

EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO

Tema 5.

ILUMINACIÓN



Vanesa Valiño López

vanesa.valino@upm.es

Dpto. de Energía y Combustibles

Introducción

Características de las fuentes de luz
Sistemas de iluminación
Eficiencia energética
Cálculo luminotécnico
Aprovechamiento luz natural

Sector	% de energía eléctrica dedicada a iluminación
Oficinas	50 %
Hospitales	20-30 %
Industria	15 %
Colegios	10-15 %
Comercios	15-70 %
Hoteles	25-50 %
Residencial	10-15 %

Fuente: *Guía Técnica de Iluminación Eficiente*. Publicaciones FENERCOM

ESTRATEGIAS DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN

¿Qué podemos hacer para mejorar la eficiencia energética en una instalación de alumbrado?

- ✓ Adecuado diseño de la instalación:
 - *Actividad desarrollada: nivel de iluminación. Normativa.*
 - *Lámpara: lámparas de alta eficiencia energética.*
 - *Equipo auxiliar de la lámpara: balastos electrónicos.*
 - *Luminaria: Reflectores ópticos, difusores de luz.*
- ✓ Control y gestión de la instalación de iluminación:
 - *Mantenimiento preventivo.*
 - *Sensores de presencia, temporizadores, sistemas de encendido-apagado.*
 - *Reguladores de flujo.*
- ✓ Aprovechamiento de la luz natural
 - *Reguladores de flujo*

LEGISLACIÓN: Exigencias de eficiencia energética en iluminación



NATURALEZA DE LA LUZ

Radiación electromagnética:

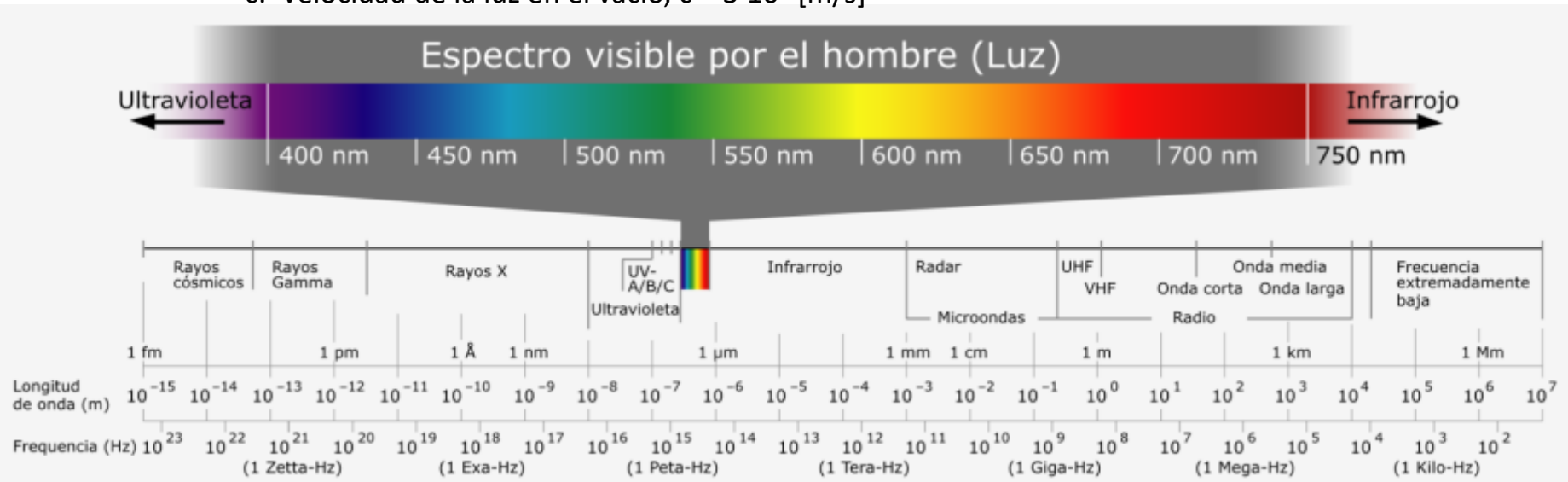
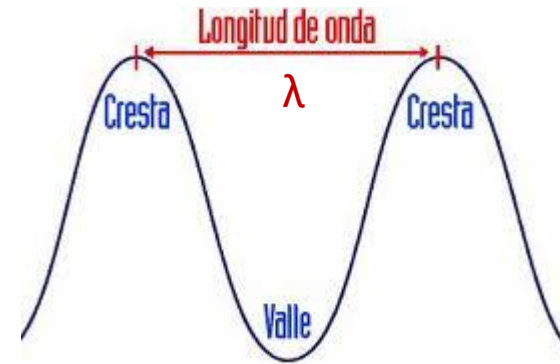
$$c = \lambda \cdot f \quad [\text{m/s}] \quad E = h \cdot f \quad [\text{J}]$$

h : Constante de Plank, $h = 6,26 \cdot 10^{-34} \text{ [J} \cdot \text{s]}$

λ : Longitud de onda [m]

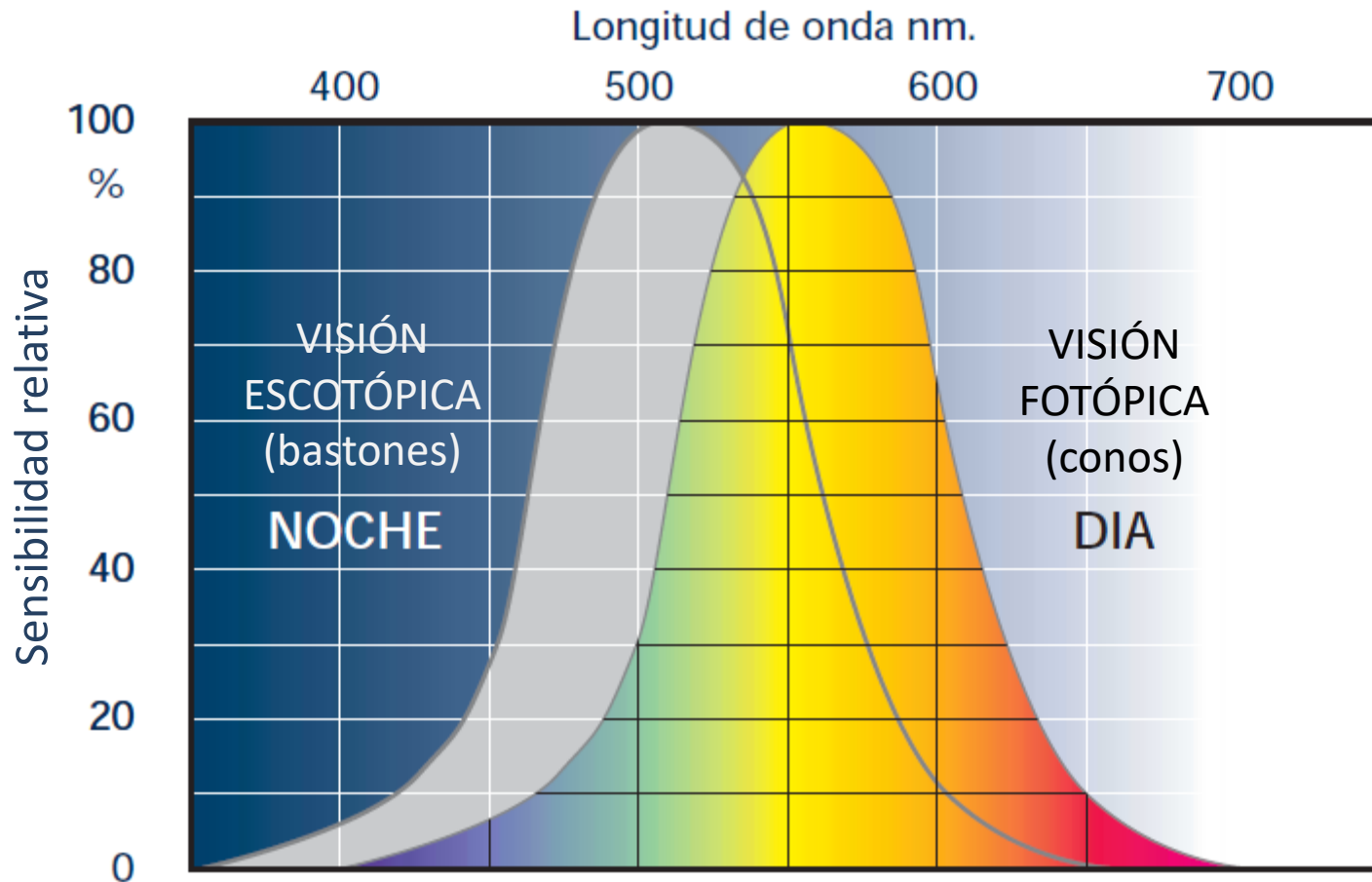
f : Frecuencia [Hz]

c : Velocidad de la luz en el vacío, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}$



Fuente: Wikipedia

CURVA DE SENSIBILIDAD DEL OJO HUMANO



Fuente: INDALUX

Magnitudes luminotécnicas del CUERPO EMISOR

(ϕ) Flujo luminoso (Potencia luminosa): es la energía radiada que recibe el ojo medio humano según su curva de sensibilidad y que transforma en luz durante un segundo. Unidad de medida, el lumen (lm).

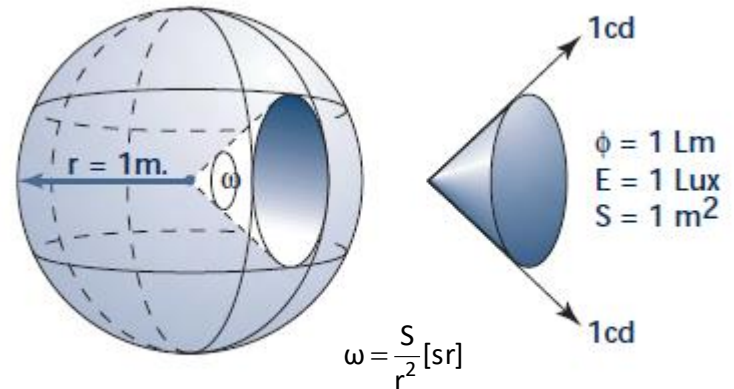
1 W de energía radiante de longitud de onda 555 nm en el aire equivale a 683 lm

(ε) Rendimiento luminoso: flujo emitido por unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. Unidad de medida, el lm/W.

$$\varepsilon = \frac{\phi}{P} \quad [\text{lm/W}]$$

(I) Intensidad luminosa: flujo emitido en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa dirección. Unidad de medida, candela (cd).

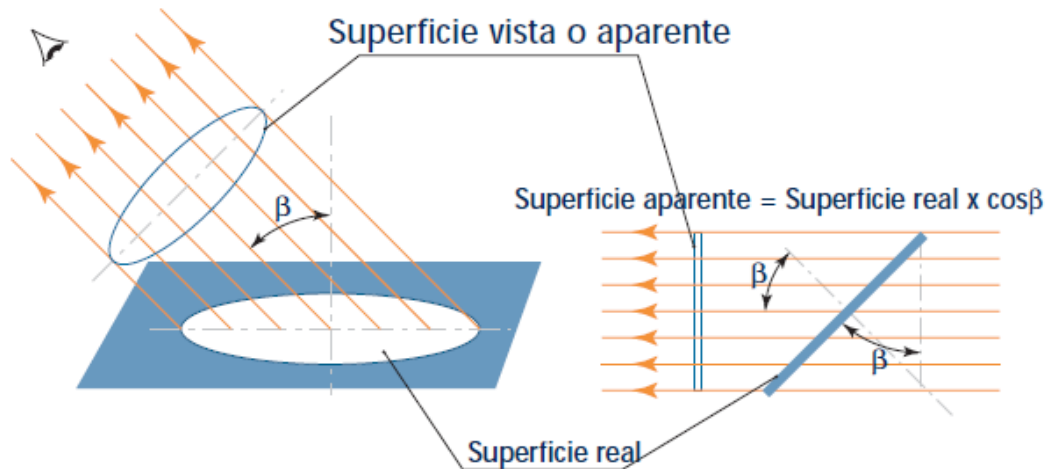
$$\bar{I}_{\alpha} = \frac{d\phi}{d\omega} \bar{U}_{\alpha} \quad [\text{lm/sr} = \text{cd}]$$



$\omega (\text{total}) = 4\pi$ estereorradianes

Magnitudes luminotécnicas del CUERPO EMISOR

(L) Luminancia: Mide el brillo de las fuentes luminosas o de los objetos iluminados. La luminancia de una superficie iluminada es el cociente entre la intensidad luminosa de una fuente de luz, en una dirección, y la superficie de la fuente proyectada según dicha dirección.



Unidad de medida, nit (nt)

$$L_{\beta} = \frac{I_{\beta}}{dS \cdot \cos\beta} \quad [\text{cd/m}^2 = \text{nt}]$$

$dS \cdot \cos\beta$ es la superficie aparente.

- ✓ *Luminancia primaria:* superficie emisora de luz.
- ✓ *Luminancia secundaria:* superficie reflectora de luz.

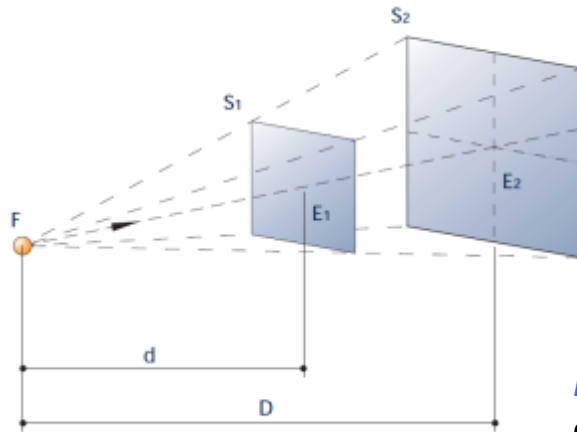
(UGR, Unified Glare Rating) Deslumbramiento: Sensación producida por áreas brillantes (luminancias) dentro del campo de visión. Puede ser molesto o perturbador. El deslumbramiento puede ser causado por reflexiones en superficies especulares. Se debe limitar para evitar fatiga y accidentes.

Se expresa por el índice UGR, que varía entre 10 y 31, siendo especificado en cada aplicación.

Magnitudes luminotécnicas del CUERPO RECEPTOR

(E) **Illuminancia** (Nivel de iluminación) de una superficie: es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su área. Unidad de medida, el lux (lx)

$$E = \frac{d\phi}{dS} \quad [\text{lm/m}^2 = \text{lx}]$$



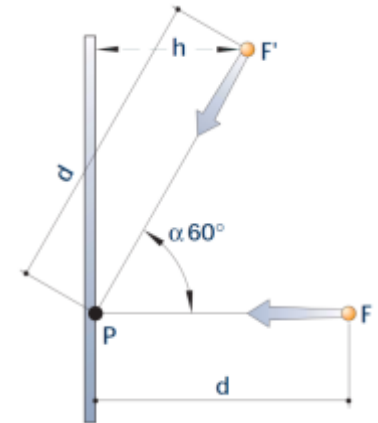
Ley de la inversa del cuadrado de la distancia (d): para una fuente luminosa puntual, la iluminación de una superficie es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente

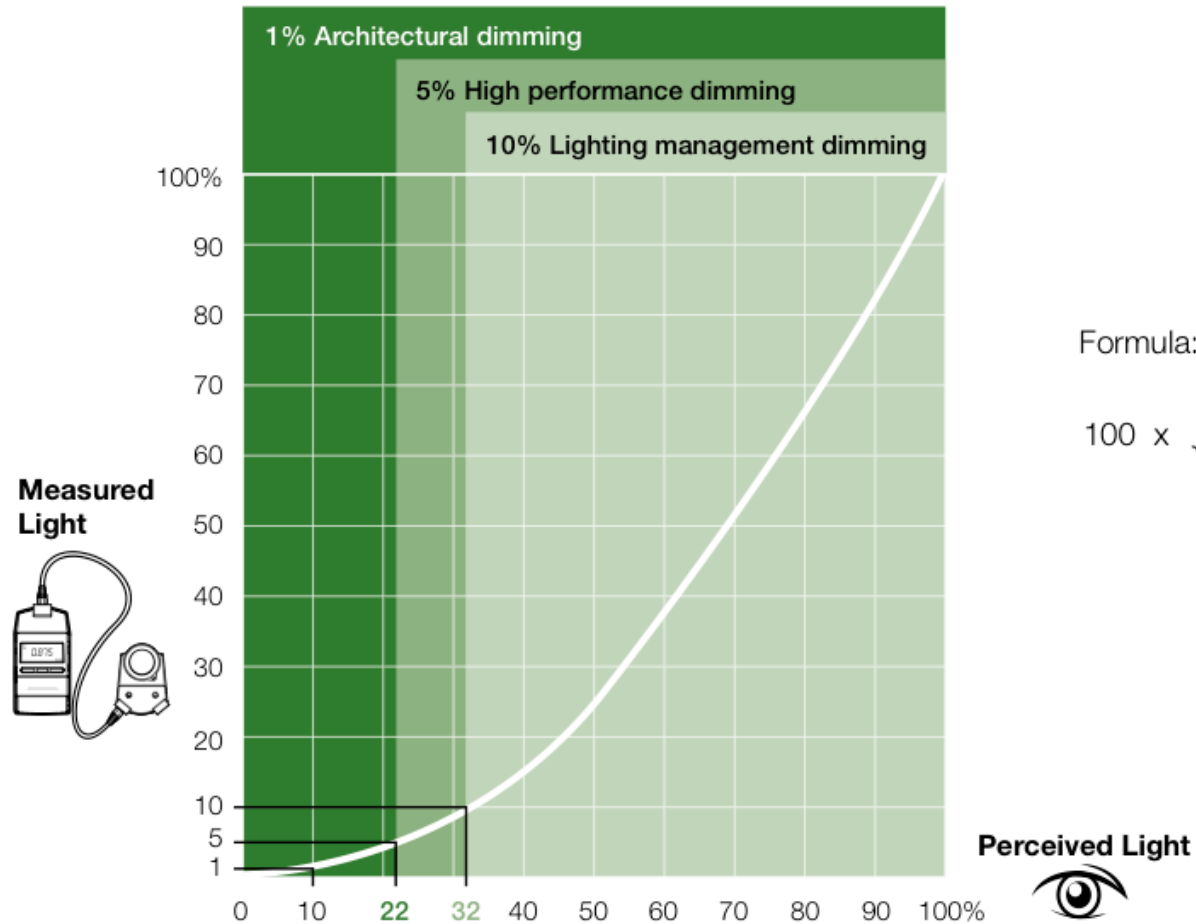
$$E = \frac{I}{d^2} ; \quad E_1 \cdot d^2 = E_2 \cdot D^2 \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{D^2}{d^2}$$

Ley del coseno: la iluminancia es proporcional al coseno del ángulo que forma la dirección de la luz incidente y la normal a la superficie.

Para el foco F':

$$E' = \frac{d\phi}{dS} = \frac{I_\alpha \cdot d\omega}{dS} = \frac{I_\alpha}{d^2} \cos \alpha = \frac{I_\alpha}{h^2} \cos^3 \alpha \quad \text{Siendo, } d\omega = \frac{dS}{d^2} \cos \alpha$$





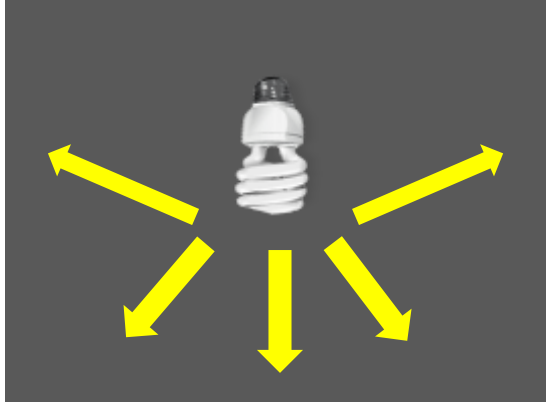
Formula: Perceived Light (%) =

$$100 \times \sqrt{\frac{\text{Measured Light (\%)}}{100}}$$

Percepción visual vs. medida

Fuente: IESNA Lighting Handbook, 9th Edition (New York: IESNA, 2000), 27-4

Flujo luminoso (ϕ , lm)



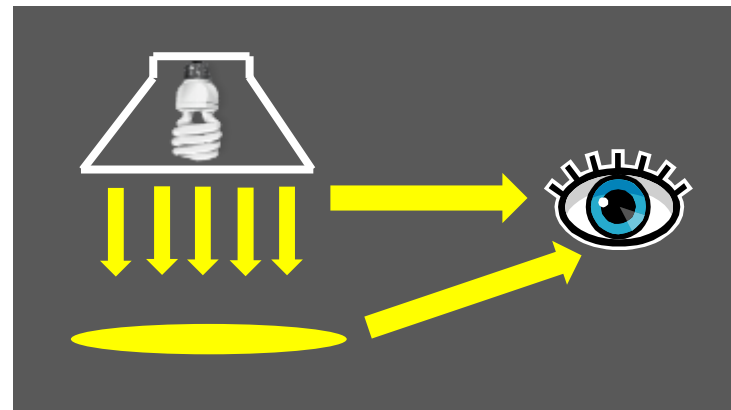
Intensidad luminosa (I, cd)



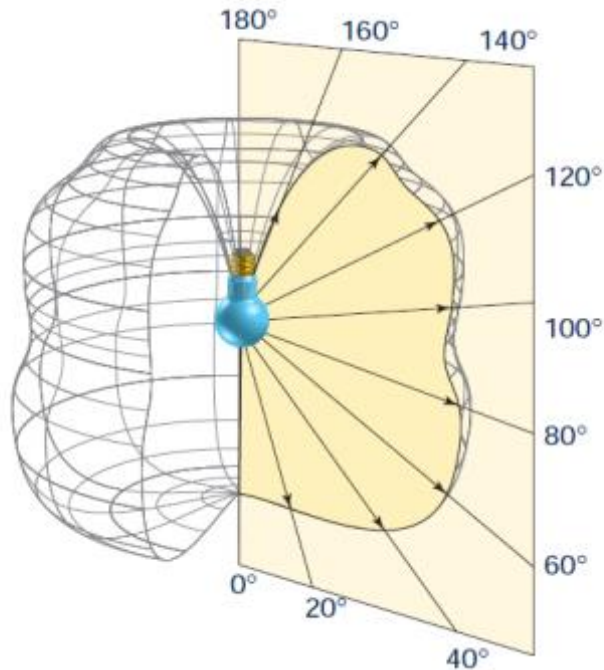
Iluminancia (E, lux)



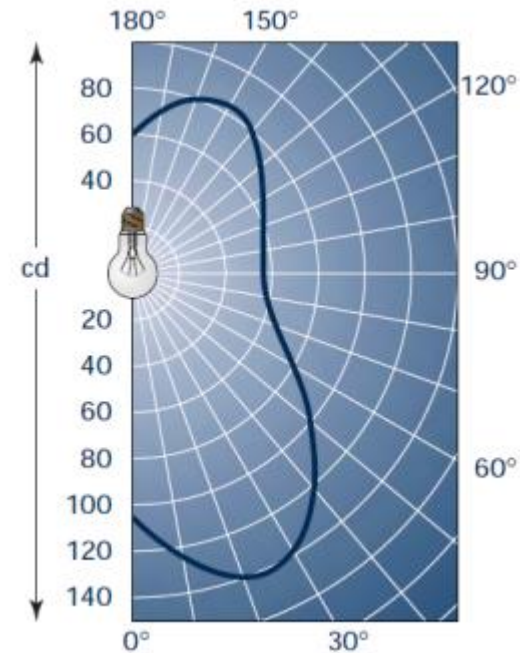
Luminancia (L, nt)



Representación gráfica de la distribución luminosa: cómo se distribuye la intensidad luminosa (I , cd) en todas las direcciones para un flujo luminoso de 1000 lm (cd/klm).



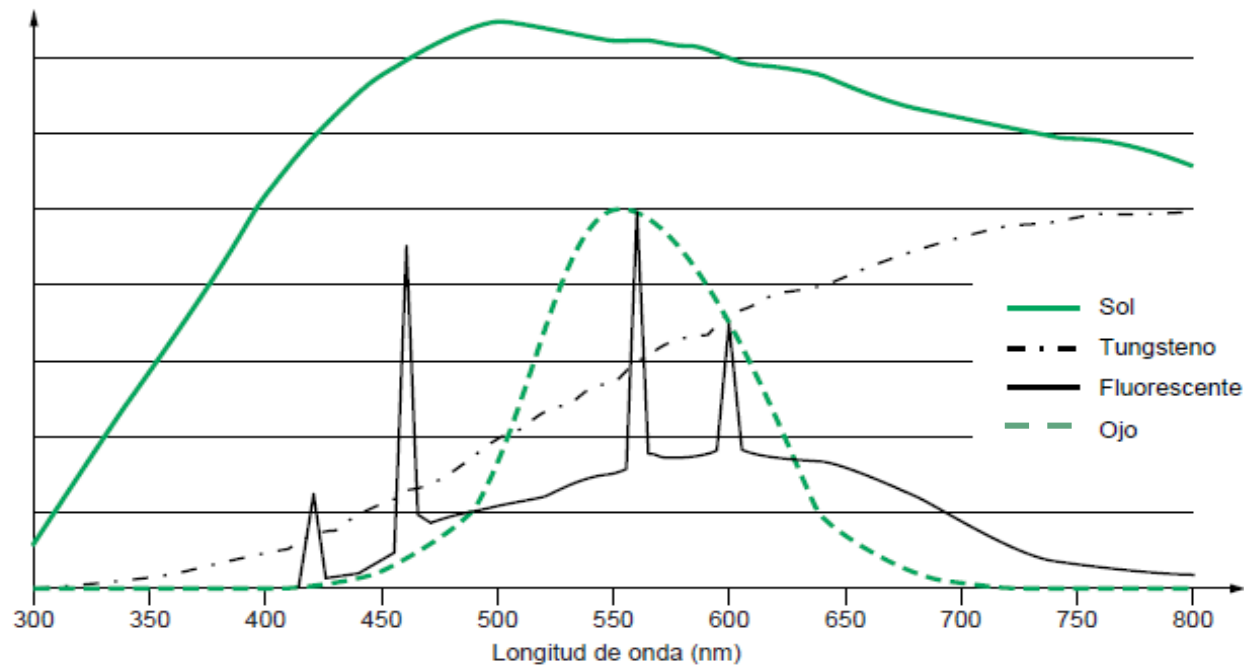
Sólido fotométrico de una lámpara incandescente



Curva fotométrica de una lámpara incandescente (diagrama polar klm)

PROPIEDADES DEL COLOR

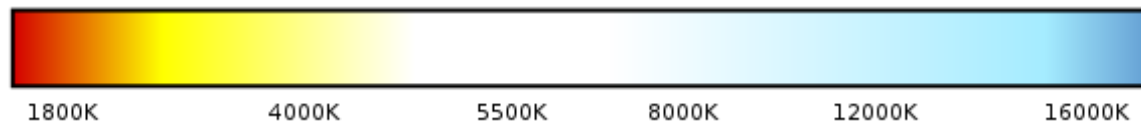
- ✓ *Distribución espectral de la radiación total*: Buena relación de transformación de la energía recibida en radiación visible; radiación visible de espectro continuo → luz blanca.



Fuente: Alimentación Circuitos de alumbrado (SCHNEIDER ELECTRIC)

PROPIEDADES DEL COLOR

✓ *Temperatura de color* (T_c): Es la apariencia de color de la lámpara o impresión recibida cuando se observa la luz. Color apropiado para cada aplicación.

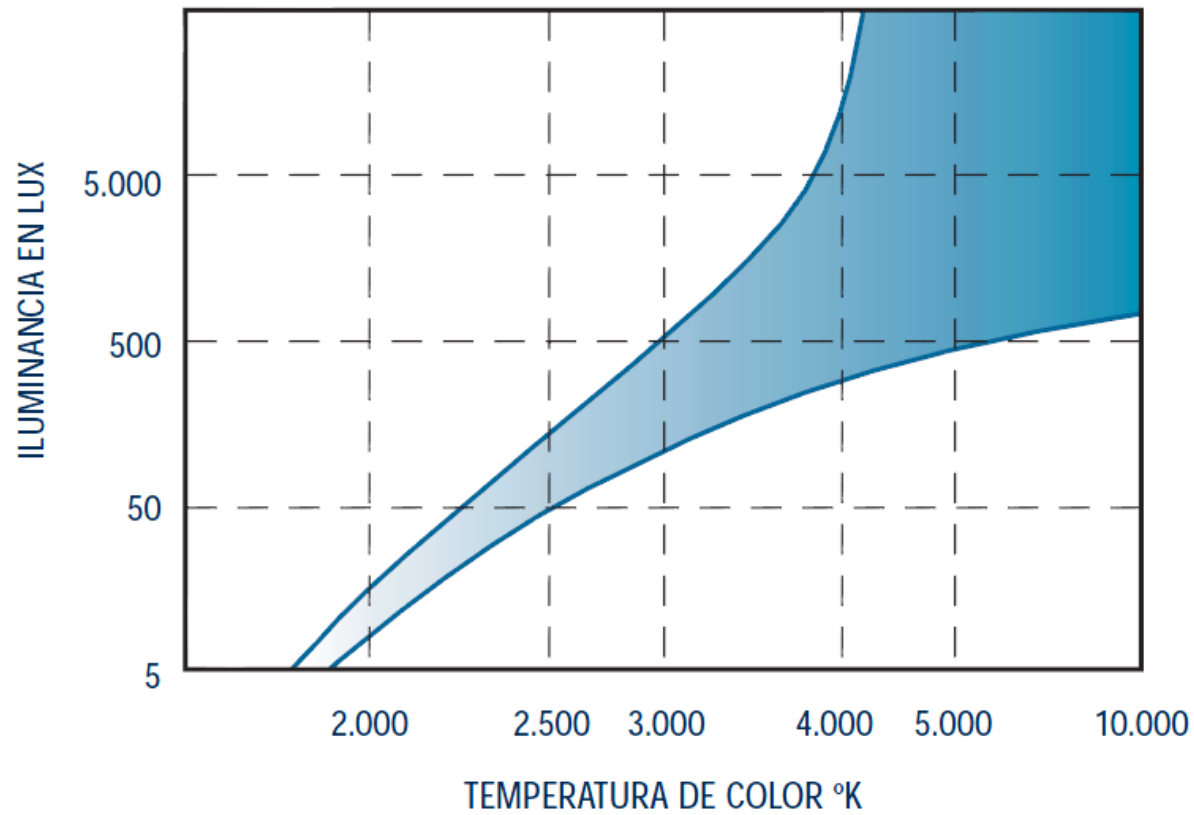


E (lux)	Cálida	Neutra	Fría
500	Agradable	Neutra	Fría
500 – 1000	↕	↕	↕
1000-2000	Estimulante	Agradable	Neutra
2000 -3000	↕	↕	↕
3000	No natural	Estimulante	Agradable

✓ *Índice de reproducción cromática* (IRC, R_a): Es la capacidad de la fuente de luz para reproducir con fidelidad los colores de los objetos que ilumina. Valor de 0 a 100.

Excelente IRC: 85 – 100; Pobre IRC: 0 – 55

PROPIEDADES DEL COLOR



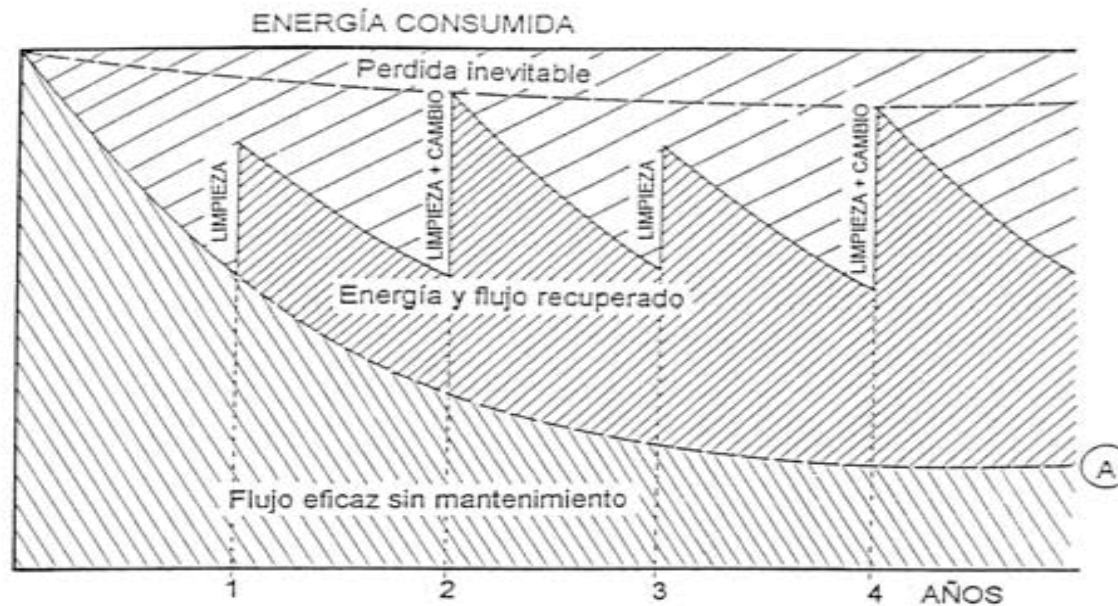
Curvas de Kruithof para la relación entre T_c y la Iluminancia
Fuente: Indalux

Introducción
 Características de las fuentes de luz
 Sistemas de iluminación
 Eficiencia energética
 Cálculo luminotécnico
 Aprovechamiento luz natural

Curva de sensibilidad del ojo humano
Magnitudes luminosas
Propiedades del color
Vida
Tiempo de encendido, reencendido

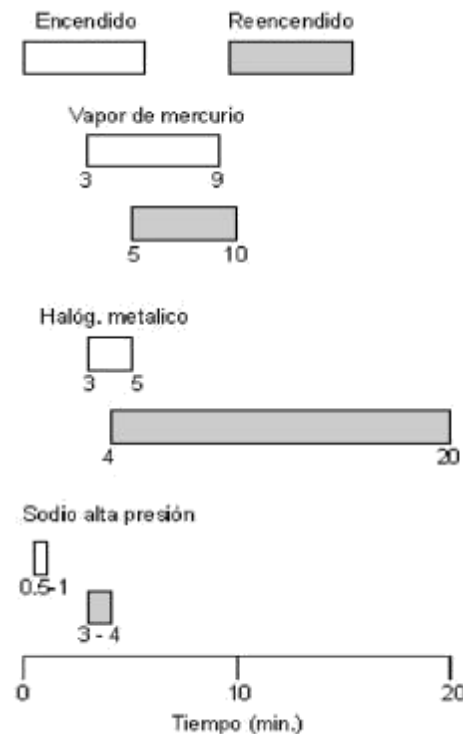
Grupo	IRC	Aspecto cromático	Aplicaciones
1 A	IRC ≥ 80	Frío	Industria textil, fábricas de pinturas, talleres de imprenta.
1 B		Intermedio Cálido	Escaparates, tiendas, hospitales. Hogares, hoteles, restaurantes.
2	80 > IRC ≥ 60	Frío Intermedio Cálido	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias finas (en climas cálidos). Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias finas (en climas templados) Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias finas (en climas fríos)
3	60 > IRC ≥ 40		Interiores donde la discriminación cromática no es de gran importancia
4	40 > IRC ≥ 20		Industrias con bajos requisitos de reproducción cromática
S (especial)			Aplicaciones especiales (color de la piel, por ejemplo)

- ✓ **Vida media:** Tiempo en horas de funcionamiento a las cuales la mortalidad de un lote representativo de fuentes de luz del mismo modelo y tipo alcanza el 50% en condiciones estandarizadas. Información del fabricante.
- ✓ **Vida útil:** Tiempo en horas al cabo del cual el flujo luminoso de una determinada instalación de alumbrado ha descendido a un valor tal, para el que la lámpara no es rentable aunque esté en condiciones de seguir funcionando. **Factor de mantenimiento.**

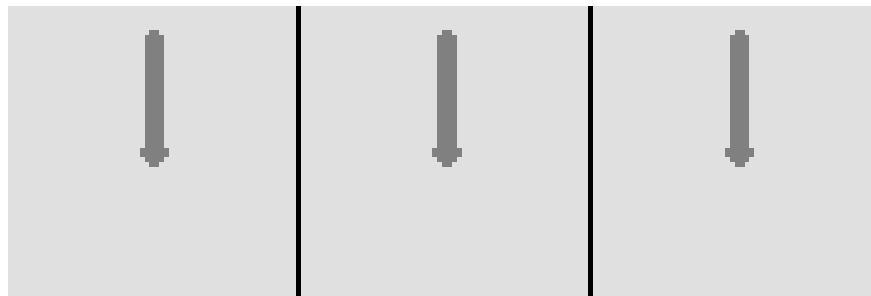


Fuente: *Guía Técnica de Eficiencia energética en iluminación: Alumbrado público.*
Publicaciones IDAE

- ✓ **Tiempo de encendido:** Tiempo que transcurre hasta que la lámpara alcanza su valor de flujo nominal (min).
- ✓ **Tiempo de reencendido:** Es el tiempo mínimo que necesita una lámpara para volver a emitir luz en condiciones normales después del apagado.

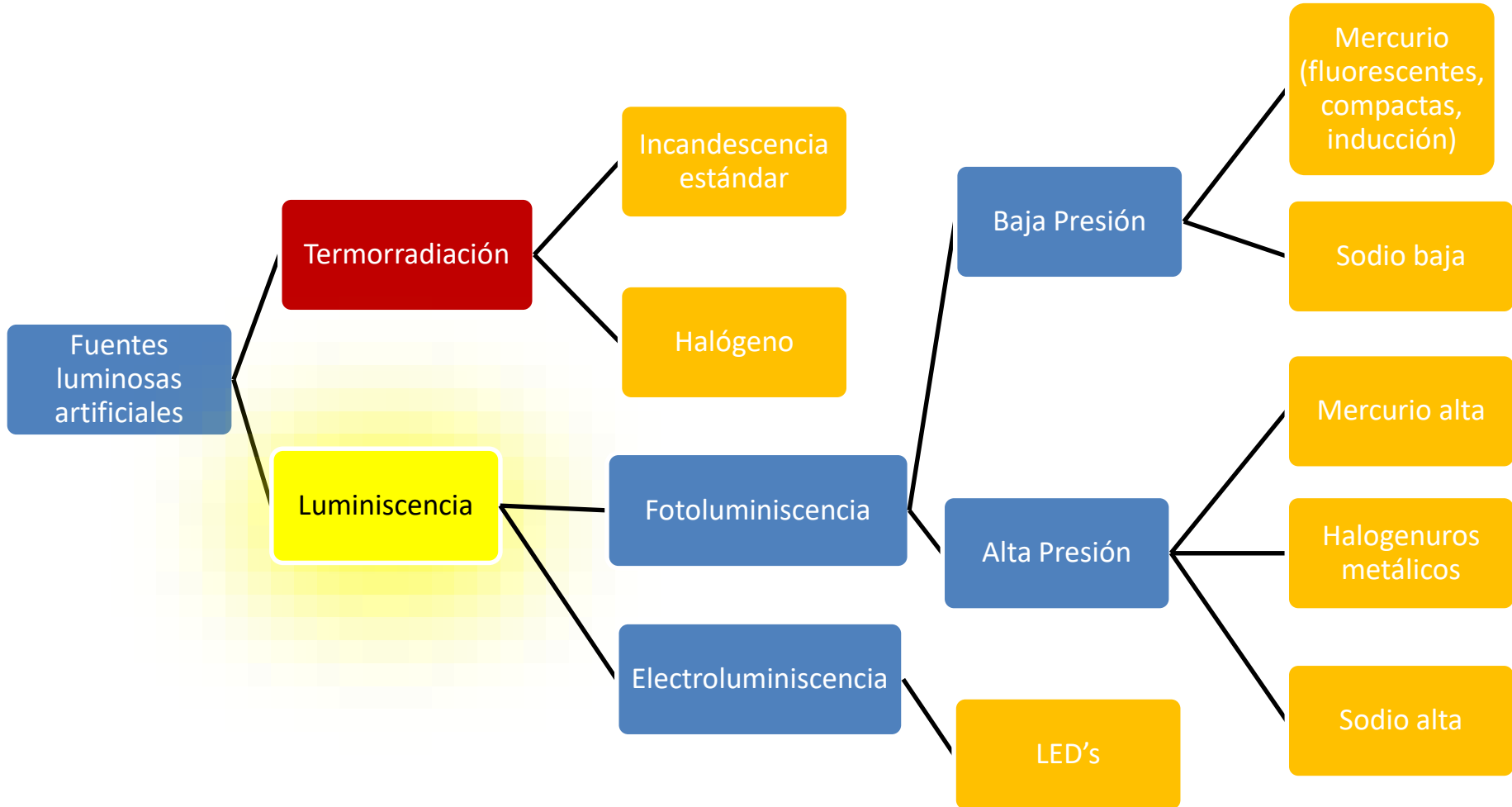


✓ *Flicker (parpadear) y efecto estroboscópico*: El *flicker* es el parpadeo de la luz originado por la frecuencia de la alimentación alterna . Puede ocasionar un efecto óptico llamado efecto estroboscópico; se produce cuando las frecuencias de giro o movimiento oscilatorio de los elementos coincide con la frecuencia de parpadeo, pareciendo que el objeto está parado o que incluso ha cambiado su sentido de movimiento.



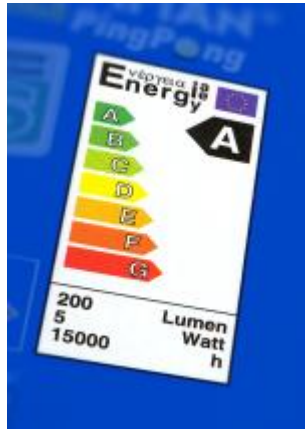
Fuente: Wikipedia

TIPOLOGÍA DE LÁMPARAS



ETIQUETADO ENERGÉTICO

- ✓ Eficiencia energética
- ✓ Cantidad de luz (ϕ , lm)
- ✓ Potencia Eléctrica (W)
- ✓ Vida útil (h)



- ✓ N.º de encendidos



- ✓ Dimensiones



- ✓ Temperatura de funcionamiento



- ✓ Tiempo de encendido



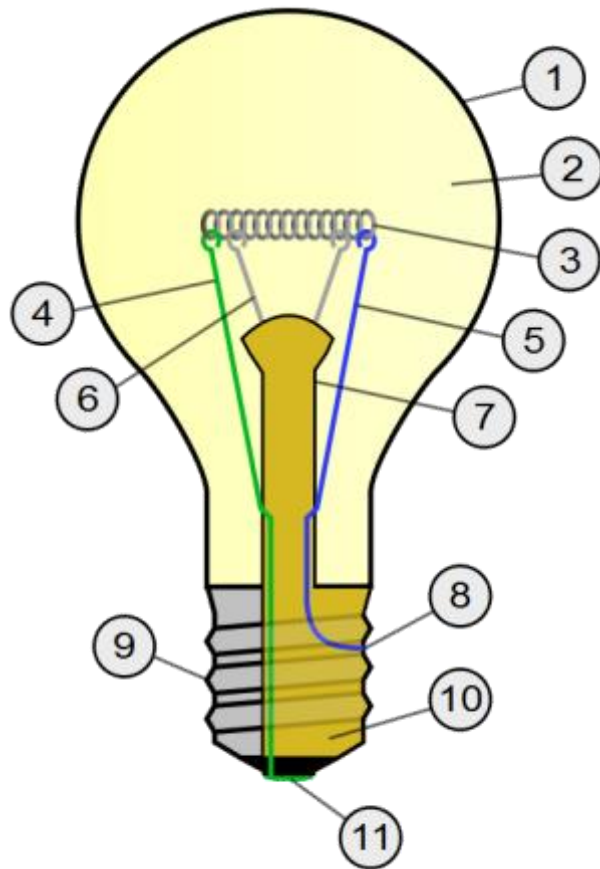
- ✓ Temperatura de color (K)
- ✓ Reproducción cromática (Ra)
- ✓ Regulación de intensidad



- ✓ Reciclaje



Generación de luz y tipos de lámparas: INCANDESCENCIA



- ① Ampolla de vidrio. Bulbo
- ② Gas Inerte
- ③ Filamento de Wolframio
- ④ Contacto (al pie)
- ⑤ Contacto (a la base)
- ⑥ Soportes
- ⑦ Conducto de refrigeración
- ⑧ Base de contacto
- ⑨ Casquillo metálico
- ⑩ Aislamiento eléctrico
- ⑪ Pie de contacto eléctrico
- ⑫ Compuesto halógeno
- ⑬ Ampolla de cuarzo

Lámparas incandescentes



Lámparas halógenas

Introducción
 Características de las fuentes de luz
 Sistemas de iluminación
 Eficiencia energética
 Cálculo luminotécnico
 Aprovechamiento luz natural

Lámparas
 Equipo auxiliar
 Luminarias

	Sep. 2009*	Sep. 2010	Sep. 2011	Sep. 2012	Sep. 2013	Sep. 2014	Sep. 2015	Sep. 2016	Sustitución
	15W 25W 40W 60W 75W 100W	15W 25W 40W 60W 75W 100W	15W 25W 40W 60W 75W 100W	15W 25W 40W 60W 75W 100W	Prohibición todas las lámparas GLS				 HAL ES  CFLi  LED
	Lámparas GLS mate serán prohibidas, salvo si tienen eficacia A								 HAL ES  CFLi  LED
	15W 25W 40W 60W 75W 100W	Las medidas a implementar en lámparas reflectoras serán decididas a finales del presente año							 CFLi  LED
	Lámparas para aplicaciones especiales								

* Clase energética F&G se eliminarán Sept. 2009

RETIRADA HALÓGENAS

Directiva EuP 2005/32/CE

	Sep. 2009	Sep. 2010	Sep. 2011	Sep. 2012	Sep. 2013	Sep. 2014	Sep. 2015	Sep. 2016	Sustitución
	<60 lm 60 lm 450 lm 725 lm >950 lm	<60 lm 60 lm 450 lm 725 lm >950 lm	<60 lm 60 lm 450 lm 725 lm >950 lm	<60 lm 60 lm 450 lm 725 lm >950 lm	Prohibición lámparas Halógenas clase D&E			Prohibir Clase C*	 HAL ES  CFLI  LED
	Lámparas Halógenas mate serán prohibidas, salvo si tienen eficacia A								 HAL ES  CFLI  LED
	15W 25W 40W 60W 75W 100W	Las medidas a implementar en lámparas reflectoras serán decididas a finales del presente año							 CFLI  LED
	Lámparas para aplicaciones especiales								

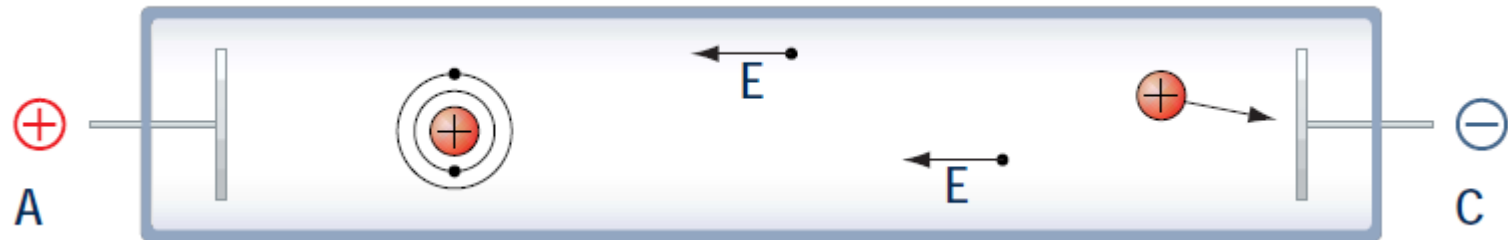
* Excepto G9/R7s: Clase energética C

* Excepto G9/R7s: Clase energética C

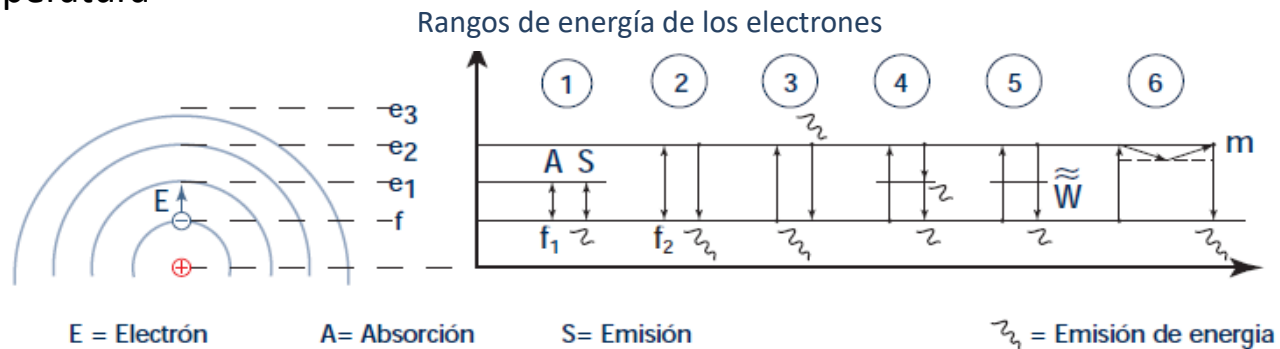
RETIRADA
 INCANDESCENTES
 Directiva EuP 2005/32/CE

Fuente: OSRAM

Generación de luz y tipos de lámparas: LUMINISCENCIA

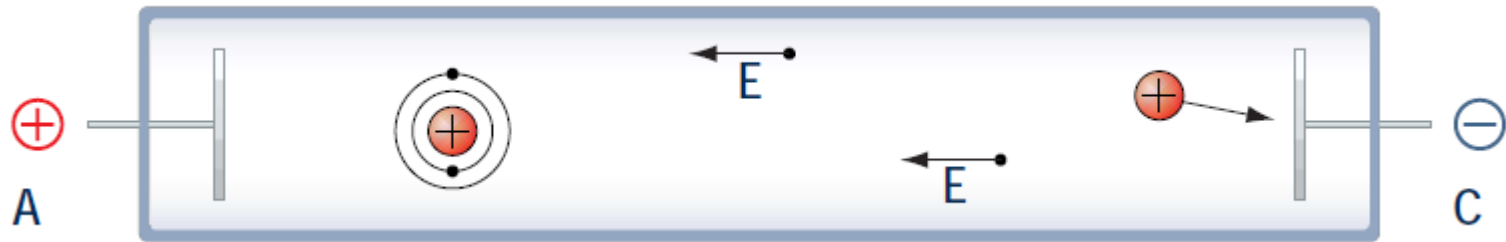


✓ El espectro de emisión depende del tipo de gas y de las condiciones de presión y temperatura

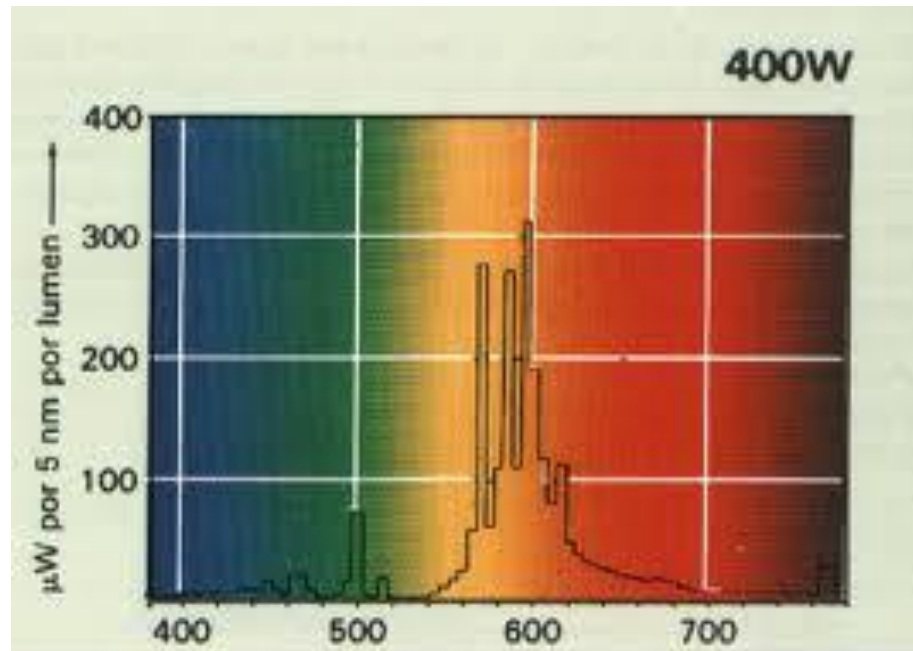


- | | | |
|---------------------|---|--------------------------|
| ① Excitación débil | ③ Excitación energética forzada (láser) | ⑥ Fosforescencia |
| ② Excitación fuerte | ④ ⑤ Emisión escalonada, W con cesión de calor | m = Nivel de acumulación |

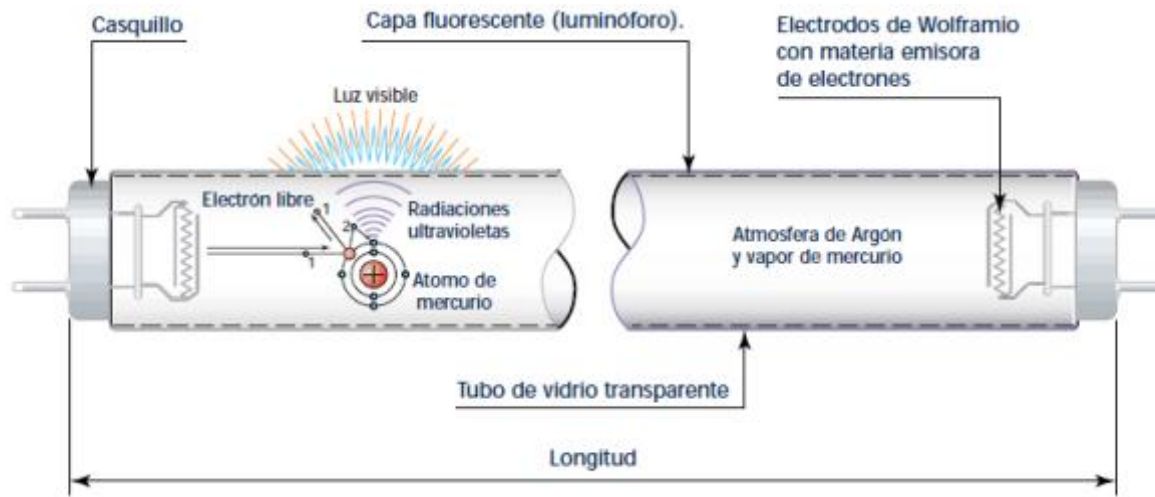
Generación de luz y tipos de lámparas: LUMINISCENCIA



Emisión de lámpara de vapor de sodio



FOTOLUMINISCENCIA: Lámparas fluorescentes



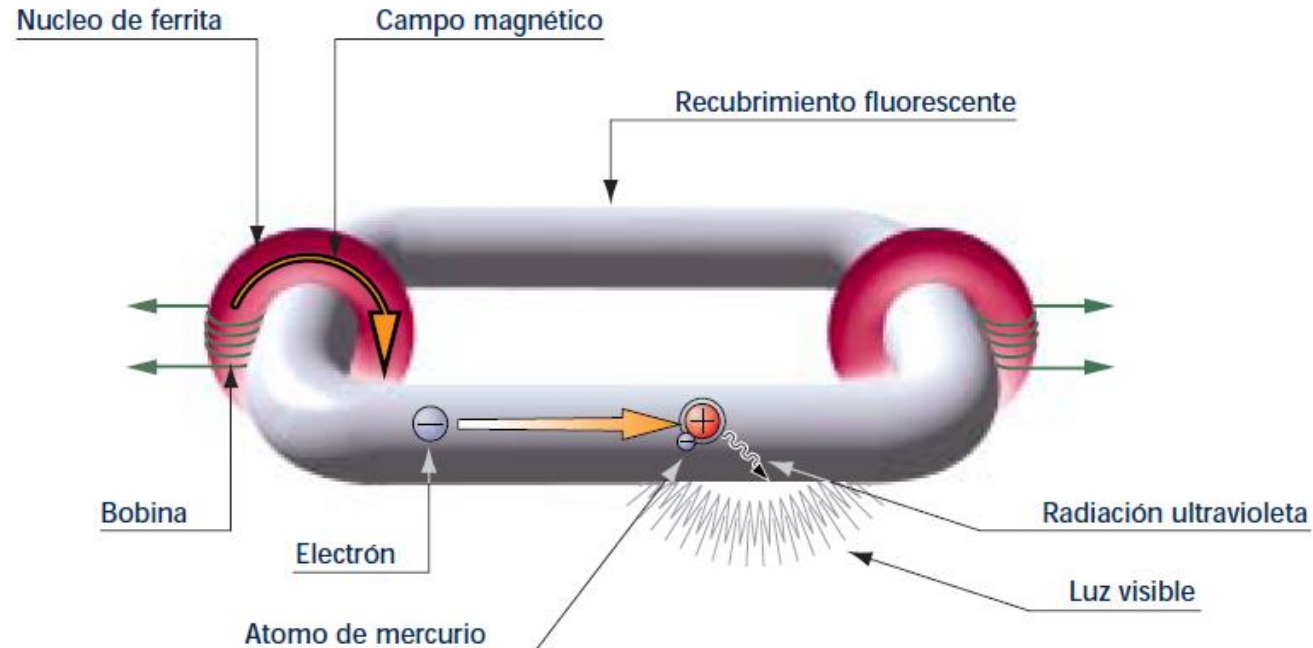
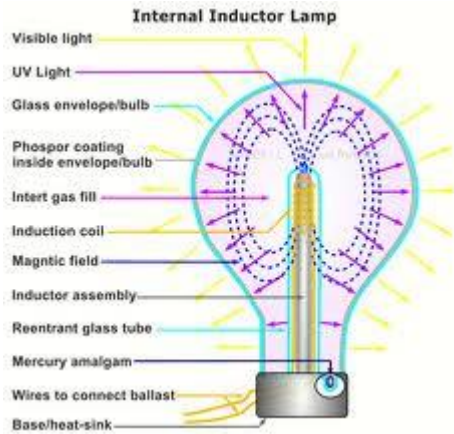
Tubos fluorescentes. Lámparas fluorescentes compactas (LFC).

- ✓ Lámparas de vapor de mercurio a baja presión (0.8 a 2500 Pa)
- ✓ Luminóforo: fósforos estándar, trifósforos, multifósforos.
- ✓ Índice de Reproducción cromática: 50-80
- ✓ Vida útil: condicionada por los electrodos, 5000 – 7500 h
- ✓ Temperatura de color: 2700 – 6500 K
- ✓ Espectro de emisión: UV (96%)

Diámetros: T5, T8, T12



FOTOLUMINISCENCIA: Lámparas fluorescentes

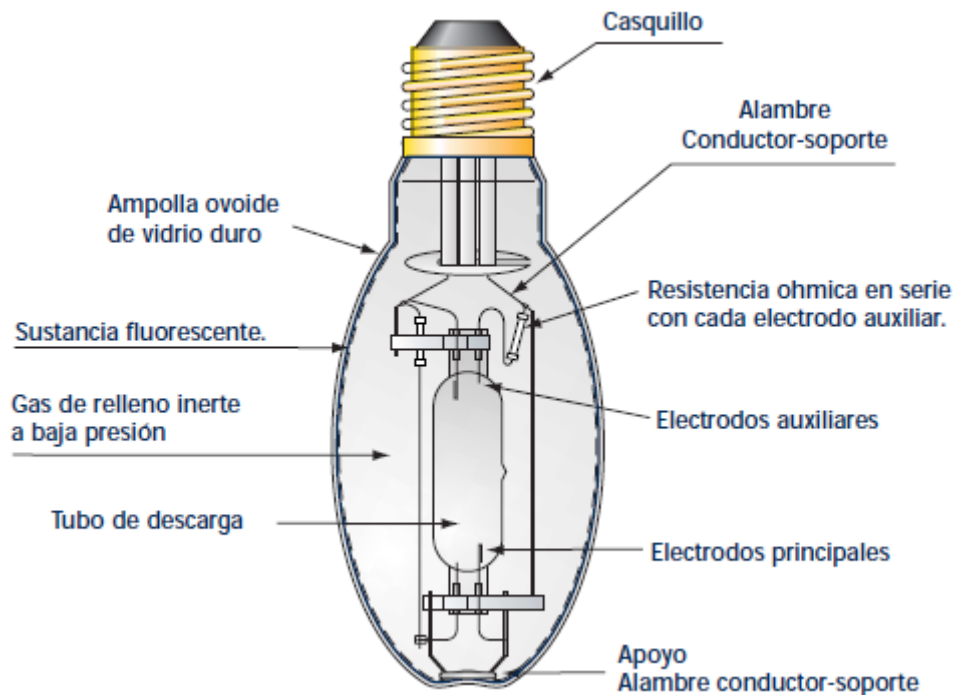


Lámparas de inducción.

- ✓ Lámparas de vapor de mercurio a baja presión.
- ✓ Carecen de electrodos. El campo magnético generado por núcleos de ferrita originan la descarga. Inductor interior o exterior.
- ✓ Larga vida útil: 60 000 h

FOTOLUMINISCENCIA: Lámparas de descarga en gases

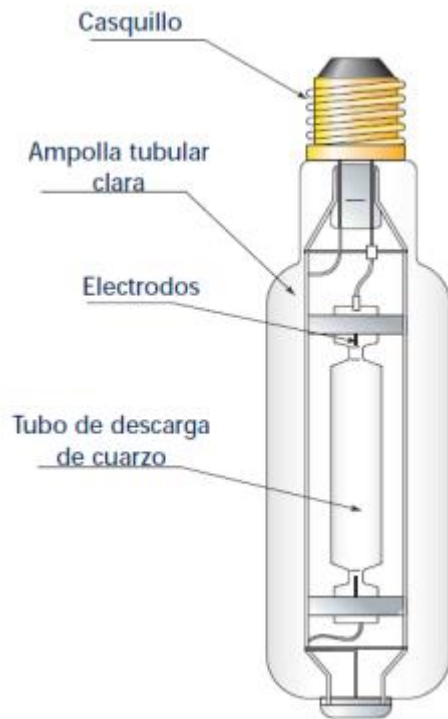
Lámparas de vapor de mercurio a alta presión



- ✓ Espectro de emisión completo, mejora con recubrimiento de la ampolla por sustancia fluorescente.
- ✓ Tiempo de encendido de 5 min.
- ✓ Enfriamiento previo antes del reencendido.

FOTOLUMINISCENCIA: Lámparas de descarga en gases

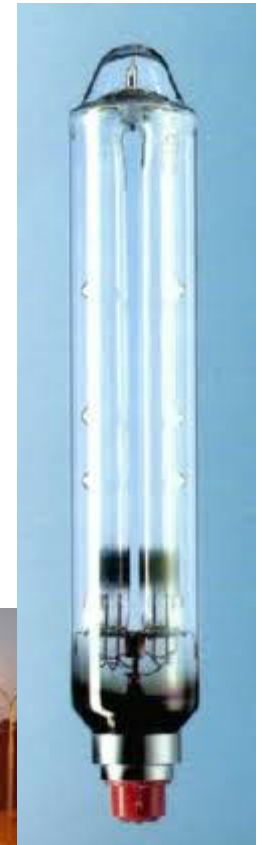
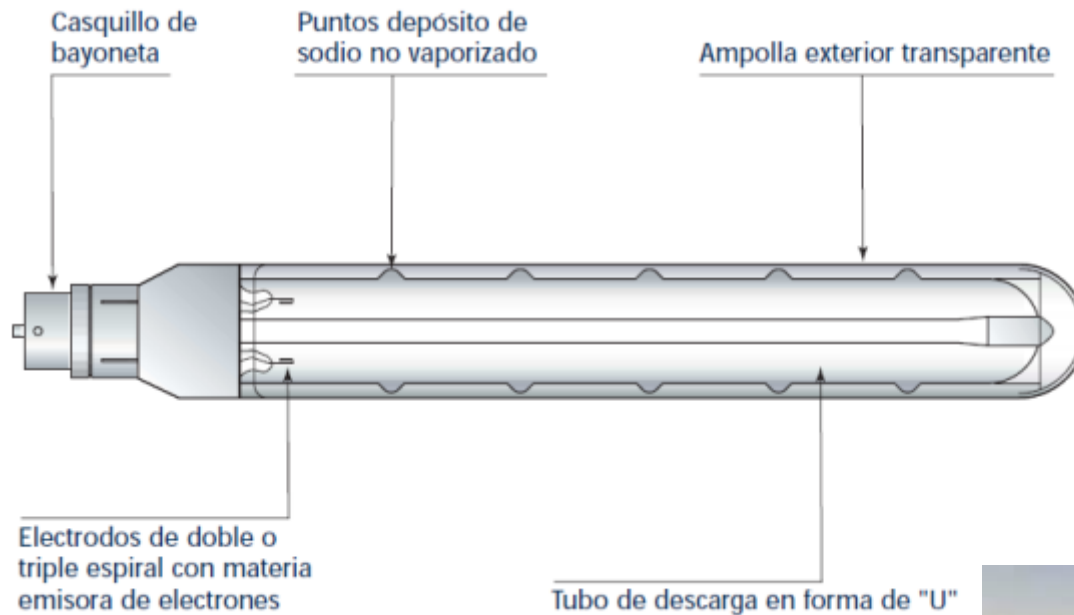
Lámparas de halogenuros metálicos



- ✓ Gas de relleno: Hg + halogenuros metálicos.
- ✓ Espectro de emisión parecido al de la luz natural.
- ✓ Buen rendimiento luminoso: 120 lm/W
- ✓ Reencendido inmediato con tensiones de choque de 0.8-5 kV.

FOTOLUMINISCENCIA: Lámparas de descarga en gases

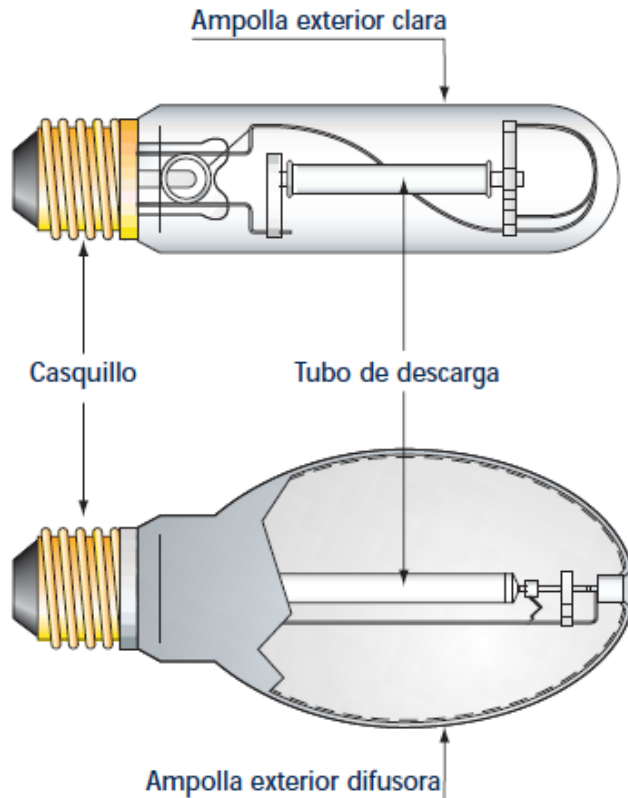
Lámparas de vapor de sodio a baja presión



- ✓ Alta eficiencia: 200 lm/W.
- ✓ Larga vida útil.
- ✓ Luz amarilla, baja reproducción cromática.
- ✓ Tiempo de encendido (calentamiento) 15 min.

FOTOLUMINISCENCIA: Lámparas de descarga en gases

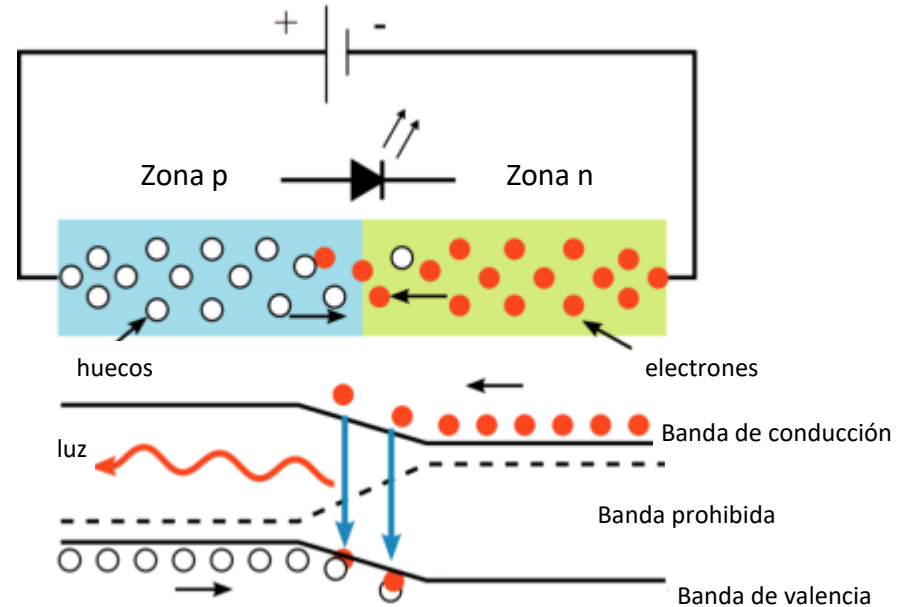
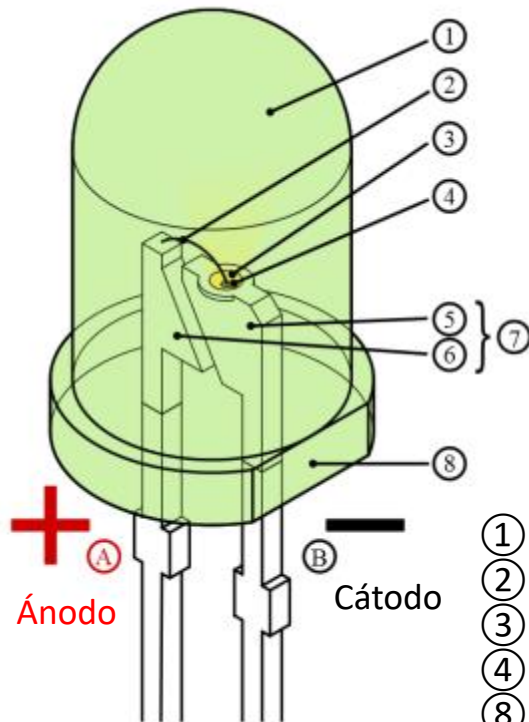
Lámparas de vapor de sodio a alta presión



- ✓ Mayor presión de funcionamiento.
- ✓ Mejora la reproducción cromática.
- ✓ Necesita enfriamiento para el reencendido.

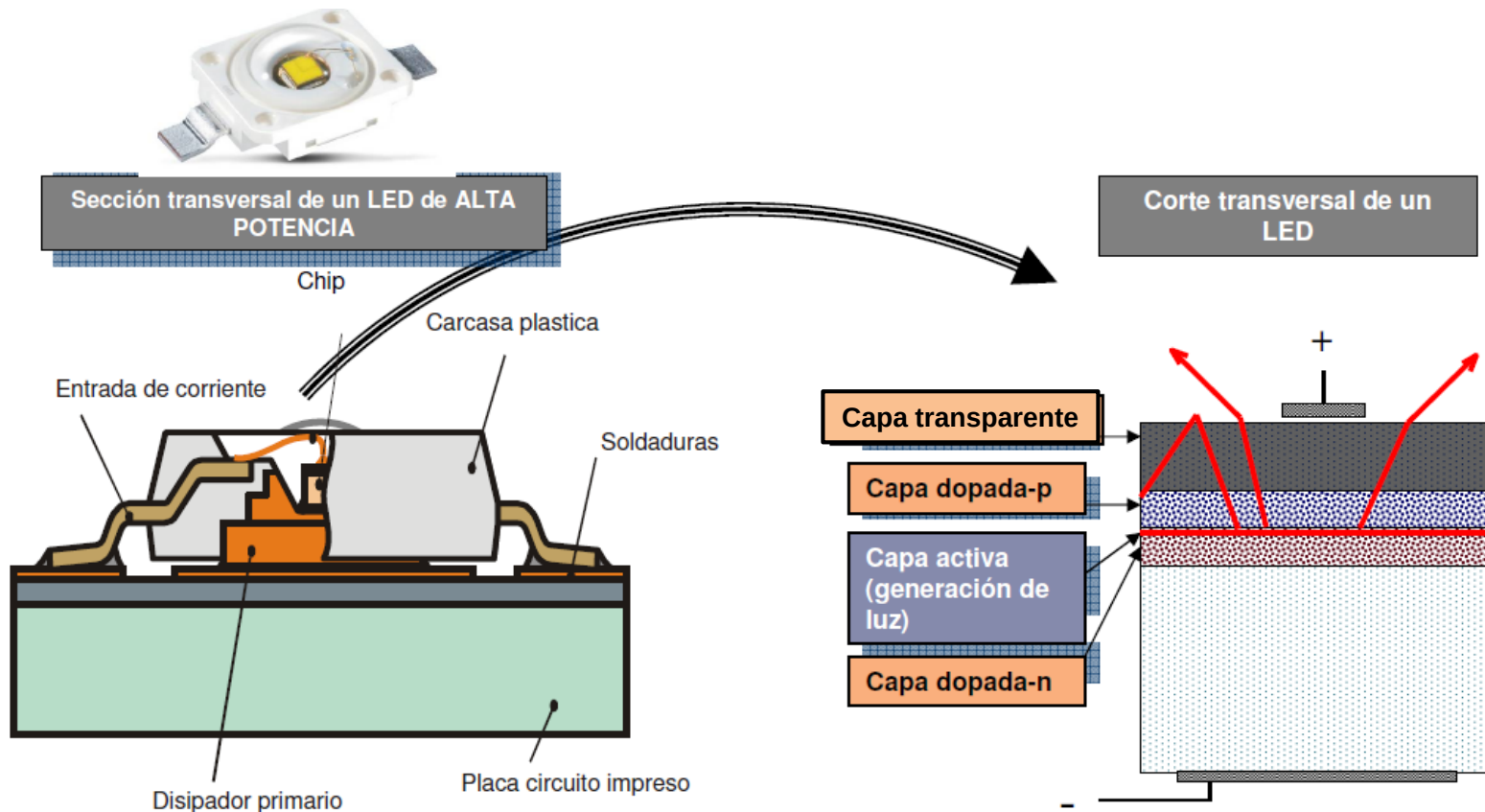
ELECTROLUMINISCENCIA

LED's o Ledes (Light-Emitting Diodes)



ELECTROLUMINISCENCIA

LED's o Ledes (*Light-Emitting Diodes*)



ELECTROLUMINISCENCIA

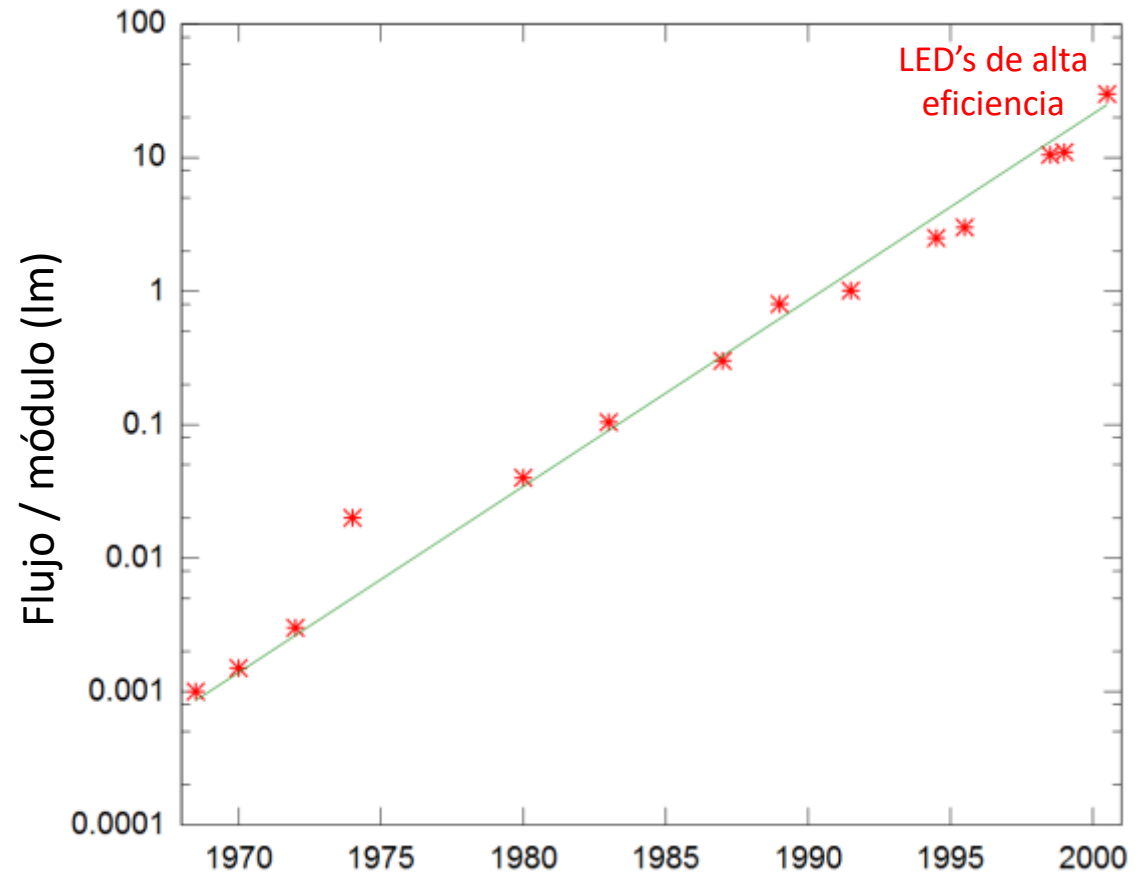
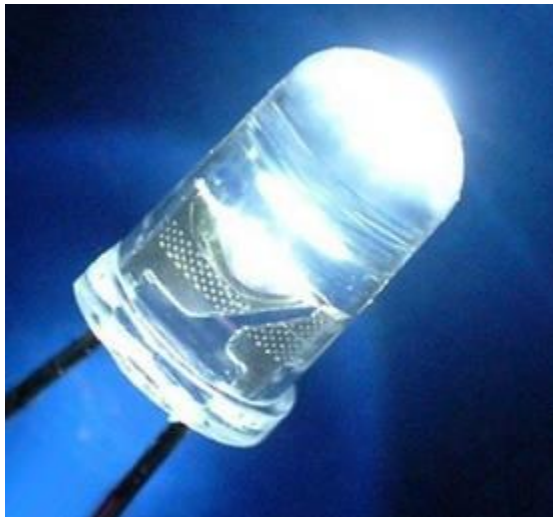
LED's o Ledes (*Light-Emitting Diodes*)

	Color	λ (nm)	ΔV (V)	Material Semiconductor
	Infrarrojo	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.9$	GaAs, AlGaAs
	Rojo	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	AlGaAs, GaAsP, AlGaInP, GaP
	Naranja	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	GaAsP, AlGaInP, GaP
	Amarillo	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	GaAsP, AlGaInP, GaP
	Verde	$500 < \lambda < 570$	$1.9 < \Delta V < 4.0$	InGaN, GaN, AlGaInP, GaP, AlGaP
	Azul	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	ZnSe, InGaN, SiC*, Si*
	Violeta	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta V < 4.0$	InGaN
	Ultravioleta	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	Diamante (235 nm), BN (215 nm), AlN (210 nm), AlGaInN (< 210 nm)
	Blanco	Espectro completo	$\Delta V = 3.5$	Diodos Azul/UV con fósforos amarillos

(*) Como sustratos

ELECTROLUMINISCENCIA

LED's o Ledes (Light-Emitting Diodes)



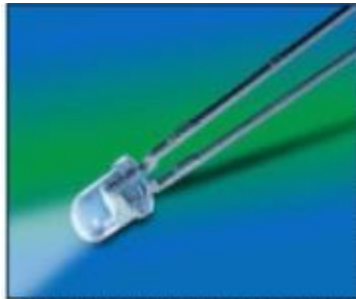
Evolución de la tecnología

ELECTROLUMINISCENCIA

LED's o Ledes (Light-Emitting Diodes)

Evolución de la tecnología

LED radial



Radial LED
 (3mm/5mm) : 0.1W

Características:
 - Lentes epoxi integra
 - Max. I 20-30mA

LED montado en superficie (SMT)



Power TOPLED
 < 0.3 W

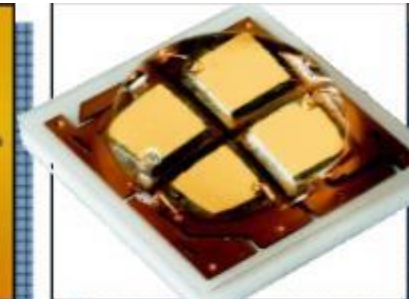
Características:
 - 2 V - 4 V
 - Max. current ~70mA
 - Flujo Luminoso: 4lm



High Flux LED
 1.53 W

Características:
 - Max. I >700 mA
 - Flujo: >40lm

Chip-on-board



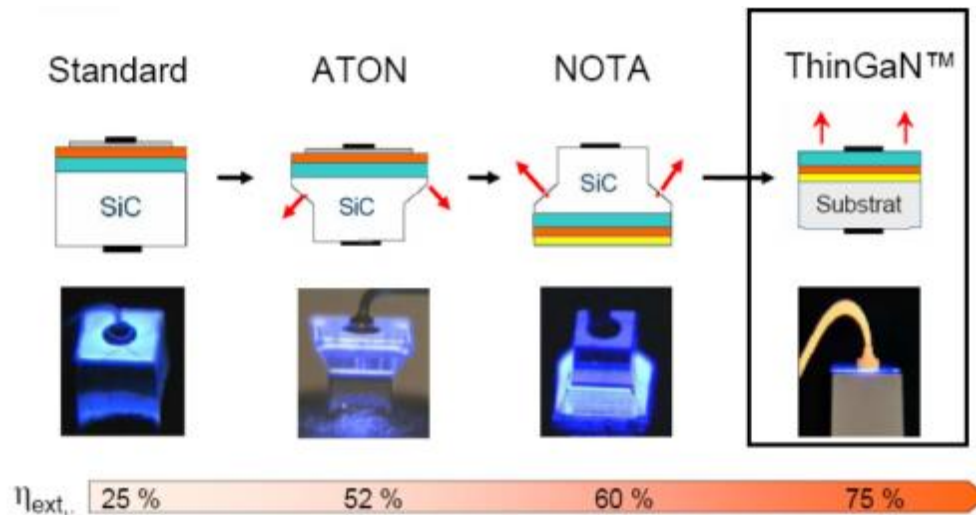
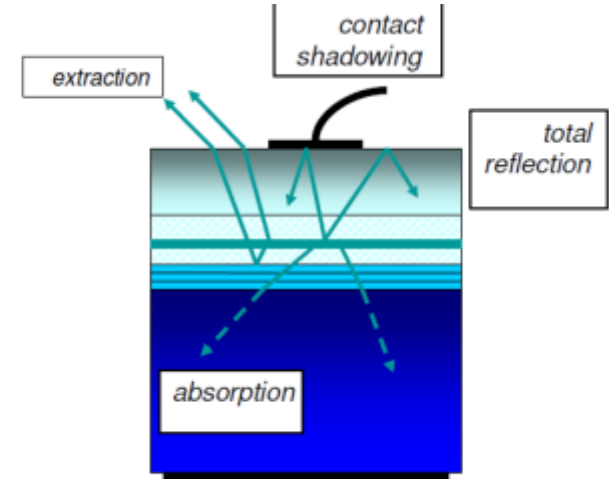
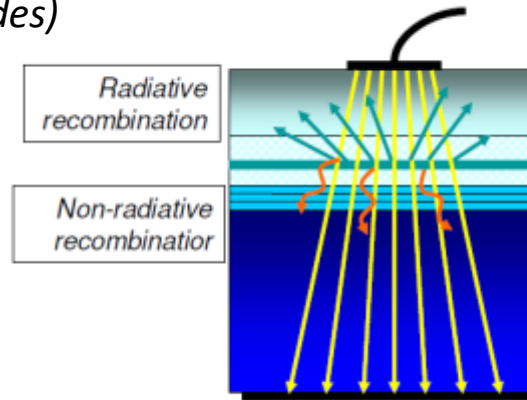
Compact light
 source
 ~ 10 W....30 W

Características:
 - Max. I >>1A
 - Flujo Lum >100lm

ELECTROLUMINISCENCIA

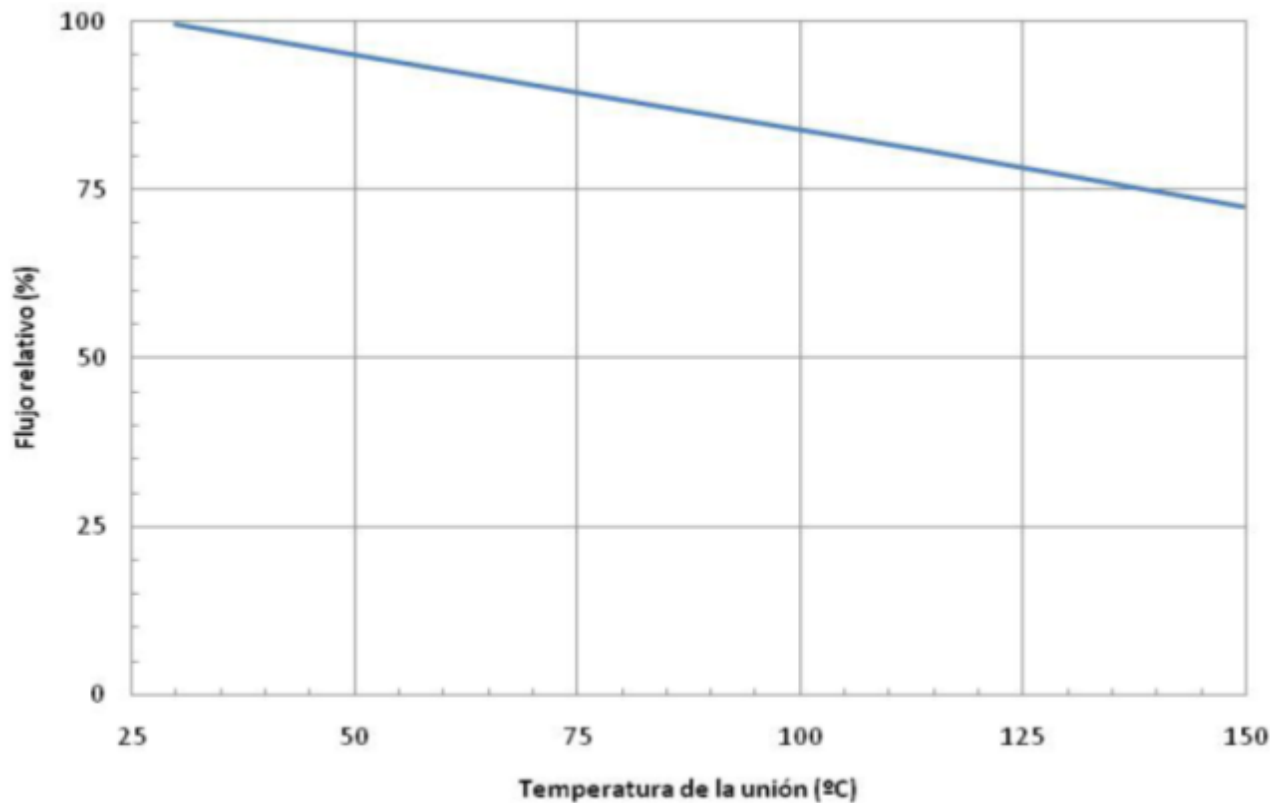
LED's o Ledes (Light-Emitting Diodes)

- ✓ Problema: Ineficiencia en la recombinación n-p, parte se pierde en forma de calor.
- ✓ Parte de la radiación emitida se refleja interiormente.



ELECTROLUMINISCENCIA

LED's o Ledes (*Light-Emitting Diodes*)



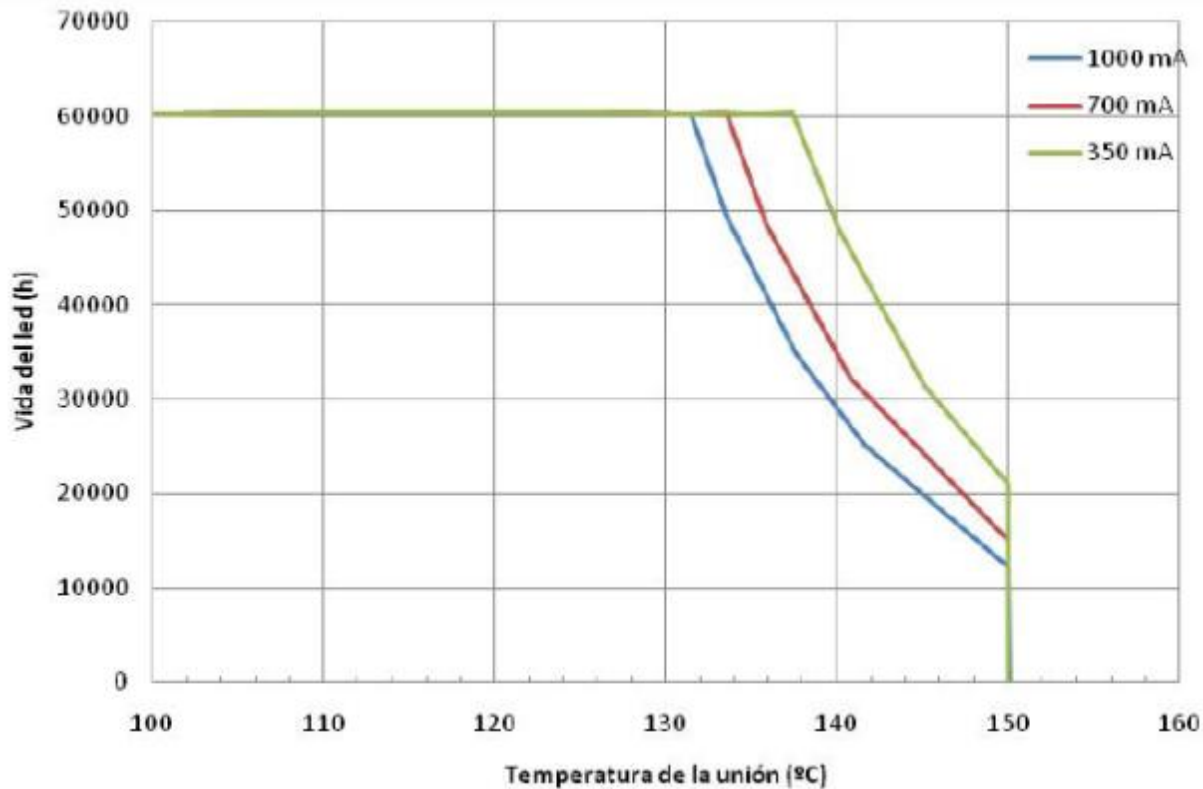
✓ La principal causa de **depreciación del flujo** emitido es el aumento de la temperatura de la unión.

✓ Diseño orientado a emitir el calor generado, uso de disipadores de calor.

Fuente: ANFALUM

ELECTROLUMINISCENCIA

LED's o Ledes (*Light-Emitting Diodes*)



✓ La **vida útil** del LED es función de la temperatura de la unión y de la corriente de alimentación.

✓ Flujo directamente relacionado con la corriente de alimentación. Corrientes habituales de polarización: 10 a 40 mA; de 350 mA a 1 A en LED de alta eficiencia.

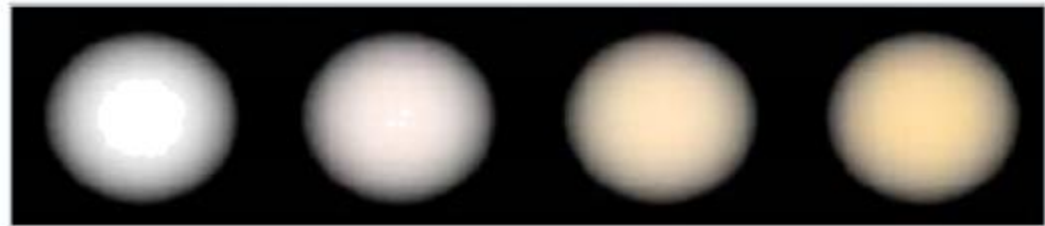
Fuente: ANFALUM

ELECTROLUMINISCENCIA

LED's blancos de alta eficiencia



✓ Luz blanca generada por LED's azules o UV con un encapsulado recubierto de sustancia fosforescente ($\text{Ce}^{3+}:\text{YAG}$)



$T_c = 6500 \text{ K}$

$T_c = 4700 \text{ K}$

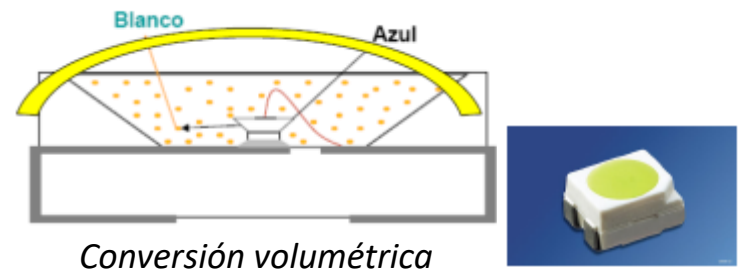
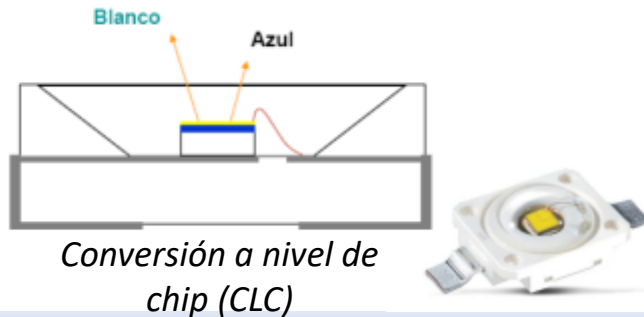
$T_c = 3300 \text{ K}$

$T_c = 2700 \text{ K}$

↓ IRC
 ↑ ϕ

↑ IRC
 ↓ ϕ

Rendimientos actuales similares a los de un tubo fluorescente: 80 lm/W



ELECTROLUMINISCENCIA

Aplicaciones de Led's de Alta eficiencia

✓ Fuentes de luz con LED's tipo *retrofit*, para la sustitución de otras lámparas.



Alumbrado interior



7 W, diseñada para la sustitución de incandescentes de 40 W, E27. Fuente: *Philips lighting*



✓ Integrados en módulos y luminarias

Alumbrado interior



Alumbrado público



ELECTROLUMINISCENCIA

LED's o Ledes (Light-Emitting Diodes)

Ventajas

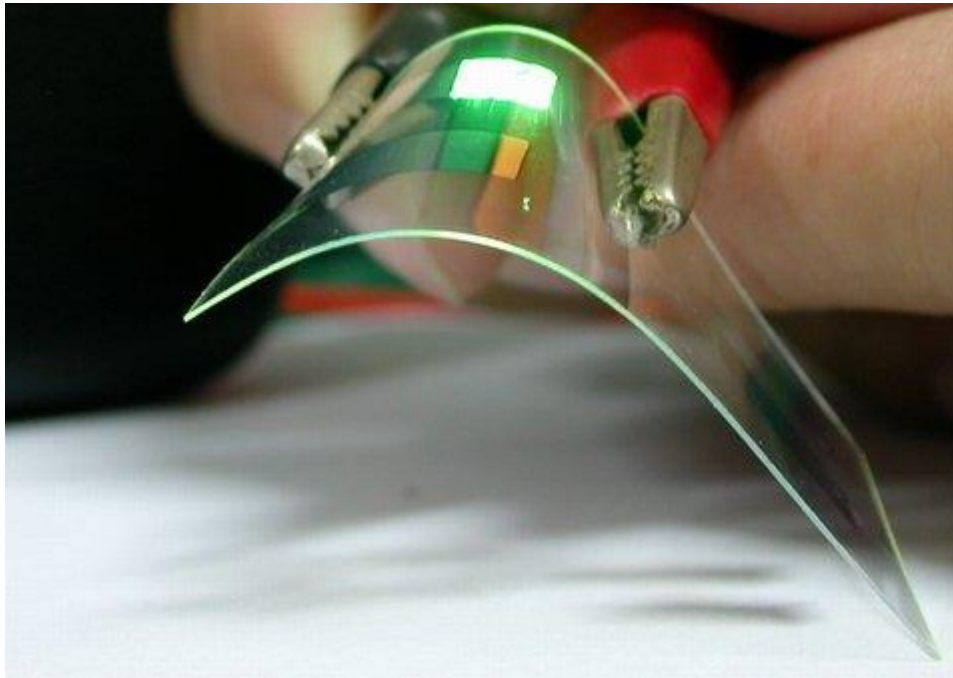
- ✓ Alta Eficiencia
- ✓ Amplias posibilidades de espectro de color.
- ✓ Tamaño
- ✓ Tiempo de encendido: régimen nominal en menos de un milisegundo.
- ✓ Encendidos frecuentes.
- ✓ Regulación: con PWM o regulando la intensidad de corriente.
- ✓ Luz fría con baja emisión de radiación IR.
- ✓ Baja tasa de fallos (no fortuitos, depreciación de flujo progresiva)
- ✓ Vida útil muy larga: 35 000 a 50 000 h.

Desventajas

- ✓ Alto coste inicial (cada vez menor)
- ✓ Su funcionamiento depende de la temperatura ambiente.
- ✓ Sensibilidad a la tensión de alimentación.
- ✓ Calidad de la luz, IRC variable.
- ✓ Polarización directa.
- ✓ Su eficiencia disminuye al aumentar la corriente de alimentación.

ELECTROLUMINISCENCIA

OLED's (Organic Light-Emitting Diodes)



OLED's, Organic light-Emitting Diode

El semiconductor se trata de un compuesto orgánico

¿Futuro desarrollo para aplicaciones de iluminación?

TABLA RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS

Tecnología	Potencia (W)	Rendimiento (lm/W)	Vida útil (h)
Incandescencia estándar	3 - 1000	10 - 15	1000 – 2000
Incandescencia halógena	5 – 500	15 – 25	2000 – 4000
Tubo fluorescente	4 – 56	50 - 100	7500 – 24000
Lámpara flúo-compacta	5 – 40	50 - 80	10000 – 20000
Vapor de mercurio, alta presión	40 – 1000	25 – 55	16000 – 24000
Sodio, alta presión	35 – 1000	40 - 140	16000 – 24000
Sodio, baja presión	35 – 180	100 - 185	14000 – 18000
Halogenuros metálicos	30 – 2000	50 - 115	6000 – 20000
LED	0.05 – 0.1	10 – 30 ^(*)	40000 - 100000

Fuente: *Alimentación Circuitos de alumbrado* (SCHNEIDER ELECTRIC)

(*) Referencias más actuales indican 100 lm/W

EQUIPOS AUXILIARES

- ✓ Son equipos eléctricos o electrónicos asociados a la lámpara y que tienen como función el encendido y control de las condiciones de funcionamiento de la misma.

Tecnología	Modo de alimentación	Otro dispositivo
Incandescencia estándar	Alimentación directa	Regulador de luminosidad
Incandescencia halógena		
Incandescencia halógena MBT	Transformador	Convertidor electrónico
Tubo fluorescente	Balasto magnético y cebador	Balasto electrónico Balasto + regulador electrónico
Lámpara flúo-compacta	Balasto electrónico integrado	
Vapor de mercurio	Balasto magnético	Balasto electrónico
Sodio alta presión		
Sodio baja presión		
Halogenuros metálicos		
LED's	Driver (Alimentación tensión continua y baja)	

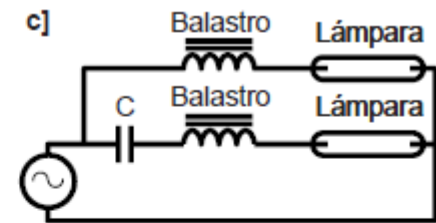
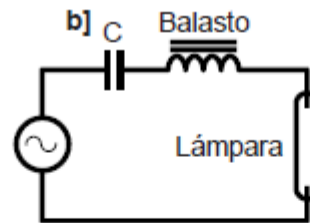
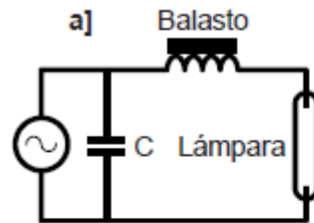
Fuente: *Schneider Electric*

EQUIPOS AUXILIARES

Balasto magnético



✓ Es necesario realizar una compensación para mejorar el factor de potencia ya que el conjunto lámpara-balasto tienen un carácter inductivo.

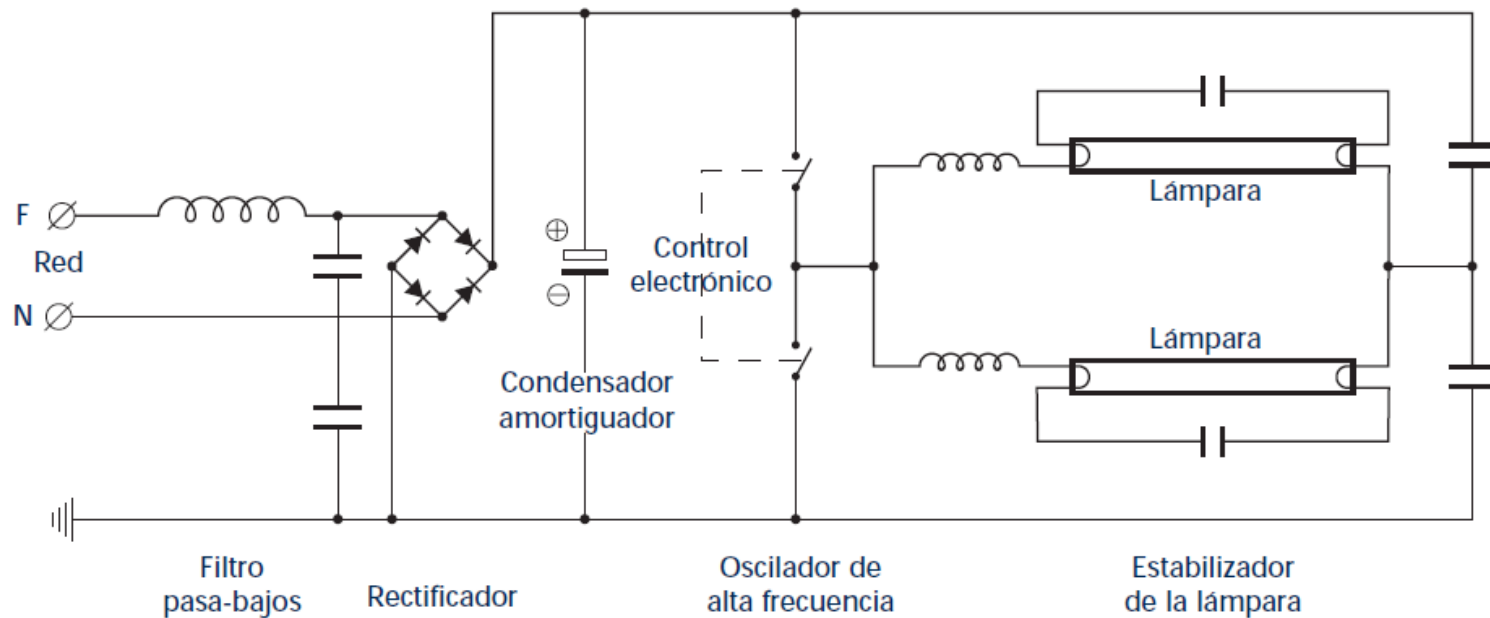


Esquema de compensación	Utilización	Comentarios
Sin compensación	Doméstico	Montaje unitario
Paralelo [a]	Oficinas, talleres, grandes superficies	Riesgo de sobreintensidades para los aparatos de control
Serie [b]		Elegir condensadores con tensión de servicio elevada (450 a 480 V)
Dúo [c]		Evita el parpadeo

EQUIPOS AUXILIARES

Balasto electrónico

- ✓ Balastos electrónicos (rango de funcionamiento: 50 Hz-500 Hz, 20 – 60 kHz). Ahorro de energía de entre un 5 – 10 %.



EQUIPOS AUXILIARES

Balasto electrónico

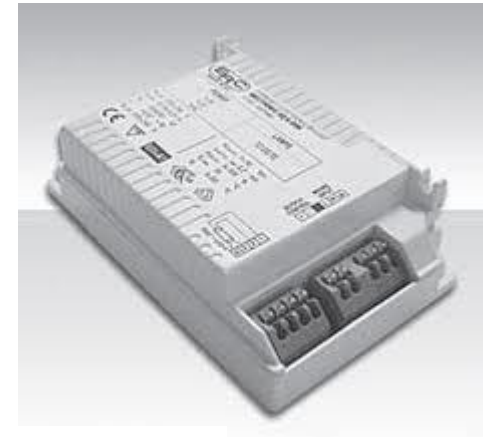
✓ **Ventajas** del uso de balastos electrónicos:

Alta eficiencia ($> 93\%$).

No necesita compensación complementaria.

Silenciosos.

Eliminar el *flicker* y previenen efectos estroboscópicos.



✓ **Inconvenientes** del uso de balastos electrónicos:

Se producen sobrecorrientes en la conexión.

Distorsión armónica.

Corrientes de fugas.

Emisiones electromagnéticas



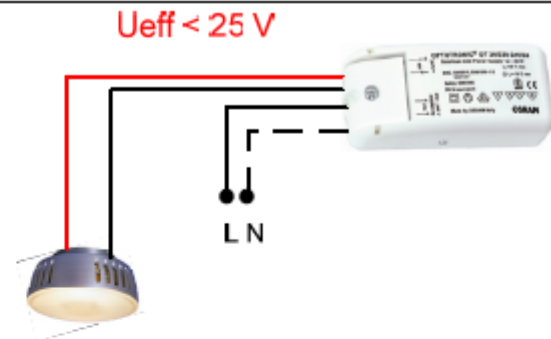
EQUIPOS AUXILIARES

Driver en LED's

A) FUENTE DE ALIMENTACIÓN A TENSIÓN CONSTANTE:

Led o módulos led de baja potencia.

Tensión de salida típicas de 10 Vcc; 12 Vcc ; 24 Vcc



B) FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE INTENSIDAD CONSTANTE:

Led o módulos led de alta potencia.

Intensidad de salida típicas de 350 mA ; 500 mA;
750 mA y 1000 mA(1A)

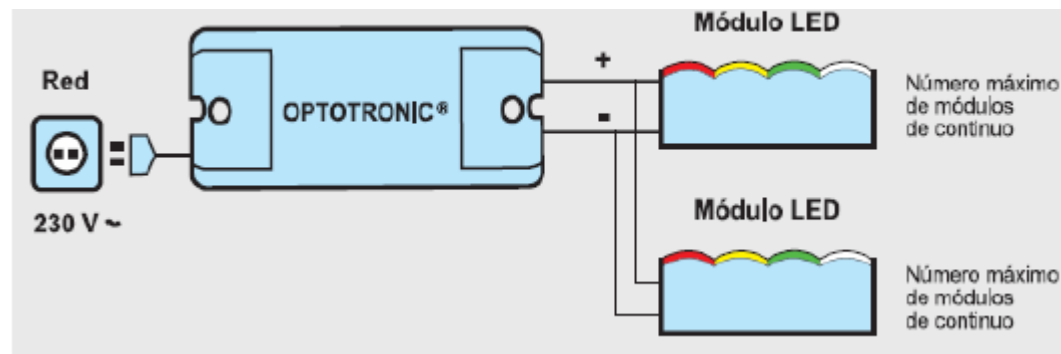


EQUIPOS AUXILIARES

Driver en LED's

La tensión continua de salida debe estar muy estabilizada para mantener constante tanto la potencia como la intensidad de los LEDs, garantizando su vida y correcto funcionamiento.

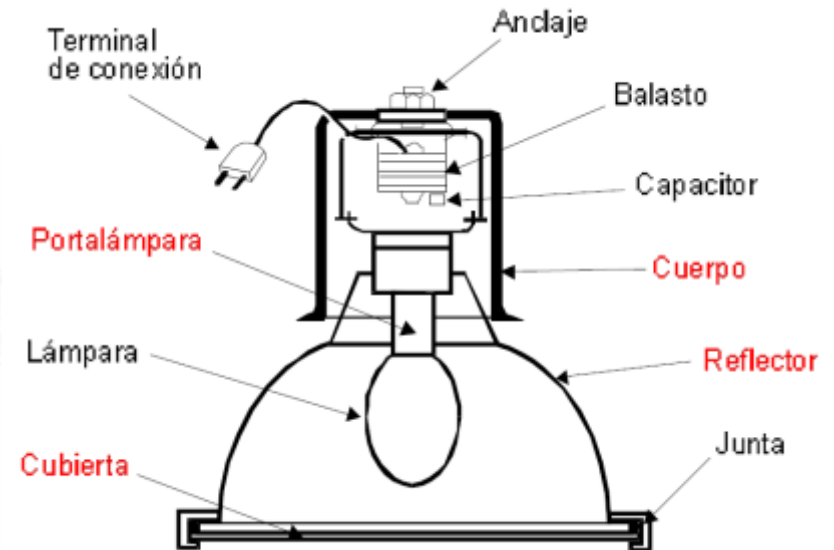
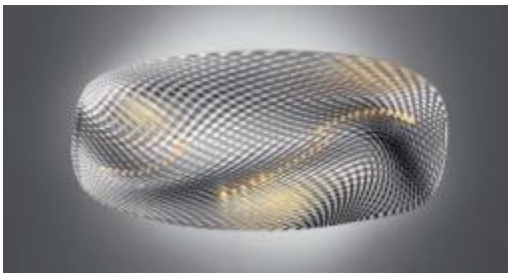
Variación de la Vdc de alimentación (%)	Variación de la potencia respecto a la obtenida con Vdc de alimentación nominal (%)
+ 5%	+ 25%
+10%	+ 45%
- 5%	- 15%
- 10%	- 30%



LUMINARIAS

✓ 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 las lámparas, y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación (UNE-EN 60598-1)

- Carcasa o cuerpo
- Equipo Eléctrico
- Reflectores
- Refractores
- Difusores

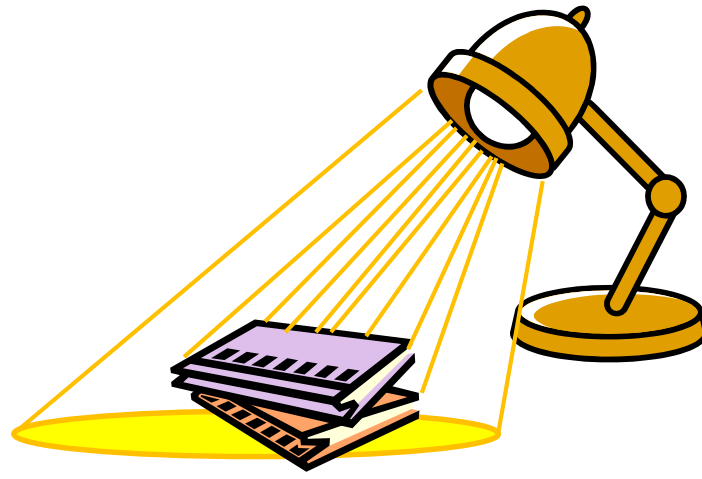


LUMINARIAS

✓ (η) **Eficiencia o rendimiento de la luminaria** (LOR, *Light Output Ratio*): razón entre el flujo saliente de la luminaria y el flujo emitido por la(s) lámpara(s).

✓ (f_u) **Factor de utilización:**

$$\text{Factor de utilización} = \frac{\text{Flujo en el área de trabajo}}{\text{Flujo emitido por la luminaria}}$$



Flujo en el área de trabajo



Flujo lámpara



Flujo luminaria

LUMINARIAS

Aplicación



Iluminación interior



Iluminación exterior

Modo de instalación



Suspendida



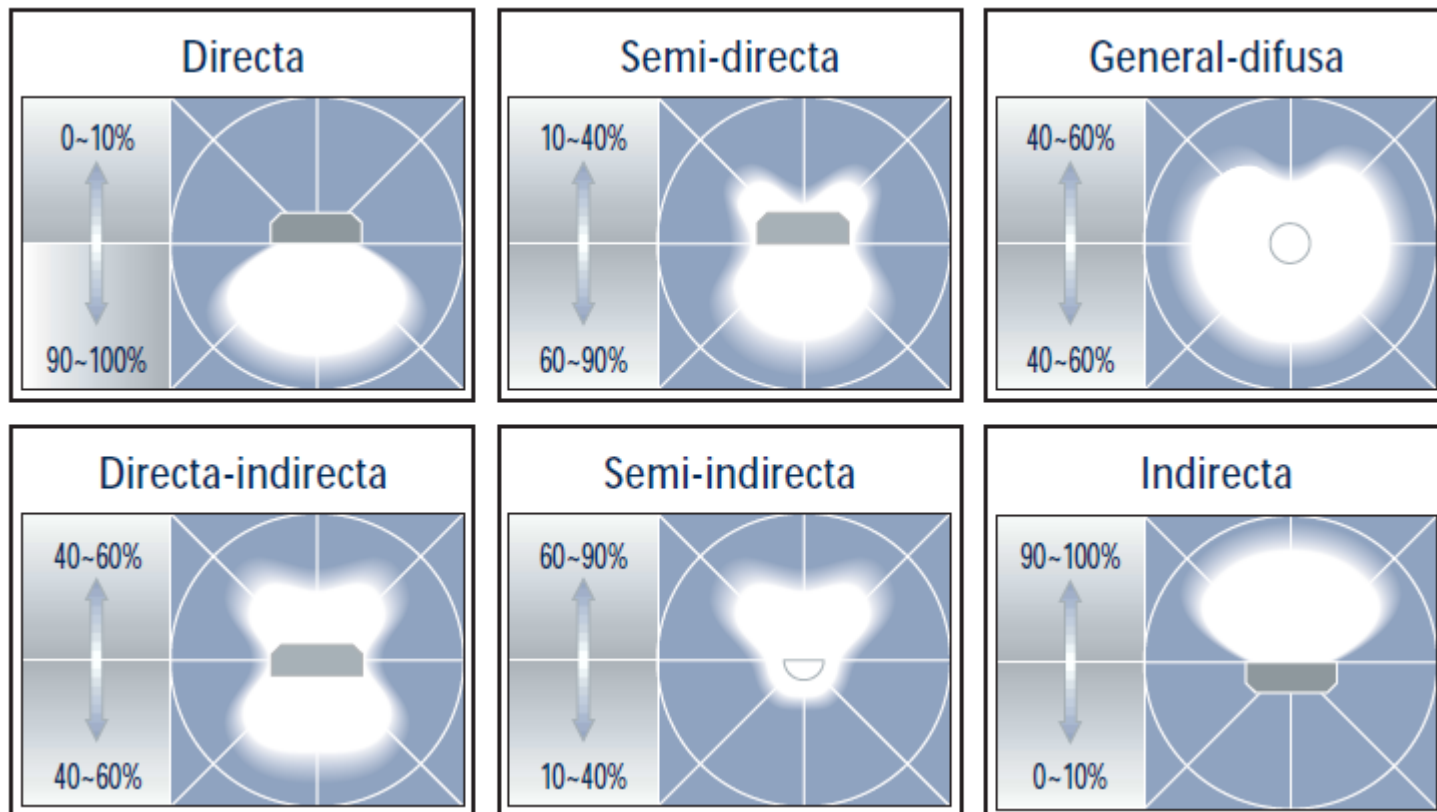
Empotrada



Adosada

LUMINARIAS

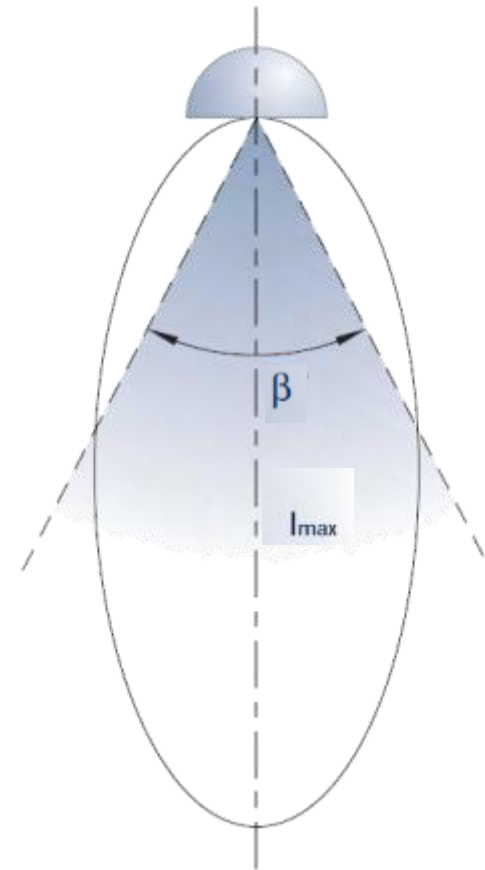
Clasificación del CIE en función del **porcentaje de flujo luminoso** total distribuido por encima y por debajo del plano horizontal.



LUMINARIAS

Clasificación en función de su distribución luminosa, tiene en cuenta el **ángulo**, medido desde la vertical, dentro del cual se emite hacia abajo el 50% del flujo luminoso total:

Clase de luminaria	Ángulo $\beta/2$ (50% del flujo)
Intensiva	0 – 30°
Semi-intensiva	30 – 40°
Dispersora	40 – 50°
Semi-extensiva	50 – 60°
Extensiva	60 – 70°
Hiper-extensiva	70 – 90 °

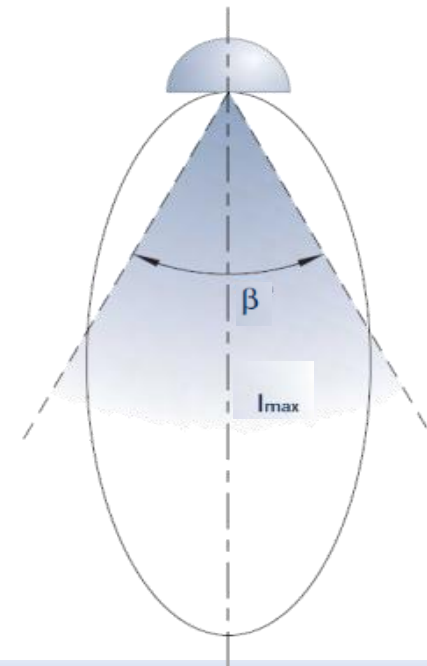
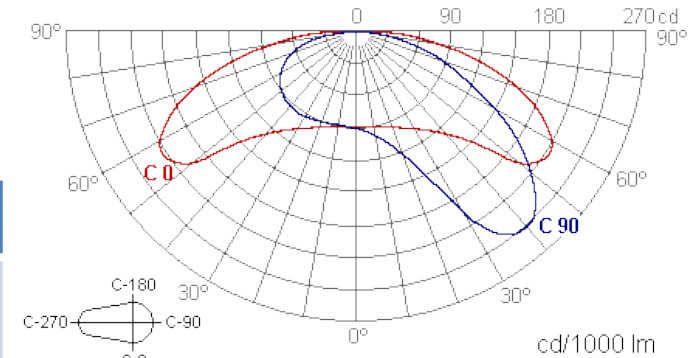


Influye en la uniformidad de la iluminación.

LUMINARIAS

Código CIE: N1 N2 N3 N4 LOR

Dígito	Relación	Conceptos
1	$N1 = \frac{F1}{F4}$	F1: flujo emitido entre 0° y 41,4°
2	$N2 = \frac{F2}{F4}$	F2: flujo emitido entre 0° y 60°
3	$N3 = \frac{F3}{F4}$	F3: flujo emitido entre 0° y 75,5°
4	$N4 = \frac{F4}{F}$	F4: flujo emitido entre 0° y 90°
5	$\eta \approx \text{LOR}$	F: flujo emitido entre 0° y 180°



VALOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN (VEEI), CTE-DB-HE3

La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determinará mediante el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI (W/m²) por cada 100 lux:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \text{ [W/m}^2\text{] por cada 100 lux}$$

siendo:

- P la potencia total instalada en lámparas más equipos auxiliares [W]
- S la superficie iluminada [m²]
- E_m la iluminancia media horizontal mantenida [lux]

Hay unos VEEI límite (tabla 2.1) marcados en el nuevo CTE-DB-HE3 (FOM/1635/2013), un 20 % más restrictivos que el HE3 del 2006. Ya no se distinguen entre zonas de representación y zonas de no representación.

Aplicación: Edificios nueva construcción, intervenciones en edificios existentes de gran superficie (> 1000 m²); en intervenciones en las que se reforme o amplíe la instalación de iluminación; cambios de uso característico del edificio o de la zona del edificio.

Tabla 2.1 Valores límite de eficiencia energética de la instalación

<i>Zonas de actividad diferenciada</i>	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
almacenes, archivos, <i>salas técnicas</i> y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
estaciones de transporte ⁽⁶⁾	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) ⁽⁷⁾	6,0
hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias ⁽⁹⁾	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

Valores límite de VEEI

Fuente: CTE-DB-HE3 (Septiembre 2013)

VALORES LÍMITE DE POTENCIA INSTALADA EN EL EDIFICIO, CTE-DB-HE3

La potencia instalada en iluminación teniendo en cuenta la *potencia de lámparas y equipos auxiliares*, no superará los valores especificados en la siguiente tabla:

Tabla 2.2 Potencia máxima de iluminación

Uso del edificio	Potencia máxima instalada [W/m2]
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15
Hospitalario	15
Restauración	18
Auditorios, teatros, cines	15
Residencial Público	12
Otros	10
Edificios con nivel de iluminación superior a 600lux	25

Fuente: CTE-DB-HE3 (Septiembre 2013)

SISTEMAS DE CONTROL Y REGULACIÓN

- ✓ Programadores horarios.
- ✓ Detectores de presencia.
- ✓ Regulación del flujo emitido: Variadores de luminosidad para balastos electrónicos :
 - Variación de la tensión por PWM (modulación del ancho de fase).
 - Regulación con una tensión de frecuencia variable.

CTE-DB-HE3

- ✓ Toda zona dispondrá al menos de un sistema de encendido y apagado manual; sistema de encendido por horario centralizado en cada cuadro eléctrico.
- ✓ Se instalarán sistemas de aprovechamiento de luz natural, que regulen proporcionalmente y de manera automática por sensor de luminosidad el nivel de iluminación en función del aporte de luz natural de las luminarias de las habitaciones de menos de 6 metros de profundidad y en las dos primeras líneas paralelas de luminarias situadas a una distancia inferior a 5 m de la ventana, y en todas las situadas bajo un lucernario, cuando se den una serie de condiciones.

Reglamento eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas (RD 1890/2008):

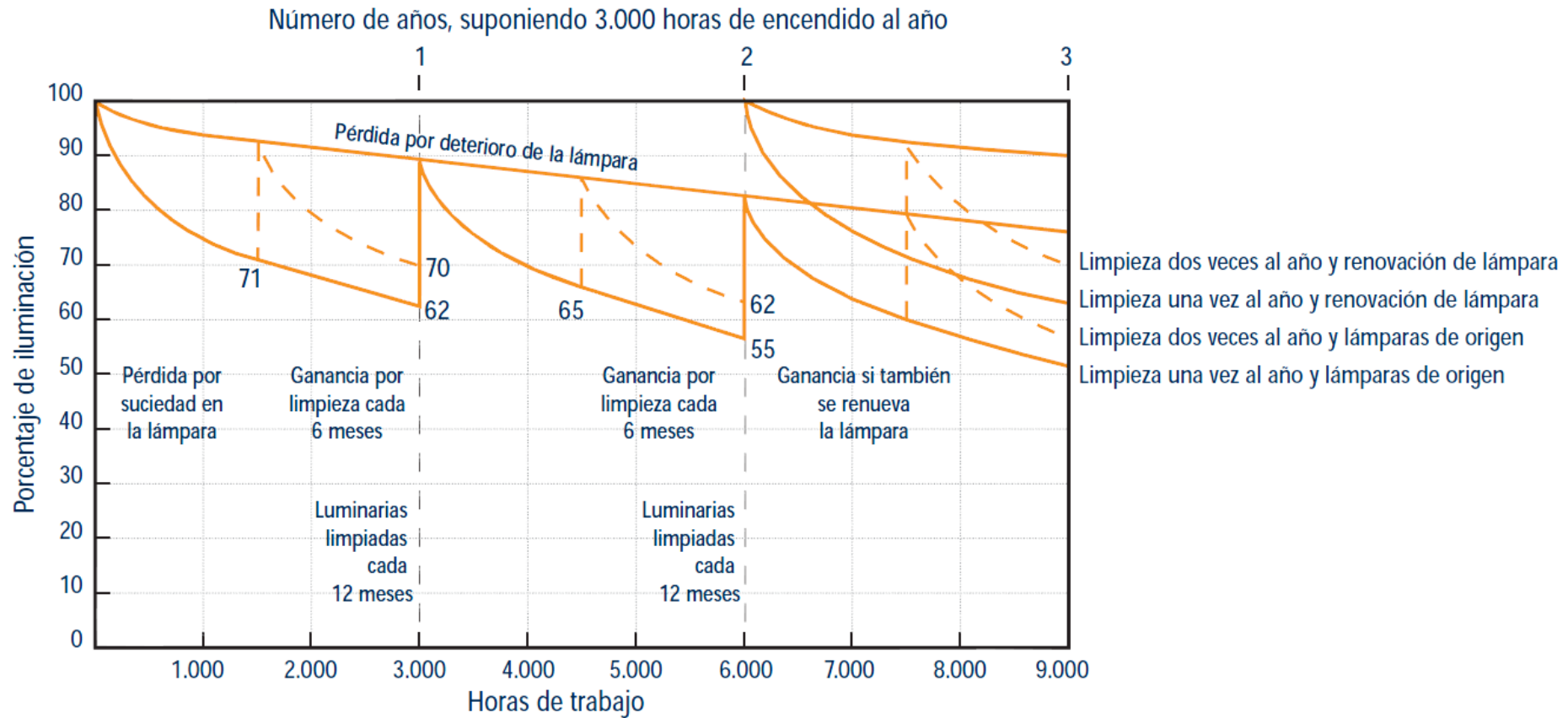
Por ejemplo: uso obligatorio de reguladores de flujo en alumbrado público.

MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN, CTE-DB-HE3

Para garantizar en el transcurso del tiempo el mantenimiento de los parámetros luminotécnicos adecuados y el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI, se elaborará en el proyecto un plan de mantenimiento de las instalaciones de iluminación que contemplará, entre otras acciones:

- Las operaciones de *reposición de lámparas* con la frecuencia de reemplazamiento,
- La *limpieza de luminarias* con la metodología prevista, periodicidad necesaria.
- La *limpieza de la zona iluminada*, periodicidad necesaria.

MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN, CTE-DB-HE3



Curvas combinadas de depreciación mostrando el efecto de limpieza y renovación en una instalación de lámparas fluorescentes. Fuente: Indalux

✓ **Iluminancia media mantenida** (E_m): valor por debajo del cual no debe descender la iluminancia media en el área especificada.

✓ **Índice de deslumbramiento Unificado** (UGR, Unified Glare Rating): Índice de 10 a 31. Indica el valor tolerable de deslumbramiento para una tarea.

✓ **Índice de reproducción cromática** (IRC, R_a): Es la capacidad de la fuente de luz para reproducir con fidelidad los colores de los objetos que ilumina. Valor de 0 a 100.

Normas **UNE-EN-12464-1**: Iluminación en lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo interiores; **UNE-EN-12464-2**: Iluminación en lugares de trabajo. Parte 2: Lugares de trabajo exteriores.

Oficinas				
Lugar o Actividad	E_m (lux) ⁽¹⁾	UGR _L ⁽²⁾	R_a ⁽³⁾	Observaciones
Archivos, copiadoras, áreas de circulación	300	19	80	
Lectura, escritura, mecanografía, proceso de datos	500	19	80	Acondicionar las pantallas de visualización
Dibujo Técnico	750	16	80	
Diseño asistido (CAD)	500	19	80	Acondicionar las pantallas de visualización
Salas de conferencias y reuniones	500	19	80	
Puestos de recepción	300	22	80	
Almacenes	200	25	80	
Pasillos y vías de circulación	100	28	40	
Servicios y aseos	100	25	80	
Salas de descanso	100	22	80	

Fuente: IDAE

✓ **Uniformidad:** la uniformidad informa de las diferencias de nivel de iluminación que existen entre diferentes zonas del área iluminada. Se distinguen:

Uniformidad media:
$$U_{med} = \frac{E_{min}}{E_m}$$

Uniformidad extrema:
$$U_{ext} = \frac{E_{min}}{E_{max}}$$

Iluminancia de tarea (lux)	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	E_{tarea}
Uniformidad: ≥ 0.7	Uniformidad: ≥ 0.5

Fuente: Normas **UNE-EN-12464-1**: Iluminación en lugares de trabajo.
 Parte 1: Lugares de trabajo interiores.

Otro criterio para valorar la uniformidad se basa en el tipo de distribución luminosa que condiciona la distancia de separación máxima (d) entre luminarias contiguas:

- Intensiva: $d \leq 1,2 h$
- Semi-intensiva, semi-extensiva o dispersora: $d \leq 1,5 h$
- Extensiva: $d \leq 1,6 h$

Siendo h la distancia entre el plano de trabajo y las luminarias.

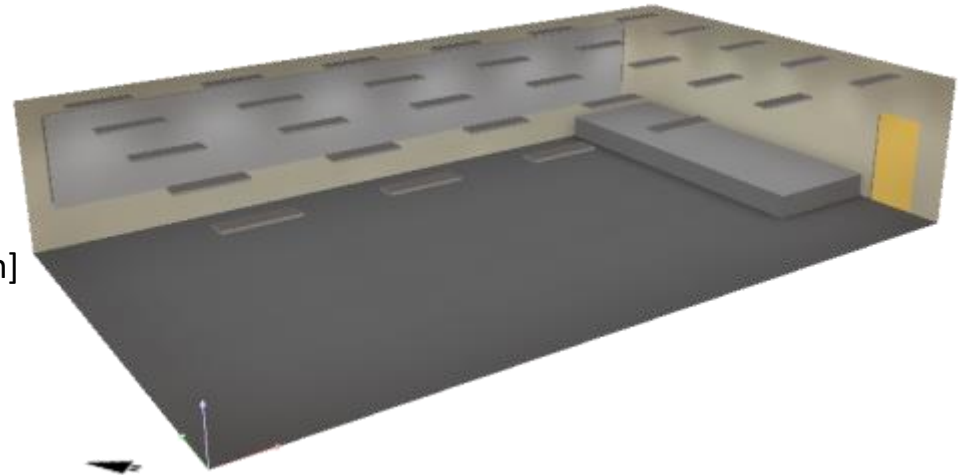
Cálculo manual: Método de los lúmenes

Para geometrías sencillas, o como método para comprobación de un cálculo a partir de programa de cálculo luminotécnico.

$$E_m = \frac{\Phi}{S} \quad E_m = \frac{f_u \cdot f_m \cdot \eta \cdot n \cdot \Phi}{S}$$

- E_m Iluminancia media en el plano de trabajo [lux]
 Φ Flujo emitido por las lámparas de una luminaria [lm]
(dato fabricante)
 f_u Factor de utilización
 f_m Factor de mantenimiento
 η Rendimiento de la luminaria **(dato fabricante)**
 n N.º de luminarias en el local
 S Superficie total del plano de trabajo [m²]

Factor de
mantenimiento
(f_m)



Clasificación de la sala	f_m según el grado de suciedad de las superficies de la sala y las luminarias	f_m total
Limpio	0,9	0,8
Mediano	0,8	0,7
Sucio	0,7	0,6

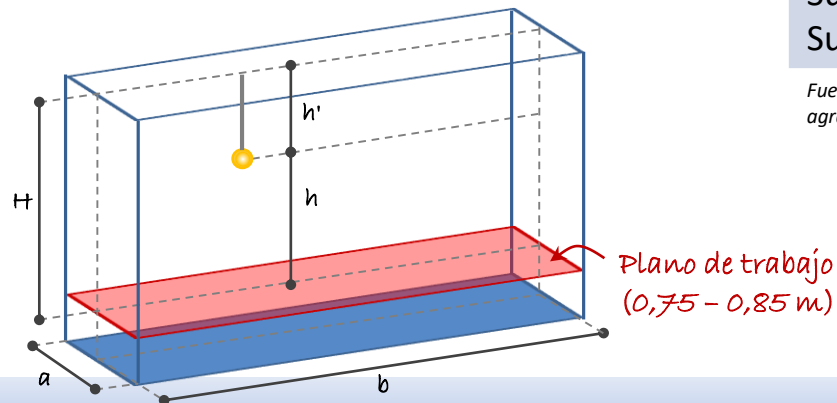
Fuente: Tecnología Eléctrica. Roger, J. et al. 2010

Factor de utilización (f_u)

Depende del *índice del local (K)* y de los *coeficientes de reflexión* de las superficies del local. Con estos dos datos se entra en tablas proporcionadas por el fabricante para calcular el factor de utilización.

Índice del local

Iluminación	Índice de local (K)
Directa Semidirecta	$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
Indirecta	$K = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot H \cdot (a + b)}$



Reflectancias de techos, paredes y suelos

Superficies reflectantes	Reflectancias
Techo de color blanco	0,8
Techo de color claro	0,5
Techo de color medio	0,3
Paredes de color blanco	0,8
Paredes de color medio	0,5
Paredes de color oscuro	0,3
Suelo de color medio	0,3
Suelo de color oscuro	0,1

Fuente: Instalaciones eléctricas de baja tensión en el sector agrario y agroalimentario. Luna, L. et al. 2008

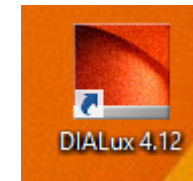
Introducción
Características de las fuentes de luz
Sistemas de iluminación
Eficiencia energética
Cálculo luminotécnico
Aprovechamiento luz natural

Requisitos lumínicos
Metodología de cálculo
Ejemplo de Cálculo

Programa de cálculo luminotécnico: DIALux4.13.0.0

The screenshot shows the DIAL website's download page. At the top, there's a navigation bar with 'DIAL light. building. software.' and a search bar. Below this, there's a large banner image of a modern interior. The main content area is titled 'Download' and features two main sections: 'DIALux evo 2' and 'DIALux 4.11'. Each section has a 'DOWNLOAD' button and a brief description of the software's capabilities. The 'DIALux 4.11' section also includes a link to the 'versión completa y actualización todos los idiomas'. On the right side of the page, there's a sidebar with links to the 'Foro DIALux 4/levo', 'Ayuda de DIALux en facebook.dialux.com', 'Ayuda de DIALux en twitter.dialux.com', and 'Se pueden encontrar tutoriales en el DIALux YouTube channel'. There are also social media icons for Facebook, Twitter, and YouTube.

<https://www.dial.de/es/dialux/download/dialux-4-download/>



DIALux Light4.13: asistente de iluminación

Otros programas: Relux, Calculux (Philips), Indalux (Indal)...

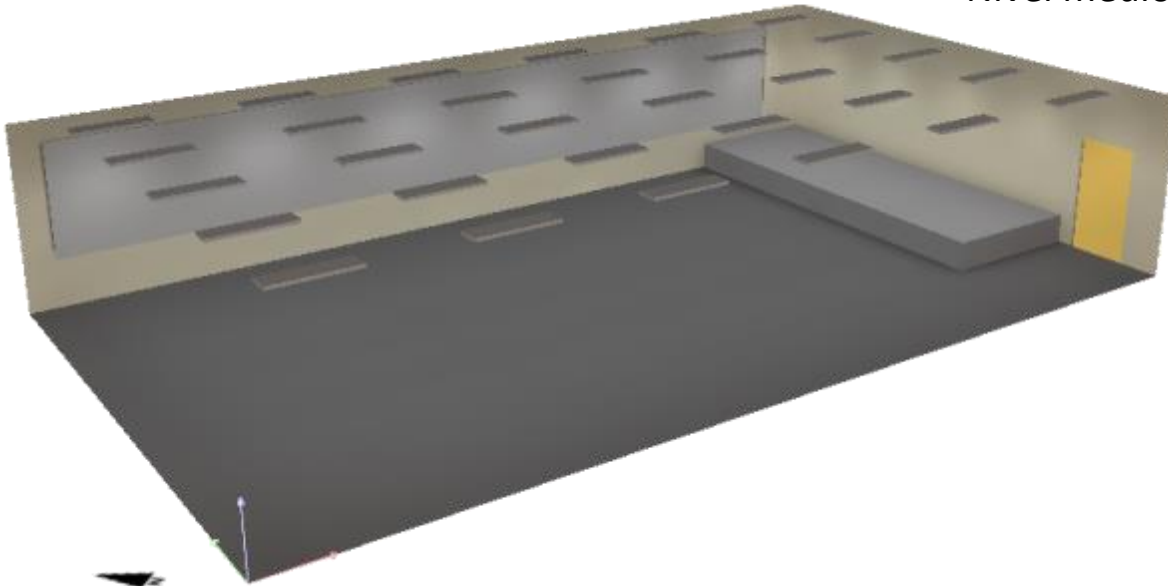
Cálculo luminotécnico del alumbrado interior de un aula

Dos tipos de lámparas:

- Fluorescente
- ¿LEDS?

DATOS

- Dimensiones del aula: 18 x 8,5 x 3,5 m
- Factores de reflexión (techos/paredes/suelo): 0,7/0,5/0,2
- Nivel medio de iluminación en servicio: 500 lux



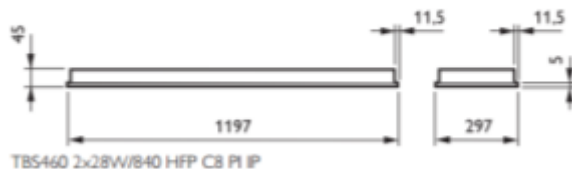
LUMINARIA SELECCIONADA: Philips TBS460 2xTL5 28 W HFPC8



Catálogo on line:

<http://www.ecat.lighting.philips.es>

Plano de dimensiones



Datos del producto

• Información general

Código de familia de producto	TBS460 [TBS460]
Número de lámparas	2 [2 pcs]
Tipo de la lámpara	TL5 [TL5]
Potencia de lámpara	28 W [28 W]
Color de luz	840 [Blanco frío 840]
Kombi	K [Lámpara incluida]
Equipo	HFP [HF Actuador]
Reflector superior	No [-]
Sistema óptico	C8 [Óptica alto brillo con microlamas 3D]
Elemento óptico	No [-]
Cubierta óptica	No [-]
Alumbrado de emergencia	No [-]
Control de iluminación	No [-]
Conmutación independiente	No [-]
Cableado interno	STD [Standard]
Fusible	No [-]
Conexión	PI [Conector push-in]
Cable	No [-]
Clase de seguridad	CL1 [Seguridad clase I]
Código IP	IP20 [Protegido contra los dedos]
Código IK	IK02 [0.2] Standard]
Ventilación	No [-]

Placa de relleno	IP [Estándar]
Color	WH [Blanco]
Test del hilo incandescente	850/5 [850 °C, duración 5 s]
Protección contra inflamación	F [Adecuada para el montaje en superficies normalmente inflamables]
Dispositivo de seguridad	No [-]
Marcado CE	Marcado CE [CE mark]
Marcado ENEC	Marcado ENEC [ENEC mark]

• Datos Eléctricos

Tensión de red	220-240 V [220 to 240 V]
----------------	--------------------------

• Datos Producto

Código de pedido	003461 00
Código de producto	871150000346100
Nombre de Producto	TBS460 2x28W/840 HFP C8 PI IP
Nombre de pedido del producto	TBS460 2x28W/840 HFP C8 PI IP
Piezas por caja	0
Cajas por caja exterior	1
Código de barras de la caja exterior	8711500003461
Código logístico - 12NC	910501782203



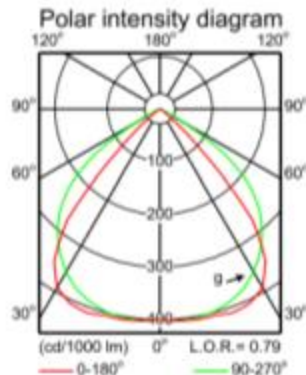
asimpleswitch.com

PHILIPS

Datos fotométricos

TBS460 2xTL5-28W HFP C8

2 x 2625 lm



Light output ratio **0.79**
Service upward 0.00
Service downward 0.79

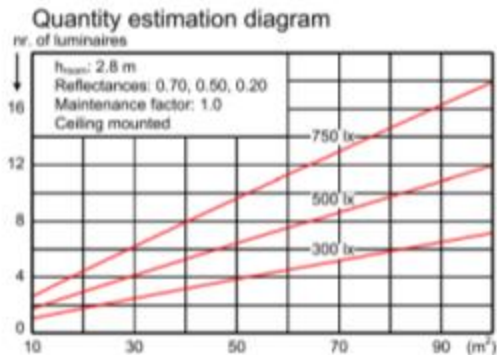
CIE flux code 72 99 100 100 79

S/H ratio crosswise max. 1.5
lengthwise max. 1.5

UGRcen (4Hx8H, 0.25H) 17
EN12464-1 65 deg, 500 cd/m²

UTE71-121: 0.79B + 0.00T

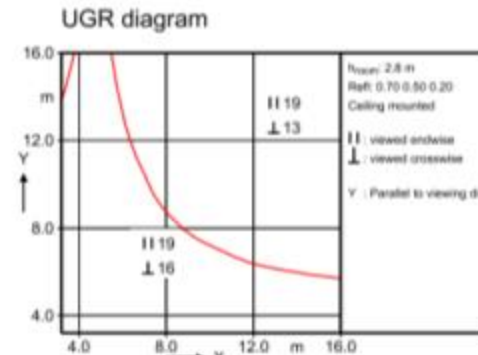
LVW1628800



Utilisation factor table

Room Index	Reflectances for ceiling, walls and working plane (CIE)									
	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
0.00	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
0.10	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
0.20	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
0.30	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
0.40	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
0.50	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
0.60	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
0.70	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
0.80	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
0.90	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
1.00	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
1.25	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
1.50	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
2.00	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
2.50	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
3.00	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
4.00	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50
5.00	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.10	0.90	0.80	0.70	0.50

Ceiling mounted



Luminance Table

Plane	0.0	45.0	90.0
Corr	0.0	0.0	0.0
45.0	2768	3967	6574
50.0	639	4487	9969
55.0	119	1704	4567
60.0	77	433	1722
65.0	53	160	432
70.0	37	62	86
75.0	28	34	42
80.0	17	20	37
85.0	12	27	42
90.0	-	-	-

(cd/m²)

2013-11-20

SOLATUBE®

Zona de CAPTACIÓN

La luz es captada por el domo y dirigida hacia el interior a través del tubo.

Zona de TRANSFERENCIA

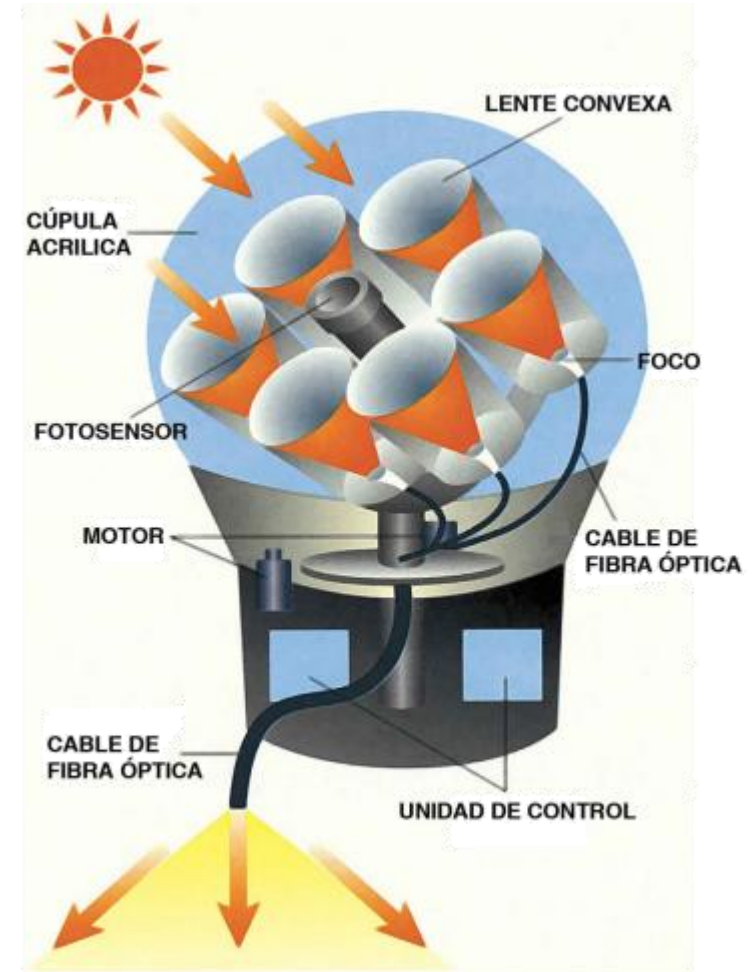
La luz solar se direcciona, sin apenas pérdida, hacia el difusor.

Zona de DISTRIBUCIÓN

La luz solar se distribuye por la habitación gracias al difusor.

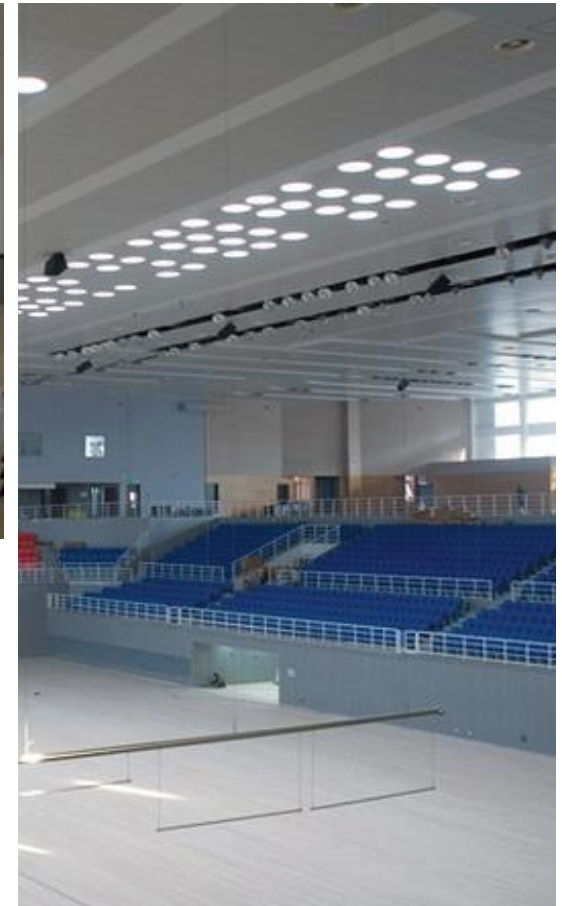
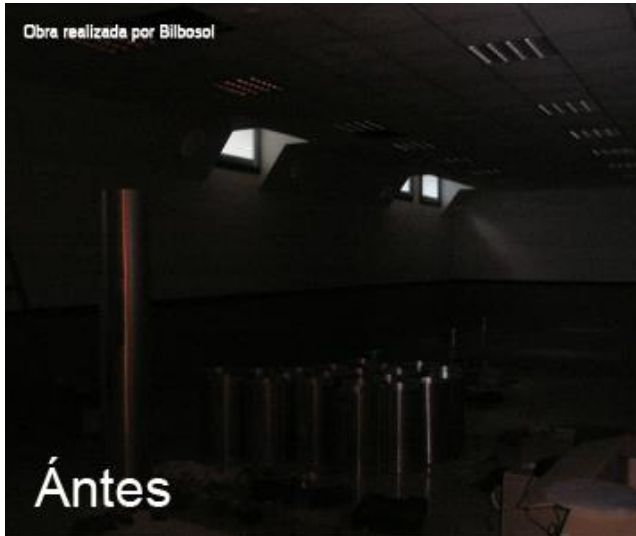


HIMAWARI®



Fuente: <http://www.teclusol.com>

Introducción
Características de las fuentes de luz
Sistemas de iluminación
Eficiencia energética
Cálculo luminotécnico
Aprovechamiento luz natural



Fuente: <http://www.teclusol.com>

