

## VI. LUMINARIAS.

## **1. LÁMPARAS DE DESCARGA.**

Todos los tipos de luminarias impactan de forma distinta, cuanto mayor sea la zona del espectro donde se emite, mayor será la contaminación que produzca. También puede depender de la zona del espectro donde emite. Una lámpara emitiendo en la zona del ultravioleta (no útil para el ojo humano) impacta más que cualquier otra con el mismo flujo. La radiación ultravioleta es una onda de gran energía con gran alcance y llega con mucha más fuerza a las instalaciones telescópicas. Por esta razón, astronómicamente hablando, esta zona del espectro es muy importante por la información que los astrónomos obtienen de los astros lejanos.

Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado: vapor de mercurio o sodio o la presión en que éste se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para diversos usos.

### **1.1. Lámparas de vapor de Mercurio.**

#### *1.1.1. Lámparas fluorescentes.*

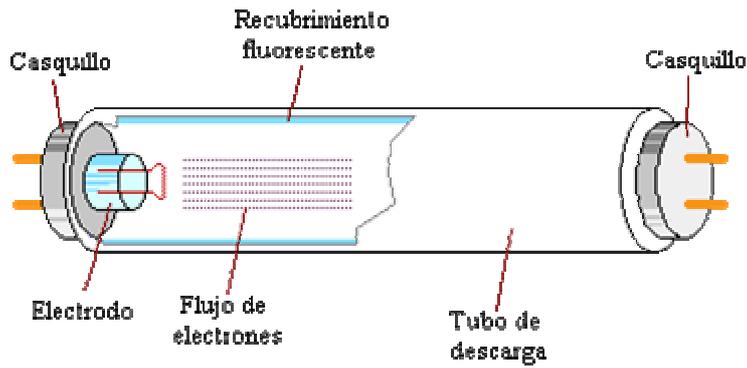
Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión. En estas condiciones en el espectro de emisión del mercurio predominan las radiaciones ultravioletas en la banda de 253.7nm.

Para que estas radiaciones sean útiles, se recubren las paredes interiores del tubo con polvos fluorescentes que convierten los rayos ultravioletas en radiaciones visibles.

De la composición de estas sustancias dependerán la cantidad y la calidad de la luz y las cualidades cromáticas de la lámpara.

En la actualidad se usan dos tipos de polvos; los que producen un espectro continuo y los trifósforos que emiten un espectro de 3 bandas con los colores primarios. De la combinación de estos 3 colores se obtiene una luz blanca que ofrece un buen rendimiento de color sin penalizar la eficiencia como ocurre en el caso del espectro continuo.(Ver **IMAGEN 6.**)

Las lámparas fluorescentes se caracterizan por carecer de ampolla exterior. Están formados por un tubo de diámetro normalizado, normalmente cilíndrica cerrada en cada extremo con un casquillo de dos contactos donde se alojan los electrodos. El tubo de descarga está relleno con vapor de mercurio a baja presión y una cantidad de un gas inerte que sirve para facilitar el encendido y controlar la descarga de electrones.



**IMAGEN 6.** Lámpara fluorescente.

La eficacia de esas lámparas depende de muchos factores: potencia de la lámpara, tipo y presión del gas de relleno, propiedades de la sustancia fluorescente que recubre el tubo, temperatura ambiente...

Esta última es muy importante porque determina la presión del gas y en el último término el flujo de la lámpara.

La eficacia oscila entre las 38 y 91 lm/w dependiendo de las características de cada lámpara. (Ver **IMAGEN 7.**)



**IMAGEN 7.** Balance energético de una lámpara fluorescente.

La duración de estas lámparas se sitúa entre 5.000 y 7.000 horas. El rendimiento de color de estas lámparas varía de moderado a excelente según las sustancias fluorescentes empleadas. Para las lámparas destinadas a usos habituales que no requieran de gran precisión su valor está entre 80 y 90. De igual forma la apariencia y la temperatura de color varía según las características concretas de cada lámpara. (Ver **TABLA 1.**)

Apariencia de color	T <sub>color</sub> (K)
Blanco cálido	3000
Blanco	3500
Natural	4000
Blanco frío	4200
Luz día	6500

**TABLA 1.** Variación de la apariencia y color según las características.

Las lámparas fluorescentes necesitan para su funcionamiento la presencia de elementos auxiliares. Para limitar la corriente que atraviesa el tubo de descarga utilizan el balasto y para el encendido existen varias posibilidades que se pueden resumir en arranque con cebador o sin él. El cebador se utiliza para calentar los electrodos antes de someterlos a la tensión de arranque. En el segundo caso tenemos las lámparas de arranque rápido en las que se calientan continuamente los electrodos y los de arranque instantáneo en la que la ignición se consigue aplicando una tensión elevada.

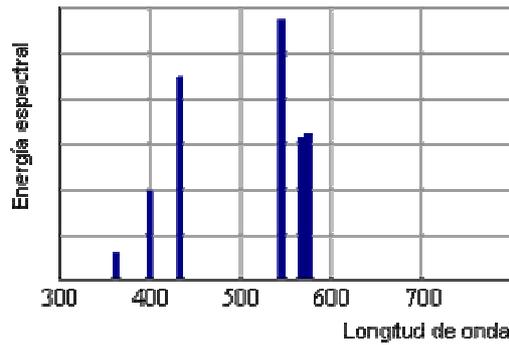
Más moderadamente han aparecido las lámparas fluorescentes compactas que llevan incorporado el balasto y el cebador. Son lámparas pequeñas con casquillo de roscas pensadas para sustituir a las lámparas incandescentes con ahorros de hasta el 70% de energía y unas buenas prestaciones.

Este tipo de lámparas es recomendable para alumbrados peatonales y de jardines. Son medianamente contaminantes si no se usan en grandes instalaciones y convenientemente apantalladas, evitando emisión de luz sobre el horizonte.

Por otro lado, la sensibilidad del ojo humano se desplaza hacia el azul con niveles bajos de iluminación por lo que las lámparas fluorescentes son más adecuadas para instalaciones que requieran un alumbrado tenue y de señalización (en paseos, jardines) con entornos oscuros.

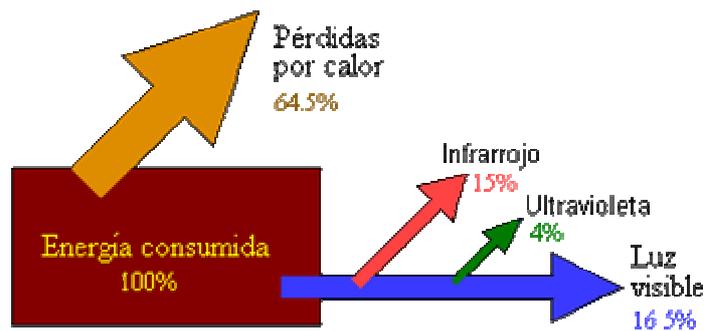
### *1.1.2. Lámparas de vapor de mercurio a alta presión.*

A medida que aumentamos la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible (violeta de 404.7 nm, azul 435.8 nm, verde 546.1 nm y amarillo 579 nm. (Ver **GRÁFICO 1.**)

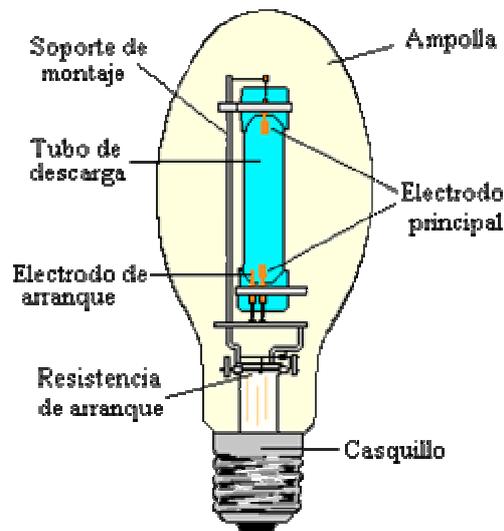


**GRÁFICO 1.** Espectro de emisión sin corregir

La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8.000 horas. La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fluorescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible. (Ver **GRÁFICO 2** e **IMAGEN 8**.)



(**GRÁFICO 2.**) Balance energético de una lámpara de mercurio a alta presión.

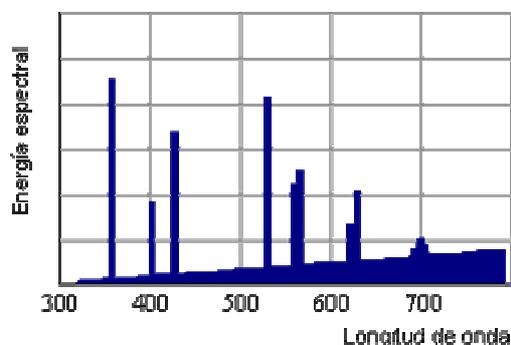


(**IMAGEN 8.**) Lámpara de mercurio a alta presión.

Su luz es blanca con rendimientos de color inferiores al 60%. Es recomendable para zonas peatonales y de jardines. Son las menos eficientes del mercado en lámparas de descarga.

### 1.2. Lámparas de luz de mezcla.

Las lámparas de luz de mezcla son una combinación de una lámpara de mercurio a alta presión con una lámpara incandescente y, habitualmente, un recubrimiento fosforescente. El resultado de esta mezcla es la superposición, al espectro del mercurio, del espectro continuo característico de la lámpara incandescente y las radiaciones rojas provenientes de la fosforescencia. (Ver **GRÁFICO 3.**)



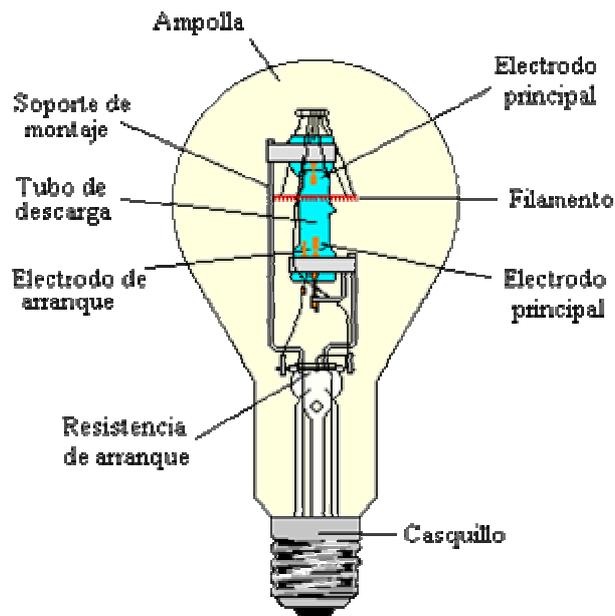
**GRÁFICO 3.** Espectro de emisión de una lámpara de luz de mezcla.

Su eficacia se sitúa entre 20 y 60 lm/W y es el resultado de la combinación de la eficacia de una lámpara incandescente con la de una lámpara de descarga. Estas lámparas ofrecen una buena reproducción del color.

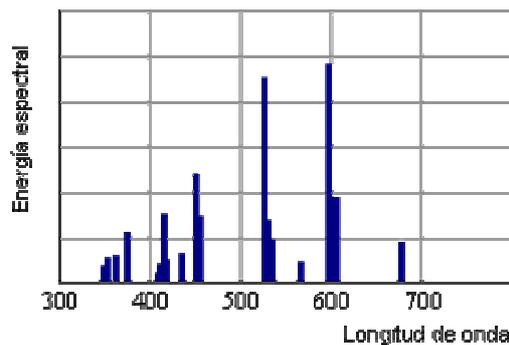
La duración viene limitada por el tiempo de vida del filamento que es la principal causa del fallo. Respecto a la depreciación del flujo hay que considerar dos causas. Por un lado tenemos el ennegrecimiento de la ampolla por culpa del wolframio evaporado y por otro la pérdida de eficacia de los polvos fosforescentes. En general, la vida media se sitúa en torno a las 6.000 horas. (Ver **IMAGEN 9.**)

### 1.3. Lámparas con halogenuros metálicos.

Si se añade en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio...) se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio. Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro (por ejemplo amarillo el sodio, verde el talio y rojo y azul el indio. (Ver **GRÁFICO 4.**)



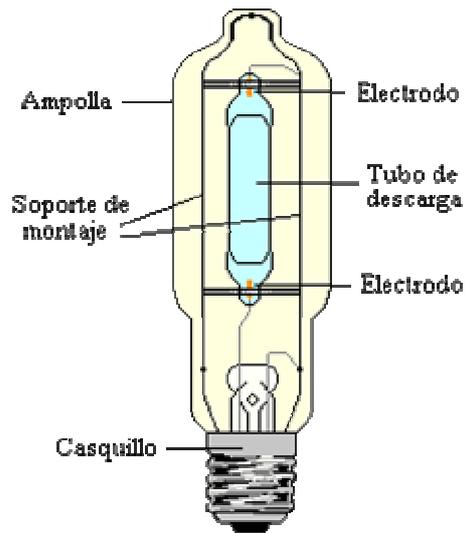
**IMAGEN 9.** Lámpara de luz de mezcla.



**GRÁFICO 4.** Espectro de emisión de una lámpara con halogenuros metálicos.

Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de 3.000 a 6.000 K dependiendo de los yoduros añadidos y un rendimiento del color de entre 68 y 85. La eficacia de estas lámparas ronda entre los 60 y 96 lm/W y su vida media es de unas 10.000 horas. (Ver **IMAGEN 10.**)

Este tipo de lámparas tienen una fortísima emisión en el ultravioleta. Tiene excelentes prestaciones cromáticas lo que hace que este tipo sea adecuado para la iluminación de instalaciones deportivas, para retransmisiones de TV, estudios de cine, proyectores...

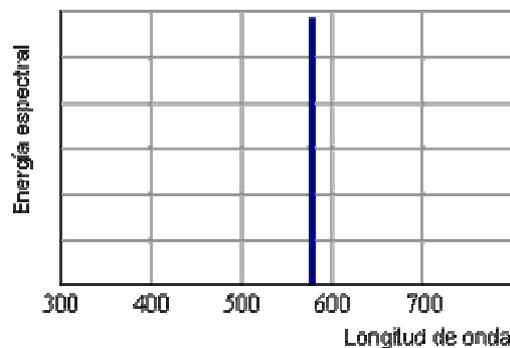


**IMAGEN 10.** Lámpara con halogenuros metálicos.

## 1.4. Lámparas de vapor de sodio.

### 1.4.1. Lámparas de vapor de sodio a baja presión.

La descarga eléctrica en un tubo con vapor de sodio a baja presión produce una radiación monocromática característica formada por dos rayas en el espectro (589 nm y 589.6 nm) muy próximos entre sí. (Ver **GRÁFICO 5**.)



**GRÁFICO 5.** Espectro de una lámpara de vapor de sodio a baja presión.

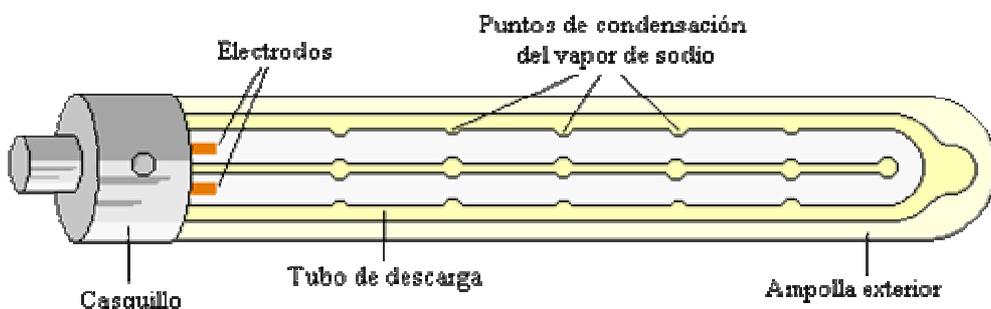
La radiación emitida, de color amarillo, está muy próxima al máximo de sensibilidad del ojo humano (555 nm). Por ello, la eficacia de estas lámparas es muy elevada (entre 160 y 180 lm/W).

Otras ventajas que ofrece es que permite una gran comodidad y agudeza visual, además de una buena percepción de contrastes. Por el contrario, su monocromatismo hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color sean muy malos haciendo imposible distinguir los colores de los objetos. (Ver **IMAGEN 11**.)



**IMAGEN 11.** Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a baja presión.

La vida media de estas lámparas es muy elevada, de unas 15.000 horas y la depreciación de flujo luminoso que sufren a lo largo de su vida es muy baja por lo que su vida útil es de entre 6.000 y 8.000 hora. Esto junto a su alta eficiencia y las ventajas visuales que ofrece la hacen muy adecuada para usos de alumbrado público, aunque también se utiliza con finalidades decorativas. En cuanto al final de su vida útil, este se produce por agotamiento de la sustancia emisora de electrones como ocurre en otras lámparas de descarga, aunque también se puede producir por deterioro del tubo de descarga o de la ampolla exterior. (Ver **IMAGEN 12.** )

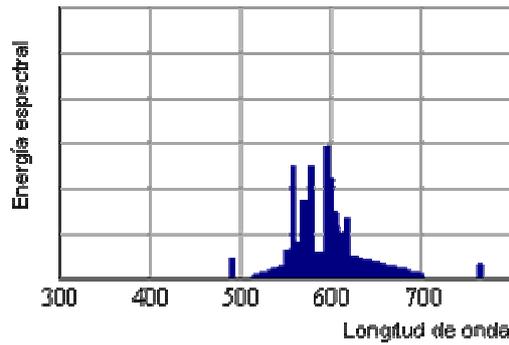


**IMAGEN 12.** Lámpara de vapor de sodio a baja presión.

En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes pues el sodio es muy corrosivo y se le practican más pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se evapore a la temperatura menor posible.

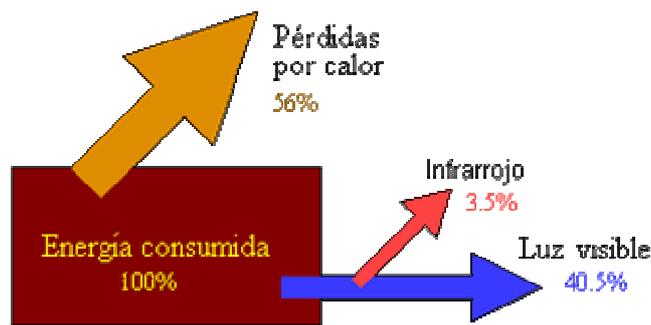
#### 1.4.2. Lámparas de sodio a alta presión

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión. (Ver **GRÁFICO VI.**)



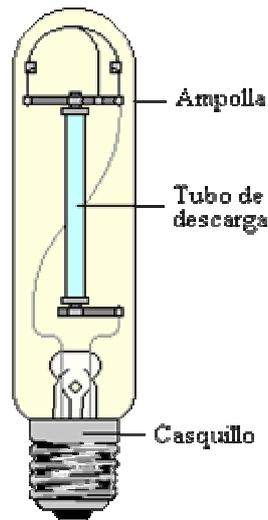
**GRÁFICO 6.** Espectro de una lámpara de vapor de sodio a alta presión.

Las consecuencias de esto es que tienen un rendimiento en color y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión. No obstante, esto se consigue a base de sacrificar su eficacia; aunque su valor ronda los 130 lm/W sigue siendo un valor alto comparado los de otros tipos de lámparas. (Ver **IMAGEN 13.**)



**IMAGEN 13.** Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a alta presión.

La vida media de este tipo de lámparas ronda las 20.000 horas y su vida útil entre 8.000 y 12.000 horas. Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de mencionar la depreciación del flujo, se ha de tener en cuenta también el fallo por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento. (Ver **IMAGEN 14.** )



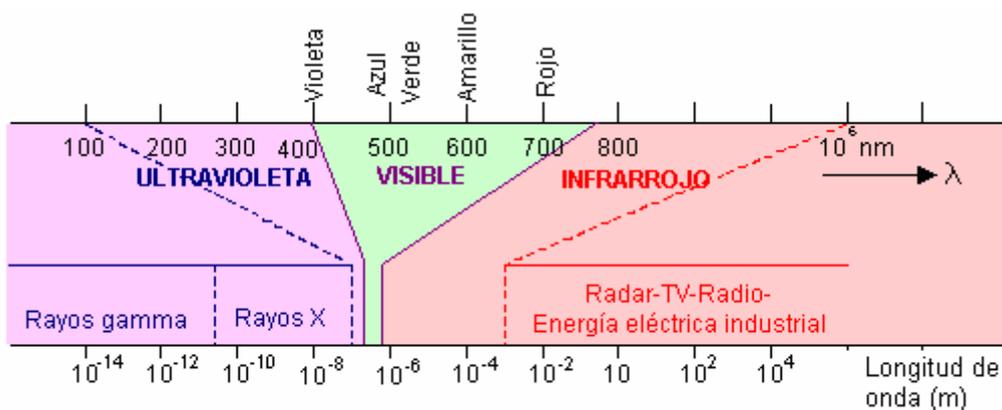
**IMAGEN 14.** Lámpara de vapor de sodio a alta presión.

### 1.5. Lámparas incandescentes.

Las lámparas incandescentes fueron la primera forma de generar luz a partir de la energía eléctrica. Desde que fueran inventadas, la tecnología ha cambiado mucho produciéndose sustanciosos avances en la cantidad de luz producida, el consumo y la duración de las lámparas. Su principio de funcionamiento es simple, se pasa una corriente eléctrica por un filamento hasta que este alcanza una temperatura tan alta que emite radiaciones visibles por el ojo humano.

#### 1.5.1. La incandescencia.

Todos los cuerpos calientes emiten energía en forma de radiación electromagnética. Mientras más alta sea su temperatura mayor será la energía emitida y la porción del espectro electromagnético ocupado por las radiaciones emitidas. Si el cuerpo pasa la temperatura de incandescencia una buena parte de estas radiaciones caerán en la zona visible del espectro y obtendremos luz. (Ver **GRÁFICO 7.**)



**GRÁFICO 7.** Espectro electromagnético.

La incandescencia se puede obtener de dos maneras. La primera es por combustión de alguna sustancia, ya sea sólida como una antorcha de madera, líquida como en una lámpara de aceite o gaseosa como en las lámparas de gas. La segunda es pasando una corriente eléctrica a través de un hilo conductor muy delgado como ocurre en las bombillas corrientes. Tanto de una forma como de otra, obtenemos luz y calor (ya sea calentando las moléculas de aire o por radiaciones infrarrojas). En general los rendimientos de este tipo de lámparas son bajos debido a que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor. (Ver **GRÁFICO 8.**)

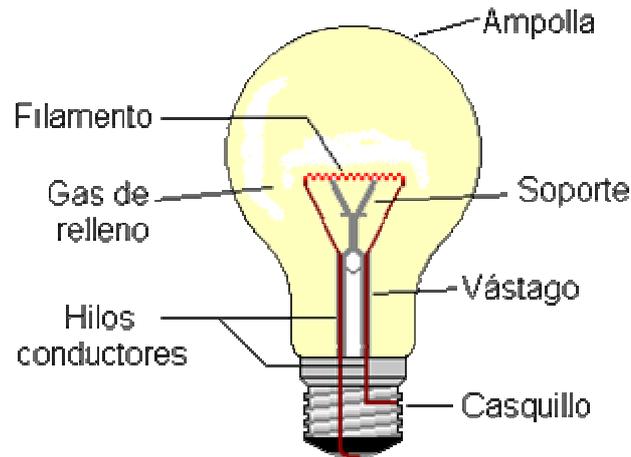


**GRÁFICO 8.** Rendimiento de una lámpara incandescente

La producción de luz mediante la incandescencia tiene una ventaja adicional, y es que la luz emitida contiene todas las longitudes de onda que forman la luz visible o dicho de otra manera, su espectro de emisiones es continuo. De esta manera se garantiza una buena reproducción de los colores de los objetos iluminados.

#### *1.5.2. Partes de una lámpara.*

Las lámparas incandescentes están formadas por un hilo de wolframio que se calienta por efecto Joule alcanzando temperaturas tan elevadas que empieza a emitir luz visible. Para evitar que el filamento se quemara en contacto con el aire, se rodea con una ampolla de vidrio a la que se le ha hecho el vacío o se ha rellenado con un gas. El conjunto se completa con unos elementos con funciones de soporte y conducción de la corriente eléctrica y un casquillo normalizado que sirve para conectar la lámpara a la luminaria. (Ver **IMAGEN 15.**)



**IMAGEN 15.** Partes de una lámpara.

### *1.5.3. Características de una lámpara incandescente.*

Entre los parámetros que sirven para definir una lámpara tenemos las características fotométricas: la intensidad luminosa, el flujo luminoso y el rendimiento o eficiencia. Además de estas, existen otros que nos informan sobre la calidad de la reproducción de los colores y los parámetros de duración de las lámparas.

### *1.5.4. Características cromáticas.*

Los colores que vemos con nuestros ojos dependen en gran medida de las características cromáticas de las fuentes de luz. Por poner un ejemplo, no se ve igual una calle de noche a la luz de las farolas iluminadas por lámparas de luz blanca que con lámparas de luz amarilla.

A la hora de describir las cualidades cromáticas de las fuentes de luz hemos de considerar dos aspectos. El primero trata sobre el color que presenta la fuente. Y el segundo describe cómo son reproducidos los colores de los objetos iluminados por esta. Para evaluarlos se utilizan dos parámetros: la temperatura de color y el rendimiento de color que se mide con el IRC.

La temperatura de color hace referencia al color de la fuente luminosa. Su valor coincide con la temperatura a la que un cuerpo negro tiene una apariencia de color similar a la de la fuente considerada. Esto se debe a que sus espectros electromagnéticos respectivos tienen una distribución espectral similar. Conviene aclarar que los conceptos temperatura de color y temperatura de filamento son diferentes y no tienen porque coincidir sus valores.

El rendimiento en color, por contra, hace referencia a cómo se ven los colores de los objetos iluminados. Nuestra experiencia nos indica que los objetos iluminados por un fluorescente no se ven del mismo tono que aquellos iluminados por bombillas. En el primer caso destacan más los tonos azules mientras que en el segundo lo hacen los rojos. Esto se debe a que la luz emitida por cada una de estas lámparas tiene un alto porcentaje de radiaciones monocromáticas de color azul o rojo.



Fuente de luz blanca.

Fuente de luz monocromática.

**TABLA 2.** Efecto del color de la fuente sobre el color de los objetos

Para establecer el rendimiento en color se utiliza el índice de rendimiento de color (IRC o  $R_a$ ) que compara la reproducción de una muestra de colores normalizada iluminada con nuestra fuente con la reproducción de la misma muestra iluminada con una fuente patrón de referencia.

#### 1.5.5. Características de duración.

La duración de una lámpara viene determinada básicamente por la temperatura de trabajo del filamento. Mientras más alta sea esta, mayor será el flujo luminoso pero también la velocidad de evaporación del material que forma el filamento. Las partículas evaporadas, cuando entren en contacto con las paredes se depositarán sobre estas, ennegreciendo la ampolla. De esta manera se verá reducido el flujo luminoso por ensuciamiento de la ampolla. Pero, además, el filamento se habrá vuelto más delgado por la evaporación del tungsteno que lo forma y se reducirá, en consecuencia, la corriente eléctrica que pasa por él, la temperatura de trabajo y el flujo luminoso. Esto seguirá ocurriendo hasta que finalmente se rompa el filamento. A este proceso se le conoce como depreciación luminosa.

Para determinar la vida de una lámpara disponemos de diferentes parámetros según las condiciones de uso definidas.

- La vida individual es el tiempo transcurrido en horas hasta que una lámpara se estropea, trabajando en unas condiciones determinadas.
- La vida promedio es el tiempo transcurrido hasta que se produce el fallo de la mitad de las lámparas de un lote representativo de una instalación, trabajando en unas condiciones determinadas.
- La vida útil es el tiempo estimado en horas tras el cual es preferible sustituir un conjunto de lámparas de una instalación a mantenerlas. Esto se hace por motivos económicos y para evitar una disminución excesiva en los niveles de iluminación en la instalación debido a la depreciación que sufre el flujo luminoso con el tiempo. Este valor sirve para establecer los periodos de reposición de las lámparas de una instalación.
- La vida media es el tiempo medio que resulta tras el análisis y ensayo de un lote de lámparas trabajando en unas condiciones determinadas.

La duración de las lámparas incandescentes está normalizada; siendo de unas 1.000 horas para las normales, para las halógenas es de 2.000 horas para aplicaciones generales y de 4.000 horas para las especiales.

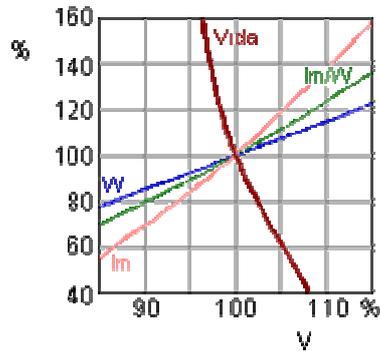
#### *1.5.6. Factores externos que influyen en el funcionamiento de las lámparas*

Los factores externos que afectan al funcionamiento de las lámparas son la temperatura del entorno dónde esté situada la lámpara y las desviaciones en la tensión nominal en los bornes.

La temperatura ambiente no es un factor que influya demasiado en el funcionamiento de las lámparas incandescentes, pero sí se ha de tener en cuenta para evitar deterioros en los materiales empleados en su fabricación. En las lámparas normales hay que tener cuidado de que la temperatura de funcionamiento no exceda de los 200° C para el casquillo y los 370° C para el bulbo en el alumbrado general. Esto será de especial atención si la lámpara está alojada en luminarias con mala ventilación. En el caso de las lámparas halógenas es necesario una temperatura de funcionamiento mínima en el bulbo de 260° C para garantizar el ciclo regenerador del wolframio. En este caso la máxima temperatura admisible en la ampolla es de 520° C para ampollas de vidrio duro y 900° C para el cuarzo.

Las variaciones de la tensión se producen cuando aplicamos a la lámpara una tensión diferente de la tensión nominal para la que ha sido diseñada. Cuando aumentamos la tensión aplicada se produce un incremento de la potencia consumida y del flujo emitido por la lámpara pero se reduce la duración de la lámpara.

Análogamente, al reducir la tensión se produce el efecto contrario. (Ver **GRÁFICO 9.**)



**GRÁFICO 9.** Efecto de las variaciones de tensión (%) sobre las características de funcionamiento de las lámparas incandescentes.

### 1.5.7. Tipos de lámparas.

Existen dos tipos de lámparas incandescentes: las que contienen un gas halógeno en su interior y las que no lo contienen:

#### A. Lámparas no halógenas.

Entre las lámparas incandescentes no halógenas podemos distinguir las que se han rellenado con un gas inerte de aquellas en que se ha hecho el vacío en su interior. La presencia del gas supone un notable incremento de la eficacia luminosa de la lámpara dificultando la evaporación del material del filamento y permitiendo el aumento de la temperatura de trabajo del filamento.

Las lámparas incandescentes tienen una duración normalizada de 1.000 horas, una potencia entre 25 y 2000 W y unas eficacias entre 7.5 y 11 lm/W para las lámparas de vacío y entre 10 y 20 para las rellenas de gas inerte. En la actualidad predomina el uso de las lámparas con gas, reduciéndose el uso de las de vacío a aplicaciones ocasionales en alumbrado general con potencias de hasta 40 W. (Ver **TABLA 3.**)

	Lámparas con gas	Lámparas de vacío
<b>Temperatura del filamento</b>	2500 °C	2100 °C
<b>Eficacia luminosa de la lámpara</b>	10-20 lm/W	7.5-11 lm/W

<b>Duración</b>	1000 horas	1000 horas
<b>Pérdidas de calor</b>	Convección y radiación	Radiación

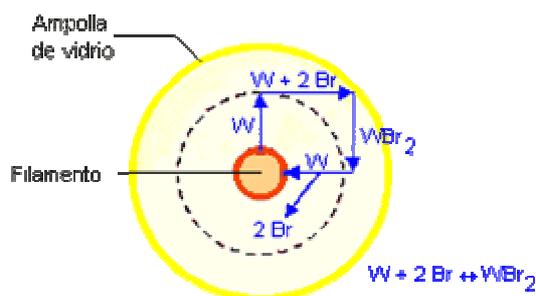
**TABLA 3.** Diferencias de las lámparas no halógenas con gas y de vacío.

### B. Lámparas halógenas de alta y baja tensión.

En las lámparas incandescentes normales, con el paso del tiempo, se produce una disminución significativa del flujo luminoso. Esto se debe, en parte, al ennegrecimiento de la ampolla por culpa de la evaporación de partículas de wolframio del filamento y su posterior condensación sobre la ampolla.

Agregando una pequeña cantidad de un compuesto gaseoso con halógenos (cloro, bromo o yodo), normalmente se usa el  $\text{CH}_2\text{Br}_2$ , al gas de relleno se consigue establecer un ciclo de regeneración del halógeno que evita el ennegrecimiento.

Cuando el tungsteno (W) se evapora se une al bromo formando el bromuro de wolframio ( $\text{WBr}_2$ ). Como las paredes de la ampolla están muy calientes (más de  $260^\circ\text{C}$ ) no se deposita sobre estas y permanece en estado gaseoso. Cuando el bromuro de wolframio entra en contacto con el filamento, que está muy caliente, se descompone en W que se deposita sobre el filamento y Br que pasa al gas de relleno. Y así, el ciclo vuelve a empezar. (Ver **GRÁFICO 10.**)



**GRÁFICO 10.** Ciclo del halógeno

El funcionamiento de este tipo de lámparas requiere de temperaturas muy altas para que pueda realizarse el ciclo del halógeno. Por eso, son más pequeñas y compactas que las lámparas normales y la ampolla se fabrica con un cristal especial de cuarzo que impide manipularla con los dedos para evitar su deterioro.

Tienen una eficacia luminosa de 22 lm/W con una amplia gama de potencias de trabajo (150 a 2.000W) según el uso al que estén destinadas. Las lámparas halógenas se utilizan normalmente en alumbrado por proyección y cada vez más en iluminación doméstica.