

LUMINOTECNIA

12.1 Conceptos fundamentales

La luminotecnica es el estudio de la luz y sus colores a los efectos de lograr una iluminación adecuada a la tarea a desarrollar, sin que haya deslumbramiento, contrastes excesivos ó sombras.

Naturaleza de la luz

La luz es una manifestación de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas, que afectan el órgano visual. La transmisión de la energía a través del espacio recibe el nombre de radiación.

Producción de la luz

Se puede producir luz, mediante el calentamiento de un cuerpo sólido hasta alcanzar su grado de incandescencia, o bien mediante una descarga eléctrica entre dos electrodos situados en el seno de un gas o vapor metálico.

Transmisión de la luz

La misma se efectúa a través del espacio por medio de ondas, cuya longitud dentro del espectro visible está comprendida entre 380 y 630 Nanómetros (1 Nanómetro = 10^{-9} metros).

Se define como longitud de onda la distancia entre dos ondas consecutivas. La velocidad de propagación de las ondas es de 300.000 kilómetros por segundo.

El ojo humano

El ojo humano es el órgano mediante el cual se experimentan sensaciones de luz y color. El ojo recibe energía luminosa que la transforma en energía nerviosa y a través del nervio óptico la conduce al cerebro.

La luz ingresa al ojo a través de la cornea, el humor acuoso, el cristalino y llega a la retina.

El iris es el encargado de regular la intensidad de luz, abriéndose o cerrándose con variaciones que van de 2 a 8 milímetros de diámetro.

La retina está dotada de elementos fotorreceptores, como son los conos y los bastoncillos, los cuales reciben la luz y la transforman en sensación nerviosa.

Mientras los bastoncillos son muy sensibles a la luz y no al color, los conos son muy sensibles al color y muy poco a la luz.

En la visión diurna intervienen los bastoncillos y los conos, mientras que en la nocturna lo hacen los bastoncillos, que no distinguen muy bien los colores.

Sensibilidad del ojo

El ojo no es igualmente sensible a la energía de todas las longitudes de onda o colores. La experiencia ha demostrado, la existencia de una curva de sensibilidad del ojo, que da la respuesta del ojo normal a diferentes longitudes de onda, según se muestra en la figura 12.1.

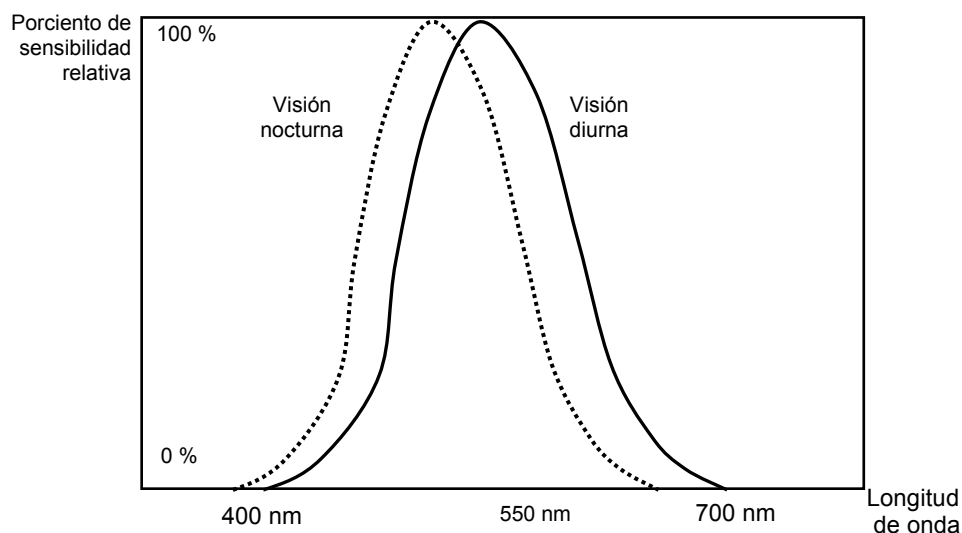


Figura 12.1 Curva de sensibilidad del ojo

El valor máximo de la sensibilidad se encuentra a una longitud de onda de 555 nm que es la zona amarillo verdosa.

Color

El color de la luz viene determinado por su longitud de onda. Entre 380 nm - 450 nm. produce la sensación del color violeta, de 450 nm a 490 nm azul, de 490 nm a 560 nm el anaranjado, de 560 nm a 590 nm amarillo y de 590 nm a 630 nm el rojo.

El espectro de una fuente de luz puede ser continuo o una línea o banda conteniendo unas pocas longitudes de onda.

Un filamento de tungsteno posee un espectro continuo (Luz blanca). El arco de vapor de mercurio da un espectro lineal.

12.2 Flujo luminoso

Es la energía radiada por un cuerpo que produce una sensación luminosa, por unidad de tiempo.

$$\Phi = dQ/dt \quad [\text{Lumen}]$$

El rendimiento luminoso nos da la relación del flujo luminoso emitido por las fuentes por cada unidad de potencia eléctrica consumida [Lumen/Watio]

12.3 Intensidad luminosa

Es la densidad de luz dentro de un pequeño ángulo sólido, en una dirección determinada, según la figura 12.2.

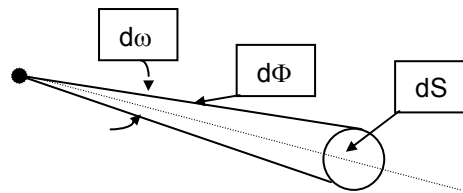


Figura 12.2 Intensidad luminosa

$$I = d\Phi / d\omega \text{ [Candela]}$$

El ángulo se expresa en estereorradianes, definiéndose este, como un ángulo sólido que corresponde a un casquete esférico, cuya superficie es igual al cuadrado del radio de la esfera.

Distribución luminosa

Es el conjunto de la intensidad luminosa de una fuente en todas las direcciones. Si representamos la intensidad luminosa, en todas las direcciones del espacio con respecto a un eje, obtenemos un sólido fotométrico.

Si en un plano de simetría llevamos las intensidades luminosas, obtenemos una curva de distribución luminosa o curva fotométrica que se realiza por cada 1000 Lúmenes. Esto se muestra en la figura 12.3.

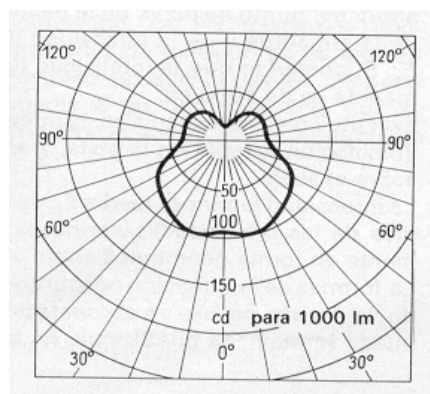


Figura 12.3 Curva de distribución luminosa

12.4 Iluminancia

Es la densidad del flujo luminoso sobre la superficie que lo recibe.

$$E = d\Phi / dS \text{ [Lux]}$$

12.5 Luminancia o brillo

Es la relación entre la intensidad luminosa en una dirección determinada y la superficie aparente (Vista por el observador).

$$B = dI / dS \text{ [Candela/m}^2\text{]}$$

En la figura 12.4 se observa un detalle de las superficies a tener en cuenta.

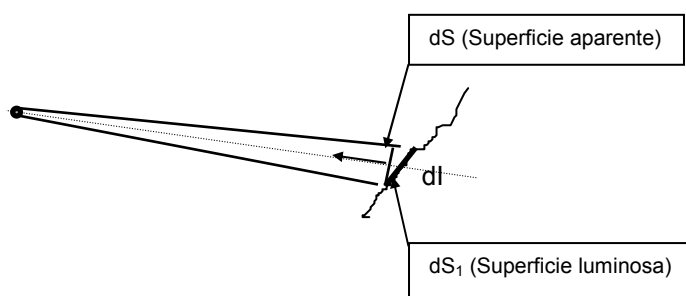


Figura 12.4 Luminancia

La luminancia es máxima cuando el ojo se encuentra perpendicular a la superficie luminosa.

12.6 Fuentes luminosas

La finalidad de una fuente luminosa, es la de producir luz de la forma más eficiente posible, lo cual se expresa por la relación entre el flujo emitido [Lúmenes] y la potencia consumida [W].

Una fuente luminosa “teórica”, que pudiera radiar toda la energía que recibe, como luz monocromática amarilla verdosa, en la región de máxima sensibilidad, produciría aproximadamente 680 lúmenes por vatio.

Una fuente luminosa “teórica” de luz blanca produce 220 Lúmenes por vatio.

Lámparas incandescentes

Lámparas normales

Producen luz mediante el calentamiento eléctrico de un alambre (Filamento) hasta una temperatura tan alta que la radiación emitida entra en la región visible del espectro. En la figura 12.5 vemos un esquema de este tipo de lámpara.

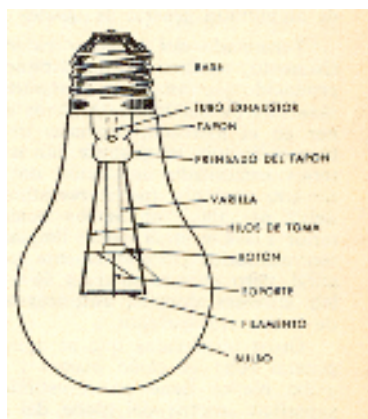


Figura 12.5 Lámpara incandescente

Sus partes principales son:

- **Filamento**

Las lámparas modernas tienen filamento de tungsteno o wolframio, ya que necesitan la mayor temperatura posible (cerca de 2400 °C)

El filamento tiene forma de espiral, para poder ocupar el menor lugar posible y aumentar su superficie de radiación.

- **Ampolla**

El filamento se coloca dentro de una ampolla de vidrio, hermética que impide el contacto con el aire, ya que el oxígeno del mismo haría que se quemara inmediatamente.

- **Gas de relleno**

Dentro de la ampolla se encuentra un gas inerte como el Argón, con lo cual se reduce la evaporación del filamento con el consiguiente incremento de su vida útil.

- **Casquillo**

Es la parte conductora que permite conectar el filamento de la lámpara, al portalámparas. Tiene una rosca del tipo Edison.

- **Rendimiento**

Las lámparas incandescentes tienen un rendimiento de 10 a 20 lúmenes por vatio, según los valores de las potencias unitarias. Su vida útil es de unas 1000 horas.

- **Equipo auxiliar**

No lo necesita, su conexión es directa a la fuente de tensión.

- **Tensión**

Las lámparas deben trabajar a su tensión nominal, ya que un aumento de la tensión implica un mayor flujo luminoso pero su vida útil se acorta, ya que la temperatura es más elevada. Una tensión menor alarga su vida útil, pero el flujo luminoso disminuye en mayor proporción.

En la siguiente tabla se dan las características fotométricas para una lámpara incandescente común.

Potencia	Flujo luminoso
W	Lumen
25	230
40	430
60	730
75	950
100	1380
150	2220
200	3150

Hay diversos tipos de lámparas incandescentes, que le dan características especiales de acuerdo al tipo de aplicaciones. Estas se pueden encontrar en los diversos catálogos de los fabricantes.

Se debe tener en cuenta que dada la alta temperatura que toma el filamento, su resistencia óhmica, sufre grandes modificaciones, lo cual implica que al conectar la misma la corriente sea muy elevada (unas 15 veces la corriente de funcionamiento), por lo que se deben tomar las previsiones en cuanto a las protecciones y conductores si la potencia instalada es importante.

La vida útil de estas lámparas es de 1000 horas.

Lámparas incandescentes halogenadas

En este tipo de lámparas se introduce un halógeno (yodo o bromo) en la ampolla junto con el gas de relleno.

Los átomos de wolframio, que se desprenden del filamento caliente, reaccionan con los átomos del halógeno y forman halogenuros. En su movimiento por convección, el halogenuro al acercarse al filamento, se disocia en halógeno (que queda libre para repetir el proceso) y wolframio metálico que se deposita en el propio filamento.

La vida útil de esta lámpara es superior a las 2000 horas, y presenta un mejor rendimiento lumínico.

Cabe mencionar que dentro de estas lámparas se encuentran las tipo Bi Pin, que trabajan con 12 V, lo cual requiere un transformador para su uso.

Lámparas de descarga

La luz es producida por un arco eléctrico mantenido en un gas o vapor ionizado. Generalmente necesitan un dispositivo que reduzca la corriente que las atraviesa.

Las partes principales son:

- **Tubo de descarga**

En las lámparas fluorescentes tubulares o de baja presión, el mismo tiene la forma de un cilindro y construido con silicato de sosa y cal.

En las lámparas de alta presión se usa cristal de cuarzo y sílice.

- **Electrodos**

Generalmente son de alambre de tungsteno y contienen un material emisor de electrones en el tubo de descarga.

- **Ampolla exterior**

La utilizan las lámparas de alta presión para proteger el tubo de descarga de los agentes atmosféricos.

La ampolla puede estar recubierta internamente por una capa difusora de luz o de fósforo para mejorar el rendimiento en color.

- **Casquillos**

Pueden ser a rosca ó de tipo bayoneta, y sirve para conectar los electrodos de la lámpara al suministro de energía eléctrica.

Lámparas fluorescentes tubulares

Son lámparas de descarga en mercurio de baja presión, en la cual la luz es generada mediante polvos fluorescentes ó fósforo activados por la radiación ultravioleta de la descarga.

Tienen forma cilíndrica con un electrodo en cada extremo, siendo su longitud variable con la potencia del mismo.

En el esquema de la figura 12.6, se observa este tipo de lámpara.



Figura 12.6 Tubo fluorescente

En la siguiente figura 12.7 se muestra el circuito eléctrico de conexión:

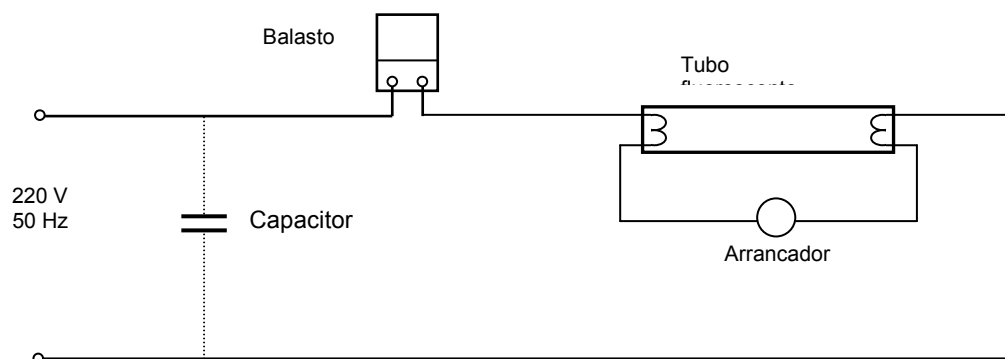


Figura 12.7 Esquema de conexión de un tubo fluorescente

Otro circuito que se utiliza para evitar el efecto estroboscópico, es mediante dos equipos en los cuales se produce un desfase en el encendido y apagado de los mismos mediante un condensador, tal como se muestra en la figura 12.8.

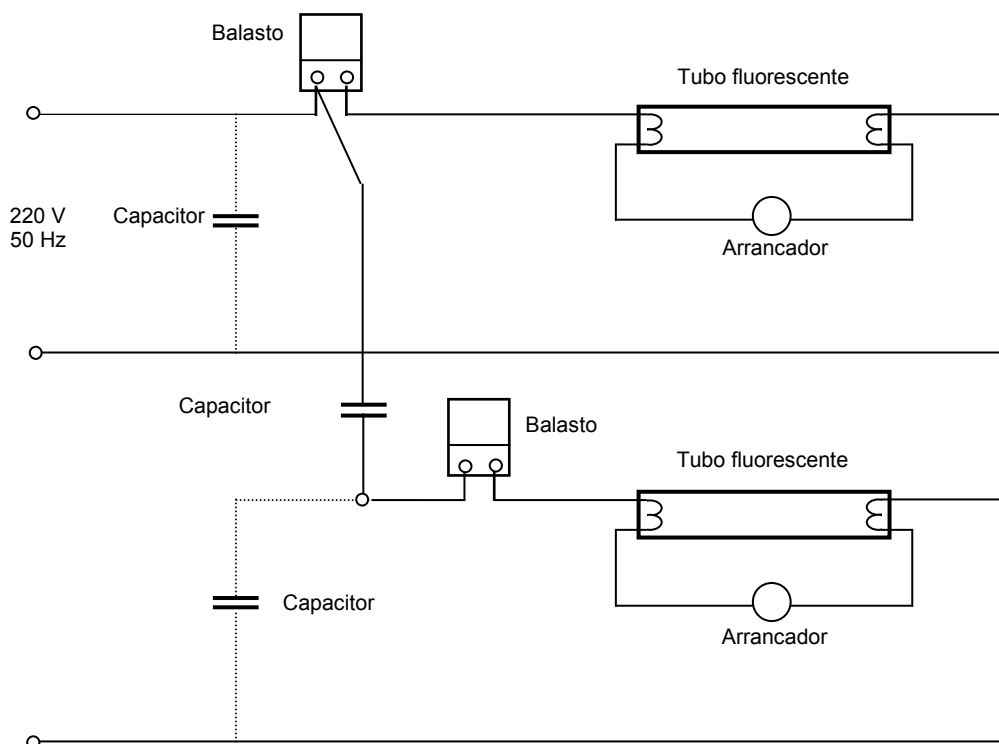


Figura 12.8 Esquema de conexión de un tubo fluorescente

- **Equipo auxiliar**

El equipo auxiliar consta de un limitador de corriente que es el balasto (Una bobina con núcleo de hierro) y un cebador para iniciar la descarga.

Estas lámparas se encienden precalentando los electrodos, antes de aplicar la tensión de arranque.

Este precalentamiento se logra, mediante un cebador, que conecta los electrodos de la lámpara en serie con la salida del balasto, cortocircuitando la lámpara.

El cebador es un elemento que contiene dos electrodos, uno de ellos formado por un elemento bimetalico, encerrados dentro de una ampolla de gas inerte.

Cuando se conecta el equipo, estos electrodos reciben la tensión de línea lo cual produce una descarga entre ellos (Efluvios), que hace que se calienten, lo cual produce la deformación del elemento bimetálico y se unan cortocircuitando la lámpara.

Al circular corriente por los electrodos de la lámpara, se calientan y emiten electrones.

Debido a que se unen los electrodos del cebador, estos se enfrían y vuelven a abrirse, lo que produce un transitorio debido a la presencia del balasto, originando un pico de tensión entre los electrodos de la lámpara y producen la descarga entre ellos.

La tensión sobre la lámpara se ve limitada por el balasto.

Se pueden utilizar balastos electrónicos, los cuales presentan las siguientes propiedades:

Mejoran la eficiencia
Provocan el arranque instantáneo
Aumentan la vida útil
Mejoran el factor de potencia
No produce parpadeo
No producen ruido

- **Rendimiento**

El rendimiento de este tipo de lámparas es del orden de 60 a 90 lúmenes por vatio y su vida útil es del orden de las 7500 horas.

- **Tensión**

Debe estar dentro de los valores nominales, ya que una baja tensión, puede crear dificultades en el arranque y por lo tanto acortar su vida útil.

Con tensiones superiores, la corriente que circula por la misma es mayor con lo que también reduce su vida útil.

En la siguiente tabla se dan las características para lámparas del tipo luz día standard.

Potencia	Corriente de lámpara con $\cos \varphi = 0,85$	Flujo luminoso	Capacitor a colocar para $\cos \varphi \geq 0,85$	Longitud del tubo aprox.
W	A	Lumen	μF	mm
15	0,31	830	5	438
18	0,37	1050	5	590
30	0,41	2000	5	895
36	0,44	2600	4	1200
58	0,68	4000	7	1500

Lámparas fluorescentes compactas

Están formadas por un tubo de vidrio de 10 mm de diámetro interior, doblado en forma de “U”, se fabrican en potencias de 9, 11, 13, 15, 18 y 23 W. El esquema de un tipo de estas es el de la figura 12.9.

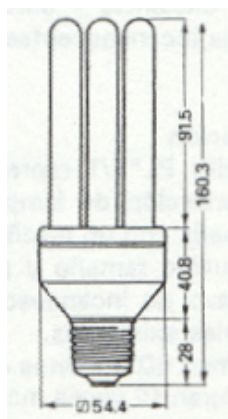


Figura 12.9 Lámpara fluorescente compacta

Lámparas de vapor de mercurio de alta presión

En este caso el gas en el cual se produce la descarga es mercurio vaporizado.

La descarga se produce en un tubo de cuarzo que contiene una pequeña cantidad de mercurio y relleno de gas inerte (Argón). El tubo exterior que lo protege, tiene una cubierta de polvo fluorescente que convierte la radiación ultravioleta en radiación visible. La figura 12.10 nos muestra un detalle de cómo está conformada esta lámpara.

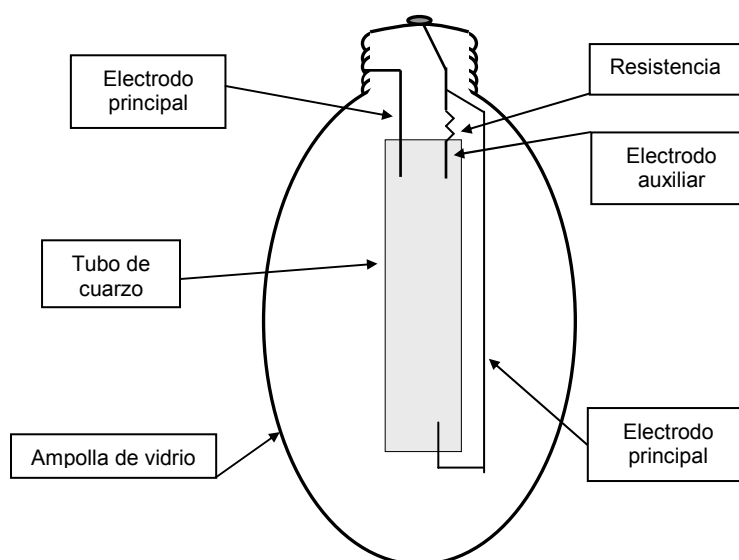


Figura 12.10 Lámpara de vapor de mercurio de alta presión

La ignición se logra por medio de un electrodo auxiliar o de arranque, ubicado muy cerca del electrodo principal y conectado al otro a través de una resistencia de alto valor. Cuando se conecta, el voltaje entre el electrodo principal y el auxiliar ioniza el gas en esa zona en forma de descarga luminiscente, estando limitada la corriente por el resistor.

Esta descarga disminuye la resistencia entre los dos electrodos principales, hasta un valor que permite la descarga entre ellos, con lo cual se vaporiza el mercurio que actúa como conductor principal. El tubo de descarga alcanza en funcionamiento normal temperaturas de hasta 750 °C y una presión de 5 atmósferas., por lo que para protegerlo y aislarlo térmicamente, se lo envuelve con una ampolla de vidrio

La resistencia de encendido aumenta con la temperatura, hasta que supera la del arco principal y se apaga el arco auxiliar.

Tiene un período de arranque de 5 a 6 minutos, tomando una corriente un 150 % superior a la de régimen.

- **Equipo auxiliar**

Como equipo auxiliar, necesita un balasto para limitar la corriente y de acuerdo al tipo de lámpara puede llevar ignitor.

- **Rendimiento**

Es del orden de 40 a 60 lúmenes por vatio, y su vida útil de 16000 a 24000 horas.

En la figura 12.11 observamos el circuito de conexión de esta lámpara.

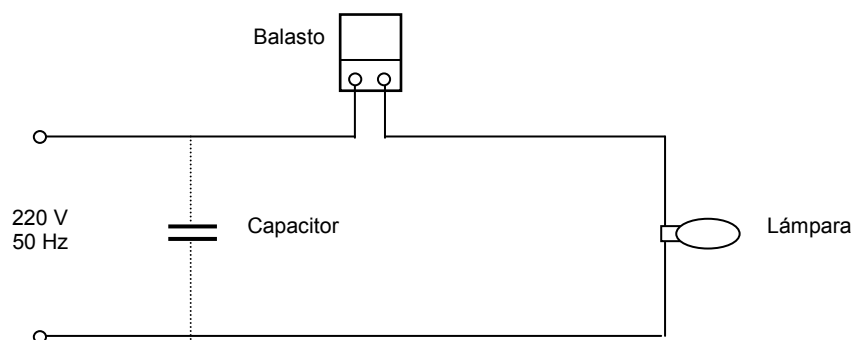


Figura 12.11 Esquema eléctrico de conexión de una lámpara de vapor de mercurio de alta presión

En la siguiente tabla se tienen las características principales de la lámpara de mayor uso:

Potencia	Corriente en el arranque	Corriente de línea con $\cos \varphi = 0,85$	Flujo luminoso	Capacitor a colocar para $\cos \varphi \geq 0,85$	Potencia total Lámpara + balasto
W	A	A	Lumen	μF	W
50	0,40	0,30	1770	7	58
80	0,65	0,45	3600	7	92
125	1,10	0,70	6200	10	137
250	2,20	1,35	12700	18	268
400	3,90	2,15	22000	25	425

Lámparas de vapor de mercurio halogenado

Similares a las anteriores, contiene aditivos de yoduros metálicos (indio, sodio) que proporcionan una mayor eficacia y rendimiento en color. Hay dos tipos, los de ampolla ovoidal, con capa difusora y otra de bulbo tubular y transparente.

La vida útil de la misma es de 6000 a 8000 horas.

En la figura 12.12 Se ve un esquema de este tipo de lámpara

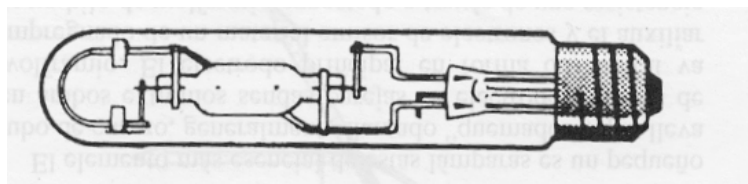


Figura 12.12 Lámpara de vapor de mercurio halogenado

En la figura 12.13, podemos observar el esquema de conexión de la misma.

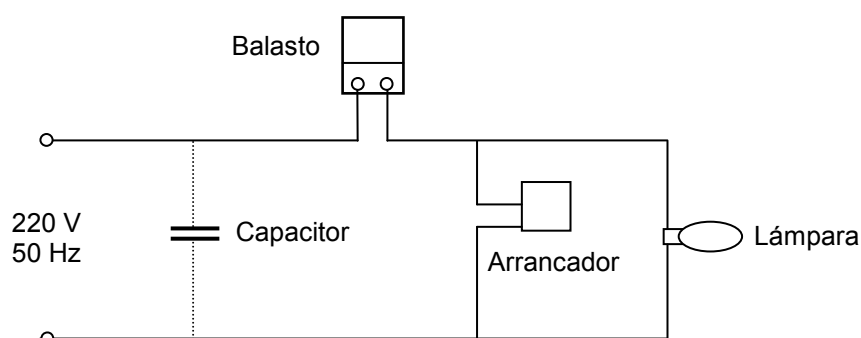


Figura 12.13 Esquema eléctrico de conexión de una lámpara de vapor de mercurio halogenada tubular transparente

En la siguiente tabla se tienen las características principales de la lámpara de mayor uso:

Potencia	Corriente en el arranque	Corriente de línea con $\cos \varphi = 0,85$	Flujo luminoso	Capacitor a colocar para $\cos \varphi \geq 0,85$	Potencia total Lámpara + balasto
W	A	A	Lumen	μF	W
250	2,20	2,35	17000	18	270
400	3,90	2,15	31500	28	425

Lámparas mezcladoras

Deriva de una lámpara de vapor de mercurio de alta presión, pero en lugar de tener un balasto para limitar la corriente, tiene un filamento de tungsteno alrededor del tubo de descarga conectado en serie con el mismo.

La luz de la descarga y la del filamento caldeado se combinan para dar una lámpara de características distintas a la de vapor de mercurio o incandescente.

Al conectar la lámpara, el filamento recibe la tensión de la red produciéndose un flujo luminoso muy superior a su valor de régimen. A medida que se produce la descarga va creciendo el flujo luminoso, ya que la tensión entre los electrodos principales crece mientras que decrece en el filamento.

El esquema de este tipo de lámpara se observa en la figura 12.14.

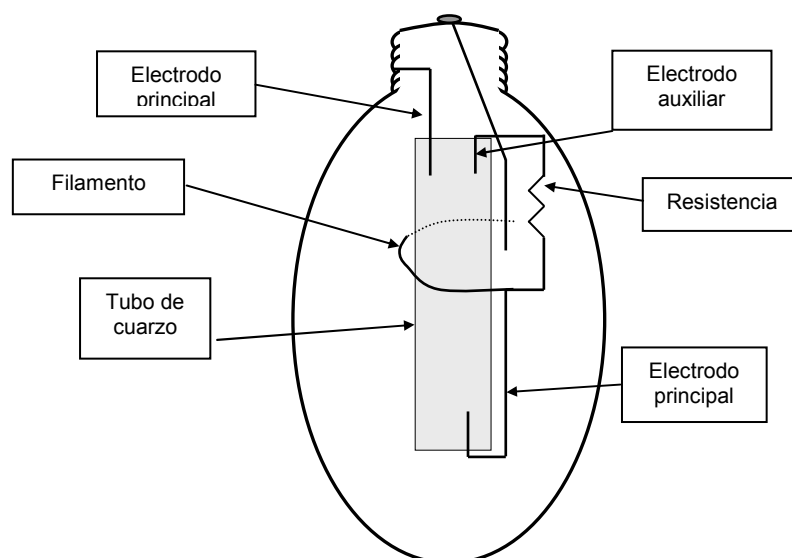


Figura 12.14 Lámpara mezcladora

Si la tensión decae un 10 %, puede tener problemas de encendido y si supera su valor decrece su vida útil.

El rendimiento está en el orden de 20 a 30 lúmenes por vatio.

Su conexión es la de una lámpara incandescente común. En la siguiente tabla se encuentran sus características principales.

Potencia	Corriente en el arranque	Corriente de línea con $\cos \varphi = 0,85$	Flujo luminoso
W	A	A	Lumen
160	1,12	0,75	3150
250	1,78	1,20	5500
400	3,43	2,40	13000

Lámparas de vapor de sodio de alta presión

El tubo de descarga se compone de cerámica de óxido de aluminio muy resistente al calor (aproximadamente 1000 °C), conteniendo componentes de sodio, mercurio y gas noble (argón) con exceso de sodio para lograr condiciones de saturación.

El vapor de mercurio reduce la conducción de calor del arco de descarga a la pared del tubo y aumenta la tensión del arco. Para el encendido se necesita aplicar tensiones elevadas de 2 a 5 kV, lo cual se logra con un balasto y un aparato de encendido. En la figura 12.15 se detalla una lámpara de este tipo, en la cual la cubierta es una ampolla ovoidal recubierta de pintura fluorescente.

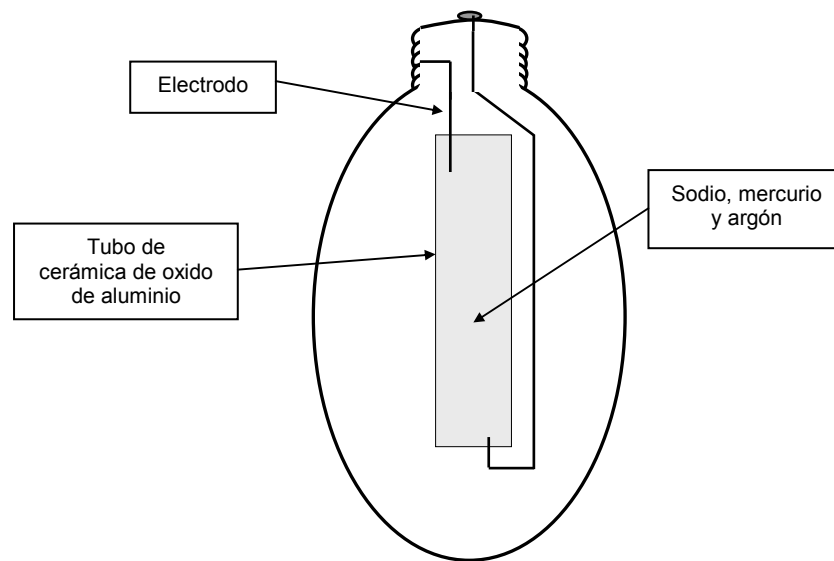


Figura 12.15 Lámpara de vapor de sodio de alta presión

- **Equipo auxiliar**

Necesita un balasto y de acuerdo al tipo de lámpara ignitor.

- **Rendimiento**

Es del orden de 53 a 120 lúmenes por vatio y su vida útil de 9000 horas

También se fabrican con la cubierta transparente de vidrio duro de la forma que se muestra la figura 12.16

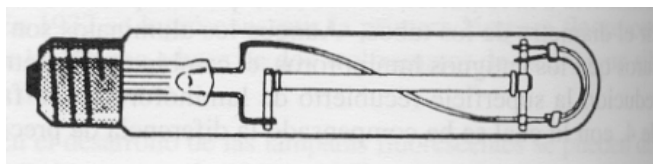


Figura 12.16 Lámpara de sodio de alta presión con cubierta transparente

El esquema de conexión se muestra en la figura 12.17.

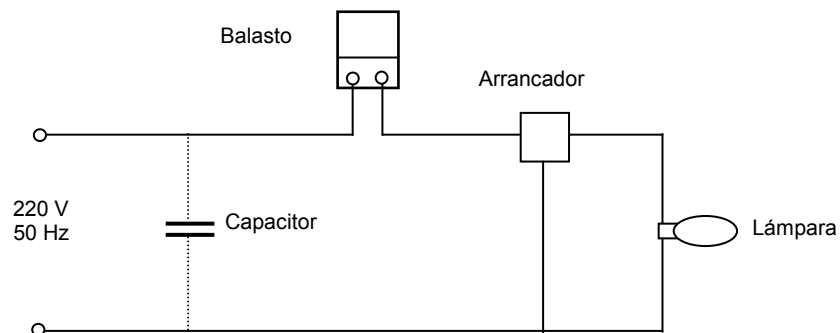


Figura 12.17 Esquema eléctrico de conexión de una lámpara de vapor de sodio de alta presión

En la siguiente tabla se tienen las características principales de la lámpara de mayor uso:

Potencia	Corriente en el arranque	Corriente de línea con $\cos \varphi = 0,85$	Flujo luminoso	Capacitor a colocar para $\cos \varphi \geq 0,85$	Potencia total Lámpara + balasto
W	A	A	Lumen	μF	W
70	0,68	0,45	5800	12	86
100	0,96	0,65	9500	12	121
150	1,00	0,85	13500	12	170
250	2,40	1,40	25000	40	280
400	3,60	2,20	47000	45	440

12.7 Alumbrado interior

Diseño

En todo sistema de alumbrado interior se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

Rendimiento visual

Por lo general el rendimiento crece con el aumento del nivel de iluminación hasta un cierto valor que puede dañar el ojo.

Se debe tener en cuenta también el deslumbramiento, el color, etc.

Costos

Para que una instalación de alumbrado sea económicamente eficiente, se debe contemplar, una buena distribución y el empleo de las luminarias adecuadas

Niveles de iluminación

Los niveles de iluminación a utilizar deben estar de acuerdo con la tarea a realizar. La Comisión Internacional de Iluminación, recomienda los valores en función de las distintas actividades, los cuales se pueden consultar en diversos Manuales de Alumbrado. A modo orientativo, damos a continuación algunos valores generales:

Zonas exteriores de circulación	20 Lux
Circulación en industrias, depósitos	150 Lux
Trabajos manuales simples	300 Lux
Trabajos de oficina	500 a 700 Lux
Trabajos finos manuales	1000 Lux

Sistemas de alumbrado

El sistema de alumbrado puede ser general, localizado o ambos conjuntamente.

Alumbrado general: Este tipo de alumbrado se determina en función de un nivel de iluminación uniforme en toda la zona, de acuerdo a la figura 12.18.

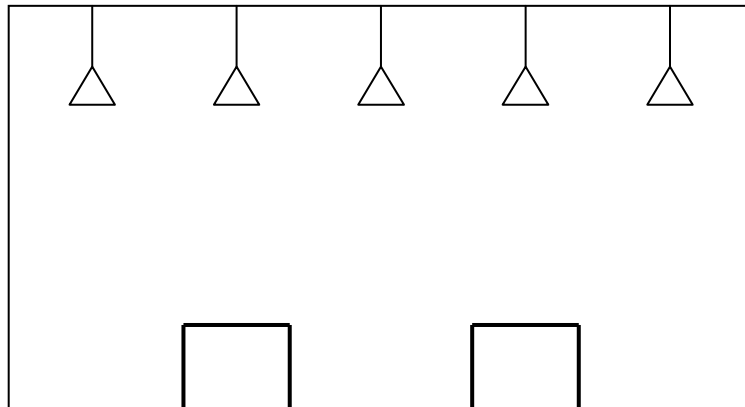


Figura 12.18 Esquema de alumbrado general

Alumbrado localizado: Presenta un nivel de alumbrado no uniforme, disponiéndose elevados niveles en las zonas de trabajo que lo requieran.

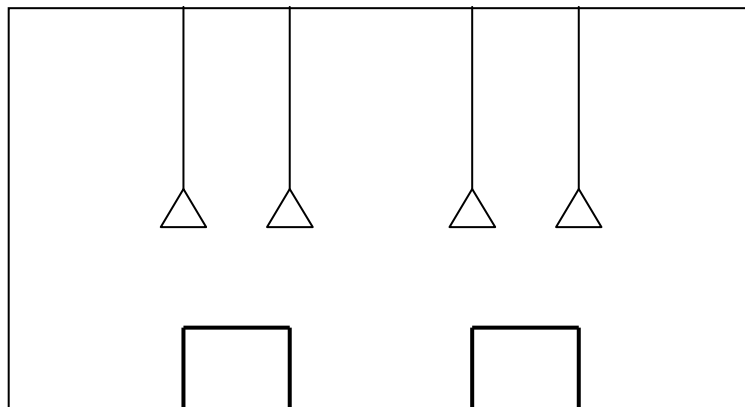


Figura 12.19 Esquema de alumbrado localizado

Alumbrado general y localizado: Este tipo de alumbrado se determina en función de un nivel de iluminación uniforme en toda la zona, y un mayor nivel en el lugar específico donde se realiza la tarea, de acuerdo a la figura 12.20.

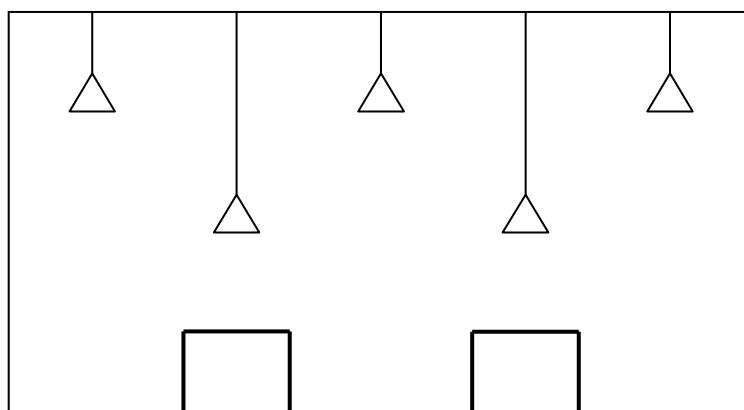


Figura 12.20 Esquema de alumbrado general y localizado

Calculo de alumbrado - Método de los Lúmenes

El nivel de iluminación de un local, viene dado en función de la iluminancia media en el plano de trabajo, que se toma de 0,75 a 0,85 m del nivel de piso. Su nivel se fija de acuerdo a la tarea a realizar y en función de las dimensiones del lugar.

Dicho valor se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$E_{med.} = \frac{\Phi_t}{A} \cdot \eta \cdot f_m$$

Donde: $E_{med.}$: Nivel medio de iluminación [Lux]

Φ_t : Flujo luminoso total de todas las luminarias [Lúmen]

A : Superficie total del plano de trabajo [m²]

η : Factor de utilización para el plano de trabajo

f_m : Factor de mantenimiento

Factor de utilización

Parte del flujo luminoso emitido por una lámpara es absorbido por la luminaria en la cual se encuentra instalada, del resto del flujo, parte incide directamente al plano de trabajo y partes a través de reflexiones en el techo y las paredes.

Por lo tanto este factor de reducción, tiene en cuenta la distribución de las luminarias, la reflectancia de los techos y paredes, la disposición de las luminarias, muebles y equipos que se encuentren en el lugar, etc.

Para cada tipo de artefacto, y en función de la reflectancia de las paredes y techos y del índice del local, se encuentran tabulados en los distintos Manuales de Alumbrado, los factores de utilización.

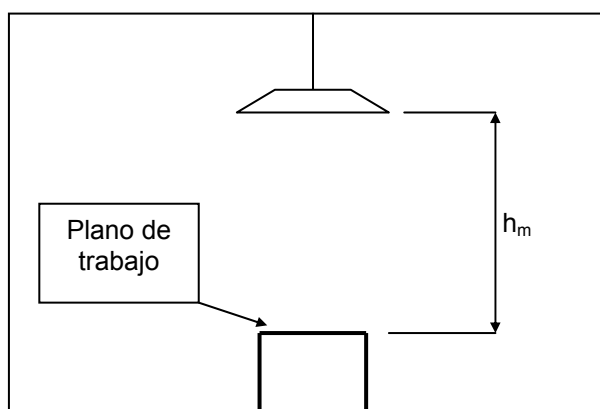
Se define como índice del local al siguiente valor:

$$K = \frac{l \cdot a}{h_m(l + a)}$$

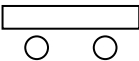
Siendo: l : Longitud del local [m]

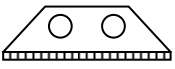
a : Ancho del local [m]

h_m : Altura de montaje de la luminaria con respecto al plano de trabajo [m]



En las siguientes tablas se dan los valores para artefactos de uso en iluminación en oficinas y en locales industriales.

Forma de la Luminaria	Distancia entre centros de los artefactos	Techo		80%			70%			50%	
		Paredes	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%
		Índice del local	Factor de utilización								
Artefacto abierto con tubos fluorescentes 	1,4 x Altura del artefacto sobre el suelo	< 0,70	0,27	0,21	0,17	0,27	0,21	0,17	0,22	0,20	0,17
		0,70 a 0,90	0,35	0,30	0,24	0,35	0,30	0,24	0,34	0,28	0,24
		0,90 a 1,12	0,43	0,36	0,30	0,41	0,35	0,31	0,40	0,34	0,30
		1,12 a 1,38	0,49	0,42	0,37	0,49	0,42	0,36	0,46	0,40	0,36
		1,38 a 1,75	0,55	0,47	0,42	0,53	0,47	0,41	0,50	0,44	0,40
		1,75 a 2,25	0,62	0,55	0,50	0,60	0,53	0,49	0,57	0,52	0,47
		2,25 a 2,75	0,67	0,61	0,56	0,66	0,60	0,55	0,62	0,57	0,52
		2,75 a 3,50	0,71	0,65	0,60	0,70	0,63	0,59	0,65	0,61	0,56
		3,50 a 4,50	0,76	0,71	0,66	0,74	0,69	0,65	0,69	0,65	0,62
		> 4,50	0,81	0,76	0,71	0,78	0,74	0,70	0,73	0,69	0,67

Forma de la Luminaria	Distancia entre centros de los artefactos	Techo		80%			70%			50%	
		Paredes	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%
		Índice del local	Factor de utilización								
Artefacto con rejilla difusora y tubos fluorescentes 	1,2 x Altura del artefacto sobre el suelo	< 0,70	0,31	0,27	0,24	0,30	0,26	0,23	0,29	0,26	0,23
		0,70 a 0,90	0,37	0,33	0,30	0,37	0,33	0,29	0,36	0,32	0,29
		0,90 a 1,12	0,42	0,37	0,34	0,41	0,37	0,34	0,40	0,36	0,33
		1,12 a 1,38	0,46	0,42	0,38	0,45	0,41	0,38	0,43	0,40	0,37
		1,38 a 1,75	0,50	0,43	0,42	0,48	0,44	0,41	0,46	0,43	0,40
		1,75 a 2,25	0,54	0,50	0,47	0,53	0,49	0,46	0,50	0,47	0,45
		2,25 a 2,75	0,56	0,52	0,50	0,55	0,52	0,49	0,53	0,50	0,48
		2,75 a 3,50	0,58	0,55	0,52	0,57	0,54	0,52	0,54	0,52	0,50
		3,50 a 4,50	0,61	0,59	0,56	0,59	0,57	0,55	0,57	0,55	0,53
		> 4,50	0,62	0,60	0,58	0,61	0,59	0,57	0,58	0,56	0,55

Forma de la Luminaria	Distancia entre centros de los artefactos	Techo		80%			70%			50%	
		Paredes	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%
		Índice del local	Factor de utilización								
Artefacto con lámpara de descarga de hasta 400 W 	1,2 x Altura del artefacto sobre el suelo	< 0,70	0,35	0,32	0,29	0,35	0,31	0,29	0,31	0,29	0,27
		0,70 a 0,90	0,43	0,39	0,37	0,43	0,39	0,37	0,39	0,37	0,35
		0,90 a 1,12	0,49	0,45	0,42	0,49	0,45	0,42	0,45	0,42	0,39
		1,12 a 1,38	0,55	0,51	0,48	0,54	0,50	0,47	0,50	0,47	0,44
		1,38 a 1,75	0,59	0,55	0,52	0,58	0,54	0,52	0,54	0,51	0,38
		1,75 a 2,25	0,64	0,60	0,58	0,63	0,60	0,57	0,59	0,57	0,55
		2,25 a 2,75	0,67	0,64	0,61	0,66	0,63	0,61	0,62	0,60	0,58
		2,75 a 3,50	0,69	0,66	0,64	0,68	0,66	0,63	0,65	0,63	0,61
		3,50 a 4,50	0,73	0,70	0,68	0,71	0,69	0,67	0,68	0,67	0,65
		> 4,50	0,74	0,72	0,70	0,73	0,71	0,69	0,70	0,68	0,66

Factor de mantenimiento o conservación

En todo sistema de alumbrado hay una pérdida en la emisión luminosa de las lámparas por envejecimiento de las mismas, por acumulación de suciedad en la lámpara o en el artefacto.

Lo mismo ocurre con el ensuciamiento de los techos y paredes, o con la reposición en tiempo de las lámparas quemadas.

El factor de mantenimiento tiene en cuenta estos hechos y en cierta medida contempla un mantenimiento programado, ya que de no ser así al cabo de un tiempo el nivel luminoso proyectado se verá reducido a valores no compatibles con la tarea que se está desarrollando.

De acuerdo con esto podemos considerar los siguientes índices:

Local limpio:	0,80
Local medianamente limpio	0,70
Local sucio	0,60

También el grado de ensuciamiento depende de la actividad que se desarrolla, ya que puede generarse polvo, vapores, etc.

Determinación del número de luminarias.

Una vez obtenido el factor de utilización y adoptado un factor de mantenimiento determinamos:

$$N = \frac{E_{med.} \cdot A}{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}$$

N : Número de luminarias a colocar

Φ_L : Flujo luminoso de la luminaria elegida.

Ubicación de las luminarias

La ubicación de las luminarias debe ser acorde a la simetría del local, no debiendo estar distanciadas en valores no mayores que los recomendados en las tablas que nos dan los factores de utilización de acuerdo al tipo de luminaria.

Ejemplos de cálculo

Oficina

Ancho:	5,00 m
Longitud:	10,50 m
Altura de las luminarias:	2,50 m
Artefacto elegido:	Abierto con dos tubos fluorescentes de 36 W
Flujo luminoso de la luminaria:	5200 Lúmenes
Altura de montaje:	$2,50 - 0,75 = 1,75$ m
Nivel de iluminación:	500 Lux

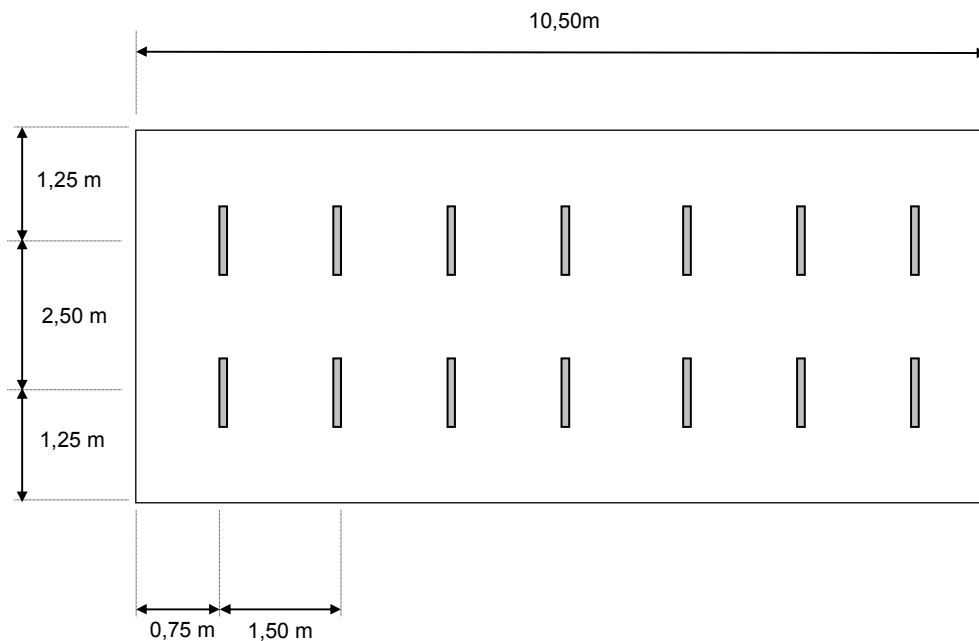
$$K = \frac{10,50 \cdot 5,00}{1,75 (10,50 + 5,00)} = 1,93$$

De las tablas obtenemos un factor de utilización de 0,53.

Adoptando un factor de mantenimiento de 0,70; el número de luminarias será:

$$N = \frac{500 \cdot 10,50 \cdot 5,0}{0,53 \cdot 0,70 \cdot 5200} = 13,6$$

Adoptamos 14 luminarias distribuidas en dos filas de 7 luminarias cada una.



El nivel resultante con esta cantidad de luminarias será:

$$E = 14/13,6 \cdot 500 = 515 \text{ Lux}$$

La potencia requerida estará dada por: $P = 14 \text{ Luminarias} \times 80 \text{ W/luminaria} = 1120 \text{ W}$

Taller

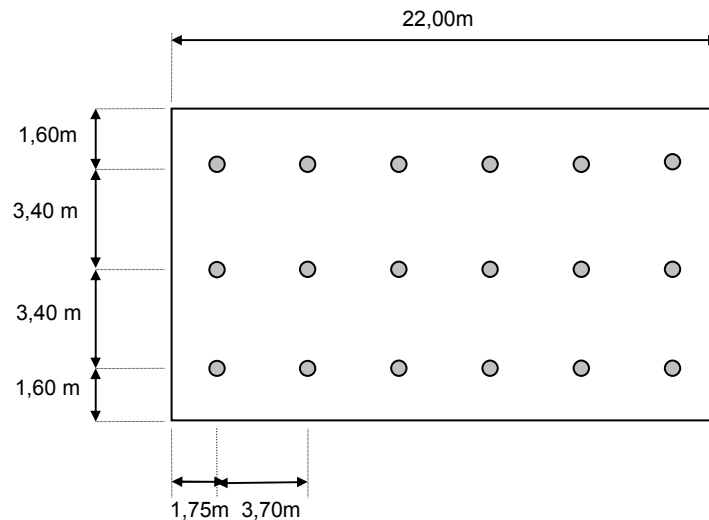
Ancho:	10,00 m
Largo:	22,00 m
Altura de las luminarias:	5,50 m
Luminaria elegida:	Vapor de mercurio halogenado de 250 W
Flujo luminoso Luminaria:	17000 Lúmenes
Altura de montaje luminaria:	$5,50 - 0,75 = 4,75 \text{ m}$
Nivel de iluminación:	400 Lux

$$K = \frac{22,00 \cdot 10,00}{4,75 (22,00 + 10,00)} = 1,45$$

Teniendo en cuenta un índice de reflexión techo - paredes de 50 - 30 obtenemos un factor de utilización de 0,57, y adoptamos un índice de mantenimiento de 0,60, el número de luminarias a colocar será:

$$N = \frac{400 \cdot 22,00 \cdot 10,00}{0,57 \cdot 0,60 \cdot 17000} = 15,2$$

Adoptamos 18 luminarias, y colocaremos tres filas de 6 luminarias cada una.



El nivel resultante con esta cantidad de luminarias será:

$$E = 18/15,2 \cdot 400 = 473 \text{ Lux}$$

La potencia requerida estará dada por: $P = 18 \text{ Luminarias} \times 270 \text{ W/luminaria} = 4860 \text{ W}$

12.8 Alumbrado exterior

El alumbrado exterior se efectúa mediante artefactos montados generalmente sobre columnas, cuya altura de montaje depende del área a iluminar, de la disposición de estas y de la potencia de las luminarias.

Cálculo de la iluminación (Método del punto por punto)

El valor de la iluminancia en un punto de la superficie del piso (O calzada si es alumbrado público), es la suma de todas las iluminancias parciales que producen las luminarias instaladas. En la figura 12.21 se observa un sistema de alumbrado exterior.

La iluminación total en un punto está dada por:

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{I_{\alpha}}{h^2} \cos^3 \gamma$$

Donde: I_{α} : Es la intensidad luminosa en la dirección al punto "P"
[Candela]

n : Número de luminarias

h : Altura de la luminaria con respecto al piso [m]

γ : Angulo que forma la dirección en estudio

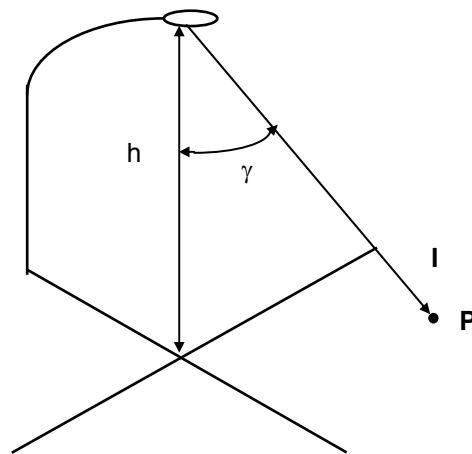


Figura 12.21 Esquema de una columna con artefacto para alumbrado exterior

Curvas Isolux

Si para una luminaria, se efectuara el cálculo de la iluminancia en los puntos del piso que la rodea y se unieran entre sí, los puntos de igual nivel de iluminación, se obtendrían unas curvas que se denominan "Isolux" (Igual nivel de iluminación).

Normalmente estas curvas, están incluidas en la información fotométrica para cada luminaria, y su forma se muestra en la figura 12.22, estando las distancias en múltiplos de la altura de montaje del artefacto.



Figura 12.22 Diagrama isolux

Teniendo estas curvas y superponiéndolas para cada columna, podemos hallar en cada punto el nivel de iluminancia, teniendo en cuenta el factor de reducción, de acuerdo a la altura de la luminaria con respecto a la altura que tienen como dato las curvas mencionadas.

Iluminancia media, mínima y máxima

Este valor se obtiene sumando la iluminancia de una cierta cantidad de puntos y dividiendo la suma de los mismos por la cantidad de puntos:

$$E_{\text{med}} = \frac{\sum E}{n}$$

Se debe ver cuales son los valores de la iluminancia mínima y máxima (Se determinan de la superposición de las curvas analizadas) y su relación nos da el índice de uniformidad.

$$f_u = \frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{max}}}$$

Cálculo por el método del flujo luminoso necesario

El factor de utilización se define como la parte del flujo luminoso que procedente de una misma luminaria alcanza el piso.

$$\eta = \frac{\Phi_u}{\Phi_L}$$

La información fotométrica que se provee con la luminaria, expresa el factor de utilización en función de las distancias transversales, como múltiplo de la altura de montaje, de acuerdo a la figura 12.23

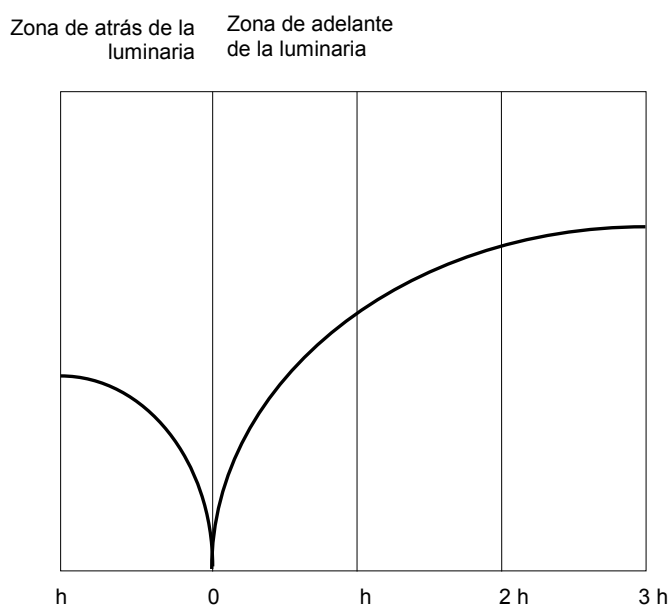


Figura 12.23 Curvas tipo para determinar el factor de utilización

Teniendo la curva de utilización, se puede calcular el valor medio de la iluminación.

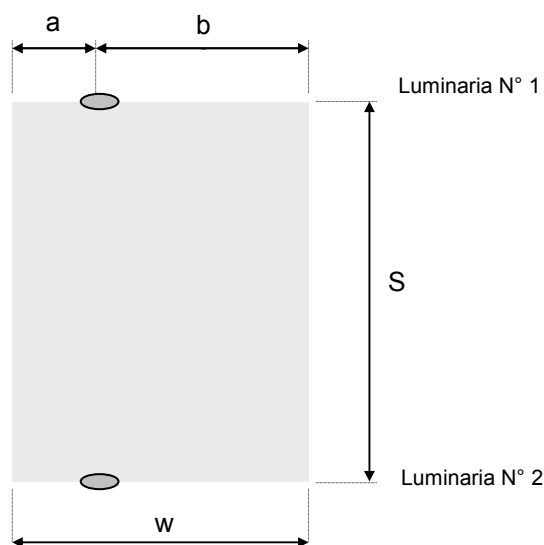
$$E_{\text{med}} = \frac{\eta \cdot \Phi_L}{w \cdot S}$$

Donde: Φ_L : Flujo luminoso de la luminaria [Lúmenes]

η : Factor de utilización

w : Ancho de la zona a iluminar [m]

S : Separación entre luminarias [m]



Se entra a la curva de utilización con la distancia de la luminaria al punto que se requiere calcular el nivel de iluminación (b), en función de la altura de montaje y se obtiene el factor de utilización del lado frontal y con la distancia a la luminaria de la parte posterior (a) el factor de utilización del lado posterior, y luego se suman ambos y ese es el factor que se debe utilizar en la expresión.

12.9 Iluminación de emergencia

Es la instalación diseñada para entrar en funcionamiento cuando falla el alumbrado normal, dentro del cual podemos dividir en:

Iluminación de escape o evacuación

El cual como su nombre lo indica es el alumbrado necesario para que un edificio pueda ser evacuado con rapidez y seguridad en caso de emergencia. El nivel sobre el suelo en la zona de escape debe ser de por lo menos 1 Lux.

Iluminación de seguridad

Es el nivel de iluminación para garantizar la seguridad de las personas que realizan tareas que pueden ser peligrosas, siendo su nivel no menor al 5 % del nivel de iluminación normal.

Iluminación de reserva

Es la iluminación necesaria para poder continuar actividades de vital importancia durante una emergencia (Sala de cirugía).

Dentro de la iluminación de emergencia se encuentran aquellos artefactos que cuentan con batería propia, la cual se mantiene cargada mediante el circuito principal o bien un sistema con baterías centrales que alimentan las luminarias.

El primer caso es el más seguro ya que en caso de incendio, de quemarse los circuitos, no afectan las luminarias. En cambio en el sistema central se interrumpe el suministro de energía.

Deberá estar prevista la señalización luminosa que indique las salidas ante casos de emergencia, por lo que deberán ser alimentadas con batería propia o mediante un sistema central.