semi-cut-off y non-cut-off. No obstante, el antiguo sistema sigue siendo utilizado en ciertas recomendaciones nacionales para la iluminación de viales. En la Tabla 7 mostramos el sistema antiguo.

Tipo de luminaria	Valor máximo permitido de intensidad emitida a un ángulo de elevación de 80°	Valor máximo permitido de intensidad emitida a un ángulo de elevación de 90°	Dirección de la intensidad máxima menor de
Cut – off	30 cd / 1.000 lm	10 cd / 1.000 lm*	65°
Semi cut – off	100 cd / 1.000 lm	50 cd / 1.000 lm*	76°
Non cut – off	Cualquiera		-

Tabla 7. Clasificación de la C.I.E. de 1965.

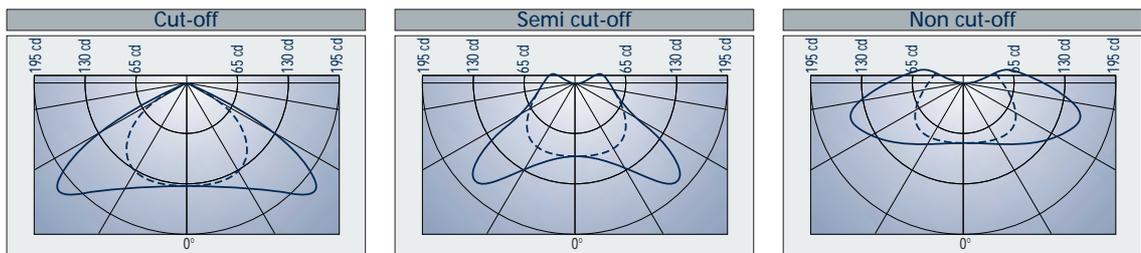


Figura 5. Ejemplos de curvas fotométricas con su clasificación.

La nueva clasificación de luminarias de la C.I.E. que reemplaza a la anterior se basa en tres propiedades básicas de las luminarias:

1. La extensión a la cual la luz de la luminaria se distribuye a lo largo de un camino: El “alcance” de la luminaria.
2. La cantidad de diseminación lateral de la luz, a lo ancho de un camino: La “apertura”.
3. El alcance de la instalación para controlar el deslumbramiento producido por la luminaria: El “control” de la luminaria.

El **alcance** está definido por el ángulo γ_{max} que forma el eje del haz con la vertical que va hacia abajo. El eje del haz está definido por la dirección de la bisectriz del ángulo formado por las dos direcciones de 90% I_{max} en el plano vertical de intensidad máxima.

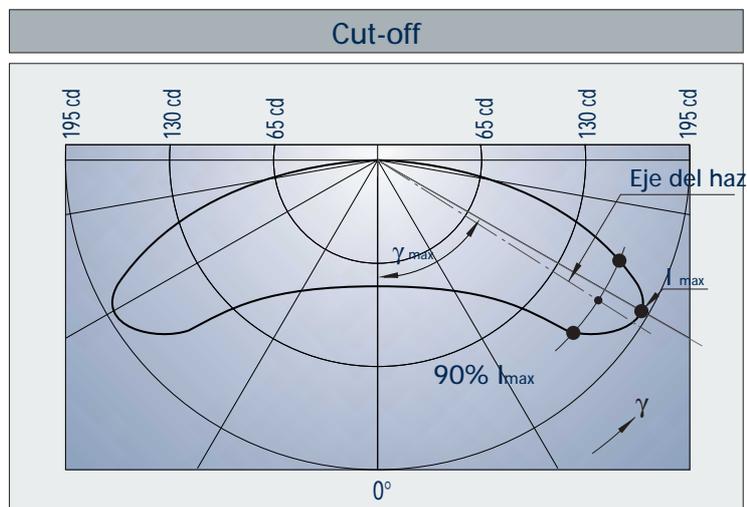


Figura 6. Curva polar de intensidad en el plano que contiene la intensidad luminosa máxima, que indica el ángulo utilizado para la determinación del alcance.

Se definen tres grados de alcance de la manera siguiente:

- $\gamma_{max} < 60^\circ$: alcance corto.
- $70^\circ \geq \gamma_{max} \geq 60^\circ$: alcance medio.
- $\gamma_{max} > 70^\circ$: alcance largo.

* Hasta un valor máximo absoluto de 1.000 cd.

La **apertura o dispersión** está definida por la posición de la línea, que corre paralela al eje del camino y que apenas toca el lado más alejado del 90% I_{max} en el camino. La posición de esta línea está definida por el ángulo γ_{90} .

Los tres grados de apertura se definen de la siguiente manera:

- $\gamma_{90} < 45^\circ$: apertura estrecha.
- $55^\circ \geq \gamma_{90} \geq 45^\circ$: apertura media.
- $\gamma_{90} > 55^\circ$: apertura ancha.

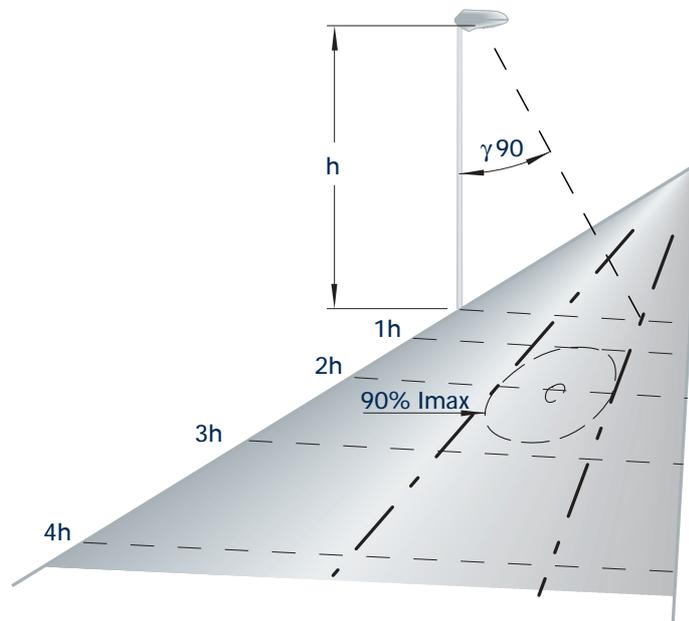


Figura 7. Apertura o dispersión.

Tanto el alcance como la apertura de una luminaria pueden ser mejor determinados a partir de un diagrama de isocandela en la proyección azimutal (Fig. 8).

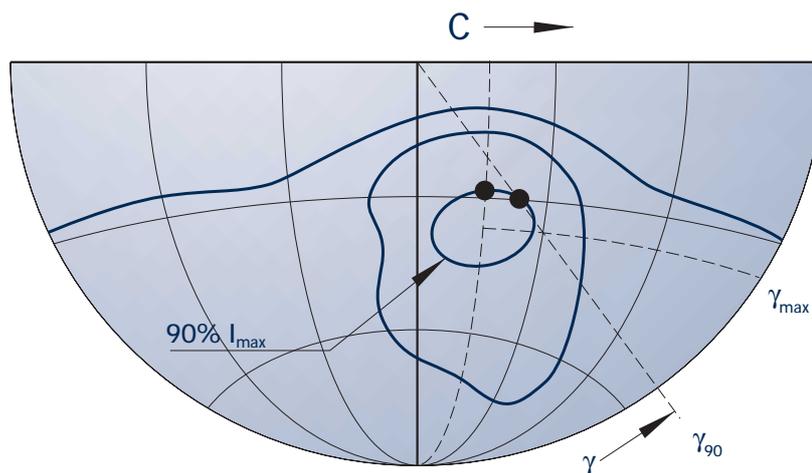


Figura 8. Diagrama de isocandela relativo en proyección azimutal (sinusoidal), que indica los ángulos γ_{max} e γ_{90} utilizados para la determinación de la apertura y alcance.

En la Fig. 9 se indica sobre un plano del camino, la cobertura dada por los tres grados de alcance y apertura en términos de la altura de montaje de la luminaria (h).

El control está definido por el índice específico de la luminaria, SLI de la luminaria. Este es parte de la fórmula G de control del deslumbramiento molesto que está determinado sólo por las propiedades de la luminaria.

$$SLI = 13,84 - 3,31 \cdot \log(I_{80}) + 1,3 \cdot \log\left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right)^{0,5} - 0,08 \cdot \log\left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right) + 1,29 \cdot \log(F) + C$$

donde:

I_{80} = Intensidad luminosa a un ángulo de elevación de 80°, en un plano paralelo al eje de la calzada (cd).

$\frac{I_{80}}{I_{88}}$ = Relación entre intensidades luminosas para 80° y 88°.

F = Área emisora de luz de las luminarias (m²) proyectadas en la dirección de elevación a 76°.

C = Factor de color, variable de acuerdo al tipo de lámpara (+0.4 para sodio baja presión y 0 para las otras).

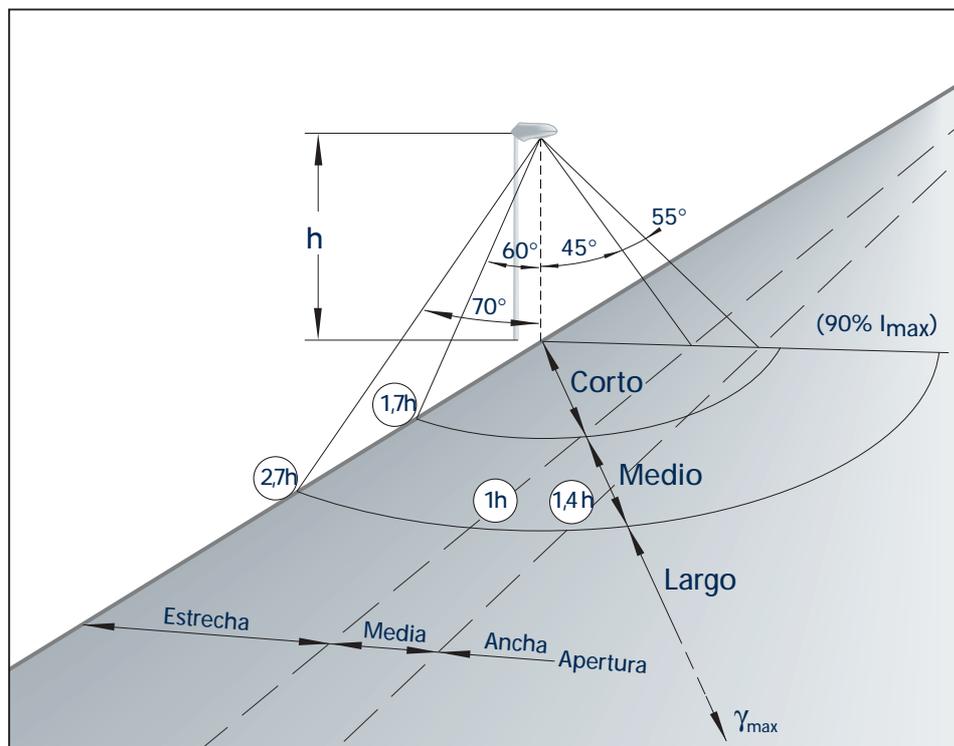


Figura 9. En esta figura se muestra los tres grados de alcance y apertura definidos por la C.I.E., donde "h" es la altura de montaje de la luminaria.

En el caso del control, también se recomiendan tres grados, que son los siguientes:

- SLI < 2 : control limitado.
- $4 \geq SLI \geq 2$: control moderado.
- SLI > 4 : control estricto.

En la siguiente tabla ofrecemos resumidas las definiciones anteriores de la C.I.E.

Alcance	Apertura	Control
Corto $\gamma_{max} < 60^\circ$	Estrecha $\gamma_{90} < 45^\circ$	Limitado SLI < 2
Medio $70^\circ \geq \gamma_{max} \geq 60^\circ$	Media $55^\circ \geq \gamma_{90} \geq 45^\circ$	Moderado $4 \geq SLI \geq 2$
Largo $\gamma_{max} > 70^\circ$	Ancha $\gamma_{90} > 55^\circ$	Estricto SLI > 4

Tabla 8. Sistema de clasificación de la C.I.E. de propiedades fotométricas de luminarias.

Información fotométrica que acompaña a las luminarias de iluminación viaria

Diagramas de curvas de distribución polar

Estas curvas generalmente se suelen representar para el sistema de coordenadas C- γ . Como existen infinitos planos, se dan en general tres planos C representados, que son:

- El plano transversal (C = 90° y 270°). Este plano sería, en una luminaria para iluminación viaria, perpendicular al eje de la carretera.
- El plano longitudinal (C = 0° y 180°). Este plano sería, en una luminaria para iluminación viaria, paralelo al eje de la carretera.
- El plano en el que se encuentra la intensidad máxima. Este plano generalmente es denominado plano vertical principal.

Las curvas de distribución polar están definidas en cd por 1.000 lúmenes de flujo emitido por lámpara y se representa por cd/1.000 lm o cd/Klm.

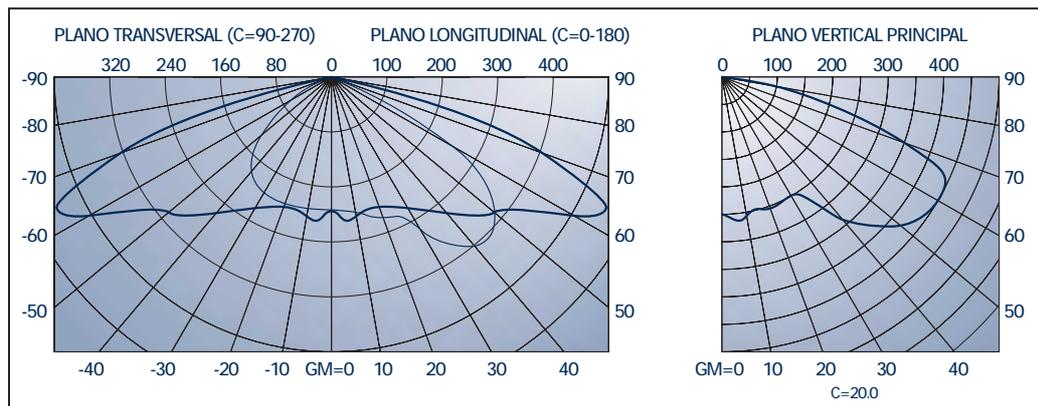


Figura 10. Diagrama polar en el sistema C- γ .

Diagramas isocandela

Consiste en imaginar que la luminaria está en el centro de una esfera en cuya superficie exterior se unen los puntos de igual intensidad por una línea. Las superficies iguales en este diagrama representan ángulos sólidos. Por esta razón el diagrama puede ser utilizado para calcular el flujo luminoso para una zona dada, multiplicando el área por la intensidad luminosa (teniendo en cuenta la escala a la que está representada el diagrama).

Si la luminaria está instalada con un ángulo de inclinación δ , los trazos tiene que ser girados alrededor del centro en un ángulo δ para deducir las nuevas coordenadas C- γ .

Las líneas rectas desde el centro representan líneas paralelas al eje de la calzada.

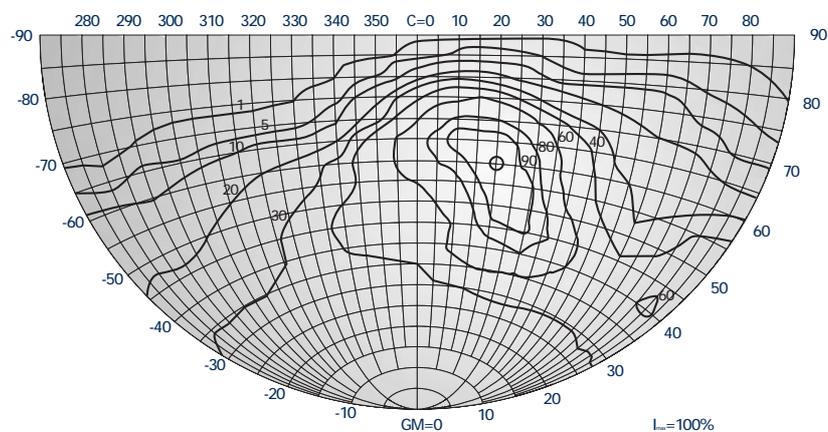


Figura 11. Diagrama isocandela en proyección acimutal.

Diagrama de curvas de isoluminancia

Estos diagramas se suelen utilizar para alumbrado público. Esto es debido a que las recomendaciones para alumbrado público no se limitan solamente a la luminancia media requerida en la superficie de la calzada, sino que también se dan líneas-guía para su uniformidad (relación entre L_{max} y L_{min}). Tales cálculos son posibles con la ayuda del diagrama isoluminancia (Fig 12).

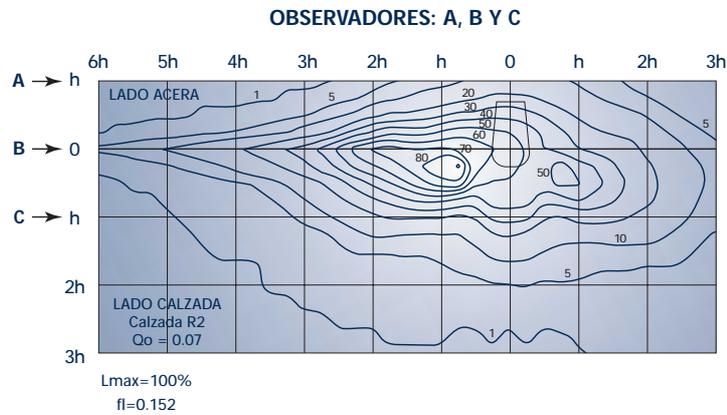


Figura 12. Diagrama de isoluminancias.

En el diagrama aparecen las letras A, B y C que indican tres posiciones del observador que se utilizan en los diagramas de rendimientos de luminancias.

Diagrama de curvas isolux o isoiluminancia

En la práctica, en los proyectos de alumbrado se desea, en muchos casos, conocer las iluminancias sobre la superficie de la carretera y la distribución total de estas iluminancias.

Con el fin de facilitar la determinación de estos datos en una instalación, las hojas fotométricas nos dan las curvas relativas isolux para cada luminaria sobre un plano iluminado.

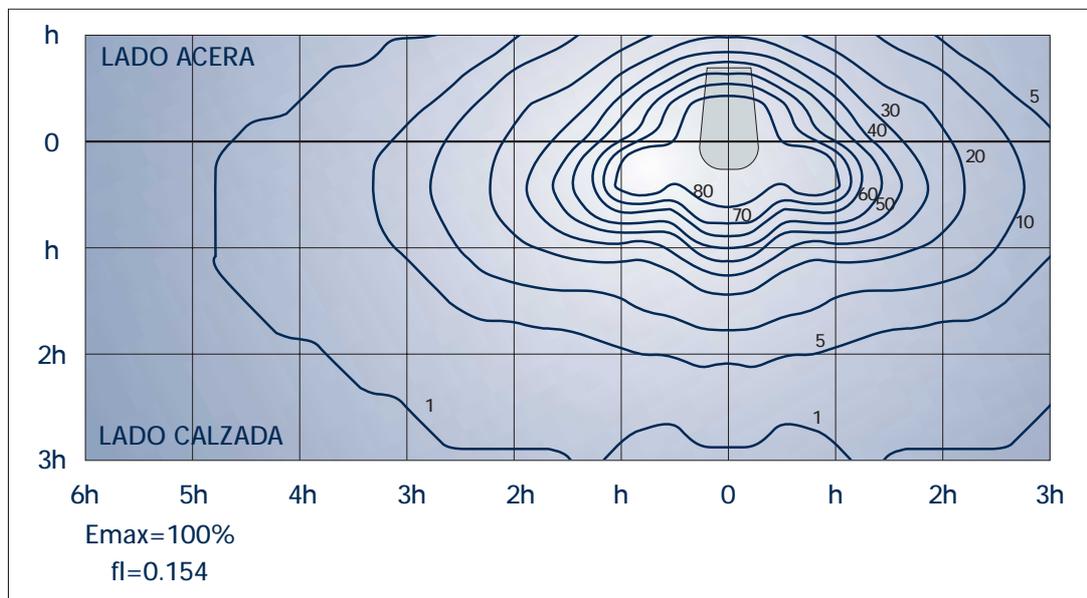


Figura 13. Diagrama isolux sobre la superficie a iluminar.

Los valores de cada línea isolux se dan en porcentajes de E_{max} ; la más alta alcanza el 100%. La cuadrícula sobre la cual están dibujadas las líneas isolux está dimensionada en términos de la altura de montaje h de la luminaria.

Debajo del diagrama se indica un factor para la luminaria en uso (φ).
 La iluminancia máxima se calcula mediante la siguiente expresión:

$$E_{\max} = \frac{\varphi \cdot \Phi}{h^2}$$

donde:

- φ = factor de la luminaria en uso.
- Φ = flujo luminoso de la lámpara.
- h = interdistancia entre luminarias.

Rendimiento en luminancias

Estos diagramas se usan para el cálculo de la luminancia media en la superficie de la calzada de una instalación de alumbrado público. Si la clase de reflexión del pavimento se conoce se usará el diagrama correspondiente. Los diagramas de rendimiento de luminancia se dibujan en unidades de altura de montaje de la luminaria y por esta razón son útiles para usos gráficos directos.

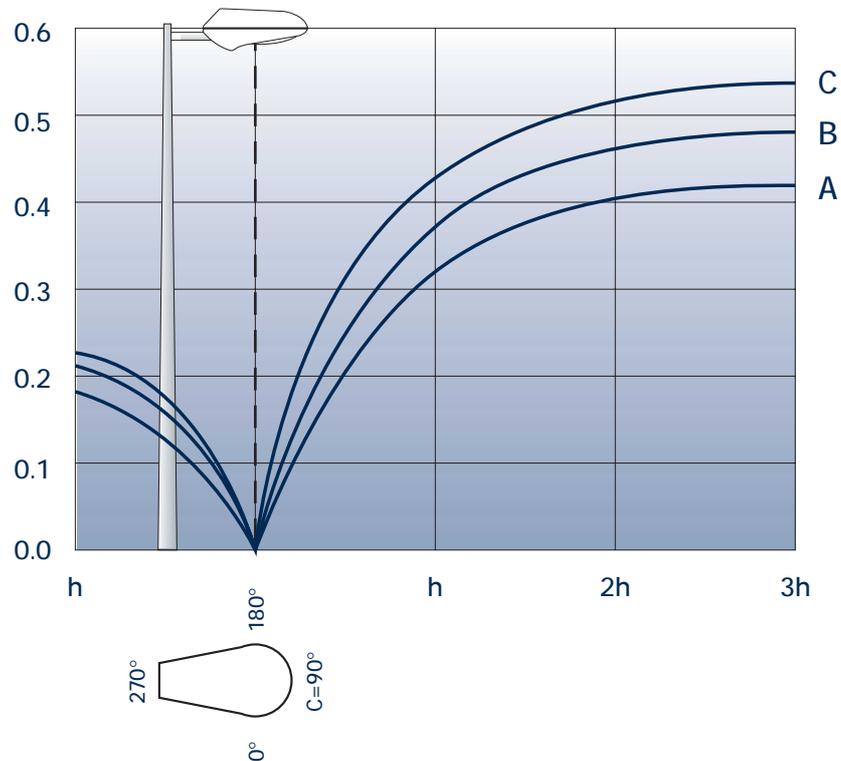


Figura 14. Rendimiento en luminancias respecto a tres observadores.

Su manejo es igual que las curvas del factor de utilización, excepto que la posición del observador es importante. Por esto las curvas se dan para tres posiciones del observador: A, B y C.

- A: Observador ubicado sobre el lado de la acera a una distancia h de la fila de luminarias.
- B: Observador ubicado en línea con la fila de luminarias.
- C: Observador ubicado sobre el lado del camino a una distancia h de la fila de luminarias.

Para otras posiciones es necesario interpolar.

La luminancia media se calcula por la siguiente fórmula:

$$L_{max} = \frac{\eta_L \cdot \Phi \cdot Q_0}{W \cdot S}$$

donde:

η_L = factor de rendimiento de la luminancia.

Φ = flujo luminoso de la lámpara.

Q_0 = coeficiente de luminancia media.

w = ancho del camino.

s = interdistancia entre la luminarias.

Factores de utilización

En el alumbrado de caminos se define el factor de utilización (η) como la fracción del flujo luminoso proveniente de una luminaria que efectivamente alcanza el camino. Las curvas del factor de utilización que se dan en las hojas de información fotométrica, nos ofrecen un método simple para calcular la iluminación media, la cual puede ser determinada para una cierta sección transversal de la carretera.

$$\eta = \frac{\Phi_{utilizado}}{\Phi_{lámpara}}$$

Las curvas del factor de utilización para una luminaria se dan como una función de las distancias transversales, medidas en términos de h (altura de montaje) sobre la superficie del camino, desde el centro de la luminaria hasta cada una de las dos curvas (Fig. 15).

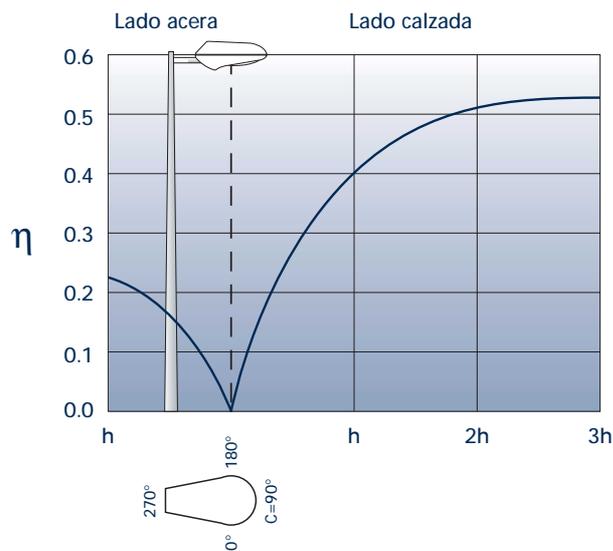


Figura 15. Factor de utilización como función de h.

La forma más fácil y rápida de calcular la iluminación media de un camino recto de longitud infinita es utilizando las curvas del factor de utilización:

$$E_{med} = \frac{\eta \cdot \Phi \cdot n}{W \cdot S}$$

donde:

η = factor de utilización.

Φ = flujo luminoso de la lámpara.

n = número de lámparas por luminaria.

w = ancho del camino.

s = interdistancia entre la luminarias.

Los diagramas polares se suelen usar para luminarias de:

- Alumbrado público.
- Alumbrado de parques y jardines.

7.5.3. Luminarias para instalaciones de iluminación por proyección

Dentro de este tipo podemos encuadrar las destinadas a instalaciones deportivas cubiertas y al aire libre, fachadas, áreas de trabajo, áreas de vigilancia, etc.

Un *projector* es una luminaria que concentra la luz en un ángulo sólido determinado por un sistema óptico (espejos o lentes), para conseguir una intensidad luminosa elevada.

Las lámparas utilizadas para la iluminación con proyectores van desde lámparas con reflectores de vidrio prensado y lámparas halógenas hasta lámparas de mercurio de alta presión, lámparas de halogenuros metálicos y lámparas de sodio de alta y baja presión. Todas vienen en varios voltajes y cada una proporciona un tipo y cantidad especial de luz, efectos de color y eficiencia. El montaje, cambio de lámparas y limpieza generalmente deben ser realizados a una altura considerable sobre el nivel del suelo, por lo tanto es necesario un diseño ergonómico de la luminaria para que estas operaciones resulten lo más fáciles posibles. Desde el punto de vista de la distribución de luz, los proyectores se agrupan en tres grupos básicos: con simetría, de rotación simétricos y asimétricos.

Los proyectores también se clasifican de acuerdo con la apertura de su haz, como se observa en la Tabla 9. La apertura del haz de un proyector (o ángulo de haz) se define como el ángulo, en un plano que contiene al eje del haz, sobre el cual la intensidad luminosa disminuye hasta un porcentaje determinado (generalmente 50% o 10%) de su valor pico (Fig. 16).

Descripción	Apertura del haz (al 50% I_{max})
Haz estrecho	< 20°
Haz medio	20° a 40°
Haz ancho	> 40°

Tabla 9. Clasificación de la apertura del haz.

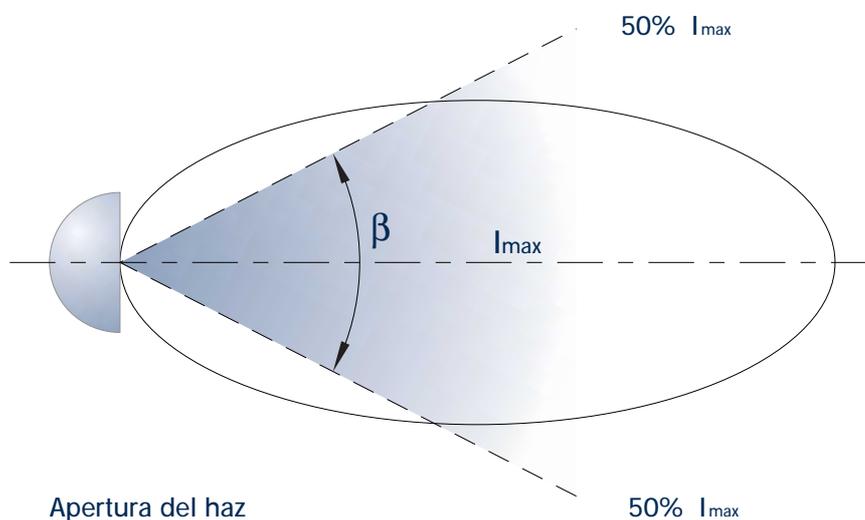


Figura 16

Para un proyector con distribución de la intensidad de la luz rotacionalmente simétrica (es decir, una distribución que permanece sin cambios independientemente del plano que contiene al eje del haz que se considere) se puede establecer una cifra para la apertura del haz, por ejemplo 28° a ambos lados del eje del haz.

En los casos de distribución asimétrica, como la proporcionada por los proyectores rectangulares, se dan dos cifras: por ejemplo 6°/24°, ya que el haz se disemina en los dos planos mutuamente perpendiculares de simetría (vertical y horizontal respectivamente). En ocasiones, la distribución en el plano vertical de dichos proyectores es asimétrica con relación al eje del haz. En ese caso, se dan dos cifras para la apertura del haz en este plano: por ejemplo 5° - 8°/24°, esto es 5° por encima y

8° por debajo del eje del haz y en el plano horizontal 12° a la izquierda y 12° a la derecha del haz.

Información fotométrica que acompaña a los proyectores

Diagrama cartesiano

Estos diagramas son los obtenidos en las fotometrías realizadas sobre proyectores, ya que nos facilitan la información para poder clasificar a los mismos por su apertura de haz. Se representan generalmente bajo el sistema de coordenadas B-β.

Aparecen representadas tres líneas que representan al plano vertical, al plano horizontal y al 50% de la intensidad máxima (línea paralela al eje de abscisas).

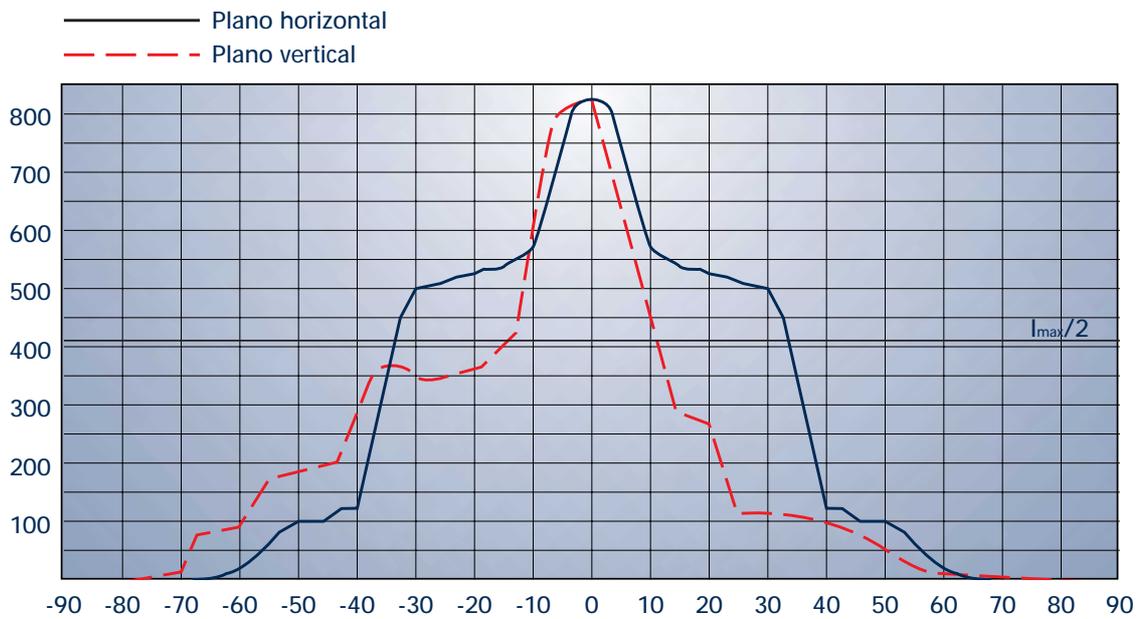


Figura 17. Diagrama cartesiano.

Diagrama isocandela

Con el fin de evitar coordenadas curvas, como sucede en el sistema de ángulos sólidos, y para facilitar la lectura de las coordenadas, se trazan éstas en un sistema rectangular.

Los ángulos de los planos C y B se dan sobre el eje horizontal, los ángulos γ y β en el vertical.

El diagrama puede compararse con el de proyección acimutal, pero hay que tener en cuenta que:

- No hay relación lineal entre los rectángulos del diagrama y los ángulos sólidos.
- Que la línea $\gamma = 0$ ó $\beta = 0$ representa en realidad un punto.

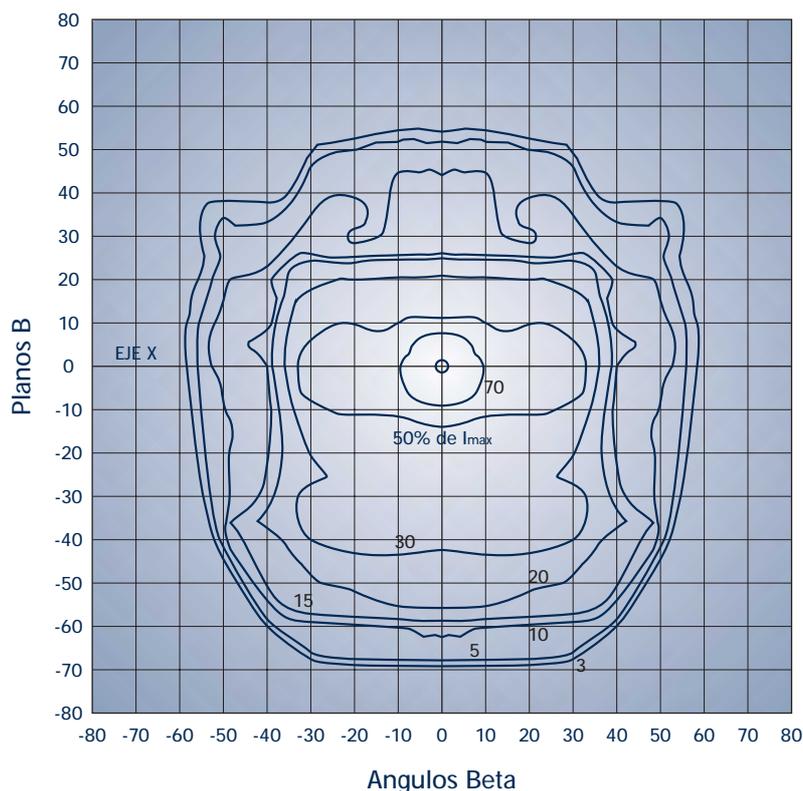


Figura 18. Diagrama isocandela para el sistema B- β .

7.6. Datos básicos fotométricos

Hemos visto que en las hojas de información de luminarias aparecen una serie de diagramas que nos indican las peculiaridades fotométricas de la misma. En este apartado vamos a ver dos términos asociados a la obtención de dichas curvas.

7.6.1. Centro fotométrico

La mayoría de los cálculos que se realizan se hacen bajo la suposición de que las luminarias son fuentes de luz puntuales, por eso hay que buscar un punto del espacio limitado por la luminaria que nos sitúe la fuente luminosa puntual imaginaria equivalente.

Para ángulos próximos al nadir, prácticamente no existen diferencias entre datos fotométricos de una misma luminaria dados por distintos laboratorios de medida. Donde sí pueden existir diferencias es para ángulos grandes, por ejemplo 80° y 88° , si no se establece de un modo inequívoco dónde está situado el centro fotométrico de la luminaria.

El centro fotométrico es un punto de una luminaria o de una lámpara a partir del cual se cumple mejor la ley de la inversa del cuadrado de la distancia en la dirección de la intensidad máxima. O lo que es lo mismo, es el punto donde se sitúa, con el único fin de simplificar los cálculos fotométricos, la fuente luminosa puntual imaginaria, que tiene la misma distribución espacial de intensidades luminosas que la luminaria.

La C.I.E. ha establecido en sus publicaciones las reglas para localizar dicho centro fotométrico para diferentes tipos de luminarias.

7.6.2. Sistemas de coordenadas fotométricas

Cada una de las direcciones del espacio por la cual se radia una intensidad luminosa, queda determinada por dos coordenadas. En las hojas de información fotométrica para luminarias de interior, alumbrado público y proyectores, se utilizan principalmente las representaciones obtenidas mediante tres sistemas de coordenadas, que son los más usados normalmente. Dichos sistemas son los A- α , B- β y C- γ .

El sistema de coordenadas C- γ está definido en las publicaciones de la C.I.E. Sin embargo, no hay un acuerdo internacional sobre la definición de los sistemas A- α y B- β y los ensayos, para la obtención de estos dos últimos, son distintos en función

del país que los haga.

Cuando se aplica a la fotometría de estos tipos de luminarias el eje de referencia es siempre vertical y dirigido hacia el punto más bajo (nadir).

Todos los sistemas constan de un haz de planos con un eje de intersección, a veces llamado "eje de rotación".

En cada caso una dirección en el espacio está caracterizada por un ángulo medido entre dos planos y un ángulo medido en uno de los planos.

Los sistemas difieren entre sí con respecto a la orientación del eje de intersección en el espacio en relación con el eje de la luminaria.

Para ensayar proyectores, se usan sistemas adaptados al eje horizontal, pero su denominación varía en los diferentes países.

7.7. Eficiencia de las luminarias

La eficiencia de una luminaria se encuentra expresada en términos de su *Índice de Salida de Luz* (Light Output Ratio – l.o.r.)*. A este índice se lo define como la porción de salida de luz de la luminaria con respecto a la suma de las salidas individuales de luz de las lámparas cuando éstas son usadas fuera de la luminaria.

El índice de salida de luz definido de este modo es el "l.o.r." total de la luminaria y es igual a la suma de los "l.o.r." hacia arriba y hacia abajo.

* El término utilizado en U.S.A. es "eficiencia de la luminaria".