

LÁMPARAS

8.1.	Generalidades	89
8.2.	Termorradiación	89
8.3.	Luminiscencia	91
8.4.	Condiciones que deben reunir las lámparas	94
8.5.	Lámparas incandescentes	98
8.6.	Lámparas de descarga en vapor de mercurio	100
8.7.	Lámparas de descarga en vapor de sodio	105
8.8.	Lámparas de inducción	107
8.9.	Tablas de características	109

8.1. Generalidades

En el capítulo 1 hemos estudiado la naturaleza dual de la luz y en el capítulo 2, el proceso de cómo las radiaciones visibles se manifiestan en luz a través de la visión.

Como hemos comentado, la luz se compone de radiaciones electromagnéticas en forma de ondas, que pueden producirse de forma muy variada según las causas que la provoquen. Si la causa se debe exclusivamente a la temperatura del cuerpo radiante, el fenómeno se llama *termorradiación*, en todos los demás casos *luminiscencia*.

La Fig. 1 da una idea general sobre los principales agentes físicos que intervienen en la producción de luz y sus respectivas fuentes.

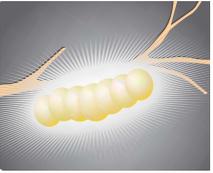
PRODUCCION DE LUZ			
Termorradiación		Luminiscencia	
Natural	Combustión Incandescencia  Sol	Descarga en el seno de un gas  Rayo	Radiación de un cuerpo sólido  Luciérnaga
	Llama Luz de gas Arco eléctrico Lámpara incandescente	Lámpara de vapor metálico Lámpara de gas noble Lámpara de efluvios Lámpara Xenón	Sustancia luminiscente Placa luminosa Lámpara de cuerpo sólido Fuente de luz radioactiva

Figura 1. Cuadro de los agentes físicos que intervienen en la producción de luz.

8.2. Termorradiación

Se conoce con esta denominación la radiación (calor y luz) emitida por un cuerpo caliente.

La energía de esta radiación depende única y exclusivamente de la capacidad calorífica del cuerpo radiante. La luz que se obtiene va siempre acompañada de una cuantiosa radiación térmica que, por lo general, constituye una fuente de pérdida de energía cuando de lo que se trata es de producir luz.

Al calentar un trozo de carbón, hierro, oro, wolframio o cualquier otro material, se obtiene una radiación visible que se aprecia por el color de incandescencia que adquiere el cuerpo y que varía según la temperatura, tal como se muestra en la Tabla 1.

Temperatura °C	Color de incandescencia
400	rojo - gris incipiente
700	rojo - gris
900	rojo - oscuro
1.100	rojo - amarillo
1.300	rojo - claro
1.500	rojo - blanco incipiente
2.000 en adelante	rojo - blanco

Tabla 1. Colores de incandescencia a distintas temperaturas.

Todas las leyes estudiadas y formuladas para el radiador ideal pueden resumirse en una sola: "El porcentaje de radiación visible aumenta en función de la temperatura del radiador".

Como puede observarse en la Fig. 2, a los 6.500 K se obtiene el máximo rendimiento y sería inútil aumentar la temperatura del radiador con la pretensión de conseguir un rendimiento mayor al 40%.

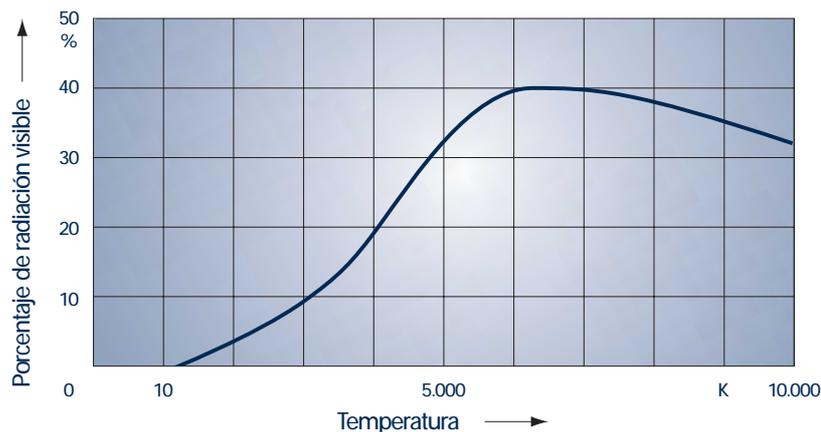


Figura 2. Radiación visible en función de la temperatura absoluta.

8.2.1. Termorradiación natural

En la propia naturaleza encontramos un ejemplo evidente de producción de luz a gran escala mediante la termorradiación que nos brindan el Sol y las demás estrellas similares a él.

El Sol es una enorme bola de hidrógeno en estado incandescente en la que una radiación nuclear está transformando constantemente hidrógeno (H_2) en Helio (He). En el proceso se liberan tremendas cantidades de energía que son liberadas al Universo.

De la energía emitida por el Sol, cerca de un 40% de la radiación se transforma en luz visible, el cual corresponde al máximo "rendimiento óptico" a 6.500 K.

8.2.2. Termorradiación artificial

Se obtiene luz por termorradiación artificial, calentando cualquier materia o cuerpo sólido a una elevada temperatura, bien sea por combustión o incandescencia.

Luz de la llama de alumbrado

El radiador térmico más antiguo de la historia y también el más primitivo fue la llama de alumbrado producida por la combustión de una antorcha encendida, siguiéndole la lámpara de aceite, la de petróleo y la vela de cera, que fueron las fuentes de alumbrado más utilizadas en la antigüedad.

A principios del siglo XIX comenzó a usarse el gas de carbón mineral (hulla) para obtener una llama de alumbrado, en lugar de las hasta entonces sustancias sólidas (cera, sebo) y líquidas (aceite, petróleo). En un principio se obtenía la luz de su llama directa y más tarde mediante la camisa incandescente de Auer.

Luz del arco eléctrico

Si dos barras de carbón en contacto, por las que circula una corriente eléctrica, se separan rápidamente hasta una determinada distancia, se produce entre sus puntas un potente arco eléctrico permanente.

El arco eléctrico en sí, sólo produce un 5% de la luz emitida, correspondiendo el resto a los cráteres incandescentes formados en sendas barras de carbón. Esta clase de arco, cuya intensidad de corriente es bastante elevada, no debe confundirse con los arcos de descarga gaseosa.

Luz de un cuerpo incandescente en el vacío

Al circular una corriente eléctrica por una resistencia óhmica, ésta se calienta y, si ello tiene lugar en el vacío, se pone incandescente adquiriendo un color rojo-blanco a temperaturas comprendidas entre los 2.000 y 3.000 °C, en cuyo caso emite luz y calor igual que un perfecto termorradiador.

El primero que puso en práctica este principio fue Henrich Goebel que en 1854 construyó las primeras "lámparas incandescentes" eléctricas, valiéndose de unos frascos de colonia vacíos en los que encerró herméticamente un filamento

hecho con fibras de bambú carbonizadas. Sin embargo, fue el americano Thomas Alva Edison quien en 1879 “posdescubrió” la lámpara incandescente con filamento de carbón y le dio una utilidad práctica como artículo de serie. Paralelamente a Edison, el inglés Swan también logró una lámpara incandescente usual.

El filamento de carbón: Las lámparas utilizadas en los años de 1880 a 1909, eran de filamento de carbón, compuesto de fibras de bambú o papel “coquizadas”.

El punto de fusión de este filamento era aproximadamente de 3.700 °C, pero debido a su elevado índice de vaporización, las lámparas sólo podían construirse para una temperatura de servicio de unos 1.900 °C. Por ello, el rendimiento luminoso no llegaba a ser realmente de más de 3 a 5 lm/W.

El filamento metálico: A principios de siglo se inició una búsqueda con el propósito de encontrar metales que pudieran sustituir ventajosamente al filamento de carbón. Entre los metales difícilmente fusibles se encontraban el osmio, tantalio y principalmente el wolframio.

El punto de fusión del wolframio es de aproximadamente 3.400 °C, con un índice de evaporación notablemente inferior al del carbón. Con una duración de la lámpara de aproximadamente 1.000 horas, la temperatura de incandescencia del filamento llegaba a los 2.400 °C y con ello se obtenía un rendimiento luminoso de 8 a 10 lm/W.

8.3. Luminiscencia

Con este nombre se conocen aquellos fenómenos luminosos cuya causa *no* obedece exclusivamente a la temperatura de la sustancia luminiscente. Dichos fenómenos se caracterizan porque sólo ciertas partículas de los átomos de la materia, los electrones, son incitados a producir radiaciones electromagnéticas.

Para comprender dicho fenómeno de la luminiscencia hemos de estudiar el átomo según el modelo atómico de Bóhr.

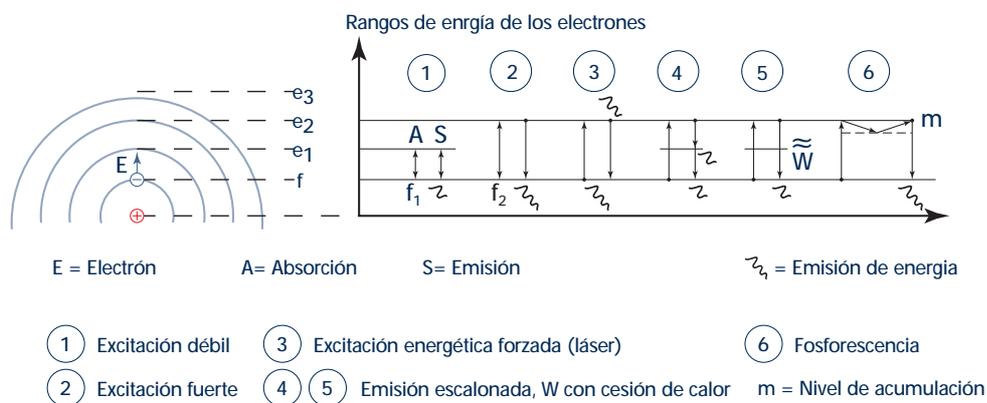


Figura 3. Modelo atómico de Bóhr.

Según este modelo, cada átomo está formado por un núcleo atómico positivo y por una envoltura de electrones negativos, distribuidos en capas, que giran alrededor del núcleo siguiendo órbitas determinadas. En el átomo normalmente existe un equilibrio eléctrico, es decir, el número de cargas positivas es igual al número de cargas negativas (electrones). Este equilibrio se denomina *estado fundamental del electrón E*, y para los electrones de la órbita más interna, es idéntico a la línea de base f (Fig. 3).

Si desde el exterior se suministra al átomo una determinada cantidad de energía, se *excita* el electrón E y es desplazado de su órbita normal a la siguiente o a otra más externa, absorbiendo así la cantidad de energía suministrada. El electrón se sitúa a un nivel de energía superior (líneas de nivel e_1 , e_2 , e_3 , etc. de la Fig. 3). Tras un corto tiempo de permanencia en este nivel, el electrón salta de nuevo a su posición inicial (línea f de la Fig. 3) y emite la cantidad de energía absorbida en un principio, generalmente en forma de radiación electromagnética.

Si la cantidad de energía suministrada es mayor, el electrón E puede llegar a alcanzar instantáneamente una órbita más externa. A consecuencia del mayor rango de energía conseguido, la radiación emitida al volver el electrón a la base f será más rica en energía.

Por lo tanto, las distintas capas de energía corresponden a un nivel de energía perfectamente determinado y por ello no pueden existir estados intermedios. De aquí se deduce que para excitar a un átomo se necesita una cantidad de energía exactamente determinada, la cual es emitida en forma de radiación y/o desprendimiento de calor al recuperar el átomo su forma fundamental.

La emisión de la energía transformada en este proceso desde el punto de vista atómico, se produce en porciones o partes discontinuas denominadas *cuantos de energía* (Böhr postuló que el electrón no podía girar a cualquier distancia del núcleo, sino en ciertas órbitas solamente). Sin embargo, en el campo de la Luminotecnia práctica, la luz emitida en esa transformación se considera emitida de manera continua en forma de ondas electromagnéticas, lo cual resulta aceptable para los casos normales de su aplicación.

Mediante la teoría de los *cuantos de energía* formulada por Max Plank, se demuestra que los distintos elementos químicos, al ser excitados, no emiten un espectro continuo debido a la diferente estructura de sus capas electrónicas, sino solamente longitudes de onda muy particulares (líneas) dentro de todo el espectro electromagnético; estos espectros se conocen con el nombre de *espectros de líneas*. Cada sustancia posee un espectro de líneas característico, lo cual también ocurre con los gases luminiscentes, como por ejemplo el vapor de sodio, cuyo espectro está compuesto por una doble línea amarilla cuyas longitudes de onda corresponden a 589 y 589'6 nm respectivamente.

Según el procedimiento físico empleado para excitar los átomos, el tipo de radiación y la forma en que se emite se distinguen varias clases de luminiscencia.

Luz de descarga eléctrica en el seno de un gas

En todos los gases, principalmente los que contienen las lámparas de descarga, además de átomos de gas neutrales, se encuentran siempre algunas cargas eléctricas libres (electrones).

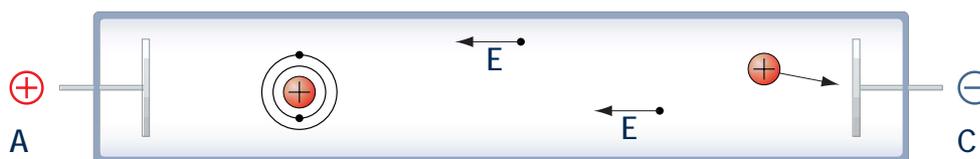


Figura 4. Tubo de descarga de gas.

Si en un tubo de descarga (Fig. 4) se aplica una corriente continua al ánodo A (+) y al cátodo C (-), se crea entre A y C un campo eléctrico que acelera las cargas negativas (electrones) y las precipita hacia el ánodo. Al alcanzar un electrón una determinada velocidad, posee ya energía cinética suficiente para excitar un átomo de gas. Si la velocidad del electrón al chocar con el átomo del gas es aún mayor, el impacto puede provocar incluso el desprendimiento de un electrón de la corteza atómica, con lo cual el átomo queda con un electrón menos en su configuración, es decir, se obtiene un ión positivo; este fenómeno se denomina *ionización por choque*. De esta forma aumenta aún más el número de electrones libres, pudiendo llegar incluso a aumentar torrencialmente si la corriente eléctrica por ellos producida no se limita mediante una resistencia apropiada (estabilizador).

Junto con los electrones libres o desprendidos, se encuentran también iones positivos que se desplazan en sentido contrario al de los electrones, es decir hacia el cátodo, aunque debido a su pequeña velocidad no pueden provocar ninguna excitación de otras partículas gaseosas, sino que, por el contrario, transcurrido un breve espacio de tiempo, toman de nuevo un electrón a cambio de una emisión de energía.

Conforme con el gas noble o gas metálico con que se llene el recipiente de descarga se obtendrán, mediante la excitación atómica anteriormente citada, los espectros de líneas o colores de luz característicos del elemento químico elegido. Por ejemplo, si el gas es neón, el color de la luz es rojo-anaranjado, y si es vapor de mercurio blanco-azulado.

Todos estos fenómenos tienen lugar dentro de un volumen comprendido entre dos electrodos, que queda limitado por la pared del recipiente de descarga. Este volumen forma una columna gaseosa de descarga.

Si la alimentación del tubo de descarga se hace con corriente alterna en vez de continua, los electrodos cambian periódicamente su función, actuando unas veces de cátodo y otras de ánodo; pero, por lo demás, el fenómeno de la producción luminosa es el mismo.

Las condiciones de la descarga eléctrica en el seno de un gas, para la producción de luz, dependen fundamentalmente de la presión del gas o vapor que exista en el interior del tubo de descarga, de ahí que se distinguen tres tipos de descarga:

- Descarga a baja presión.
- Descarga a alta presión.
- Descarga a muy alta presión.

Cuanto más alta es la presión, las líneas espectrales se ensanchan formando bandas cada vez mayores, con lo cual mejora el espectro cromático.

En las lámparas de vapor metálico se requiere vaporizar primeramente el metal, que en frío se encuentra en estado sólido o líquido; por ello se llenan estas lámparas con gas noble que es el primero que se inflama, suministrando el calor necesario para la vaporización del metal.

Descarga eléctrica a alta tensión entre electrodos fríos (tubos de gases nobles)

Para suministrar la cantidad suficiente de electrones libres en este tipo de descarga, se utilizan electrodos fríos contruidos la mayoría de las veces de chapa de cromo-níquel.

El llenado del tubo de descarga se hace con gases nobles como son el neón, que emite una luz intensa de color rojo-anaranjado, o el helio que emite una luz de color rosa-claro, y también con vapores metálicos, especialmente el vapor de mercurio que emite una luz blanco-azulado y, mezclado con el gas neón, una luz de color azul intenso.

Las tensiones de arranque y de funcionamiento son elevadas, necesitándose de 600 a 1.000 voltios por metro de longitud. El consumo de potencia media, también por metro de longitud, es de unos 33 W, con un rendimiento luminoso de 2'5 a 5 lm/W: Debido a este bajo rendimiento luminoso, los tubos de gas noble apenas si han tenido aplicación en el alumbrado de interiores, pero sí han jugado un papel importante en los anuncios luminosos, por la facilidad de poder ser moldeados en forma de letras para rótulos.

Descarga eléctrica a baja tensión entre electrodos calientes (lámparas de vapor metálico)

Si se introduce en un tubo de vidrio previamente evacuado una cierta cantidad de sodio sólido o mercurio líquido y un gas noble para lograr transformar el metal en vapor al producirse la descarga eléctrica, se obtiene una descarga de vapor metálico en el seno de un gas, que puede incluso provocarse a una tensión baja normal (220 V), con electrodos precalentados o calentados (cátodos calientes). Las lámparas de vapor de sodio y de vapor de mercurio funcionan según este principio.

De todo lo expuesto hasta ahora, se deduce que la luz emitida por las lámparas de vapor metálico depende de forma decisiva del espectro de líneas del vapor metálico elegido; así pues, la lámpara de vapor de sodio da una luz monocromática de color amarillo-anaranjado, y la de vapor de mercurio una luz verde-azulada.

Los espectros discontinuos de estas lámparas se mejoran por distintos medios:

En las de mercurio:

- Por combinación con luz incandescente (lámparas de luz mezcla).
- Por combinación con una capa fluorescente (lámparas de vapor de mercurio, color corregido).
- Añadiendo halógenos metálicos (lámparas de vapor de halógenos metálicos).

En las de sodio:

- Por combinación con luz de mercurio en un recipiente de metal transparente, a alta presión de llenado (lámparas de vapor de sodio a alta presión).

Fotoluminiscencia (lámparas fluorescentes de baja presión)

Por fotoluminiscencia se entiende fundamentalmente la excitación a la luminiscencia de determinadas sustancias mediante una radiación, la mayoría de las veces radiación ultravioleta de onda corta. Las sustancias luminiscentes empleadas sólo emiten luz mientras son excitadas por la radiación ultravioleta de onda corta, la cual transforman en una radiación de onda más larga (luz en el espectro visible).

Como sustancias luminiscentes se emplean, entre otras, el wolframato de calcio, wolframato de magnesio, silicato de zinc, silicato de cadmio, borato de cadmio, halofosfatos, etc.

Cada una de estas sustancias luminiscentes emite un determinado color de luz. Mediante una mezcla apropiada de estas sustancias, se puede obtener prácticamente cualquier color de luz compuesto que se desee. Si se consigue que la de emisión de cada uno de los componentes cromáticos se superpongan, se obtiene un espectro continuo que, además, puede variar desde el blanco luz día hasta el blanco cálido.

Se llama "*fluorescencia*" a todos aquellos fenómenos de luminiscencia en los que la radiación luminosa permanece mientras dura la excitación. El caso contrario es la fosforescencia.

Fosforescencia

La fosforescencia tiene lugar cuando en determinadas sustancias luminiscentes persiste la radiación luminosa aún después de cesar la excitación. Este fenómeno corresponde al hecho de que, por debajo de unos niveles de energía (perteneciente a las capas electrónicas) de algunos componentes químicos, como sulfuros, seleniuros u óxidos de los metales alcalinotérreos, existe aparte un "nivel de acumulación" que impide que los electrones vuelvan rápidamente a su posición inicial.

Los electrones que por su excitación llegan a ese nivel de acumulación sólo pueden recuperar lentamente su estado fundamental, siendo entonces cuando la sustancia sigue emitiendo luz. Este fenómeno puede durar desde fracciones de segundo a meses (dependiendo del tipo de material y la temperatura).

Electroluminancia

Para producir este fenómeno, en lugar de una radiación excitadora, se puede utilizar también directamente un campo eléctrico para "elear" electrones a un nivel superior de energía. Esto se consigue insertando una sustancia luminiscente entre dos capas conductoras y aplicando al conjunto una corriente alterna lo mismo que si se tratara de un condensador de placas.

Esta forma de obtención de luz (manifestada por un centelleo de moderado esplendor) se ha realizado en las llamadas *placas luminosas* de aplicación en salas de enfermos, numeración de portales de edificios, iluminación de escaleras, etc.

Inyectoluminiscencia

Se trata aquí, en cierto modo, del caso contrario al principio fotoeléctrico en que se basan los fotómetros que se emplean para medir la luz. Mientras que en el fotómetro tiene lugar una transformación de energía luminosa en energía eléctrica (en forma de una minicorriente), al aplicar la inyectoluminiscencia a una lámpara llamada de cuerpo sólido, de una energía eléctrica, se produce recíprocamente una energía luminosa (radiación cromática), que tiene muy buena aplicación para procedimientos sencillos de pequeñas señalizaciones.

Una lámpara de cuerpo sólido se obtiene incrustando en la malla de un semiconductor determinados átomos extraños, de forma que éste quede dividido en dos partes, una con exceso de electrones y otra con defecto.

Radioluminiscencia (luz producida por sustancias radioactivas)

En este caso, la emisión luminosa se basa en la irradiación de una sustancia luminiscente con rayos que resultan de la desintegración natural de una materia radiactiva, como por ejemplo el uranio y sus isótopos. Este principio de la producción de luz se aplica a la llamada lámpara de isótopos, que no necesita en absoluto ser alimentada con corriente eléctrica.

Bioluminiscencia

La bioluminiscencia es un fenómeno luminoso que se manifiesta débilmente en la Naturaleza, consistente en el destello emitido por los gusanos de luz, algunas clases de peces, algas marinas, madera podrida y similares.

Este fenómeno se debe al proceso de oxidación de algunas sustancias químicas u orgánicas especiales, como las que poseen las luciérnagas y las bacterias fotógenas, en contacto con el oxígeno del aire o del agua.

Hasta ahora no se ha logrado reproducir artificialmente este fenómeno de la Naturaleza.

8.4. Condiciones que deben reunir las lámparas

8.4.1. Distribución espectral de la radiación total

Para que las lámparas como transformadoras de energía pudieran trabajar con un alto rendimiento, casi toda la energía absorbida deberían transformarla en radiación visible. Por otra parte su luz debería ser blanca como la del día y con buena reproducción cromática, lo cual exige un espectro continuo que contenga todos los colores principales desde el violeta hasta el

rojo, pero como la sensibilidad del ojo es máxima para la radiación amarillo-verdosa, lo más favorable en cuanto a rendimiento luminoso se refiere es obtener el porcentaje mayor de radiación en la zona 555 nm.

8.4.2. Luminancia

Las lámparas luz que se emplean preferentemente al descubierto no deben tener una luminancia elevada, con el fin de que su efecto de deslumbramiento se mantenga dentro de unos límites soportables. El valor de la luminancia admisible depende del tipo de aplicación.

Por el contrario, las lámparas que se utilizan en luminarias pueden tener grandes luminancias, ya que en ellas se amortigua el efecto de deslumbramiento.

En general, la luminancia que se puede obtener de una lámpara depende del sistema adoptado para la producción de luz, es decir, de la naturaleza física de la fuente y de si ésta es puntual, lineal o plana. La luminancia de las lámparas nunca puede aumentarse mediante cualquier sistema óptico pero sí debilitarse, por ejemplo con capas difusoras.

8.4.3. Distribución de la intensidad luminosa

La radiación de una lámpara no es igual en todas las direcciones del espacio, siendo afectada por la posición del casquillo, los soportes del cuerpo luminoso, etc., lo cual determina que cada tipo de lámpara posea una distribución típica de su intensidad luminosa.

Las curvas de distribución luminosa son esenciales para proyectar instalaciones de alumbrado, así como para el diseño de luminarias, porque su sistema óptico ha de ajustarse de tal forma a la curva de distribución luminosa de la lámpara, que la luz sea dirigida al lugar o punto de máxima necesidad.

8.4.4. Efecto biológico de la radiación emitida

Es necesario que las lámparas no emitan ninguna radiación que pueda resultar peligrosa para el hombre, bien sea de inmediato o a largo plazo. Con los radiadores térmicos como son las lámparas incandescentes, esta condición se cumple ya desde un principio (la mayoría de la radiación producida es infrarroja).

Algunas descargas de gases, principalmente las de vapor de mercurio, contienen por naturaleza un porcentaje de radiación ultravioleta que se puede clasificar en:

- UV-A: Bronceadora o de onda larga (entre 315 y 380 nm.).
- UV-B: Antirraquítica o de onda media (entre 280 y 315 nm.). Favorece la producción en el cuerpo de la vitamina D.
- UV-C: Bactericida o de onda corta (entre 200 y 280 nm.). Destruye gérmenes y materia orgánica. Estos efectos se pueden aumentar por la debilitación la capa de ozono de la atmósfera.
- UV-C: Ozonífera o de onda corta (entre 100 y 200 nm.). Este tipo de radiación es capaz de crear ozono de las mismas características que el existente en la atmósfera.

El efecto permanente de las radiaciones UV-B o UV-C produce quemaduras en la piel desnuda y conjuntivitis en los ojos que no están protegidos. En las lámparas para alumbrado general esto puede evitarse con el empleo de clases de vidrio apropiadas que absorban la radiación crítica.

8.4.5. Color apropiado para cada aplicación

El color de luz de una lámpara se determina por la composición espectral de su radiación. En la Tabla 2 se establecen grupos de luz para las lámparas empleadas en el alumbrado general:

Color de Luz	Temperatura de color
Incandescente-fluorescente	2.600-2.700 K
Blanco cálido	2.900-3.000 K
Blanco o blanco neutral	3.500-4.100 K
Blanco frío	4.000-4.500 K
Blanco luz día	6.000-6.500 K

Tabla 2

Mientras que las lámparas incandescentes por su alto contenido en rojo (a excepción de las lámparas de color), sólo pueden radiar un color blanco cálido, los colores de luz de las lámparas de descarga están determinados por los gases o vapores para ellas elegidos, por ejemplo el color amarillo de la descarga del vapor de sodio, o el azul pálido de la de vapor de mercurio. Se pueden obtener otras variantes cromáticas, combinando diferentes vapores metálicos o modificando la presión de vapor. Con las lámparas fluorescentes se ofrece la posibilidad de conseguir cualquier matiz que se desee, mediante la selección o mezcla de una gran cantidad de sustancias luminiscentes conocidas, para adaptarlas a cada tipo de aplicación.

8.4.6. Calidad de reproducción cromática

La reproducción cromática se refiere al aspecto del color que presentan las superficies iluminadas. Su calidad reproductora no sólo depende de la tonalidad de la luz incidente, sino fundamentalmente de su composición espectral. Por lo tanto, la temperatura de color se refiere únicamente al color de la luz, pero no a su composición espectral. Así, dos fuentes de luz pueden tener un color muy parecido y poseer al mismo tiempo unas propiedades de reproducción cromática muy diferentes. La mayoría de las veces lo que se exige de una lámpara es una buena reproducción cromática, lo cual requiere una distribución espectral diferente a la que se necesitaría para conseguir un elevado rendimiento luminoso.

8.4.7. Constancia del flujo luminoso

En la práctica no es posible conseguir el mantener el valor del flujo luminoso a un 100% en toda la duración de la fuente de luz, ya que se tiene en contra motivos físicos y tecnológicos.

Los flujos luminosos que se suelen indicar en los catálogos se refieren, en el caso de las lámparas de incandescencia, a lámparas que no han funcionado todavía, y en el caso de las de descarga, a lámparas con 100 horas de funcionamiento, a las cuales se considera se ha estabilizado el mismo.

8.4.8. Rendimiento luminoso

Como vimos en el capítulo 5, el máximo rendimiento luminoso que se podía conseguir en el caso más favorable era de 683 lm/W. Aunque no se puede llegar a ese valor, hoy en día se han conseguido lámparas con un rendimiento bastante alto que permiten obtener iluminaciones elevadas de forma relativamente económica.

No obstante, en muchos casos hay que decidir cuál es la propiedad de la lámpara que resulta más valiosa, si un elevado rendimiento luminoso o una reproducción cromática extraordinariamente buena.

8.4.9. Vida media y vida útil

La *vida media* es un concepto estadístico que representa la media aritmética de la duración en horas de cada una de las lámparas de un grupo suficientemente representativo del mismo modelo y tipo.

La *vida útil* es una magnitud referida a la práctica, dada igualmente en horas, al cabo de las cuales 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.

8.4.10. Repercusiones en la red de alimentación

Cualquier lámpara moderna requiere que su funcionamiento no tenga una repercusión importante en la red de alimentación. Con lámparas incandescentes esta repercusión queda limitada a una sobreintensidad en el momento de la conexión, debido a su pequeña resistencia con la lámpara en frío.

Las lámparas de descarga eléctrica funcionan generalmente en conexión con una inductancia, representando para el circuito una resistencia aparente. Esto da lugar a que se obtenga un bajo factor de potencia ($\cos \varphi$), lo que supone una carga adicional para la red y por ello debe ser compensado.

8.4.11. Estabilización de lámparas con característica de resistencia negativa

Resistencia negativa es la propiedad que tienen algunas resistencias eléctricas, por ejemplo la de un arco de descarga, de disminuir su valor a medida que aumenta la intensidad de corriente que circula por ella. Ello obliga en las lámparas de descarga

a estabilizar la corriente con el fin de que no adquiera unos valores desmesurados que la puedan destruir. Esto se realiza fácilmente intercalando en el circuito de la lámpara resistencias inductivas, capacitivas y óhmicas.

8.4.12. Variaciones de la tensión de alimentación

Las variaciones de la tensión de alimentación influyen en los datos luminotécnicos de cualquier lámpara. En las lámparas incandescentes afectan muy notablemente a la duración y temperatura de color, y en las de descarga, a las relaciones de presión del arco y con ello a las condiciones de descarga.

8.4.13. Tiempo hasta que el flujo luminoso adquiere el régimen normal

Las lámparas incandescentes se encienden inmediatamente emitiendo su flujo total. Las lámparas fluorescentes pueden hacerlo también si se emplean cebadores de arranque rápido, de no ser así, el encendido se efectúa con retraso después de uno o varios intentos.

Las otras lámparas de descarga precisan un tiempo de encendido de varios minutos, hasta que el vapor metálico adquiere la presión necesaria y el flujo luminoso alcanza su máximo valor.

8.4.14. Posibilidad de reencendido inmediato

Es la posibilidad de que la lámpara, después de apagada, tengan la posibilidad de un reencendido inmediato en caliente con plena emisión de flujo luminoso. Esta condición sólo la cumplen las lámparas incandescentes, las de vapor metálico presentan determinadas diferencias respecto a su posibilidad de reencendido inmediato, como se indica a continuación:

- Lámparas de vapor de mercurio a alta presión: Necesitan un tiempo de enfriamiento de algunos minutos para poder reencender en caliente, y otro tiempo para alcanzar el flujo luminoso total.
- Lámparas de halogenuros metálicos: Se comportan igual que las de vapor de mercurio, existiendo algunos tipos que pueden reencender en caliente mediante aparatos especiales.
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión: Los tipos que poseen aparato de encendido separado reencienden en caliente dentro de un minuto y alcanzan el flujo total prácticamente sin demora. Los otros tipos sin aparato de encendido separado se comportan de forma similar a las lámparas de vapor de mercurio.
- Lámparas de vapor de sodio a baja presión: Se comportan como las lámparas de vapor de mercurio.

8.4.15. Efecto estroboscópico

En todas las fuentes de luz artificiales que funcionan con corriente alterna cesa su emisión cada vez que la corriente pasa por en punto cero. Esto tiene lugar dos veces por periodo, por lo que para una frecuencia de 50 Hz. (periodos por segundo) se producirán 100 instantes de oscuridad por segundo.

El filamento de las lámparas incandescentes posee mucha inercia térmica, por lo que se produce un ligero descenso de la emisión luminosa por tal circunstancia, que pasa desapercibido por el ojo excepto cuando lámparas de poca potencia funcionan con redes de 25 Hz.

En las lámparas de descarga que funcionan con redes de 50 Hz., el ojo no es capaz de apreciar las variaciones tan rápidas de luz que se producen, pero puede darse el caso de que las lámparas iluminen zonas en las que se realicen movimientos rápidos, observándose entonces como si estos movimientos se realizaran de forma intermitente e incluso como si estuvieran parados. Este fenómeno se conoce como *efecto estroboscópico* y se puede reducir hasta hacerlo insensible por medio de montajes especiales de alimentación de las lámparas, o donde se disponga de línea trifásica, distribuyendo su conexión entre las tres fases.

8.4.16. Posición de funcionamiento

Una lámpara eléctrica generalmente está construida para una determinada posición de funcionamiento en la que presenta unas óptimas propiedades de trabajo. Fuera de esta posición, las propiedades cambian desfavorablemente, bien sea por sobrecalentamiento de la espiral, del casquillo o de la ampolla de vidrio, por desviación del arco de las lámparas de descarga o por variaciones del calor circundante. Por eso hay que tener en cuenta las tolerancias dadas en los correspondientes catálogos de las lámparas, a fin de evitar su agotamiento prematuro por inadecuada posición de funcionamiento.

Las abreviaturas empleadas indican la posición principal de funcionamiento y el ángulo de inclinación admisible en grados.

Principales posiciones de funcionamiento:

S (s) = Vertical (de pie, casquillo abajo).

H (h) = Vertical (colgando, casquillo arriba).

P (p) = Horizontal (casquillo a un lado).

HS (hs) = Vertical (casquillo arriba o abajo).

Universal = Permite cualquier posición de colocación.

Ángulos de inclinación admisibles:

A la posición principal de funcionamiento sigue una cifra que señala la inclinación admisible en grados con respecto a aquella.

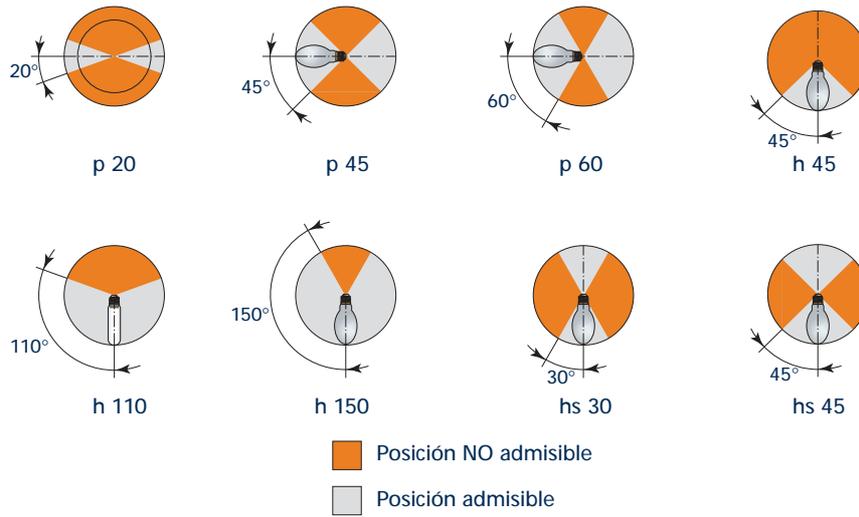


Figura 5. Esquema de posiciones de funcionamiento.

8.5. Lámparas incandescentes

Como hemos dicho anteriormente, la lámpara incandescente es la fuente de luz eléctrica más antigua y aún la de uso más común. Es también la que posee mayor variedad de alternativas y se puede encontrar en casi todas las aplicaciones, particularmente cuando se requieren bajos flujos luminosos.

Un descubrimiento relativamente reciente es la lámpara de wolframio halógena incandescente, que rápidamente ha abarcado muchas áreas de aplicación en iluminación.

8.5.1. Lámparas incandescentes convencionales

La lámpara incandescente produce luz por medio del calentamiento eléctrico de un alambre (el filamento) a una temperatura alta que emite de esta forma radiación dentro del campo visible del espectro.

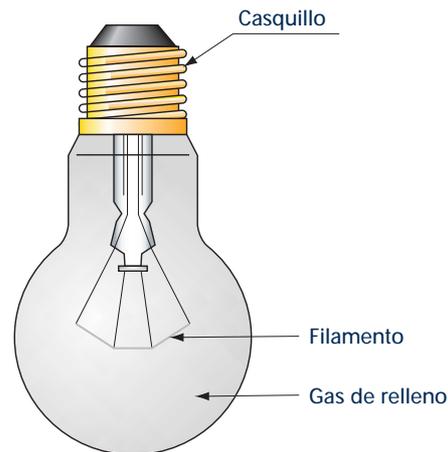


Figura 6. Lámpara incandescente convencional.

Las partes principales de una lámpara incandescente son el filamento, los soportes del filamento, la ampolla, el gas de relleno y el casquillo.

Filamento: El utilizado en las lámparas modernas está hecho de wolframio (alto punto de fusión y bajo grado de evaporación). Se logró mayor eficiencia lumínica enrollando el filamento en forma de espiral.

Ampolla: Es una cubierta de vidrio sellado que encierra al filamento y evita que tome contacto con el aire exterior (para que no se queme).

Gas de relleno: La evaporación del filamento se reduce relleno la ampolla con un gas inerte. Los gases que comúnmente se utilizan son argón y nitrógeno.

En estas lámparas, la energía luminosa obtenida es muy poca comparada con la energía calorífica que irradia, es decir, gran parte de la energía eléctrica transformada se pierde en calor y por ello su eficacia luminosa es pequeña (es una lámpara derrochadora de energía).

Estas lámparas tienen la ventaja de que se conectan directamente a la red, no necesitando ningún equipo auxiliar para su funcionamiento.

8.5.2. Lámparas halógenas de wolframio

La alta temperatura del filamento de una lámpara incandescente normal causa que las partículas de wolframio se evaporen y se condensen en la pared de la ampolla, dando por resultado un oscurecimiento de la misma. Las lámparas halógenas poseen un componente halógeno (yodo, cloro, bromo) agregado al gas de relleno y trabajan con el ciclo regenerativo de halógeno para prevenir el oscurecimiento.

El wolframio evaporado se combina con el halógeno para formar un compuesto wolframio halógeno. A diferencia del vapor de wolframio, se mantiene en forma de gas, siendo la temperatura de la ampolla suficientemente elevada como para prevenir la condensación. Cuando dicho gas se acerca al filamento incandescente, se descompone debido a la elevada temperatura en wolframio, que se vuelve a depositar en el filamento, y en halógeno, que continúa con su tarea dentro del ciclo regenerativo (Fig. 7).

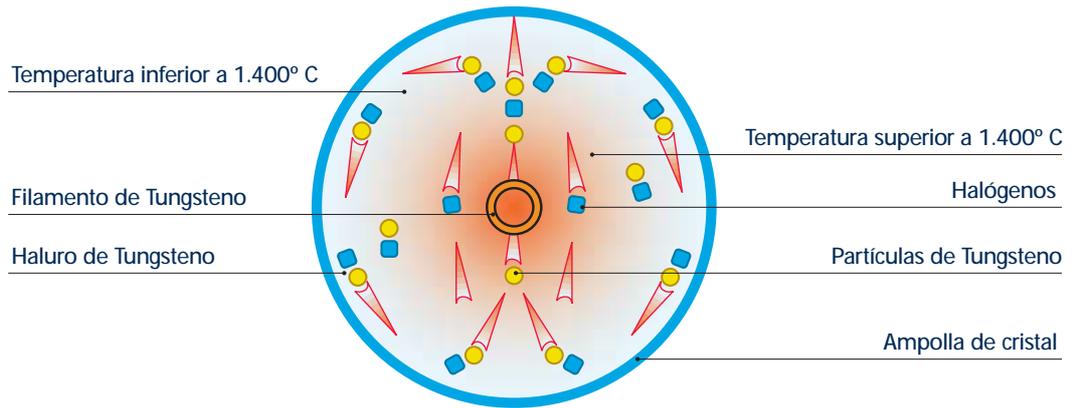


Figura 7. Ciclo del halógeno.

La diferencia principal con una lámpara incandescente, aparte del aditivo de halógeno mencionado anteriormente, está en la ampolla. Debido a que la temperatura de la ampolla debe ser alta, las lámparas halógenas son más pequeñas que las lámparas incandescentes normales. La envoltura tubular está hecha de un vidrio de cuarzo especial (que no debe tocarse con los dedos). Desde su introducción, las lámparas halógenas de wolframio han incursionado en casi todas las aplicaciones donde se utilizaban las lámparas incandescentes. Las ventajas de las lámparas halógenas de wolframio con respecto a las lámparas incandescentes normales son: mayor durabilidad, mayor eficiencia luminosa, menor tamaño, mayor temperatura de color y poca o ninguna depreciación luminosa en el tiempo.

8.6. Lámparas de descarga en vapor de mercurio

En esta parte vamos a ver las lámparas de descarga en cuyo tubo de descarga se introduce vapor de mercurio. Se incluyen las lámparas fluorescentes, las lámparas fluorescentes compactas, las lámparas de mercurio a alta presión, las lámparas mezcla y las lámparas de halogenuros metálicos.

8.6.1. Lámparas fluorescentes

La lámpara fluorescente es una lámpara de descarga en vapor de mercurio de baja presión, en la cual la luz se produce predominantemente mediante polvos fluorescentes activados por la energía ultravioleta de la descarga.

La lámpara, generalmente con ampolla de forma tubular larga con un electrodo sellado en cada terminal, contiene vapor de mercurio a baja presión con una pequeña cantidad de gas inerte para el arranque y la regulación del arco. La superficie interna de la ampolla está cubierta por una sustancia luminiscente (polvo fluorescente o fósforo) cuya composición determina la cantidad de luz emitida y la temperatura de color de la lámpara.

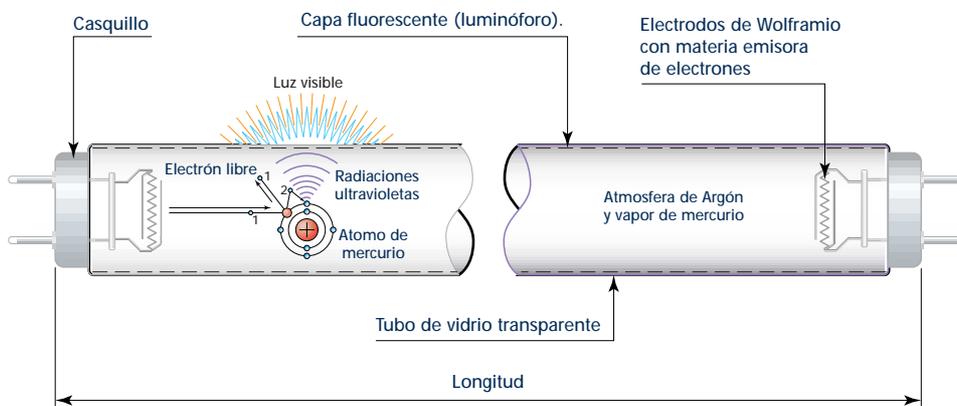


Figura 8. Lámpara fluorescente.

Las partes principales de la lámpara fluorescente son la ampolla, la capa fluorescente, los electrodos, el gas de relleno y los casquillos.

Ampolla: La ampolla de una lámpara fluorescente normal está hecha de vidrio cal-soda suavizado con óxido de hierro para controlar la transmisión ultravioleta de onda corta.

Revestimientos fluorescentes: El factor más importante para determinar las características de la luz de una lámpara fluorescente es el tipo y composición del polvo fluorescente (o fósforo) utilizado. Éste fija la temperatura de color (y como consecuencia la apariencia de color), el índice de reproducción del color (IRC) y, en gran parte, la eficiencia luminica de la lámpara.

Tres grupos de fósforos se utilizan para producir las diferentes series de lámparas con diferentes calidades de color (fósforos standard, tri-fósforos y multi-fósforos).

Electrodos: Los electrodos de la lámpara, que poseen una capa de material emisor adecuado, sirven para conducir la energía eléctrica a la lámpara y proporciona los electrones necesarios para mantener la descarga.

La mayoría de los tubos fluorescentes poseen electrodos que se precalientan mediante una corriente eléctrica justo antes del encendido (se llaman lámparas de electrodos precalentamiento siendo iniciado este precalentado por un arrancador independiente).

Gas de relleno: El gas de relleno de una lámpara fluorescente consiste en una mezcla de vapor de mercurio saturado y un gas inerte amortiguador (argón y kriptón).

Bajo condiciones operativas normales, el mercurio se encuentra en el tubo de descarga tanto en forma líquida como de vapor. El mayor rendimiento se logra con una presión de vapor de mercurio de alrededor de 0.8 Pa., combinado con una presión del amortiguador de alrededor de 2.500 Pa. (0.025 atmósferas). Bajo estas condiciones, alrededor de un 90% de la energía irradiada es emitida en la onda ultra-violeta de 253.7 nm.

En las lámparas fluorescentes, la temperatura de color está comprendida entre 2.700 K y 6.500 K., con una curva de distribución espectral discontinua que reproduce colores según la composición de la sustancia fluorescente que recubre la pared interior del tubo.

Cada radiación luminosa total resultante es la suma de la radiación del espectro discontinuo más la de una distribución espectral continua, cada vez más eficaz con el empleo de fósforos especiales.

De esta forma se fabrican tubos fluorescentes con varias tonalidades de luz e índices de reproducción cromáticos clasificados, según las normas C.I.E. entres grandes grupos:

- Luz blanca día: $T_c > 5.000$ K.
- Blanco neutro: 5.000 K $\geq T_c \geq 3.000$ K.
- Blanco cálido: $T_c < 3.000$ K.

En cada grupo existen varios tonos con una amplia variedad de temperaturas de color e índices de reproducción cromático, según cada fabricante, que cubren las necesidades de una amplia gama de aplicaciones.

Estas lámparas precisan un equipo auxiliar formado por un balasto e ignitor (cebador), además de un condensador de compensación para mejorar el factor de potencia.

Los valores nominales de funcionamiento se alcanzan al cabo de cinco minutos. Cuando se apaga la lámpara, debido a la gran presión en el quemador, necesita enfriarse entre cuatro y quince minutos para encenderse nuevamente.

8.6.2. Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

Desde su introducción, la lámpara de vapor de mercurio a alta presión ha sido desarrollada a tal punto que la tecnología de iluminación es apenas imaginable sin ella.

En estas lámparas la descarga se produce en un tubo de descarga de cuarzo que contiene una pequeña cantidad de mercurio y un relleno de gas inerte, generalmente argón, para ayudar al encendido. Una parte de la radiación de la descarga ocurre en la región visible del espectro como luz, pero una parte se emite también en la ultravioleta. Cubriendo la superficie interna de la ampolla exterior, en la cual se encuentra el tubo de descarga, con un polvo fluorescente que convierte esta radiación ultravioleta en radiación visible, la lámpara ofrecerá mayor iluminación que una versión similar sin dicha capa.

Principios de funcionamiento

Cuando se examina el funcionamiento de la lámpara de mercurio de alta presión, se deben considerar tres fases bien diferenciadas: ignición, encendido y estabilización.

Ignición

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 (25 kΩ). Cuando se enciende la lámpara, un gradiente de alto voltaje ocurre entre los electrodos principales y de arranque, e ioniza el gas de relleno de esta zona en forma de descarga luminiscente, siendo la corriente limitada por una resistencia. La descarga luminiscente luego se expande por todo el tubo de descarga bajo la influencia del campo eléctrico entre los dos electrodos principales.

Cuando la descarga luminiscente alcanza el electrodo más distante, la corriente aumenta en forma considerable. Como resultado, los electrodos principales son caldeados hasta que la emisión aumenta lo suficiente como para permitir que la descarga luminiscente cambie completamente a una descarga de arco, sin que el electrodo auxiliar desempeñe otra función en el proceso a causa de la alta resistencia conectada en serie con él.

En esta etapa, la lámpara funciona como una descarga de baja presión (semejante a la de una lámpara fluorescente). La descarga llena el tubo y posee una apariencia azulada.

Encendido

Habiendo sido ejecutada la ionización del gas inerte, la lámpara aún no quema en la forma deseada y no ofrece su máxima producción de luz, hasta que el mercurio presente en el tubo de descarga esté completamente vaporizado. Esto no ocurre hasta que haya transcurrido un tiempo determinado, denominado tiempo de encendido.

Como resultado de la descarga de arco en el gas inerte se genera el caldeo resultando un rápido aumento de temperatura dentro del tubo de descarga. Esto causa la vaporización gradual del mercurio, aumentando la presión del vapor y concentrando la descarga hacia una banda angosta a lo largo del eje del tubo. Con un mayor aumento en la presión, la energía radiada se concentra en forma progresiva en las líneas espectrales de longitudes de onda mayores y se introduce una pequeña porción de radiación continua, de manera tal que la luz se torna más blanca. Con el tiempo, el arco logra un punto de estabilización y se dice que la lámpara alcanza el punto de equilibrio termodinámico total. Todo el mercurio entonces se evapora, y la descarga ocurre en vapor de mercurio no saturado.

El tiempo de encendido, que se define como el tiempo necesario de la lámpara desde el momento de ignición para alcanzar un 80% de su producción máxima de luz, es de aproximadamente cuatro minutos.

Estabilización

La lámpara de mercurio de alta presión, como la gran mayoría de las lámparas de descarga, posee una característica de resistencia negativa y, por lo tanto, no puede operar por su cuenta en un circuito sin un balasto adecuado para estabilizar el flujo de la corriente a través de ella.

Partes principales

En la Fig. 9 se pueden observar las partes principales de una lámpara de vapor de mercurio a alta presión.

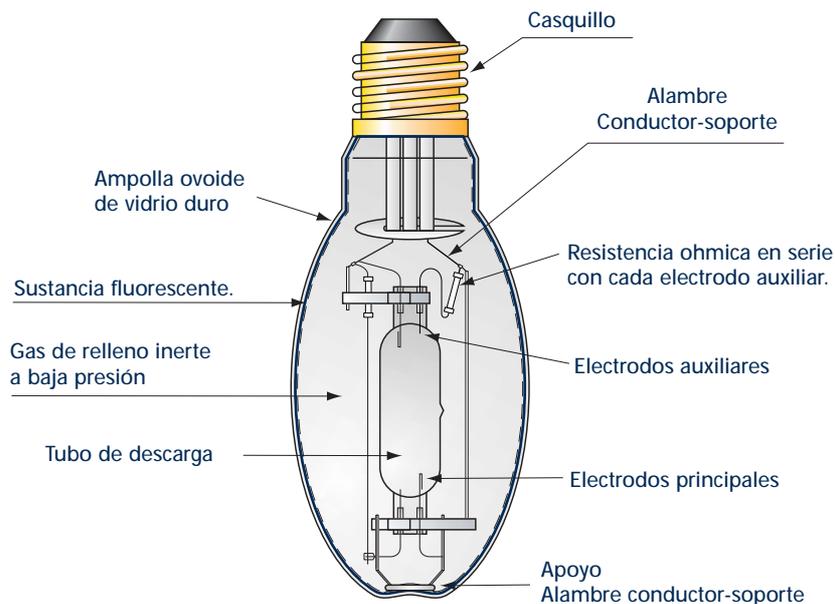


Figura 9. Lámpara de vapor de mercurio a alta presión.

Tubo de descarga y soporte: El tubo de descarga está hecho de cuarzo. Presenta una baja absorción a la radiación ultravioleta y a la visible, y posee la capacidad de soportar las altas temperaturas de trabajo involucradas.

Electrodos: Cada electrodo principal se compone de una varilla de wolframio, cuyo extremo se encuentra revestido por una serpentina de wolframio impregnado con un material que favorece la emisión de electrones. El electrodo auxiliar es simplemente un trozo de alambre de molibdeno o wolframio colocado cerca de uno de los electrodos principales y conectado al otro mediante una resistencia de 25 k Ω .

Ampolla exterior: Para lámparas de hasta 125 W de potencia, la ampolla exterior puede ser de vidrio de cal-soda. Sin embargo, las lámparas de potencias mayores se fabrican, generalmente, con vidrio duro de borosilicato, ya que puede soportar temperaturas de trabajo mayores y golpes térmicos.

La ampolla exterior, que normalmente contiene un gas inerte (argón o una mezcla de argón y nitrógeno), protege al tubo de descarga de cambios en la temperatura ambiente y protege de corrosión a los componentes de la lámpara.

Revestimiento de la ampolla: En la mayoría de las lámparas de mercurio de alta presión, la superficie interna de la ampolla exterior está cubierta por fósforo blanco para mejorar la reproducción de color de la lámpara y para aumentar su flujo luminoso. El fósforo convierte una gran parte de la energía ultravioleta radiada por la descarga en radiación visible, predominantemente en el extremo rojo del espectro.

Gas de relleno: El tubo de descarga está relleno de un gas inerte (argón) y de una dosis precisa de mercurio destilado. El primero es necesario para ayudar a originar la descarga y para asegurar una vida razonable para los electrodos de emisión recubiertos.

La ampolla exterior está rellena de argón o una mezcla de argón y nitrógeno a presión atmosférica. El agregado de nitrógeno sirve para prevenir un arco eléctrico entre los soportes de alambre de la ampolla.

Estas lámparas precisan un equipo auxiliar que normalmente es un balasto con resistencia inductiva o transformador de campo de dispersión, además de un condensador de compensación.

Cuando la lámpara se apaga, no volverá a arrancar hasta que se haya enfriado lo suficiente para bajar la presión del vapor al punto donde el arco volverá a encenderse. Este periodo es de unos cinco minutos.

8.6.3. Lámparas de luz mezcla

Las lámparas de luz mezcla son una combinación de la lámpara de vapor de mercurio a alta presión y de la lámpara incandescente, como resultado de uno de los intentos para corregir la luz azulada de las lámparas de vapor de mercurio, lo cual se consigue por la inclusión dentro de la misma ampolla de un tubo de descarga de vapor de mercurio y un filamento incandescente de wolframio.

La luz de la descarga de mercurio y la del filamento caldeado se combinan, o se mezclan, para lograr una lámpara con características operativas totalmente diferentes a aquellas que poseen tanto una lámpara de mercurio puro como una lámpara incandescente.

Partes principales

A excepción del filamento y del gas utilizado en la ampolla externa, las partes de una lámpara de luz mezcla son las mismas que las ya descritas en las lámparas de vapor de mercurio a alta presión (Fig. 10).

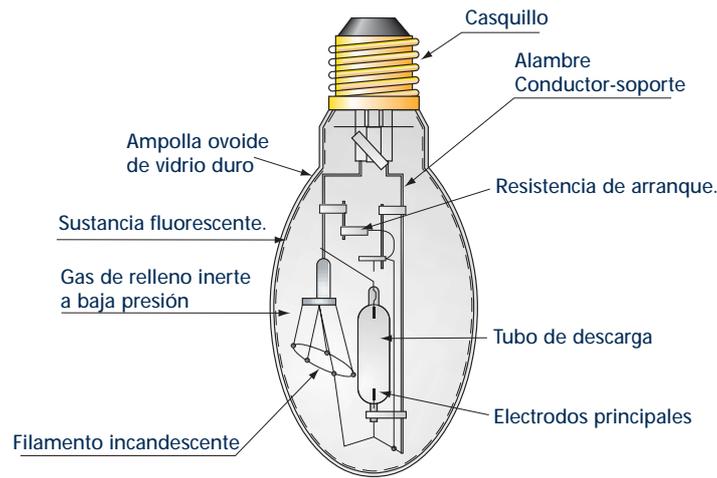


Figura 10. Lámpara de luz mezcla.

Filamento: El filamento, que también actúa como un balasto de resistencia para el tubo de descarga, es un alambre de wolframio enrollado igual que en la lámpara incandescente. Está conectado en serie con el tubo de descarga y situado junto o alrededor del mismo, para obtener buena mezcla de luz y para fomentar el rápido encendido del tubo.

Gas de relleno en ampollas externas: Así como en las lámparas incandescentes, el gas de relleno en lámparas de luz mezcla está compuesto de argón pero agregándole un porcentaje de nitrógeno para evitar un arco en el filamento. Comparada con la lámpara standard de vapor de mercurio a alta presión, se utiliza una presión mayor de llenado para mantener la evaporación del wolframio al mínimo.

Las lámparas de luz mezcla tienen la ventaja de que pueden conectarse directamente a la red (no precisan de balasto y arrancador para su funcionamiento). Tardan unos dos minutos en el encendido y no se puede efectuar el re-encendido hasta que no se enfría.

8.6.4. Lámparas de halogenuros metálicos

Son lámparas de vapor de vapor de mercurio a alta presión que además contienen halogenuros de tierras raras como el Dysprosio (Dy), Holmio (Ho) y el Tulio (Tm). Estos haluros son en parte vaporizados cuando la lámpara alcanza su temperatura normal operativa. El vapor de haluros se disocia después, dentro de la zona central caliente del arco, en halógeno y en metal consiguiendo así aumentar considerablemente la eficacia luminosa y aproximar el color al de la luz diurna solar. Se utilizan diversas combinaciones de halogenuros (sodio, yodo, ozono) a los que se añade escandio, talio, indio, litio, etc.

Partes principales

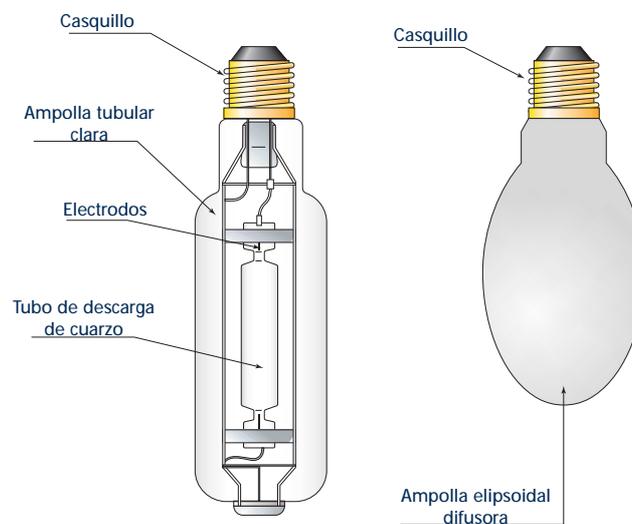


Figura 11. Lámparas de halogenuros metálicos.

Tubo de descarga: Es de cuarzo puro. A veces, se aplica una capa blanca de óxido de circonio en la parte externa de las cavidades del electrodo, para aumentar en ese punto la temperatura de la pared.

Electrodos: Son similares a los que lleva la lámpara de vapor de mercurio a alta presión.

Ampolla externa: El vidrio externo de la ampolla de las lámparas de halogenuros está hecho de vidrio duro o de cuarzo, y las hay que no poseen ampolla externa.

La superficie interna de las ampollas con forma oval poseen una capa de fósforo para convertir la radiación ultravioleta de la descarga en radiación visible. Sin embargo, los haluros empleados en la lámpara de halogenuro metálico producen sólo una pequeña cantidad de ultra violeta, y principalmente, está irradiada en la zona de longitud de onda ultra violeta del espectro, donde la conversión en radiación visible es pobre.

Gas de relleno en el tubo de descarga: El tubo de descarga está relleno de una mezcla de gases inertes (neón y argón o cripton-argón), una dosis de mercurio y los haluros apropiados, de acuerdo con el tipo de lámpara.

Gas de relleno en la ampolla externa: La ampolla externa de una lámpara de halogenuro metálico cuyo tubo de descarga está relleno de una mezcla de neón-argón, también debe estar rellena de neón para que la presión de neón que se encuentra dentro y fuera del tubo sea la misma. En caso de que el tubo de descarga esté relleno de una mezcla cripton-argón, se puede utilizar nitrógeno en la ampolla externa, o bien, esta última puede ser eliminada.

Las condiciones de funcionamiento de las lámparas de halogenuros metálicos son muy parecidas a las de vapor de mercurio convencionales, estando dispuestas para ser conectadas en serie con un balasto limitador de la corriente, necesitando un condensador de compensación.

Debido a los halogenuros, la tensión de encendido de estas lámparas es elevada, necesitando el empleo de un cebador o de un aparato de encendido con tensiones de choque de 0'8 a 5 KV.

La mayoría de estas lámparas permiten un re-encendido inmediato con las lámparas en caliente (después de apagadas), mediante el empleo de tensiones de choque de 35 a 60 KV, si no, es necesario que se enfríen entre cuatro y quince minutos para que se enciendan nuevamente.

8.7. Lámparas de descarga en vapor de sodio

En esta parte vamos a ver las lámparas de descarga en cuyo tubo de descarga se introduce vapor de sodio. Se incluyen las lámparas de vapor de sodio a baja presión y las lámparas de sodio a alta presión.

8.7.1. Lámparas de sodio a baja presión

Existe una gran similitud entre el trabajo de una lámpara de vapor de sodio a baja presión y una lámpara de vapor de mercurio a baja presión (o fluorescente). Sin embargo, mientras que en la última la luz se produce al convertir la radiación ultravioleta de la descarga de mercurio en radiación visible, utilizando un polvo fluorescente en la superficie interna, en la primera la radiación visible se produce por la descarga directa del sodio.

Principio de trabajo

El tubo de descarga de una lámpara de sodio de baja presión es en general, en forma de U y está contenido en una cubierta exterior de vidrio tubular vacío, con capa de óxido de indio en la superficie interna. El vacío, junto con la capa, la cual actúa como un reflector selectivo de infrarrojo, ayuda a mantener la pared del tubo de descarga a una temperatura de trabajo adecuada. Estas medidas son necesarias para que el sodio, que cuando se condensa se deposita en hendiduras del vidrio, se evapore con una pérdida mínima de calor; debido a eso, se logra la mayor eficiencia luminosa posible.

El gas neón presente dentro de la lámpara, sirve para iniciar la descarga y para desarrollar el calor suficiente como para vaporizar el sodio. Esto responde por la luminiscencia rojo-anaranjada durante los primeros pocos minutos de trabajo. El sodio metálico se evapora en forma gradual, debido a eso, se produce la característica luz amarilla monocromática, con líneas de 589 nm. y 589'6 nm. en el espectro. El color rojo, que en principio se produce por la descarga de neón, se suprime energicamente durante el funcionamiento porque los potenciales de excitación y de ionización de sodio son mucho menores que los del neón.

La lámpara alcanza su flujo luminoso establecido en aproximadamente diez minutos. Volverá a arrancar de forma inmediata en caso de que el suministro de alimentación se interrumpa momentáneamente, ya que la presión de vapor es bastante baja y el voltaje aplicado suficiente como para restablecer el arco.

La lámpara posee una eficiencia luminosa de hasta 200 lm/W y una larga vida.

Por lo tanto, esta lámpara se aplica en aquellos lugares donde la reproducción de color es de menor importancia y donde cuenta, principalmente, el reconocimiento de contraste, por ejemplo: autopistas, puertos, playas, etc. Existen lámparas de sodio de baja presión con potencias que van desde 18 W a 180 W.

Partes principales

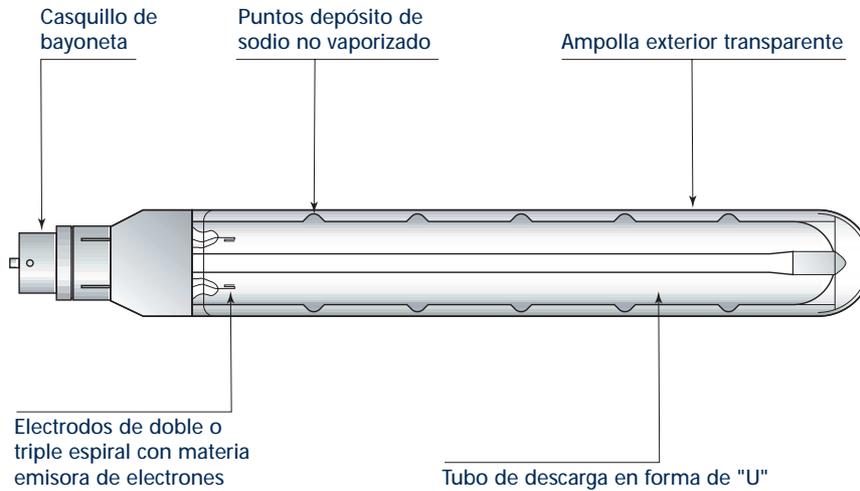


Figura 12. Lámpara de sodio a baja presión.

Tubo de descarga y soportes: El tubo de descarga de una lámpara de sodio de alta presión es en forma de U, para aprovechar espacio y proveer un mejor aislamiento térmico. Está hecho de vidrio cal-soda, y posee una superficie interna revestida de vidrio de borato para formar una capa protectora contra el vapor de sodio.

El tubo contiene además, un número de pequeñas hendiduras, o agujeros, donde se deposita el sodio durante la fabricación.

Relleno del tubo de descarga: El relleno del tubo de descarga consiste en sodio metálico de alta pureza y en una mezcla de neón y argón, la cual actúa como un gas de arranque y de amortiguación.

Electrodos: Las lámparas de sodio de baja presión poseen electrodos de arranque frío. Estos consisten en un alambre de wolframio triple, de manera que puede mantener una gran cantidad de material emisor.

Ampolla externa: Está vacía y se reviste en su superficie interna con una fina película de material reflector infrarrojo. El reflector infrarrojo sirve para reflejar la mayor parte de la radiación de calor que vuelve al tubo de descarga, manteniéndolo de ese modo, a la temperatura deseada, mientras que transmite la radiación visible.

Estas lámparas precisan de un equipo auxiliar formado por alimentador con autotransformador o balasto e ignitor con tensión de impulso según tipo. Precisan condensador de compensación.

Los valores nominales se alcanzan al cabo de quince minutos del encendido. Cuando se apaga la lámpara, necesita enfriarse unos minutos para encenderse nuevamente.

8.7.2. Lámparas de sodio a alta presión

Físicamente, la lámpara de sodio alta presión es bastante diferente de la lámpara de sodio baja presión, debido a que la presión de vapor es más alta en la primera. Este factor de presión también es causa de muchas otras diferencias entre las dos lámparas, incluyendo las propiedades de la luz emitida.

El tubo de descarga en una lámpara de sodio de alta presión contiene un exceso de sodio para dar condiciones de vapor saturado cuando la lámpara está en funcionamiento. Además posee un exceso de mercurio para proporcionar un gas amortiguador, y se incluye xenón, para facilitar el encendido y limitar la conducción de calor del arco de descarga a la pared del tubo. El tubo de descarga se aloja en una envoltura de vidrio protector vacía.

Las lámparas de sodio de alta presión irradian energía a través de una buena parte del espectro visible. Por lo tanto, en comparación con la lámpara de sodio baja presión, ofrecen una reproducción de color bastante aceptable.

Partes principales

Las partes principales de una lámpara de vapor de sodio a alta presión son las siguientes:

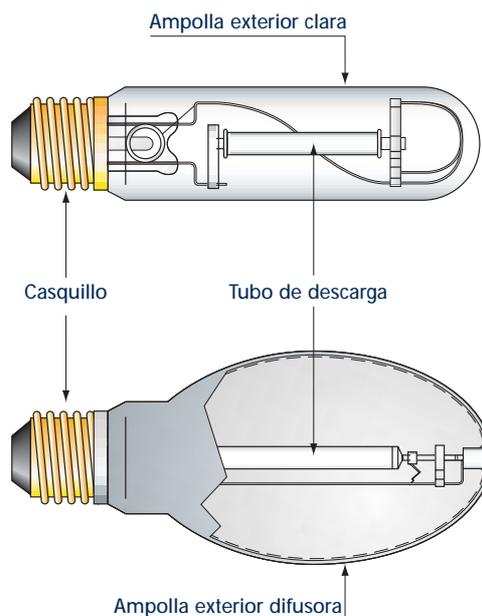


Figura 13. Lámparas de vapor de sodio a alta presión.

Tubo de descarga: El tubo de descarga está hecho de cerámica de óxido de aluminio (aluminio sinterizado) muy resistente al calor y a las reacciones químicas con el vapor de sodio.

Electrodos: Los electrodos, cubiertos por una capa de material emisor, consisten en una varilla de wolframio con una serpentina de wolframio enroscada alrededor de la misma.

Relleno: En el interior del tubo de descarga se encuentran sodio, mercurio y un gas nobles (xenón o argón) de los cuales es el sodio el principal productor de luz.

Ampolla externa: Esta ampolla está generalmente vacía.

La forma puede ser tanto ovoidal como tubular. La primera posee un revestimiento interno. Sin embargo, ya que el tubo de descarga de la lámpara de sodio alta presión no produce, prácticamente, ninguna radiación ultra violeta, el revestimiento es simplemente una capa difusa de polvo blanco, para disminuir el elevado brillo del tubo de descarga. La ampolla tubular es siempre de vidrio claro.

Arrancadores y arrancadores auxiliares: Muchas de las lámparas de sodio de alta presión poseen un arrancador auxiliar incorporado, el cual ayuda a reducir la medida del voltaje pico de encendido que se necesita para encender la lámpara. A veces ambos, el arrancador incorporado y el arrancador auxiliar, se encuentran en la misma lámpara.

Estas lámparas precisan de un equipo auxiliar formado por un balasto e ignitor con tensión de impulso según tipo. También necesitan un condensador de compensación.

Los valores nominales se alcanzan al cabo de cinco minutos de encendido. Cuando se apaga una lámpara, debido a la gran presión del quemador, necesita enfriarse entre cuatro y quince minutos para encenderse nuevamente.

8.8. Lámparas de inducción

Las partes más vulnerables de toda lámpara a descarga son los electrodos. Durante su vida útil, las lámparas reducen y pierden su potencia emisora por el impacto de iones rápidos o por reacciones químicas con vapores enérgicos en el tubo de descarga. Los electrodos en las lámparas a descarga de alta presión, producen además una gran cantidad de radiación infrarroja derrochada, la cual disminuye la eficiencia de la lámpara.

La lámpara de inducción, introduce un concepto totalmente nuevo en la generación de la luz. Basada en el principio de descarga de gas de baja presión, la principal característica del sistema de lámpara nuevo, es que prescinde de la necesidad de los electrodos de originar la ionización del gas. Existen en la actualidad dos sistemas distintos para producir esta nueva ionización del gas sin electrodos.

8.8.1. Lámparas fluorescentes de alta potencia sin electrodos

La descarga en esta lámpara no empieza y acaba en dos electrodos como en una lámpara fluorescente convencional. La forma de anillo cerrado del vidrio de la lámpara permite obtener una descarga sin electrodos, ya que la energía es suministrada desde el exterior por un campo magnético. Dicho campo magnético está producido en dos anillos de ferrita, lo que constituye una importante ventaja para la duración de la lámpara.

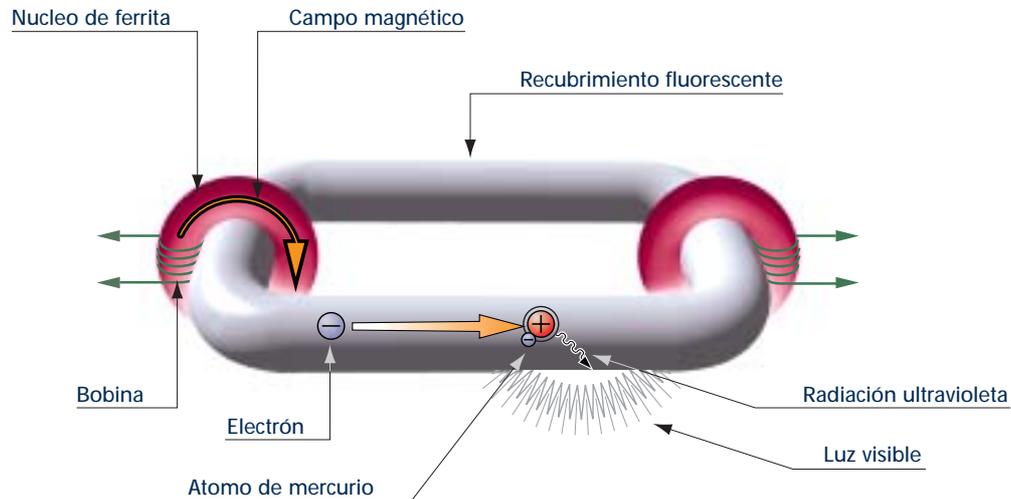


Figura 14. Lámpara fluorescente de alta potencia sin electrodos.

El sistema consta, además del tubo fluorescente sin electrodos, de un equipo de control electrónico (a una frecuencia de 250 kHz aproximadamente) separado de la lámpara, lo que permite conservar la energía óptima de la descarga en la lámpara fluorescente y alcanzar una alta potencia luminica con una buena eficacia.

Las principales ventajas de esta lámpara son:

- Duración de vida extremadamente larga: 60.000 horas.
- Potencia de lámparas 100 y 150 W.
- Flujo luminoso hasta 12.000 lúmenes.
- Eficacia luminosa de 80 lm/W.
- Bajo perfil geométrico que permite el desarrollo de luminarias planas.
- Luz confortable sin oscilaciones.
- Arranque sin parpadeos ni destellos.

Estas lámparas son especialmente indicadas para aquellas aplicaciones donde las dificultades de sustitución de las lámparas incrementan los costos de mantenimiento excesivamente, como por ejemplo, iluminación de túneles, techos de naves industriales muy altos y de difícil acceso, etc.

8.8.2. Lámparas de descarga de gas a baja presión por inducción

Este tipo de lámpara consta de un recipiente de descarga que contiene el gas a baja presión y un acoplador de potencia (antena). Dicho acoplador de potencia, compuesto por un núcleo cilíndrico de ferrita, crea un campo electromagnético dentro del recipiente de descarga que induce una corriente eléctrica en el gas generando su ionización. La energía suficiente para iniciar y mantener la descarga es suministrada a la antena por un generador de alta frecuencia (2'65 MHz) mediante un cable coaxial de longitud determinada, ya que forma parte del circuito oscilador.

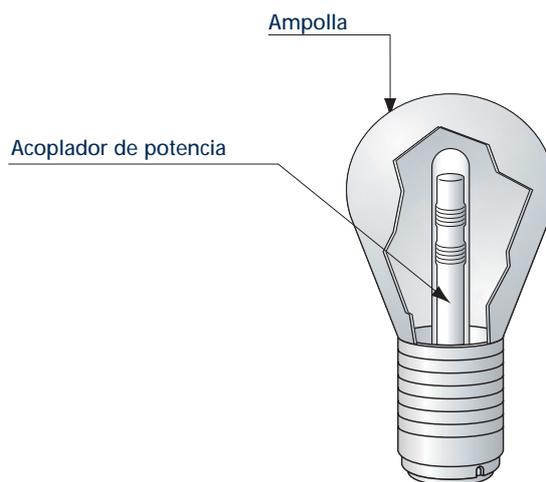


Figura 15. Lámpara de descarga de gas por inducción.

Las principales ventajas de estas lámparas son:

- Duración extremadamente larga: 60.000 horas.
- Potencias de lámparas de 55, 85 y 165 W.
- Flujo luminoso hasta 12.000 lúmenes.
- Eficacia luminosa entre 65 y 81 lm/W.
- Encendido instantáneo libre de parpadeos y efectos estroboscópicos.
- Agradable luz de gran confort visual.

Estas lámparas se utilizan para muchas aplicaciones de alumbrado general y especial, principalmente para la reducción de costos de mantenimiento, como en edificios públicos, alumbrado público exterior, aplicaciones industriales, etc.

8.9. Tablas de características

8.9.1. Lámparas fluorescentes

Fluorescente lineal TL

Vida útil aproximada: 7.500 horas

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \varnothing en mm	Longitud L en mm	Casquillo	IRC Ra	Grado cromático
18	1.350	75,00	26	590	G 13	85	1 B
18	1.150	63,88	26	590	G 13	62	2 B
18	1.100	61,11	26	590	G 13	75	2 A
18	1.000	55,55	26	590	G 13	98	1 A
36	3.350	93,05	26	1.200	G 13	85	1 B
36	2.850	79,16	26	1.200	G 13	62	2 B
36	2.600	72,22	26	1.200	G 13	75	2 A
36	2.350	65,27	26	1.200	G 13	98	1 A
58	5.200	89,65	26	1.500	G 13	85	1 B
58	4.600	79,31	26	1.500	G 13	62	2 B
58	4.100	70,68	26	1.500	G 13	75	2 A
58	3.750	64,65	26	1.500	G 13	98	1 A

Fluorescente compacta TC-D de 2 pins

Tensión de red: 230 V.

Vida útil aproximada: 10.000 horas.

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Anchura en mm	Longitud L en mm	Casquillo	IRC Ra	Grado cromático
13	900	69,23	27	138	G24d-1	85	1 B
18	1.200	66,66	27	153	G24d-2	85	1 B
26	1.800	69,23	27	172	G24d-3	85	1 B

Fluorescente compacta TC-D de 4 pins

Tensión de red: 230 V.

Vida útil aproximada: 10.000 horas.

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Anchura en mm	Longitud L en mm	Casquillo	IRC Ra	Grado cromático
13	900	69,23	27	131	G24q-1	85	1 B
18	1.200	66,66	27	146	G24q-2	85	1 B
26	1.800	69,23	27	165	G24q-3	85	1 B

Fluorescente compacta TC-L de 4 pins

Tensión de red: 230 V.

Vida útil aproximada: 10.000 horas.

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Anchura en mm	Longitud L en mm	Casquillo	IRC Ra	Grado cromático
18	750	41,66	38	225	2G11	95	1 A
24	1.200	50,00	38	320	2G11	95	1 A
36	1.900	52,77	38	415	2G11	95	1 A
40	2.200	55,00	38	535	2G11	95	1 A
55	3.000	54,54	38	535	2G11	95	1 A

8.9.2. Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

Vida útil: 14.000 horas.

Temperatura de color: 3.500 K ÷ 4.200 K

Índice de reproducción cromática (IRC): 50

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \varnothing en mm	Longitud L en mm	Casquillo
50	1.800	36,00	55	130	E-27
80	3.800	47,50	70	156	E-27
125	6.300	50,40	75	170	E-27
250	13.000	52,00	90	226	E-40
400	22.000	55,00	120	290	E-40
700	38.500	55,00	140	330	E-40
1.000	58.000	58,00	165	390	E-40

8.9.3. Lámparas de luz mezcla

Vida útil: 6.000 horas.

Temperatura de color: 3.500 K ÷ 4.200 K

Índice de reproducción cromática (IRC): 50

Tensión de red: 230 V.

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \emptyset en mm	Longitud L en mm	Casquillo
160	3.100	19,37	75	180	E-27
250	5.600	22,40	90	226	E-40
500	14.000	28,00	125	275	E-40

8.9.4. Lámparas de halogenuros metálicos

Vida útil: 2.500 ÷ 14.000 horas.

Temperatura de color: 3.000 K ÷ 6.000 K

Índice de reproducción cromática (IRC): 60 ÷ 93

Halogenuros metálicos compactas

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \emptyset en mm	Longitud L en mm	Casquillo
35	3.400	97,14	19	100	G12
75	5.500	73,33	25	84	G12
150	12.500	83,33	25	84	G12

Halogenuros metálicos dos casquillos

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \emptyset en mm	Longitud L en mm	Casquillo
70	5.500	78,57	20	114	RX7s
150	13.500	90,00	24	132	RX7s
250	20.000	80,00	25	163	Fc2
400	38.000	95,00	31	206	Fc2
1.000	90.000	90,00	\approx 40	-	Cable
2.000	220.000	110,00	\approx 40	-	Cable

Halogenuros metálicos un casquillo forma tubular clara

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \emptyset en mm	Longitud L en mm	Casquillo
250	20.000	80,00	45	225	E-40
400	42.000	105,00	45	275	E-40
1.000	80.000	80,00	75	340	E-40
2.000	240.000	120,00	100	430	E-40
3.500	320.000	91,42	100	430	E-40

Halogenuros metálicos un casquillo forma elipsoidal con capa difusora

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \emptyset en mm	Longitud L en mm	Casquillo
70	4.900	70,00	55	140	E-27
100	8.000	80,00	55	140	E-27
150	12.000	80,00	55	140	E-27
400	43.000	107,50	120	290	E-40
1.000	90.000	90,00	165	380	E-40

8.9.5. Lámparas de sodio a baja presión

Vida útil: 14.000 horas.

Temperatura de color: 1.800 K

Índice de reproducción cromática (IRC): NULO.

Vapor de sodio baja presión forma tubular clara capa reflectora Infrarroja

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \emptyset en mm	Longitud L en mm	Casquillo
18	1.800	100,00	55	215	BY-22d
35	4.600	131,42	55	310	BY-22d
55	8.100	147,27	55	425	BY-22d
90	13.000	144,44	70	530	BY-22d
135	22.500	166,66	70	775	BY-22d
180	32.000	177,77	70	1.120	BY-22d

Vapor de sodio baja presión forma tubular clara

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \emptyset en mm	Longitud L en mm	Casquillo
26	3.500	134,61	55	215	BY-22d
36	5.750	159,72	55	310	BY-22d
66	10.700	162,12	55	425	BY-22d
91	17.000	186,81	70	530	BY-22d
131	25.000	190,83	70	775	BY-22d

8.9.6. Lámparas de sodio a alta presión

Vida útil: 12.000 ÷ 18.000 horas.

Temperatura de color: 2.000 K ÷ 2.200 K

Índice de reproducción cromática (IRC): 20 ÷ 65

Vapor de sodio alta presión forma tubular clara

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \emptyset en mm	Longitud L en mm	Casquillo
50	4.000	80,00	40	155	E-27
70	6.500	92,85	40	155	E-27
100	10.000	100,00	45	210	E-40
150	17.000	113,33	45	210	E-40
250	33.000	132,00	45	255	E-40
400	55.500	138,75	45	285	E-40
600	90.000	150,00	55	285	E-40
1.000	130.000	130,00	65	400	E-40

Vapor de sodio alta presión elipsoidal capa difusa

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \emptyset en mm	Longitud L en mm	Casquillo
50	3.500	70,00	70	155	E-27
70	5.600	80,00	70	155	E-27
100	10.000	100,00	75	185	E-40
150	14.000	93,33	90	225	E-40
250	25.000	100,00	90	225	E-40
400	47.000	117,50	120	290	E-40
1.000	128.000	128,00	165	400	E-40

Vapor de sodio alta presión dos casquillos

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \emptyset en mm	Longitud L en mm	Casquillo
70	7.000	100,00	20	115	RX7s
150	15.000	100,00	25	130	RX7s-24
250	25.500	102,00	25	205	Fc2
400	48.000	120,00	25	205	Fc2

Vapor de sodio alta presión de lujo forma tubular

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \emptyset en mm	Longitud L en mm	Casquillo
150	12.500	83,33	45	210	E-40
250	23.000	92,00	45	255	E-40
400	39.000	97,50	45	285	E-40

Vapor de sodio alta presión de lujo forma elipsoidal capa difusa

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro \varnothing en mm	Longitud L en mm	Casquillo
150	12.000	80,00	90	225	E-40
250	22.000	88,00	90	225	E-40
400	37.500	93,75	120	285	E-40

8.9.7. Lámparas fluorescentes de alta potencia sin electrodos (inducción)

Tensión de red: 230 V.

Vida útil aproximada: 60.000 horas.

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Anchura en mm	Longitud L en mm	Casquillo	IRC Ra	Grado cromático
100 W	8.000	80,00	139	313	-	80 (840/835)	1 B
150 W	12.000	80,00	139	414	-	80 (840/835)	1 B

8.9.8. Lámparas de descarga de gas a baja presión por inducción

Tensión de red: 230 V.

Vida útil aproximada: 60.000 horas.

Potencia nominal	Flujo ϕ (lm)	Rendimiento Lm/W	Diámetro en mm	Altura en mm	Casquillo	IRC Ra
55 W	3.500	65	85	140,5	-	80 (840/830/827)
85 W	6.000	70	111	180,5	-	80 (840/830/827)
165 W	12.000	70	130	210	-	80 (840/830/827)