



# ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS Y NORMATIVIDAD DE ILUMINACIÓN EFICIENTE EN ALUMBRADO PÚBLICO





# **Análisis de Tecnologías y Normatividad de Iluminación Eficiente en Alumbrado Público**

Janeth Secue

Orlando Páez

J. Fonseca

Edgar Muela



Alfonso Blanco Bonilla  
Secretario Ejecutivo

Andrés Schuschny  
Director de Estudios, Proyectos e Información

Katherine Segura  
Especialista Asociada

El presente documento fue realizado por los consultores Janeth Secue, Orlando Páez, J. Fonseca, Edgar Muela y finalizado en noviembre del 2016. La coordinación ejecutiva y revisión técnica del documento estuvo a cargo de la Ing. Katherine Segura, funcionaria de la Dirección de Estudios, Proyectos e Información de OLADE. Se agradece la participación de Wonhee Lee por sus aportaciones durante la edición del texto. Este documento se realizó en el marco del Proyecto: *Eficiencia Energética en Alumbrado Público para Centroamérica*. El proyecto consistió en desarrollar un perfil de eficiencia energética en alumbrado público, en los municipios de Alajuela (Costa Rica), Soyapango (El Salvador) y Distrito Central (Honduras), para lo cual se implementaron tres fases: (a) Levantamiento de información y desarrollo del diagnóstico de la situación actual del Alumbrado Público, (b) Análisis de las tecnologías existentes para iluminación eficiente y (c) Elaboración de los perfiles en los municipios citados. Estas actividades contaron con el financiamiento de la Cooperación Canadiense en el marco del Proyecto de Cooperación: *Planeación Energética, Integración y Gobernanza*, Sub-proyecto: *Integración Energética Sub-regional*.

Las opiniones e ideas expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de las organizaciones arriba mencionadas. Se autoriza la utilización de la información contenida en este documento con la condición de que se cite la fuente.

Las imágenes de la portada fueron tomadas de Pixabay.com y son gratuitas para uso comercial, de dominio público y no requieren atribución.

## Índice

<i>Introducción</i> .....	4
<i>Análisis de las tecnologías de iluminación indicando sus ventajas y desventajas</i> .....	4
Términos técnicos .....	4
Tecnología de Descarga.....	21
Tecnología LED.....	43
Lámparas de Inducción .....	50
Análisis Comparativo de Tecnologías.....	53
Análisis Ambiental.....	59
<i>Caracterización Técnica de las Luminarias considerando Normativas</i> .....	62
Experiencia Internacional caso Colombia .....	62
Experiencia Internacional caso México.....	76
Experiencia Internacional caso Chile.....	88
Experiencia Internacional caso – UE .....	97
Experiencia internacional caso España.....	109
<i>Conclusiones y recomendaciones</i> .....	127
<i>Bibliografía</i> .....	130
<i>Anexos</i> .....	132

## Capítulo I

### Introducción

## Introducción

Aunque el consumo de energía eléctrica de los sistemas de alumbrado público-AP es de alrededor del 3% del total de la energía total consumida de un país, se constituye en una carga importante en el consumo de energía eléctrica a cargo de los municipios, alrededor del 40% del consumo de energía eléctrica de los municipios. Bajo este contexto el cambio de los sistemas de AP ineficientes representa para las ciudades una fuente importante de ahorro en el consumo de energía eléctrica a la vez que contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, al realizarse el cambio a tecnologías eficientes y amigables con el medio ambiente.

La reducción del consumo de energía eléctrica es un tema de la agenda de los administradores de los diferentes estados que direccionan propuestas para reducir o estabilizar el consumo de energía cuyo mayor beneficiado es el medio ambiente.

En este sentido OLADE, conjuntamente con los países Costa Rica, Salvador y Honduras han puesto en marcha el “Proyecto Eficiencia Energética en Alumbrado Público para Centroamérica”, respondiendo no sólo a las necesidades de alumbrado de estos países, sino también al accionar de acuerdo a la “Estrategia Energética Sustentable Centroamericana 2020”, la cual establece el tema energético como una prioridad para la región.

El proyecto tiene como objetivo principal desarrollar un perfil de eficiencia energética en alumbrado público, en los municipios de Alajuela (Costa Rica), Soyapango (El Salvador) y Distrito Central (Honduras), para lo cual se ha estructurado para su ejecución en tres fases:

1. Levantamiento de información y desarrollo del diagnóstico de la situación actual del Alumbrado Público-AP.
2. Análisis de las tecnologías existentes para iluminación eficiente y normatividad aplicable
3. Elaboración Perfil de eficiencia energética en alumbrado público considerando posibles fuentes de financiación.

En este documento se presentan los resultados de la fase dos del proyecto, la cual tiene por objeto determinar las características y normatividad aplicable a las tecnologías usadas en los sistemas de AP, las cuales deben ser consideradas para la sustitución de sistemas ineficientes de AP por sistemas eficientes y amigables con el medio ambiente.

En el capítulo 2 se identifican y describen las tecnologías que normalmente se usan en los sistemas de AP, identificando sus ventajas y desventajas. Asimismo, se presenta las tecnologías emergentes de inducción magnética y LED. A partir de este análisis es posible determinar que la adopción de estas últimas tecnologías ofrecen oportunidades de mejora en la eficiencia de los sistemas de AP dada su mayor eficacia lumínica en comparación con tecnologías tradicionales, y presentan características de desempeño tales como una mayor vida útil y alto índice de reproducción de color-IRC, que las potencializan como tecnologías eficientes para su implementación en sistemas de AP. Sin embargo, para su implementación de debe realizar un análisis que contemple la posible compensación de la mayor inversión con respecto al ahorro en consumo de energía durante su vida útil esperada.

En el capítulo 3 se presenta la normatividad específica aplicable para los componentes de los sistemas de AP de Colombia (sección 3.1), México (sección 3.2) y Chile (sección 3.3). De igual manera se documentan de ejercicios de modernización y su composición especialmente en el

llamado “retrofit” en estos países. En la sección 3.4 se presenta una descripción de los medios de ejecución de la política medioambiental y de eficiencia energética establecidos en la Unión Europea determinantes en la normatividad de las nuevas tecnologías eficientes para sistemas de alumbrado interior y exterior. Finalmente, en la sección 3.5 se presenta la aplicación de las Directivas y Reglamentos de la Comisión Europea referentes al alumbrado exterior en España.

A partir de los resultados de los ejercicios de modernización y su composición en el “retrofit”, es posible identificar oportunidades de mejora en estos procesos.

Finalmente, en el capítulo 4 se presentan las conclusiones y recomendaciones del análisis de la información.

## Capítulo 2

Análisis de las tecnologías de iluminación indicando sus ventajas y desventajas

## Análisis de las tecnologías de iluminación indicando sus ventajas y desventajas

En este capítulo inicialmente se presenta una descripción de conceptos aplicables a las tecnologías de iluminación usadas en Alumbrado Público AP; a continuación, se realiza un análisis técnico de cada tecnología indicando su eficacia luminosa, curvas de mortalidad, curvas de depreciación del flujo luminoso, e intensidad luminosa para diferentes niveles de potencia finalmente, se realiza un análisis comparativo de las tecnologías de iluminación aplicables en AP.2020", la cual establece el tema energético como una prioridad para la región.

### Términos técnicos

En esta sección se explican algunos conceptos y ecuaciones básicas que son necesarias para el análisis de los sistemas de iluminación.

#### 1. Conceptos básicos

##### a. Luz

La luz es energía en forma de radiación electromagnética de muy alta frecuencia, que el ojo detecta en el rango de longitudes de onda entre 380 nanómetros (color violeta) hasta 770 nanómetros (color rojo), a este rango se le denomina espectro visible. Las longitudes de onda ligeramente inferiores a la luz visible corresponden a los rayos ultravioleta y las longitudes de onda superiores a la luz visible se conocen como ondas infrarrojas.

##### b. Color

Todos los fotones viajan a través del espacio a la misma velocidad (300 000 km/s), pero el campo electromagnético de algunos fotones fluctúa más rápido que el de los otros. Cuanta más energía tiene un fotón, más rápida es su fluctuación. El ojo humano puede observar el efecto de esta diferencia en los niveles de energía del fotón, así como en el índice de fluctuación del campo. Este efecto recibe el nombre de color.

El color es la interpretación que hace nuestro sistema visual de la composición espectral de la luz que detecta el ojo. Todo cuerpo iluminado absorbe todas o parte de las ondas electromagnéticas, y refleja las restantes. Por ejemplo, la luz a 450 nm no es azul por ninguna propiedad, sino porque ese es el efecto que provoca en nuestro sistema visual.

La luz blanca puede ser descompuesta en todos los colores del espectro por medio de un prisma. En la naturaleza esta descomposición da lugar al arco iris cuando las gotas de lluvia funcionan como pequeños prismas al recibir la luz del sol.

El color blanco resulta de la superposición de todos los colores, mientras que el negro es la ausencia de luz, el color sólo existe en la mente y no es una propiedad intrínseca de la luz.

El color con el que se percibe un cuerpo depende de la cantidad de luz que emite, refleja, transmite y absorbe para cada longitud de onda del espectro visible. Se puede asociar un color a cada rango de longitud de onda del espectro visible. El ojo humano sólo percibe el color cuando la iluminación es abundante. Con poca luz vemos en blanco y negro.

Un objeto parece rojo porque a los ojos sólo llega la luz roja que refleja, el resto de colores del espectro son absorbidos por el objeto. Si se ilumina con una fuente de luz carente del componente rojo no se reflejaría nada y se vería negro (o no se vería).

c. *Distribución espectral*

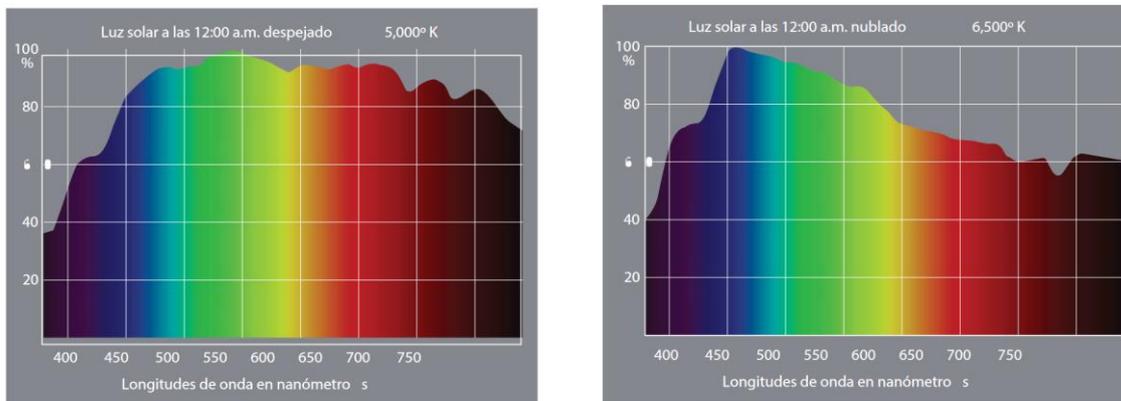
Una emisión luminosa está compuesta por ondas de distintas longitudes de onda (una mezcla). La distribución espectral, indica las diferentes longitudes de onda en nanómetros (nm) y sus valores relativos de energía respecto a la máxima radiada que se toma como el 100%.

El sentido de la vista es integrador; percibe la luz como un todo, y no puede distinguir el color puro dentro de una mezcla. Al contrario que el sentido del oído, con el cual podemos distinguir entre varias longitudes de ondas de sonidos que se emitan a la vez.

La vista suma todas las longitudes de onda del espectro visible, haciéndolas indistinguibles, el color resultante de una mezcla de luces es más parecido al color de la luz con mayor luminancia en una relación como la indicada en el Gráfico 1. La descripción más completa de las características de color de una lámpara sólo puede ofrecerse mediante una gráfica detallada de la potencia relativa emitida en las distintas regiones del espectro. Esta gráfica, con barras de color para indicar los colores correspondientes a las distintas longitudes de onda, resulta muy útil para obtener una impresión visual del equilibrio cromático en una lámpara.

**Gráfico 1**

*Ejemplos de distribución espectral visible*



Fuente: [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_iluminacion/Manual\\_de\\_Iluminacion\\_Vial\\_2015.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_iluminacion/Manual_de_Iluminacion_Vial_2015.pdf)

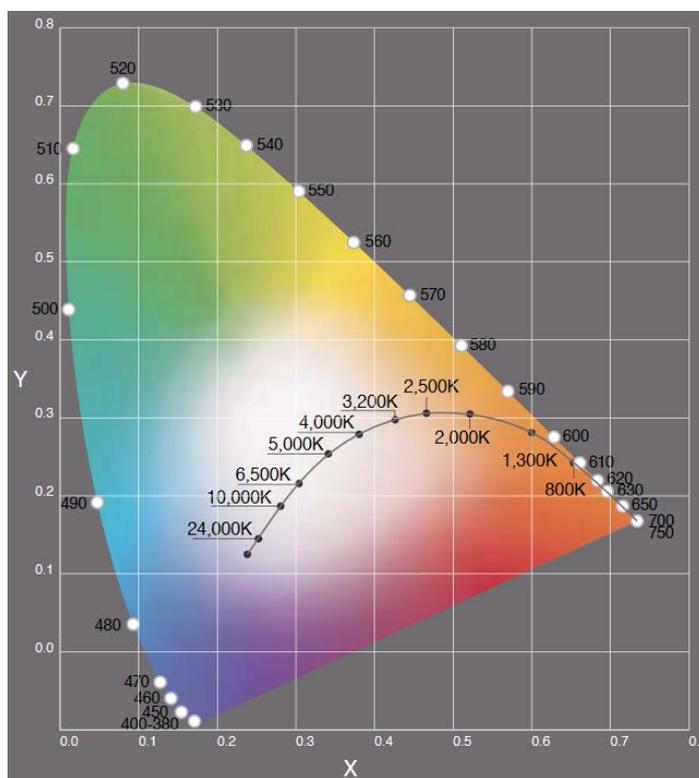
d. Diagrama cromático CIE

La Comisión Internacional de Iluminación usualmente conocida como CIE, por las iniciales de su designación en francés: Commission Internationale de l'Eclairage, ha definido como estándar para la identificación de colores el Diagrama Cromático CIE que se muestra en la Gráfica 2, donde cada color está representado por las coordenadas X, Y, Z, cuya suma es siempre la unidad ( $X + Y + Z = 1$ ) y cuando cada una de ellas es igual a 0,333 corresponde al color blanco. Estas coordenadas se obtienen a partir de las potencias específicas para cada longitud de onda, (valor triestímulo X, Y, Z).

En este diagrama se representan todos los colores que el ojo humano es capaz de ver.

**Gráfico 2**

Diagrama Cromático de la CIE



Fuente: [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_iluminacion/Manual\\_de\\_Iluminacion\\_Vial\\_2015.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_iluminacion/Manual_de_Iluminacion_Vial_2015.pdf)

e. Temperatura de color - Tc

La temperatura del color es una expresión que se utiliza para indicar el color de una fuente de luz por comparación de ésta con el color del cuerpo negro. Como cualquier otro cuerpo incandescente, un cuerpo negro cambia de color a medida que aumenta su temperatura, adquiriendo al principio, el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo y finalmente el blanco, el blanco azulado y el azul. El color, por ejemplo, de la llama de una vela es similar al de un cuerpo negro calentado a unos 1800 K (Kelvin), en este caso se dice, que la llama tiene una temperatura de color de 1800 K.

En el Gráfico 2 (Diagrama Cromático CIE), la curva interna representa el color que emite el cuerpo negro en función de su temperatura. Un cuerpo negro es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él. La curva de temperatura de color del cuerpo negro se ubica en la región central blanca (5000 K – 6000 K) tal como se observa en el Gráfico 3.

Por lo tanto, la temperatura de color no es en realidad una medida de temperatura. Define sólo color y sólo puede ser aplicada a fuentes de luz que tengan una gran semejanza de color con el cuerpo negro. La equivalencia práctica entre apariencia de color y temperatura de color, se establece convencionalmente según el Cuadro 1.

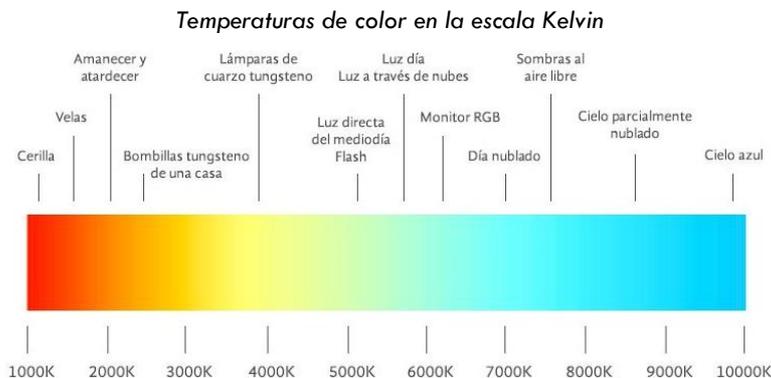
### Cuadro 1

*Apariencia de la fuente de luz según temperatura del color*

Grupo de apariencia de color	Apariencia de color	Temperatura de color (K)
1	Cálido	Por debajo de 3300
2	Intermedio	De 3300 a 5300
3	Frío	Por encima de 5300

Fuente: [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_iluminacion/Manual\\_de\\_Iluminacion\\_Vial\\_2015.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_iluminacion/Manual_de_Iluminacion_Vial_2015.pdf)

### Gráfico 3



Fuente: Dominio público

La temperatura de color correlacionada TCC (medida en grados Kelvin) o temperatura de color, es una medida científica para describir el nivel de “calidez” o “frialdad” de una fuente lumínica. Se basa en el color de la luz emitida por una fuente incandescente.

Al calentar una pieza de metal (un radiador de cuerpo negro teórico), cambia de color rojizo a naranja, amarillo blanco, blanco azulado. El color de la luz emitida por un objeto incandescente depende sólo de la temperatura. Se puede utilizar esta medida para describir el color de una fuente de luz por su “temperatura de color”.

Cuando se dice que una lámpara tiene una temperatura de color de 3000 grados Kelvin, significa que un metal ardiente a 3000 grados Kelvin producirá una luz del mismo color que la lámpara. Si el metal se calienta hasta 4100 grados Kelvin, generará una luz mucho más blanca.

La luz solar directa corresponde a unos 5300 grados Kelvin, mientras que la luz diurna, mezclada con la luz del cielo es de unos 6000 grados Kelvin o más. Una lámpara incandescente convencional

tiene un filamento a 2700 grados Kelvin, y por definición una temperatura de color de 2700 grados Kelvin.

Los parámetros de temperatura de color se refieren específicamente al color de la luz, más no a su composición espectral que es decisiva para la reproducción de colores. De esta manera dos fuentes de luz pueden tener un color similar y tener a su vez unas propiedades de reproducción cromática muy distintas.

f. *Índice de reproducción cromática (IRC o Ra)*

El índice de reproducción cromática o índice de rendimiento de color (IRC)<sup>1</sup> caracteriza la capacidad de reproducción cromática de los objetos iluminados con una fuente de luz. El IRC ofrece una indicación de la capacidad de la fuente de la luz para reproducir colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz patrón de referencia.

El IRC o Ra se califica de 0 a 100. Cuanto mayor sea el IRC o Ra, mejor es su capacidad de rendimiento de color. Cuando la calificación del IRC o Ra es 0, lo único que se ve es en escala de grises. Las linternas y las luces halógenas tienen un IRC o Ra de más de 95. Las luces fluorescentes por lo general tienen un IRC o Ra de 70 a 75. El IRC o Ra de 100 es la propia luz del día.

Para simplificar las especificaciones de los índices de rendimiento en color de las lámparas que se utilizan en iluminación, se han introducido grupos de rendimiento en color, ver el Cuadro 2.

## Cuadro 2

<i>Grupos de rendimiento de color de las lámparas</i>	
Grupo rendimiento en color	Rango de rendimiento en color
1A	IRC mayor a 90
1B	$90 > IRC \geq 80$
2	$80 > IRC \geq 60$
3	$60 > IRC \geq 40$
4	$40 > IRC \geq 20$

Fuente: CIE

En el cuadro 3 se muestran los índices de rendimiento del color de algunas fuentes de luz tradicionales.

<sup>1</sup>Sus siglas en inglés CRI (Color Rendering Index)

### Cuadro 3

*IRC de fuentes luminosas más comunes*

Fuente Luminosa	T <sub>c</sub> (K)	IRC
Cielo azul	10 000 a 30 000	85 a 100 (Grupo 1)
Cielo nublado	7 000	85 a 100 (Grupo 1)
Luz solar día	6 000	85 a 100 (Grupo 1)
Lámpara descarga (excepto sodio)	6 000	96 a 100 (Grupo 1)
Luz día (haluros)	6 000	96 a 100 (Grupo 1)
Blanco neutral	3 000 a 5 000	70 a 84 (Grupo 2)
Blanco cálido	Menos de 3 000	40 a 69 (Grupo 3)
Lámpara de descarga (sodio)	2 900	Menos de 40 (Grupo 4)
Lámpara incandescente	2 100 a 3 200	85 a 100 (Grupo 1)
Lámpara fotográfica	3 400	85 a 100 (Grupo 1)

Fuente: [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_iluminacion/Manual\\_de\\_Iluminacion\\_Vial\\_2015.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_iluminacion/Manual_de_Iluminacion_Vial_2015.pdf)

Las lámparas incandescentes tienen una calificación de IRC de 100, pero todavía están lejos de ser capaces para la reproducción de los colores y combinaciones. Esto se debe a que con una temperatura de color de 2700 K promedio, son demasiado débiles en el espectro azul, por lo que es casi imposible distinguir entre varios tonos de azulados. La calificación IRC o Ra de 100 significa simplemente que una muestra de luz se ve exactamente igual que lo haría una fuente de luz hacia un cuerpo negro a 2700 K. Lo mismo puede decirse de las lámparas que superen los 6000 K en temperatura de color, ya que son demasiado débiles en el espectro rojo, por lo que los rojos y naranjas parecen demasiado similares. Una temperatura de color de 7500 K y sobre un IRC o Ra de 100 no es necesariamente la representación ideal del color. Una fuente de luz ideal para la reproducción de los colores tendrá tanto una temperatura de color similar a la luz diurna como un alto valor de IRC.

#### g. Vida Útil

La vida útil nominal de una lámpara o fuente de luz se define, según la norma ANSI/IES RP -16-102 como: "el valor de tiempo de vida asignado a una lámpara de tipo particular". Esto es comúnmente una estimación estadísticamente determinada de la vida operativa media.

#### h. Contraste

La visibilidad de un objeto situado sobre un fondo, depende de la diferencia de luminancias entre el objeto y el fondo. Un objeto claro sobre fondo oscuro, su contraste será positivo (valores entre 0 e infinito), en cambio un objeto más oscuro que su fondo se verá en silueta y su contraste será negativo, variando entre 0 y -1.

Por definición, el contraste se expresa por siguiente ecuación:

$$C = \frac{L_O - L_f}{L_f} \quad (0-1)$$

<sup>2</sup> ANSI/IES RP-16-10 Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering. IES (2010)

Donde:

$L_0$  = Luminancia del objeto

$L_f$  = Luminancia de fondo

El contraste  $C$  puede ser positivo o negativo:

Si  $L_0 > L_f$   $C > 0$  contraste positivo (objeto más claro que el fondo)

Si  $L_0 < L_f$   $C < 0$  contraste negativo (objeto más oscuro que el fondo)

El contraste puede adquirir los siguientes valores:

Contraste Positivo (Objeto claro)  $0 < C < \infty$

Contraste Negativo (Objeto oscuro)  $-1 < C < 0$

*i. Agudeza visual*

Se define la agudeza visual como habilidad del sistema visual humano para resolver detalles. Se define como el ángulo subtendido en el ojo por el tamaño del detalle que puede detectarse, discriminarse o reconocerse, de acuerdo a la exigencia de la tarea, en el 50% de las ocasiones en que es presentado. Indistintamente se utiliza para la definición el recíproco del ángulo.

En el Gráfico 4 se muestra la agudeza visual en términos de la luminancia de adaptación para diferentes contrastes. Se observa que a medida que la luminancia de adaptación aumenta, desde condiciones escotópicas<sup>3</sup> a fotópicas<sup>4</sup>, la agudeza visual mejora, es decir, el sistema visual es capaz de detectar, discriminar o reconocer tamaños de detalles cada vez más pequeños. Asimismo, se observa que la agudeza visual tiende a un valor asintótico para altas luminancias, y que el cambio de agudeza visual en el rango de luminancias considerado es menos marcado para contrastes altos.

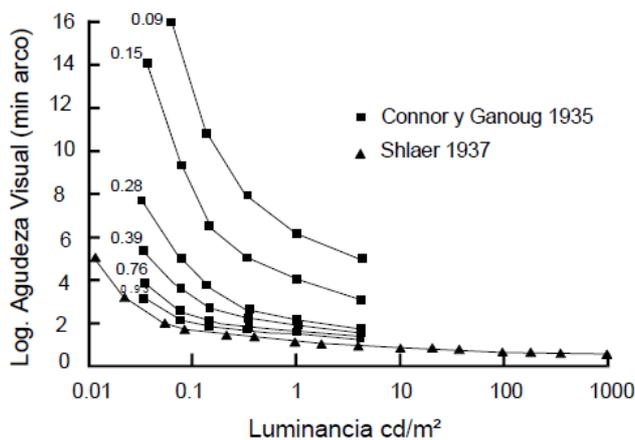
---

<sup>3</sup> La visión escotópica es aquella percepción visual que se produce con niveles muy bajos de iluminación. La agudeza visual es baja y la recepción de luz es principalmente con los bastones de la retina, que son sensibles al color azul del espectro (y por ende, ciego al rojo). No es posible una discriminación del color en este tipo de visión: es una visión monocromática.

<sup>4</sup> La visión fotópica es la percepción visual que se produce con niveles de iluminación diurnos (a plena luz del día). Esta visión posibilita la correcta interpretación del color por el ojo. Está basada en la respuesta de los conos, uno de los dos tipos de foto receptores de la retina (conos y bastones). Los conos son mucho menos sensibles a la luz que los bastones, por lo que sólo se activan cuando los niveles de iluminación son suficientemente elevados. Existen tres tipos de conos: rojos, verdes y azules. Cada uno de ellos posee una foto pigmento con una curva característica de absorción respecto de la longitud de onda que les llegue. Este hecho constituye el punto de partida fisiológico para la percepción del color.

### Gráfico 4

Los efectos de la luminancia de adaptación sobre la agudeza visual en pruebas con anillos de Landolt tomando como parámetro el contraste (CIE, 1989)



Fuente: CIE 1989

La agudeza visual depende, además de la luminancia de adaptación y del contraste, de la excentricidad, del tiempo de presentación, del movimiento del estímulo y de la edad del observador. Sin embargo, es poco dependiente de la composición espectral de la fuente, a menos que el rango de emisión de la misma sea muy angosto. La agudeza visual se mide convencionalmente usando estímulos con un contraste de luminancia alta, pero, cuando el contraste de luminancia del objeto disminuye, la agudeza visual también empeora.

Una regla práctica y útil para el diseño de iluminación es que los detalles necesitan ser cuatro veces más grandes que el límite de agudeza visual para ser resuelto en forma rápida sin afectar la respuesta visual.

## 2. Representaciones gráficas

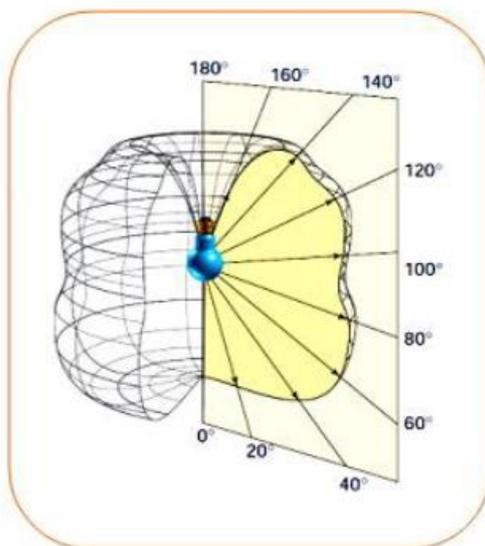
### a. Curva fotométrica o diagrama de intensidad luminosa

El conjunto de la intensidad luminosa de una fuente de luz en todas las direcciones constituye lo que se conoce como distribución luminosa. Las fuentes de luz utilizadas en la práctica tienen una superficie luminosa más o menos grande, cuya intensidad de radiación se ve afectada por la propia construcción de la fuente, presentando valores diversos en las distintas direcciones.

Con aparatos especiales (como el Goniófotómetro) se puede determinar la intensidad luminosa de una fuente de luz en todas las direcciones del espacio con relación a un eje vertical. Si se representa por medio de vectores ( $I$ ) la intensidad luminosa de una fuente de luz en las infinitas direcciones del espacio, se logra un volumen que representa el valor del flujo total emitido por la fuente. El sólido que se obtiene recibe el nombre de sólido fotométrico. A modo de ejemplo se muestra el sólido fotométrico de una lámpara en el Gráfico 5

## Gráfico 5

Sólido fotométrico de una lámpara



Fuente: [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_iluminacion/Manual\\_de\\_Iluminacion\\_Vial\\_2015.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_iluminacion/Manual_de_Iluminacion_Vial_2015.pdf)

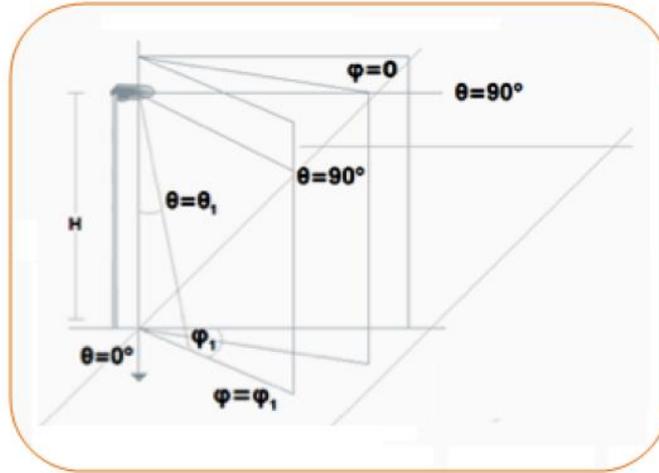
Las direcciones del espacio por las cuales se radia una intensidad luminosa se determinan mediante dos coordenadas. Uno de los sistemas de coordenadas más usado para la obtención de curvas fotométricas es el " $\phi - \theta$ " presentado en el Gráfico 6.

Las curvas fotométricas se dan referidas a un flujo luminoso emitido de 1000 lúmenes y, como el caso más general es que la fuente de luz emita un flujo superior, los valores de la intensidad luminosa correspondientes se hallan mediante una regla de tres simple.

Cuando se aloja una lámpara en una luminaria, se distorsiona su flujo proporcionando un volumen cuya forma es distinta, ya que depende de las características propias de la luminaria. Por consiguiente, las curvas de distribución según los distintos planos son diferentes.

### Gráfico 6

Sistema de coordenadas  $\varphi - \vartheta$



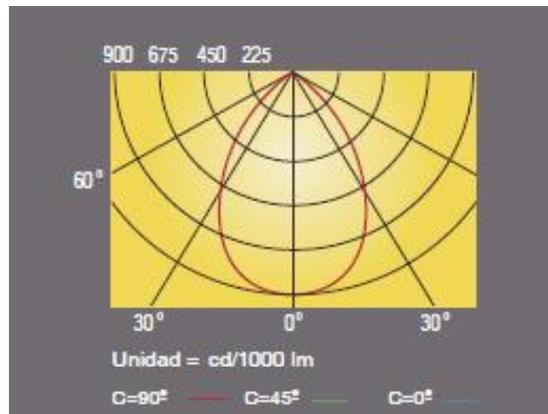
Fuente: [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_iluminacion/Manual\\_de\\_Iluminacion\\_Vial\\_2015.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_iluminacion/Manual_de_Iluminacion_Vial_2015.pdf)

Los Gráficos 7 y 8 muestran los dos tipos de curvas, simétricas y asimétricas. La primera curva representa una curva simétrica, ésta tiene idénticas curvas para cualquiera de los planos meridionales, por lo que una sola curva es suficiente para su identificación fotométrica. En cambio, la segunda es asimétrica y cada plano tiene una curva diferente, por lo que es necesario conocer todos los planos.

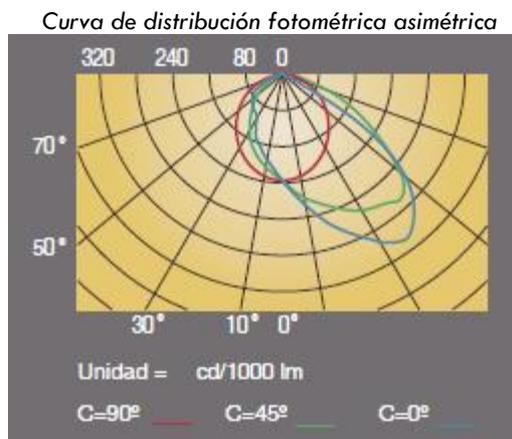
La curva fotométrica se construye a través de la matriz de intensidades luminosas. Los valores de esta matriz se obtienen midiendo en un fotogoniómetro los valores en cada punto del sistema de coordenadas  $\phi - \theta$ .

### Gráfico 7

Curva de distribución fotométrica simétrica



Fuente: CIE 132-1999

**Gráfico 8**

Fuente: CIE 132-1999

*b. Curva isocandela*

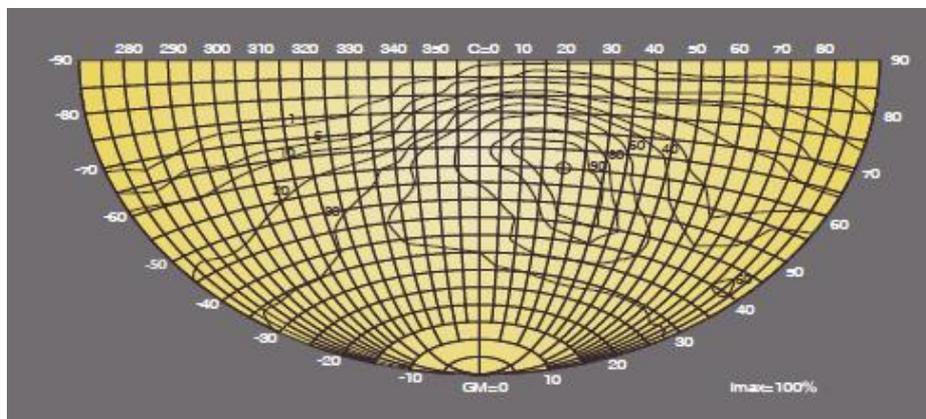
Otro método de representar la distribución del flujo luminoso es el diagrama de curvas isocandelas el cual consiste en imaginar la luminaria en el centro de una esfera en cuya superficie exterior se unen por una línea los puntos de igual intensidad (curvas isocandelas). Generalmente las luminarias tienen como mínimo un plano de simetría, por lo que se desarrolla solamente una semiesfera.

A pesar de que las curvas de intensidad luminosa son herramientas muy útiles y prácticas, presentan el gran inconveniente de que sólo entregan información de lo que ocurre en unos pocos planos meridionales (para algunos valores de  $\phi$ ) y no se sabe a ciencia cierta qué pasa en el resto. Para evitar estos inconvenientes y conjugar una representación plana con información sobre la intensidad en cualquier dirección se definen las curvas isocandela.

En estos gráficos, los meridianos representan el ángulo  $\phi$ , los paralelos  $\theta$  y las intensidades se reflejan en porcentaje de la intensidad máxima. Como en este tipo de proyecciones las superficies son proporcionales a las originales, el flujo luminoso se calcula como el producto del área en el diagrama (en estereorradianes) por la intensidad luminosa en esta área. Un ejemplo de este tipo de curva se presenta en el Gráfico 9.

## Gráfico 9

Ejemplo de curva isocandela



Fuente: CIE 132-1999

Además de intensidades y flujos, este diagrama informa sobre el alcance y la dispersión de la luminaria. El alcance da una idea de la distancia longitudinal máxima que alcanza el haz de luz en la calzada mientras que la dispersión se refiere a la distancia transversal.

Esta forma de representación es mucho más completa, pero tiene el inconveniente de que se necesita una mayor experiencia para su interpretación.

### c. Curva isolux.

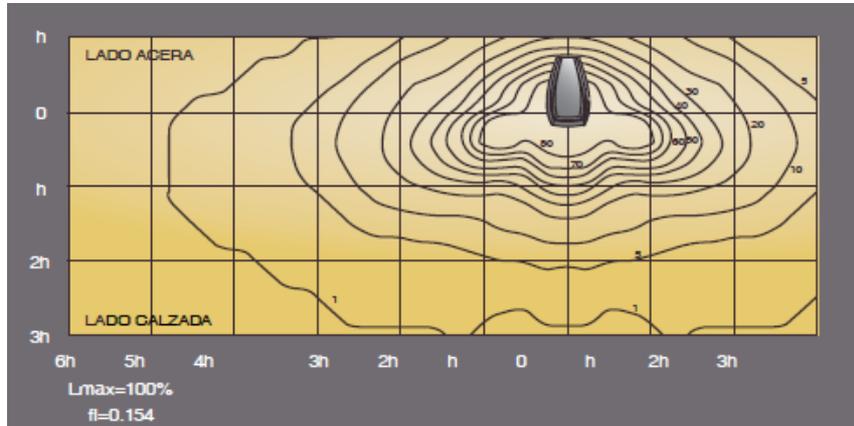
El flujo emitido por una fuente luminosa proporciona una iluminancia en una superficie, cuyos valores se miden en luxes. Si se proyecta estos valores sobre un mismo plano y se une por medio de una línea los puntos de igual valor, esto da a lugar a las curvas isolux.

Estos gráficos son muy útiles porque entregan información sobre la cantidad de luz recibida en cada punto de la superficie de trabajo y son utilizadas especialmente en el alumbrado público donde entregan una idea de cómo iluminan las luminarias en la calle.

Los valores de las transversales y las longitudinales son medidos en función de la altura de montaje de la luminaria "h". Un ejemplo de este tipo de curva se muestra en el Gráfico 10.

### Gráfico 10

Ejemplo de curva isolux



Fuente: CIE 132-1999

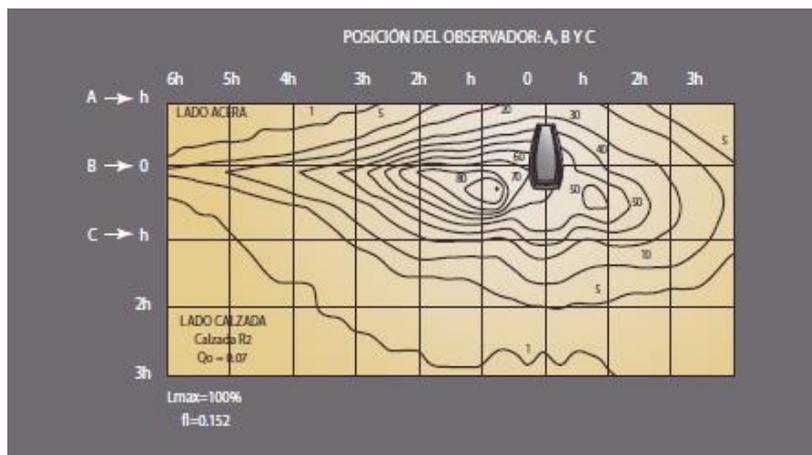
#### d. Curvas isoluminancias

Esta curva interpreta las luminancias, que dependen del flujo luminoso reflejado por una superficie en la dirección del observador. Los valores se miden en candelas por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>) y su representación nos viene dada por las curvas isoluminancias. Un ejemplo de este tipo de curva se muestra en el Gráfico 11.

Esta curva se obtiene mediante las lecturas que da el Luminancímetro o Luminómetro.

### Gráfico 11

Ejemplo de curvas Isoluminancia



Fuente: CIE 132-1999

### 3. Magnitudes luminosas

Sin tratar de profundizar en los conceptos y ecuaciones físicas, serán descritos aquellos conceptos que son fundamentales para el estudio y análisis de los sistemas de iluminación.

#### a. Deslumbramiento

Distorsión o reducción en la habilidad para ver los objetos significativos, debido a una mala distribución de luminarias, existen distintos tipos de deslumbramientos (directo, indirecto o perturbado), siendo las causas de los mismos las fuentes luminosas y las superficies que reflejan luz.

#### b. Flujo luminoso

El flujo luminoso ( $\Phi$ ) es la potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Es la cantidad de luz que emite una fuente luminosa por unidad de tiempo. La unidad de flujo luminoso es el lumen (lm). La ecuación para el cálculo del Flujo Luminoso se muestra en la ecuación (0-2).

$$\Phi = \frac{Q}{t} \quad (0-2)$$

Donde:

$\Phi$ : Flujo luminoso en lúmenes (lm).

Q: Cantidad de luz emitida por una fuente de luz (lm x s.).

t: Unidad de tiempo (s).

La medida del flujo luminoso se realiza en el laboratorio por medio de un fotoelemento ajustado según la curva de sensibilidad fotópica del ojo a las radiaciones monocromáticas, incorporado a una esfera hueca a la que se le da el nombre de Esfera de Ulbricht en cuyo interior se coloca la fuente a medir. Los fabricantes dan el flujo de las lámparas en lúmenes para la potencia nominal. El flujo luminoso de las lámparas son los indicados en la documentación técnica de los fabricantes de las mismas.

#### c. Intensidad luminosa.

Es la cantidad de luz emitida por una fuente de luz uniforme en una determinada dirección, su símbolo es la letra I y la unidad de medida se expresa en candelas (cd). La intensidad luminosa se puede definir también como la relación entre el flujo emitido en una determinada dirección y el ángulo sólido unitario. La ecuación para el cálculo de la Intensidad Luminosa se muestra en la ecuación (0-3).

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (0-3)$$

Donde:

I: Intensidad luminosa en candelas (cd).

$\Phi$ : Flujo luminoso en lúmenes (lm).

$\omega$ : Ángulo sólido en estereorradianes (sr).

La intensidad luminosa carece de significado a menos que se especifique la dirección de la radiación incidente o emitida. La intensidad luminosa según diferentes ángulos es un concepto más útil en la especificación de las características de lámparas y luminarias, y se representa gráficamente en forma de curvas de distribución de intensidades.

d. *Iluminancia (Nivel de Iluminación)*

Se denomina iluminancia (E) a la densidad del flujo luminoso incidente en una superficie. Cuando la unidad de flujo es el lumen y el área está expresado en pies cuadrados, la unidad de iluminación es el Footcandle (fc). Cuando el área está expresada en metros cuadrados, la unidad de iluminación es el lux (lx). 1 (fc) = 10,76 (lx). La ecuación para el cálculo de la Iluminancia se muestra en la ecuación (0-4).

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (0-4)$$

Donde:

E: Iluminancia en lux (lx).

$\Phi$ : Flujo luminoso que incide sobre la superficie (lm).

A: Área de la superficie afectada por el flujo (m<sup>2</sup>).

La medida del nivel de iluminación se realiza por medio de un aparato especial denominado luxómetro, que consiste en una célula fotoeléctrica que, al incidir la luz sobre su superficie, genera una débil corriente eléctrica que aumenta en función de la luz incidente. Dicha corriente se mide con un miliamperímetro, de forma analógica o digital, calibrado directamente en lux.

e. *Iluminancia media*

Corresponde al promedio de valores de iluminancia medidos o calculados sobre un área determinada.

f. *Luminancia*

Intensidad luminosa emitida en una dirección dada, por una superficie luminosa o iluminada (fuente secundaria de luz). Expresa el efecto de luminosidad que una superficie produce en el ojo humano. La ecuación para el cálculo de la Luminancia se muestra en la ecuación (0-5).

Las unidades de medida utilizadas son la cd/m<sup>2</sup> y el lm/sr×m<sup>2</sup>, siendo la relación fundamental dada por:

$$L = \frac{I\alpha}{A * \cos \alpha} \quad (0-5)$$

Donde:

L: Luminancia en candelas por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>).

$I\alpha$ : Intensidad luminosa en candelas en la dirección emitida.

A: Área de la fuente en metros cuadrados (m<sup>2</sup>).

$\alpha$ : Ángulo comprendido entre el ojo del observador y la recta normal a la fuente.

De manera independiente a la definición anterior, la luminancia resulta fundamental en la evaluación del deslumbramiento ya que determina la impresión de mayor o menor claridad producida por una superficie. De manera práctica se determina a partir de la iluminancia sobre una superficie y el grado de reflexión de la misma a través de la ecuación mostrada en la ecuación (0-6).

$$L = \frac{\rho * E}{\pi} \quad (0-6)$$

Donde:

L: Luminancia en candelas por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>).

$\rho$ : Grado de reflexión de una superficie.

E: Iluminancia en lux (lx).

$\pi$ : 3,14159.

La medida de la luminancia se realiza por medio de un aparato especial llamado luminancímetro o nitómetro. Se basa en dos sistemas ópticos, uno de dirección y otro de medición. El de dirección se orienta de forma que la imagen coincida con el punto a medir, la luz que llega una vez orientado se ve convertida en corriente eléctrica y recogida en lectura analógica o digital, siendo los valores medidos en cd/m<sup>2</sup>.

#### g. Luminancia media

Es la luminancia promedio, expresada en cd/m<sup>2</sup>, medido en una zona comprendida entre 60 y 100 metros frente a la posición del observador.

#### h. Rendimiento luminoso o eficacia luminosa

No toda la energía eléctrica consumida por una lámpara se transforma en la luz visible. Parte se pierde por calor, parte en forma de radiación no visible (infrarrojo o ultravioleta), etc. El rendimiento luminoso ( $\varepsilon$ ) de una fuente de luz es la relación entre el flujo total emitido por la fuente y el suministro total de potencia de la fuente. En el caso de una lámpara eléctrica, el rendimiento se expresa en lúmenes por watt (lm/Watts). Mientras mayor sea mejor será la lámpara. Su relación fundamental está dada por la ecuación (0-7).

$$\varepsilon = \frac{\Phi}{P} \quad (0-7)$$

Donde:

$\varepsilon$ : Rendimiento luminoso o eficacia luminosa (lm/W).

$\Phi$ : Flujo luminoso en lúmenes (lm).

P: Potencia activa de la fuente (W).

Si se lograra fabricar una lámpara que transformara sin pérdidas toda la potencia eléctrica consumida en luz a una longitud de onda de 555 nm, esta lámpara tendría el mayor rendimiento posible, cuyo valor sería 683 lm/W.

#### 4. Otras magnitudes luminosas de interés

Reflectancia. Relación entre el flujo luminoso reflejado por un cuerpo (con o sin difusión) y el flujo recibido.

Unidad: Porcentaje (%)

Símbolo:  $\rho$

Relación:  $\rho = \Phi_r/\Phi$

Absortancia. Relación entre el flujo luminoso absorbido por un cuerpo (con o sin difusión) y el flujo recibido.

Unidad: Porcentaje (%)

Símbolo:  $\alpha$

Relación:  $\alpha = \Phi_a/\Phi$

Transmitancia. Relación entre el flujo luminoso transmitido por un cuerpo (con o sin difusión) y el flujo recibido.

Unidad: Porcentaje (%)

Símbolo: T

Relación:  $T = \Phi_t/\Phi$

Factor de uniformidad media. Relación entre la iluminancia mínima y la media, de una instalación de alumbrado.

Unidad: Porcentaje (%)

Símbolo:  $U_m$

Relación:  $U_m = E_{min}/E_{med}$

Factor de uniformidad extrema. Relación entre la iluminancia mínima y la máxima, de una instalación de alumbrado.

Unidad: Porcentaje (%)

Símbolo:  $U_e$

Relación:  $U_e = E_{min}/E_m$

Factor de uniformidad longitudinal. Relación entre la luminancia mínima y la máxima longitudinal, de una instalación de alumbrado.

Unidad: Porcentaje (%)

Símbolo:  $U_L$

Relación:  $U_L = L_{min\ longitudinal}/L_{max\ longitudinal}$

Factor de uniformidad general. Relación entre la luminancia mínima y media, de una instalación de alumbrado.

Unidad: Porcentaje (%)

Símbolo:  $U_O$

Relación:  $U_O = L_{min}/L_{med}$

Factor de mantenimiento. Coeficiente que indica el grado de conservación de una instalación.

Unidad: Porcentaje (%)

Símbolo: Fm

Relación:  $F_m = F_{pl} + F_{dl} + F_t + F_e + F_c$

Fpl: Factor posición lámpara.

Fdl: Factor depreciación lámpara.

Ft: Factor temperatura.

Fe: Factor equipo de encendido.

Fc: Factor conservación de la instalación.

## Tecnología de Descarga

Lámpara de descarga: Lámpara en la que la luz se produce directa o indirectamente, por una descarga eléctrica a través de un gas, un vapor metálico o una mezcla de varios gases y vapores.

Lámpara de descarga de alta intensidad: Lámpara de descarga eléctrica en la que el arco que produce la luz es estabilizado por el efecto térmico de su recinto, cuya potencia superficial es superior a  $3 \text{ W/cm}^2$ . Las lámparas de alta intensidad de descarga han tenido una gran evolución y amplia aplicación debido a:

- Tienen un elevado rendimiento lumínico (mayor cantidad de lúmenes por vatio de potencia consumida).
- Proporcionan una fuente luminosa compacta, que permite un buen control de la luz con el uso de luminarias con reflectores adecuados.

En función del elemento principal que caracteriza la mezcla de gas y la presión en el tubo de descarga, las lámparas de alta intensidad de descarga se clasifican como:

- Lámparas de vapor de mercurio a alta presión.
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión.
- Lámparas de halogenuros metálicos (o de mercurio con aditivos metálicos).
- Lámparas de vapor de sodio a baja presión.

Estas lámparas, como todas las de descarga, presentan una impedancia al paso de la corriente que disminuye a medida que ésta aumenta, por lo que no pueden ser conectadas directamente a la red de alimentación sin una reactancia que controle la intensidad de corriente que circula por ellas.

La mayoría de las lámparas de alta intensidad de descarga necesitan dispositivos (reactancias autotransformadoras o arrancadores) que les proporcionen la tensión de encendido necesaria. Sin embargo, algunas de ellas, como las de vapor de mercurio, poseen electrodos auxiliares que les permite encender con tensiones de red de 220 V c.a o superiores sin necesidad de arrancador.

### 1. Mercurio de alta presión

Las lámparas de esta tecnología son muy utilizadas en sistemas de alumbrado público, sin embargo, en los últimos años han comenzado a ser reemplazadas por tecnologías de mayor eficiencia, por lo que cada vez es más difícil verlas en las calles. Un ejemplo de este tipo de tecnología se muestra en el Gráfico 12.

## Gráfico 12

Iluminación con tecnología de mercurio de alta presión



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

Las lámparas de mercurio de alta presión se construyen con una doble envoltura: La envoltura interior o tubo de descarga, contiene gases de argón y de mercurio. El arco inicial se establece por ionización del argón. Una vez establecido el arco, el calor generado vaporiza el mercurio líquido presente en el tubo de descarga. La envoltura exterior cumple las funciones de proteger al tubo de descarga de corrientes de aire y cambios de temperatura exterior, contener un gas inerte para prevenir la oxidación de las partes internas de la lámpara e incrementar la tensión de ruptura a través del bulbo, proveer una superficie interna que actúe de soporte para el recubrimiento de fósforo y actuar como filtro para eliminar ciertas longitudes de onda no deseadas.

### a. Eficacia luminosa

La eficacia luminosa de una lámpara de mercurio de alta presión va a depender de la potencia de la lámpara. Es decir, una lámpara de mayor potencia va a tener una eficacia luminosa más alta que una lámpara de menor potencia, como se muestra en el Cuadro 4 donde una lámpara de 1000 W tiene una eficacia luminosa de aproximadamente 58 lm/W, mientras que una lámpara de 80 W tiene una eficacia luminosa de sólo 46 lm/W.

## Cuadro 4

Características lámparas mercurio de alta presión

Potencia (W)	Flujo Luminoso (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)
80	3 700	46.3
125	6 200	49.6
250	12 700	50.8
400	22 000	55.0
700	38 500	55.0
1000	58 500	58.5

Fuente: Características lámparas mercurio de alta presión. <http://www.ylumsa.com.ar/images/Philips/Vapor%20de%20Mercurio.pdf>

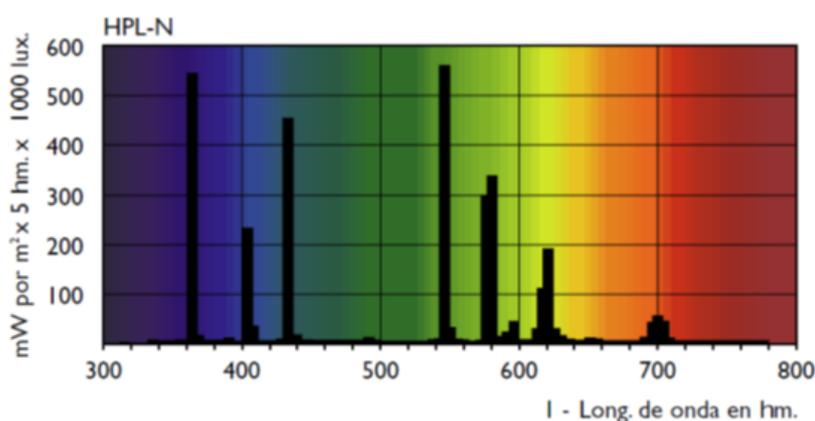
### b. Características cromáticas

La distribución espectral de una lámpara de mercurio de alta presión se presenta en tres tipos: Las de vidrio claro, las que poseen recubrimiento y las de color mejorado. En el primer caso, casi en desuso, la lámpara tiene un color blanco azulado con una temperatura de color correlacionada del orden de 6000 K con cuatro líneas principales de emisión y por lo tanto un bajo rendimiento de color con un IRC = 15. La lámpara de color corregido tiene una apariencia de color más cálida, con una temperatura de color de 4300 K e índice de rendimiento de color IRC=48. Las lámparas con recubrimiento especial son aún más cálidas con un índice de rendimiento de color IRC=52.

En la Gráfica 13 se muestra la distribución espectral de la potencia de una lámpara de mercurio de alta presión.

### Gráfico 13

Distribución espectral de la potencia para lámpara mercurio de alta presión



Fuente: Características lámparas mercurio de alta presión <http://www.ylumsa.com.ar/images/Philips/Vapor%20de%20Mercurio.pdf>

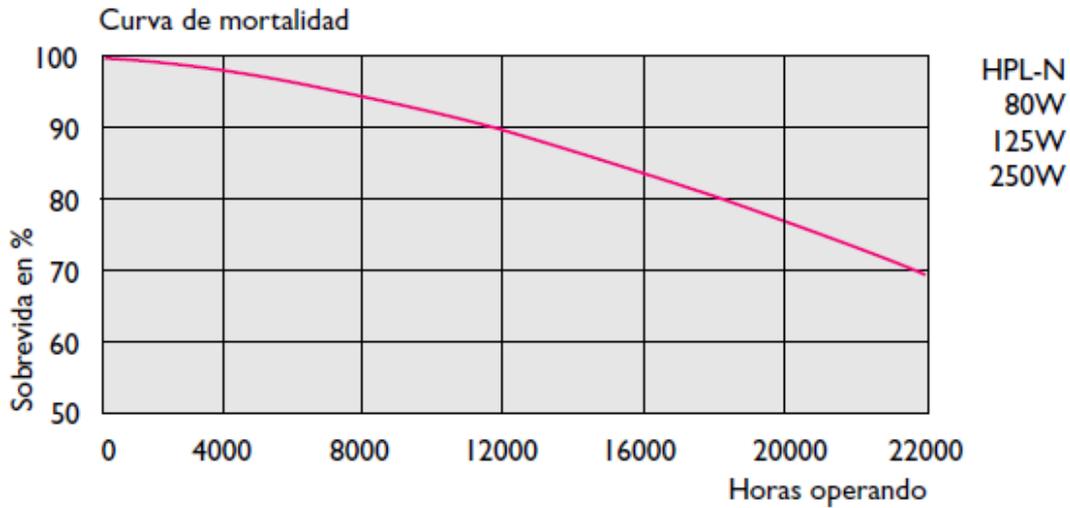
Debido a la forma discontinua del espectro de estas lámparas, la luz emitida es una mezcla de unas pocas radiaciones monocromáticas tales como el azul y el verde.

### c. Vida útil

La vida útil de una lámpara de mercurio de alta presión se encuentra relacionada a la potencia de la lámpara. Para potencias entre 80 y 250 W la vida de las lámparas de vapor de mercurio de alta presión sobrepasa las 16 000 horas de funcionamiento en el 80% de los casos. Por otro lado, la mortalidad en lámparas de vapor de mercurio de alta presión de potencias entre 700 y 1000 W se alcanza aproximadamente a las 12 000 horas de funcionamiento en el 80% de los casos. Esto se muestra en los Gráficos 14 y 15 respectivamente.

**Gráfico 14**

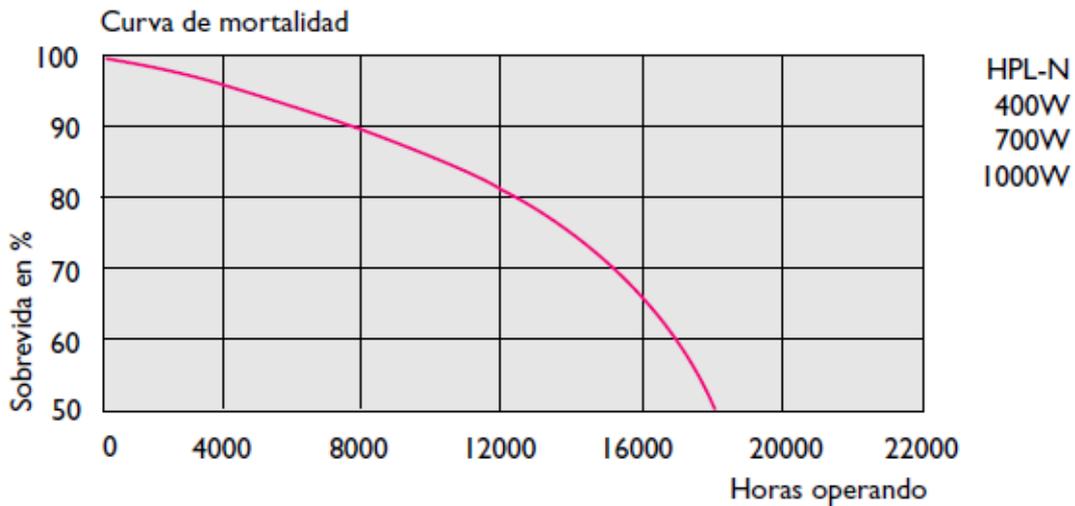
Curva de mortalidad para lámparas de mercurio alta presión menores a 400 W



Fuente: Características lámparas mercurio de alta presión <http://www.ylumsa.com.ar/images/Philips/Vapor%20de%20Mercurio.pdf>

**Gráfico 15**

Curva de mortalidad para lámparas de mercurio alta presión de 400 a 1000 W



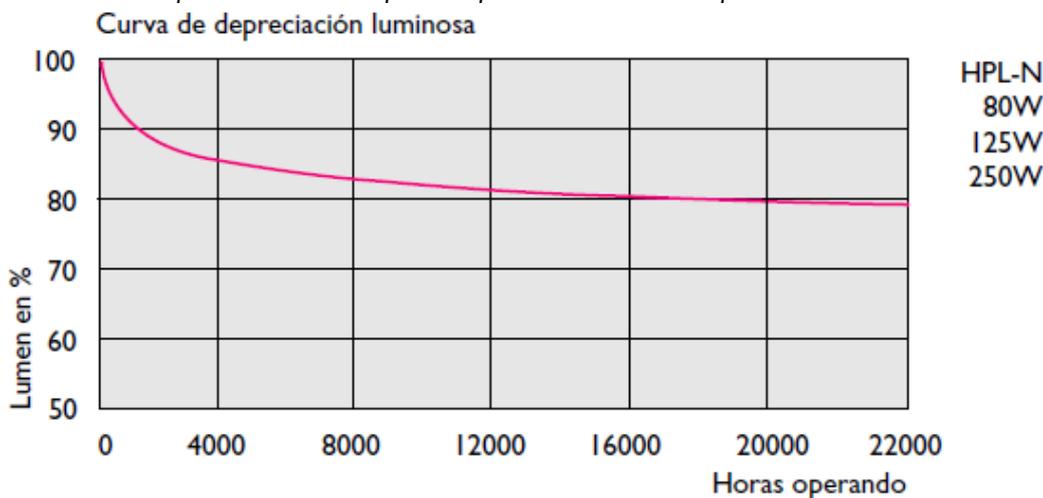
Fuente: Características lámparas mercurio de alta presión <http://www.ylumsa.com.ar/images/Philips/Vapor%20de%20Mercurio.pdf>

d. Depreciación luminosa

En cuanto a la depreciación del flujo luminoso en una lámpara de mercurio de alta presión, en lámparas entre 80 W y 250 W la reducción de lúmenes empieza a ser notoria (aproximadamente al 20% del flujo luminoso inicial) a las 16 000 horas de funcionamiento, mientras que en lámparas entre 400 y 1000 W esta reducción es visible aproximadamente a las 8000 horas de funcionamiento. Las curvas para ambos casos se muestran a continuación en los Gráficos 16 y 17.

**Gráfico 16**

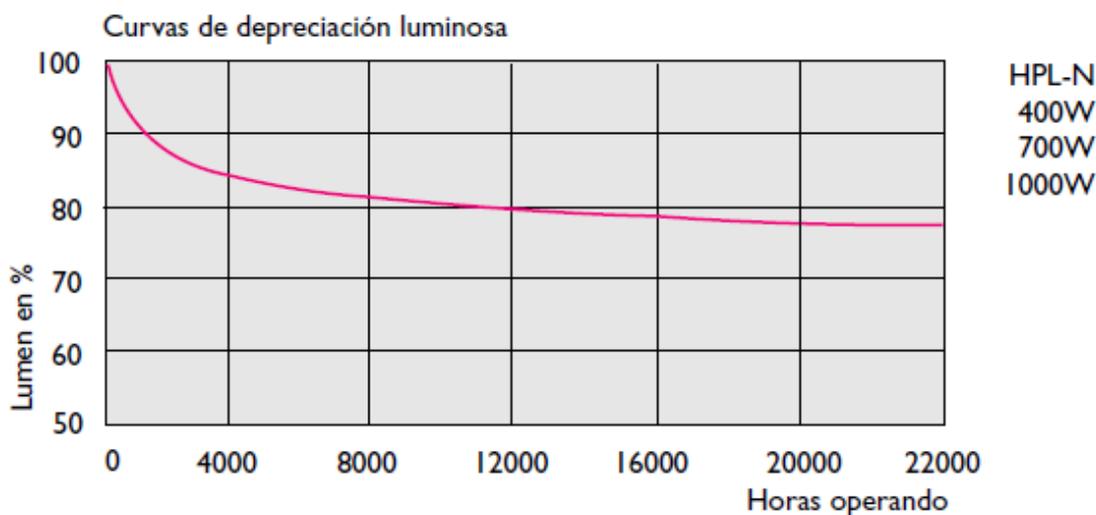
Curva de depreciación luminosa para lámparas de mercurio alta presión menores a 400 W



Fuente: Características lámparas mercurio de alta presión <http://www.ylumsa.com.ar/images/Philips/Vapor%20de%20Mercurio.pdf>

**Gráfico 17**

Curva de depreciación luminosa para lámpara de mercurio alta presión menores de 400 a 1000 W



Fuente: Características lámparas mercurio de alta presión <http://www.ylumsa.com.ar/images/Philips/Vapor%20de%20Mercurio.pdf>

## 2. Sodio de baja presión

En lámparas con tecnología de sodio de baja presión la luz nace al convertir la radiación ultravioleta producida por la descarga de sodio en radiación visible, utilizando un polvo fluorescente en la superficie interna. Estas lámparas producen una luz de color amarillo, ya que en casi la totalidad de su espectro predominan las frecuencias cercanas al amarillo. La reproducción de color es la más baja de todos los tipos de lámparas de descarga, sin embargo, es la lámpara de mayor eficacia luminosa y larga vida. Un ejemplo de este tipo de tecnología se muestra en el Gráfico 18.

## Gráfico 18

*Iluminación con tecnología de sodio bajo presión*



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

Debido a que estas lámparas requieren de tensiones más elevadas que la nominal de la línea para su encendido (entre 400 y 680 Vc.a), se requiere de un equipo auxiliar del tipo autotransformador de dispersión para su funcionamiento, cuyo diseño depende de la potencia de la lámpara.

### a. Constitución

Constructivamente, están formadas por un tubo interior de vidrio especial en forma de U en el que se produce la descarga, alojado dentro de una ampolla tubular de vidrio en la que se ha practicado el vacío, que lo protege mecánicamente y lo aísla térmicamente, y que está recubierta en su interior de una capa reflectante de óxido de estaño para reflejar las radiaciones infrarrojas que se producen en la descarga, lo que aumenta el rendimiento de estas lámparas al reducir la energía utilizada en mantener caliente el vapor de sodio.

El interior del tubo de descarga contiene una atmósfera de sodio vaporizado a muy baja presión y está relleno de gas neón para favorecer el encendido. El tubo en forma de U contiene unas cavidades que favorecen la concentración del sodio al enfriarse; al condensarse en ellas favorece su vaporización a la menor temperatura posible.

En los extremos del tubo se encuentran dos electrodos o filamentos de wolframio sobre los que se ha depositado un material emisor de electrones.

### b. Eficacia luminosa

Las lámparas de sodio a baja son las más eficientes del grupo de lámparas de descarga. Los valores de eficacia se encuentran entre los 100 y 180 lm/W, dependiendo de la potencia de la lámpara. El Cuadro 5 muestra el flujo luminoso y la eficacia luminosa para lámparas de sodio de baja presión entre 18 y 180 W.

### Cuadro 5

Características lámparas sodio bajo presión

Potencia (W)	Flujo Luminoso (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)
18	1 800	100.0
335	4 6000	131.4
55	8 100	147.3
90	13 000	144.4
135	22 500	166.7
180	32 000	177.8

Fuente: Manual de Luminotecnia 2002, [www.indal.es](http://www.indal.es)

La eficacia en este tipo de lámparas puede alcanzar 180 lm/W, pero debido a que el flujo luminoso es monocromático su aplicación queda restringida únicamente a vialidades con flujo vehicular de alta velocidad, especialmente apropiadas en zonas con neblina, debido a que su luminosidad es la que mejor penetración tiene en este medio.

c. Características cromáticas.

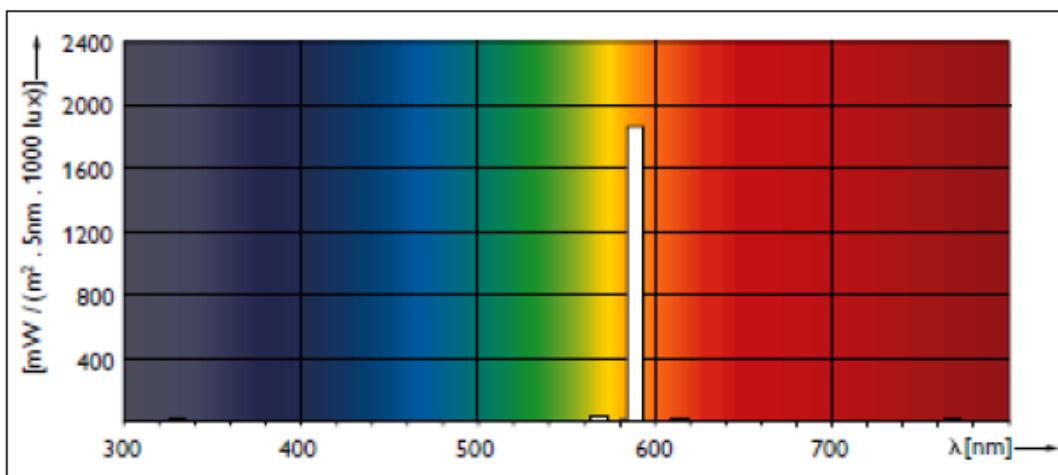
La descarga eléctrica en un tubo con vapor de sodio a baja presión produce una radiación monocromática característica de color amarillento formada por dos rayas en el espectro (589 y 589,6 nm) muy próximas entre sí.

Aunque las lámparas de sodio de baja presión son las lámparas de descarga de mayor eficacia, la luz emitida por éstas no permite discriminar correctamente los colores, debido a su apariencia de color amarillo y su mono cromaticidad, por lo que no es posible asignarle un índice de rendimiento de color. Este tipo de lámpara tiene escaso uso.

El Gráfico 19 muestra el espectro de emisión de una lámpara de sodio de baja presión.

### Gráfico 19

Distribución espectral de la potencia para lámpara sodio baja presión



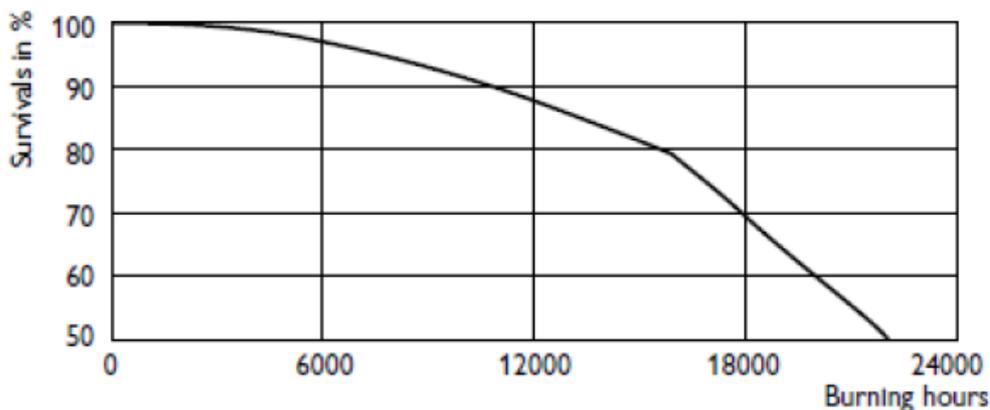
Fuente: Manual de Luminotecnia 2002, [www.indal.es](http://www.indal.es)

d. Vida útil

Su vida útil puede llegar hasta las 22 000 horas de funcionamiento, esto se debe su bajo índice de fallos. El Gráfico 20 muestra la curva de mortalidad de una lámpara de sodio de baja presión.

**Gráfico 20**

*Curva de mortalidad para lámpara de sodio de baja presión*



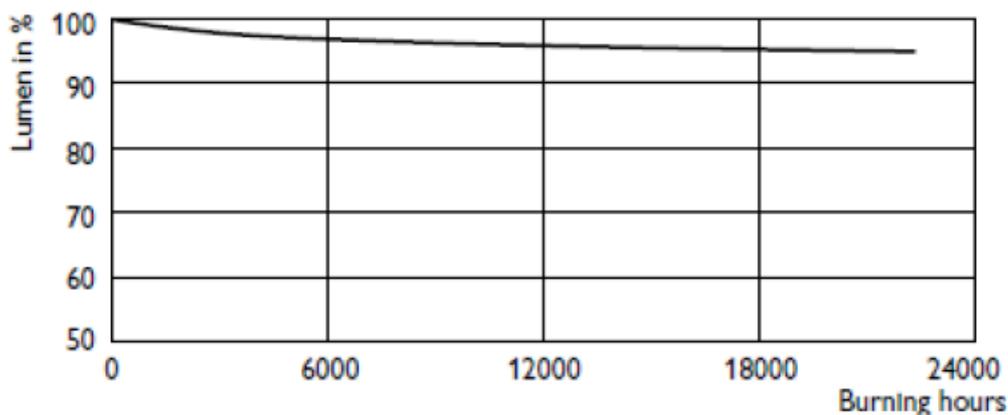
Fuente: Manual de Luminotecnia 2002, [www.indal.es](http://www.indal.es)

e. Depreciación luminosa

La vida nominal de una lámpara de sodio de baja presión es de aproximadamente 20 000 horas de funcionamiento. Este alto valor se debe a la baja depreciación del flujo luminoso en este tipo de lámparas. En el Gráfico 21 se presenta la curva de depreciación del flujo luminoso para una lámpara de sodio de baja presión.

**Gráfico 21**

*Curva de depreciación luminosa para lámpara de sodio de baja presión*



Fuente: Manual de Luminotecnia 2002, [www.indal.es](http://www.indal.es)

### 3. Sodio de alta presión

Estas lámparas están formadas por un tubo de descarga de óxido de aluminio capaz de resistir temperaturas de 1000°C y la acción química del vapor de sodio a esas temperaturas; permite transmitir el 90% de la luz visible producida por la descarga eléctrica en su interior.

Este tubo está cerrado mediante tapones de corindón sintético<sup>5</sup>, en los que se apoyan los electrodos. En su interior se encuentra una amalgama de sodio y mercurio en atmósfera de xenón a alta presión. El tubo de descarga se aloja en el interior de una ampolla de vidrio duro, resistente a la intemperie, que le sirve de protección y aislamiento eléctrico.

Las lámparas de sodio de alta presión comenzaron a ser utilizadas en aplicaciones muy específicas, en las cuales no era muy importante la reproducción cromática obtenida. Como consecuencia del progreso en su tecnología de fabricación, de la mejora de su espectro de emisión, y fundamentalmente por la economía que se obtiene en sus costos de explotación se ha producido una masiva difusión de su empleo, reemplazando ventajosamente a las lámparas de vapor de mercurio a alta presión en aquellas aplicaciones en las que se necesita una luz abundante y económica.

La luz se obtiene por la emisión producida por el choque de los electrones libres contra los átomos del vapor contenido en el tubo de descarga. En este proceso, los choques producen la excitación de los electrones de los átomos del vapor, que pasan a ocupar orbitales de mayor energía. Cuando dichos electrones retornan a su órbita natural, se produce la emisión de fotones y en consecuencia ocurre una generación de radiación lumínica.

Para el encendido de estas lámparas, debido a la elevada presión de los gases en el interior del tubo de descarga, es preciso aplicar tensiones muy superiores a las de la red, siendo necesario el uso de reactancias especiales o arrancadores.

Al conectar la lámpara se produce una descarga inicial a través del gas auxiliar (neón), originándose una luz rojiza típica de ese gas, y la lámpara comienza a calentarse por acción del arco, lo que produce la evaporación del sodio metálico y la emisión de luz amarillenta, hasta que se completa el ciclo de encendido.

El periodo de arranque dura entre 5 y 7 minutos, tras el cual, las lámparas alcanzan su flujo luminoso nominal. Al apagar la lámpara, la elevada presión interior no permite su reencendido hasta que, al enfriarse, al cabo de unos minutos, se restablecen las condiciones iniciales. Para un reencendido inmediato en caliente es necesario usar arrancadores especiales.

Este tipo de lámparas, tiene un mayor rendimiento lumínico (lm/W) que las lámparas de vapor de mercurio de alta presión, lo que permite la utilización de lámparas de menor consumo a igualdad de flujo luminoso. Si bien las lámparas de sodio de alta presión requieren un equipo auxiliar de mayor costo que el de las lámparas mercurio de alta presión esa mayor inversión inicial se amortiza rápidamente con los menores costos de funcionamiento que se obtienen.

---

<sup>5</sup> El corindón sintético se fabrica fundiendo óxido de aluminio de alta calidad. El corindón sintético se compone en un 99 % de óxido de aluminio. Sus principales características son su elevada dureza y su transparencia. Sólo los diamantes son más duros. Esta dureza elevada constituye un desafío en el proceso de trituration.

Un ejemplo de este tipo de tecnología se muestra en el Gráfico 22 Iluminación con tecnología de sodio de alta presión.

## Gráfico 22

*Iluminación con tecnología de sodio de alta presión*



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

Por otro lado, comparadas con las lámparas de sodio a baja presión, las lámparas de sodio de alta presión ofrecen una mayor capacidad para discriminar los colores, convirtiéndose en una fuente de luz de aspecto más aceptable, con una elevada eficacia luminosa (aunque menor que las de sodio de baja presión).

### a. Eficacia luminosa

La eficacia luminosa de este tipo de lámparas está en un rango entre 85 a 130 lm/W, dependiendo de la potencia de la lámpara. Debido a su excelente eficacia luminosa son las más utilizadas actualmente para alumbrado público, ya que presentan una buena relación eficiencia versus reproducción del color. Los índices de flujo luminoso y de eficacia luminosa para lámparas de sodio de alta presión para potencias entre 70 y 1000 W se muestran en el Cuadro 6.

## Cuadro 6

*Características lámparas sodio alta presión*

Potencia (W)	Flujo Luminoso (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)
70	60 000	85.7
147	15 000	102.0
250	28 000	112.0
392	48 000	122.4
1000	130 000	130.0

Fuente: <http://www.ylumsa.com.ar/images/Philips/SODIO%20T.pdf>

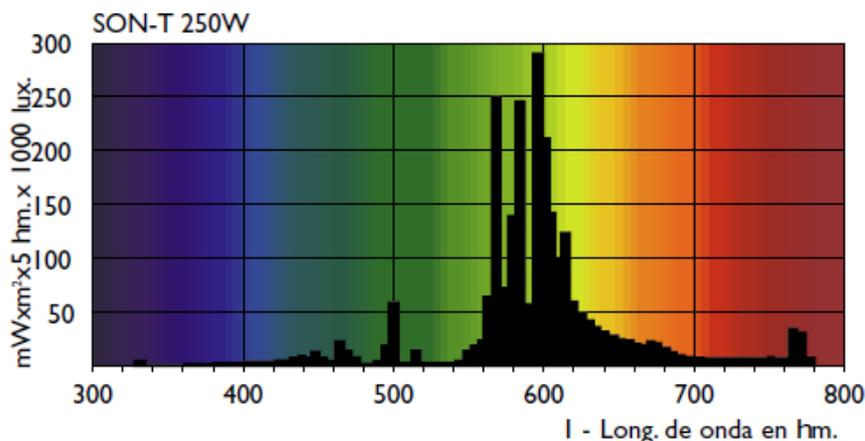
### b. Características cromáticas

Las lámparas de sodio a alta presión proveen de una visión de alto contraste, su reproducción cromática es regular, con valores del índice de reproducción del color cercanos a  $Ra = 30 / 50$ , su luz es predominantemente amarilla, aunque en los últimos años se ha mejorado mucho su espectro luminoso (color corregido).

El Gráfico 23 muestra la distribución espectral de una lámpara de sodio de alta presión. Estas lámparas 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 sodio baja presión.

### Gráfico 23

Distribución espectral de la potencia para lámpara de sodio alta presión



Fuente: <http://www.ylumsa.com.ar/images/Philips/SODIO%20T.pdf>

### c. Vida útil

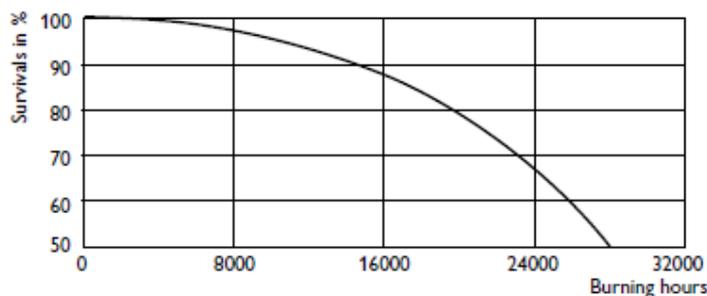
La vida útil para estas lámparas es de aproximadamente 30 000 horas dependiendo de su diseño. Sin embargo, este valor está limitado por el aumento en la tensión del arco, aunque lento, que ocurre durante su vida. Este aumento es principalmente debido al ennegrecimiento de los extremos del tubo de arco debido a la dispersión del material emisor del electrodo. La parte ennegrecida absorbe radiación, la cual calienta los extremos del tubo de arco y vaporiza las mezclas de sodio adicional. Esto incrementa la presión en el tubo de arco y consecuentemente la tensión del arco. La difusión de sodio a través de los extremos sellados de tubo de arco y la combinación de sodio contenido en el arco con impurezas del tubo limitan también la vida de estas lámparas.

El gráfico 24 muestra la curva típica de mortalidad para una lámpara de sodio de alta presión en función de las horas de operación.

## Gráfico 24

Curva de mortalidad para lámpara de sodio de alta presión

### Life expectancy diagram



Fuente: [http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips\\_oem\\_catalogue\\_2008\\_2009\\_en.pdf](http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips_oem_catalogue_2008_2009_en.pdf)

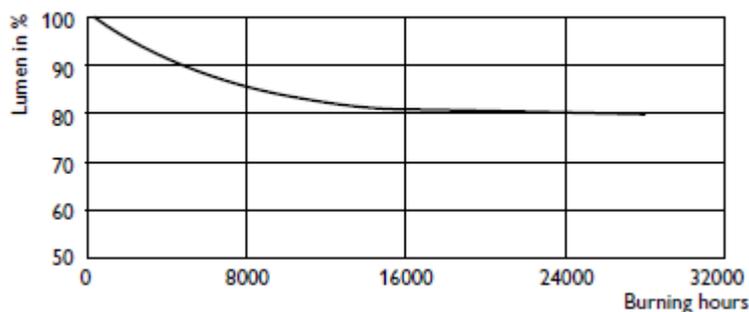
#### d. Depreciación luminosa

En este tipo de lámparas la reducción del flujo luminoso comienza a ser notorio aproximadamente a las 20 000 horas de funcionamiento. En el Gráfico 25 se presenta un ejemplo de depreciación del flujo luminoso para una lámpara de sodio de alta presión.

## Gráfico 25

Curva de depreciación luminosa para lámpara de sodio de alta presión

### Lumen maintenance diagram



Fuente: [http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips\\_oem\\_catalogue\\_2008\\_2009\\_en.pdf](http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips_oem_catalogue_2008_2009_en.pdf)

#### e. Problemática en la vida de las lámparas de vapor de sodio de alta presión

Durante la vida de la lámpara de sodio a alta presión, aumenta su tensión de arco sobre el valor inicial hasta que alcanza valores en torno a 140 V c.a, para los cuales la lámpara deja de ser estable, produciéndose apagados intempestivos de la misma, y la lámpara se considera agotada.

Resulta deseable que la vida de las lámparas sea lo más larga posible ajustándose a los valores fijados por los propios fabricantes. En las lámparas de vapor de sodio a alta presión para lograr dicho objetivo, hay que tener muy en cuenta todos los elementos y causas que influyen en el

crecimiento de la tensión de arco de la lámpara, procurando atenuar en lo posible sus efectos, lo que requiere considerar los siguientes aspectos:

- Balasto
- Tensión de la red
- Tensión de arco de la lámpara
- Eficiencia energética del equipo auxiliar
- Luminaria
- Posición de lámpara respecto a reflector

*Balasto:*

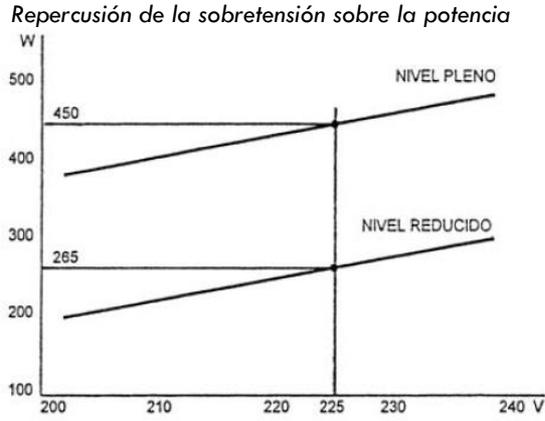
En el caso de instalar un balasto electromagnético la impedancia será lo más ajustada posible a la nominal y con buena regulación, de forma que su característica deberá estar dentro de los límites de trabajo establecidos para cada lámpara.

*Tensión de la red:*

Cuando se utilizan balastos serie de tipo inductivo, debido a su limitada capacidad de regulación, un 10% de aumento de la tensión de la red, ocasiona un incremento de potencia en lámpara entre el 20 y 25%, pudiéndose alcanzar incluso un 30%, lo que supone un considerable exceso de consumo energético. Es deseable que no existan desviaciones en la tensión de alimentación superiores a un 5% sobre el valor para el que está previsto el balasto. Se puede disminuir este problema exigiendo a las empresas suministradoras de energía eléctrica el control de la tensión de la red, como mínimo a los valores establecidos en la reglamentación vigente.

Como esto en muchos casos no es posible conseguirlo, resulta adecuado instalar bien balastos serie de tipo inductivo con dos tomas de corriente y conectarlos a la toma más próxima a la tensión de la red, o implantar balastos autorreguladores o bien balastos electrónicos o, en su caso, instalar estabilizadores de tensión en cabeza de las líneas eléctricas de alimentación. En el Gráfico 26 se observa el efecto de la sobretensión en la red en la potencia de una lámpara; en el caso de una lámpara de 400 W-220 V nominal, una tensión de 225 V origina una sobre potencia de 50 W.

**Gráfico 26**

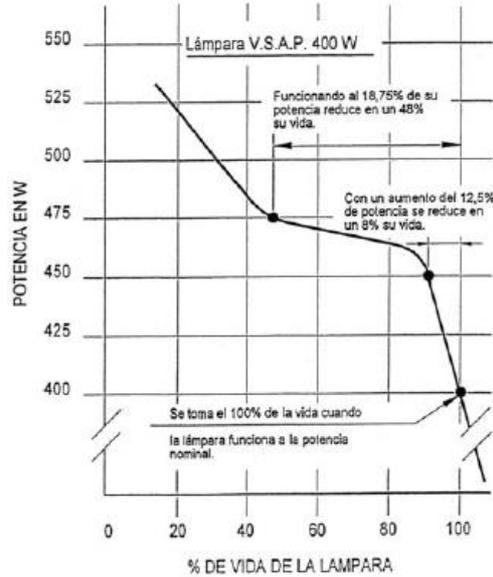


Fuente: Cuaderno de Eficiencia Energética en Iluminación N° 3 del IDEA

Asimismo, en el Gráfico 27 para la misma lámpara de 400 W, se representa la influencia de los excesos de potencia sobre la vida media de la lámpara.

**Gráfico 27**

*Influencia del exceso de potencia sobre la vida de la lámpara*



Fuente: Cuaderno de Eficiencia Energética en Iluminación N° 3 del IDEA

*Tensión de arco de la lámpara:*

Las normas EN 60.6626 y CEI - 6627 sobre lámparas de vapor de sodio alta presión, admiten una tolerancia de  $\pm 15$  V sobre la tensión de arco establecida, lo que supone un 30% de margen en el caso de lámparas de 150 y 250 W, lo cual en principio parece excesivo, ya que si la tensión nominal de arco es de 100 V, que se admitan como válidas tensiones entre 85 y 115 V, con una diferencia de 30 V, no es de extrañar que ello implique alguna repercusión en la vida útil de las lámparas. Como máximo resulta aconsejable admitir una tolerancia de  $\pm 10$  V.

Las lámparas a lo largo de su vida útil, sufren un envejecimiento natural, que se manifiesta en incrementos de la tensión de arco, a la vez que una disminución del desfase entre la tensión de arco y la tensión de red.

*Eficiencia energética del equipo auxiliar:*

En los equipos auxiliares (balasto, condensador y arrancador) necesarios para el funcionamiento de las lámparas se generan pérdidas que, solamente en los balastos electromagnéticos estándar, pueden evaluarse entre el 8 y 25%. A ello hay que añadir las pérdidas que corresponden al condensador que oscilan entre un 0,5 y un 1%, y las que son atribuibles al arrancador que varían entre un 0,8 y un 1,5%.

Si se efectúa una estimación ponderada en función del tipo de alumbrado, potencia utilizada y componentes del equipo auxiliar, el consumo real de potencia en la red, debido a las pérdidas originadas por dicho equipo, se incrementa entre un 9,3% y un 27,5% sobre la potencia nominal de la lámpara.

*Luminaria:*

Como consecuencia de la situación de la lámpara encerrada en el interior de la luminaria entre el reflector y el cierre, se origina un aumento de la temperatura de la lámpara y de la tensión de arco en la misma. Las normas EN 60.662 y CEI - 662 establecen como máxima una elevación de dicha tensión de 5 V para las lámparas de 150 W, 10 V para lámparas de 250 W, 12 V para lámparas de 400 W y hasta 20 V para lámparas de 1000 W.

La instalación de lámparas de potencias superiores a las nominales para las que se han diseñado las luminarias, aumenta la temperatura y tensión de arco de la lámpara considerablemente, acortándose la vida útil de la misma.

*Posición de lámpara respecto al reflector:*

Debe cuidarse la posición de la lámpara con relación al reflector, al objeto de evitar la concentración por reflexión de la energía emitida por la propia lámpara sobre ella misma, lo cual aumenta su temperatura y con ello la tensión de arco, en perjuicio de su vida útil, pudiéndose llegar incluso a su destrucción.

---

<sup>6</sup> EN 60662:2012 High-pressure sodium vapour lamps. Performance specifications

<sup>7</sup> CEI. IEC. 662. Première édition. First edition. 1980. High-pressure sodium vapour lamps

#### 4. Haluros metálicos

Las lámparas de haluros metálicos son un tipo lámpara de descarga de alta presión, generalmente de alta potencia y con una buena reproducción de colores.

Las lámparas de haluros metálicos son lámparas de vapor de mercurio a alta presión que adicionalmente, contienen halógenos de tierras raras como el Disprosio (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 posteriormente dentro de la zona central caliente del arco en halógeno y en metal, consiguiendo de esta manera aumentar considerablemente la eficacia luminosa y aproximar el color al de la luz diurna solar.

El tubo de descarga donde se forma el arco contiene una mezcla de argón, mercurio y de haluros metálicos. La mezcla de haluros metálicos afecta la naturaleza de la luz producida, variando correlacionadamente la temperatura del color y su intensidad. El gas argón se ioniza, facilitando el paso del arco voltaico pulsante a través de los electrodos, cuando se le aplica un cierto voltaje a la lámpara. El calor generado por el arco eléctrico vaporiza el mercurio y los haluros metálicos, produciendo luz a medida que la temperatura y la presión aumentan.

Las lámparas de haluros metálicos requieren un equipo auxiliar para proporcionar el voltaje apropiado para comenzar el encendido y regular el flujo de electricidad para mantener la lámpara encendida.

Un ejemplo de aplicación de este tipo de tecnología se muestra en la Gráfica 28 Iluminación con tecnología de haluros metálicos.

### Gráfico 28

*Iluminación con tecnología haluros metálicos*



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

#### a. Eficacia luminosa

La eficacia luminosa en las lámparas de haluros metálicos se encuentra aproximadamente entre los 80 lm/W y los 100 lm/W. e ésta, una lámpara de haluros metálicos de mayor potencia presenta una mayor eficacia que una lámpara de menor potencia. En el Cuadro 7 se presentan valores de flujo luminoso y de eficacia luminosa para diferentes potencias de lámparas de haluros metálicos.

### Cuadro 7

*Características lámparas de haluros metálicos*

Potencia (W)	Flujo Luminoso (Lm)	Eficacia luminosa (lm/W)
70	5 500	78,6
150	13 500	90,0
250	20 000	80,0
400	40 000	100
1000	90 000	90,0

Fuente: Manual de Luminotecnia 2002. [www.indal.es](http://www.indal.es).

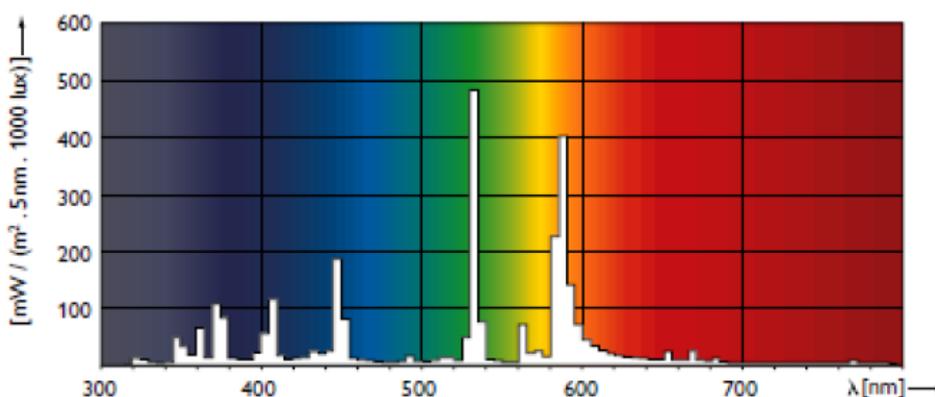
*b. Características cromáticas*

El índice de rendimiento de color de una lámpara de haluros metálicos oscila entre 65 y 95. Este tipo de lámparas posee una buena relación eficacia versus reproducción del color. Aunque no alcanza los niveles de eficacia de una lámpara de sodio su reproducción del color es mucho más óptima.

En el Gráfico 29 Distribución espectral lámpara de haluros metálicos, se muestra el espectro de emisión de este tipo de lámparas; al añadir al tubo de descarga yoduros metálicos (por ejemplo: sodio, talio, indio) se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color en relación con 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).

### Gráfico 29

*Distribución espectral de la potencia para lámparas de haluros metálicos*



Fuente: [http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips\\_oem\\_catalogue\\_2008\\_2009\\_en.pdf](http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips_oem_catalogue_2008_2009_en.pdf)

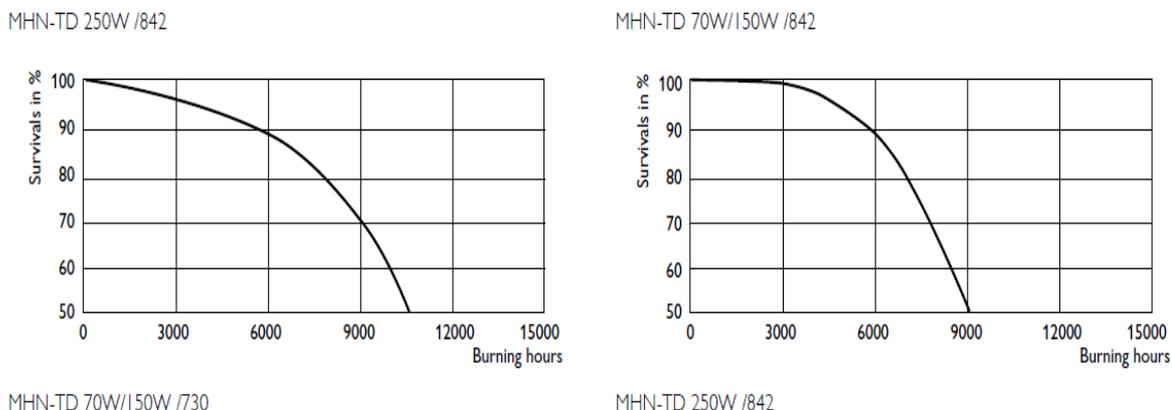
*c. Vida útil*

Debido a la alta temperatura de los electrodos, los óxidos que los recubren se evaporan rápidamente por lo que la vida útil puede llegar a valores entre 9000 y 10 000 horas.

En el Gráfico 30 se muestra la curva típica de mortalidad para lámparas de haluros metálicos (de diferente potencia) en función de las horas de operación.

### Gráfico 30

Curva de mortalidad para lámparas de haluros metálicos



Fuente: [http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips\\_oem\\_catalogue\\_2008\\_2009\\_en.pdf](http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips_oem_catalogue_2008_2009_en.pdf)

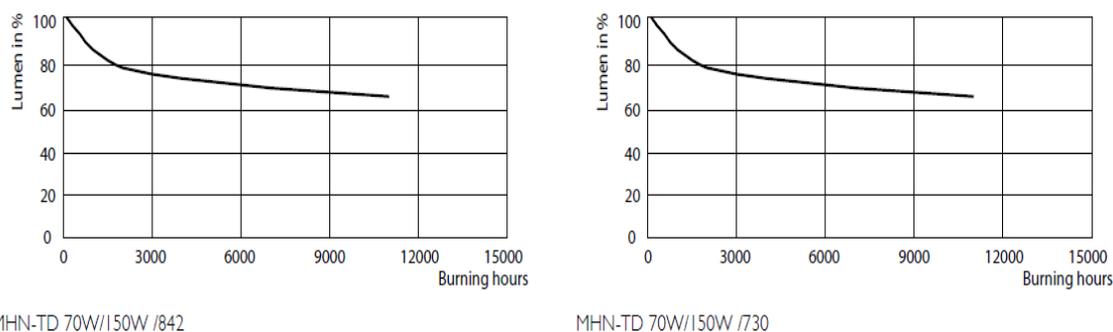
#### d. Depreciación luminosa

Estas lámparas poseen una depreciación luminosa mayor respecto a las de mercurio de alta presión, lo que se debe principalmente al ennegrecimiento que sufre el tubo de descarga por la evaporación del tungsteno de los electrodos que se deposita sobre las paredes del tubo. También la depreciación de los polvos fluorescentes influye en la depreciación en el caso de lámparas recubiertas. En el Gráfico 31 se muestra la curva de depreciación luminosa para una lámpara de haluros metálicos. Se observa que se alcanza el 70% de su capacidad a las 10 000 horas.

### Gráfico 31

Curva de depreciación luminosa para lámparas de haluros metálicos

#### Lumen maintenance diagram



Fuente: [http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips\\_oem\\_catalogue\\_2008\\_2009\\_en.pdf](http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips_oem_catalogue_2008_2009_en.pdf)

#### e. Particularidades de las lámparas de halogenuros metálicos

Aun cuando sus condiciones de funcionamiento son similares a las lámparas de vapor de mercurio, la adición de los halogenuros hace necesaria una tensión de encendido elevada, por lo que necesitan, salvo raras excepciones, de un arrancador que proporcione tensiones de pico entre 0,8 y 5 kV. A continuación, se describen aspectos particulares a considerar para estas lámparas:

- Temperatura de color
- Posición de funcionamiento
- Tensión de la red
- Balasto y arrancador
- Circuitos de doble nivel de potencia
- Luminaria
- Fabricante de la lámpara

#### *Temperatura de color:*

Por la propia naturaleza de estas lámparas y al objeto de evitar una apariencia cromática dispar, que resulte desagradable para la visión, es necesario controlar su temperatura de color. Para ello es conveniente exigir una tolerancia máxima de un  $\pm 5\%$  en la temperatura de color.

#### *Posición de funcionamiento:*

Para lograr el rendimiento previsto de la lámpara, es importante tener en cuenta la posición de funcionamiento de la misma, ya que son más sensibles que otras lámparas de descarga y deben respetarse los condicionamientos establecidos por los fabricantes para cada caso concreto.

#### *Tensión de la red:*

Estas lámparas se ven más afectadas por las variaciones de la tensión de la red que otras de descarga, no debiendo diferir en más de un 5% del valor nominal de red, ya que además de actuar de forma negativa sobre la vida de la lámpara, acortando su duración, varía el rendimiento de color de la misma, lo cual es grave dado que dicho parámetro es un factor fundamental en la elección de este tipo de lámparas. Por ello, si se prevén tensiones distintas de las nominales (por ejemplo 220 o 230 V c.a), deben instalarse balastos para esa tensión de red, o bitensiones o bien un balasto electrónico o, en su caso, un sistema de estabilización de tensión bien en cabeza de las líneas de alimentación o en el propio punto de luz.

#### *Balasto y arrancador:*

Dado el efecto rectificador que suelen producir las lámparas de forma transitoria en el encendido y de forma permanente al final de su vida, conviene dimensionar de forma idónea los balastos y adoptar determinadas precauciones en los arrancadores de tipo independiente a instalar. Para su protección es recomendable colocar en el circuito de la lámpara un disyuntor térmico.

#### *Circuitos de doble nivel de potencia:*

Este tipo de lámparas no admite la utilización de circuitos de doble nivel de potencia (balastos de doble nivel y reguladores en cabecera de línea). Reducir la intensidad de arco, origina el descenso de la temperatura y presión del tubo de descarga, dando lugar a un acortamiento en la vida útil de la lámpara y una disminución del rendimiento de color de la misma, así como posibles cambios irreversibles en la temperatura de color.

*Luminaria:*

La temperatura idónea que debe alcanzar la lámpara es aproximadamente de 150° C, por lo que resulta conveniente el uso de luminarias cerradas, al objeto que pueda alcanzarse dicha temperatura y se evite su enfriamiento, de forma que la lámpara pueda proporcionar las prestaciones adecuadas.

*Fabricante de la lámpara:*

Teniendo en cuenta que no existe normativa para toda la gama de este tipo de lámparas, para una misma potencia los distintos fabricantes ofertan características eléctricas diferentes. Por ello, deben tenerse en cuenta los parámetros de cada lámpara para instalar el balasto y arrancador adecuados.

## 5. Haluros metálicos cerámicos

Esta tecnología es una combinación entre la tecnología de las lámparas de haluro metálico tradicionales y la tecnología de las lámparas de sodio de alta presión (quemador cerámico).

El tubo de descarga cerámico, frente al cuarzo de los halogenuros metálicos convencionales, permite operar a temperaturas más altas, aumenta la vida útil (hasta 15 000 h), la eficacia luminosa y mejora la estabilidad del color a lo largo de la vida de las lámparas. Combinan la luz blanca propia de los halogenuros metálicos, y la estabilidad y la eficacia del sodio.

### Gráfico 32

*Iluminación con tecnología de haluros metálicos cerámicos*



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

Por sus características, son lámparas muy adecuadas para su uso en el sector terciario (comercios, oficinas, iluminación arquitectónica, escaparates, hoteles, entre otros). Como otras lámparas de descarga eléctrica, las lámparas de haluros metálicos cerámicos requieren un equipo auxiliar para proporcionar el voltaje apropiado para comenzar el encendido y regular el flujo de electricidad para mantener la lámpara encendida.

a. Eficacia luminosa

Este tipo de lámpara presenta una mejor eficacia luminosa que una lámpara de haluros metálicos tradicional. En el Cuadro 8 se presenta ejemplos de eficacia luminosa para este tipo de lámparas.

**Cuadro 8**

*Características lámparas sodio alta presión*

Potencia (W)	Flujo Luminoso (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)
60	6 900	115
70	7 500	107
90	10 450	116
100	10 700	107
140	16 500	118
150	16 500	110
210	24 200	115
250	28 300	113
315	37 800	120
400	40 000	100

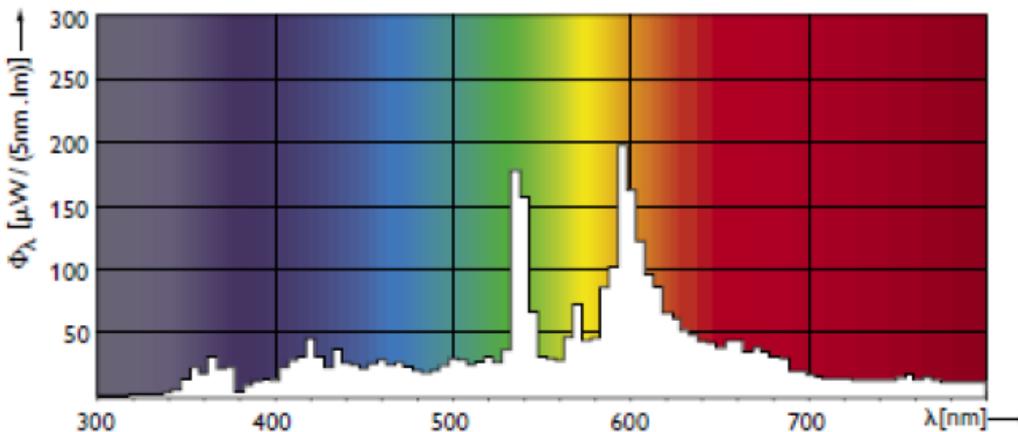
Fuente: CONUEE [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/91894/1\\_Lamparas\\_Aditivos\\_metalicos\\_ceramicos.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/91894/1_Lamparas_Aditivos_metalicos_ceramicos.pdf)

b. Características cromáticas

El índice de rendimiento de color de una lámpara de haluros metálicos cerámicos fluctúa entre 75 a 90. En el Gráfico 33 se muestra el espectro de emisión de una lámpara de haluros metálicos cerámicos, en ésta es posible ver que el tipo de luz emitida por estas lámparas alcanza gran parte del espectro visible.

**Gráfico 33**

*Distribución espectral de la potencia de lámpara de haluros metálicos cerámicos*



Fuente: [http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalog%5Cphilips%5Cphilips\\_oem\\_catalogue\\_2008\\_2009\\_en.pdf](http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalog%5Cphilips%5Cphilips_oem_catalogue_2008_2009_en.pdf)

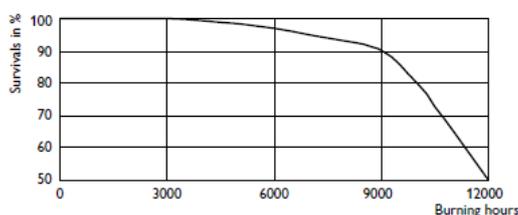
c. *Vida útil*

La existencia de un quemador cerámico permite una mayor probabilidad de vida de la lámpara, alcanzando una vida útil de 12 000 horas de funcionamiento, de esta manera se logra mejorar las 9000-10 000 horas de duración de una lámpara de haluros metálicos tradicional. En el Gráfico 34 se muestra la curva de mortalidad para lámparas de haluros metálicos cerámicos.

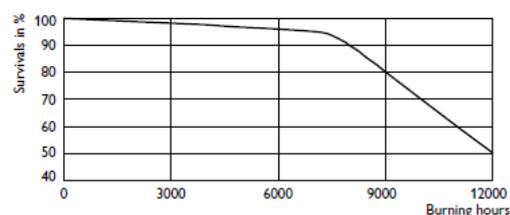
### Gráfico 34

Curva de mortalidad para lámparas de haluros metálicos cerámicos

Life expectancy diagram



CDM-TC 35W/930 on electronic gear



CDM-TC 70W/930 on electronic gear

Fuente: [http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips\\_oem\\_catalogue\\_2008\\_2009\\_en.pdf](http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips_oem_catalogue_2008_2009_en.pdf)

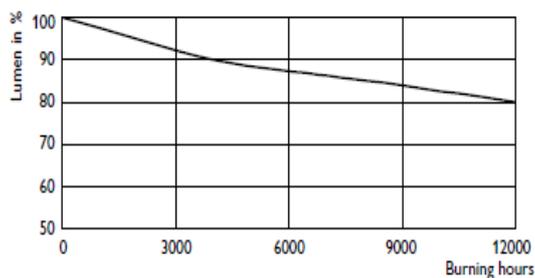
d. *Depreciación luminosa*

Con la existencia del quemador cerámico se logra un mejor mantenimiento del color a lo largo de la vida útil. Según muestra en el Gráfico 35 Depreciación luminosa lámpara de haluros metálicos cerámicos la reducción de flujo luminoso comienza a ser notoria casi al final de la vida útil de funcionamiento de la lámpara.

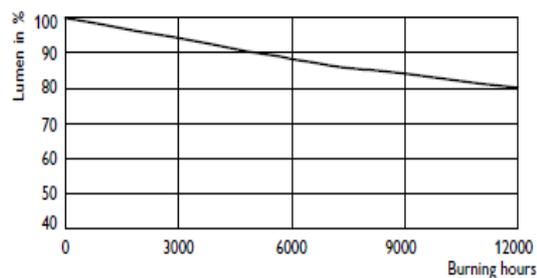
### Gráfico 35

Curva de depreciación luminosa para lámparas de haluros metálicos cerámicos

Lumen maintenance diagram



CDM-T 35W on electronic gear



CDM-T 70W on electronic gear

Fuente: [http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips\\_oem\\_catalogue\\_2008\\_2009\\_en.pdf](http://catalog.bailey.nl/webfiles/catalogi%5Cphilips%5Cphilips_oem_catalogue_2008_2009_en.pdf)

## Tecnología LED

La estructura de los sistemas de iluminación LED es totalmente distinta a la de los sistemas de iluminación tradicional y se basa en la tecnología de la electrónica del estado sólido. Su nombre corresponde a la sigla de las palabras en inglés Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz).

Los diodos emisores de luz están basados en semiconductores que transforman directamente la corriente eléctrica en luz. Un LED está formado por varias capas de material semiconductor.

Dos materiales semiconductores forman un diodo al estar en contacto entre sí. El diodo es un dispositivo que permite que la corriente fluya sólo en una dirección. Cuando la electricidad se transfiere a través del diodo, los átomos del material (dentro del chip semiconductor) se agitan a un nivel de energía superior. Los átomos en el primer material encierran mucha más energía que necesita ser liberada, cuando los átomos traspasan los electrones al otro material de chip se libera esta energía. Durante esta liberación de energía se crea luz.

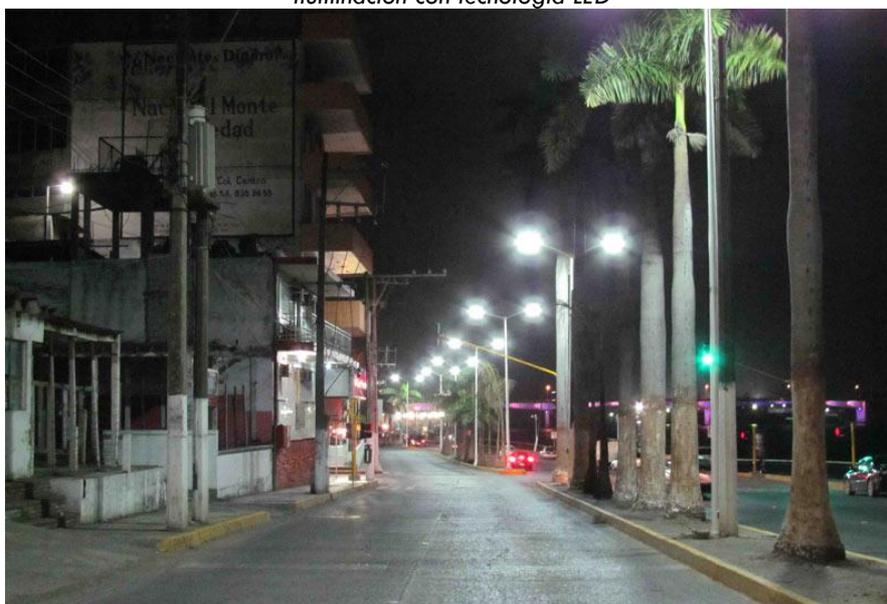
El color de la luz de los LED es resultado de los materiales y procesos que configuran el chip.

Un ejemplo de aplicación de este tipo de tecnología se muestra en el gráfico 36. Iluminación con tecnología de LED.

La gran mayoría de luminarias para alumbrado público con tecnología LED son diseños integrados, es decir, se considera el equipamiento interno de la luminaria como uno sólo, a diferencia de las luminarias en base a lámparas descarga donde cada elemento es posible desmontarlo y reemplazarlo independientemente de los otros componentes.

### Gráfico 36

*Iluminación con tecnología LED*



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

## 1. Terminología LED

LED (diodo emisor de luz): dispositivo de estado sólido que emite radiación en el espectro óptico (luz) cuando es atravesado por una corriente.

Temperatura de la junta o unión ( $T_j$ ): temperatura de la interfaz interna de los LED, en la que se genera la luz. No puede medirse directamente. La vida útil del LED está relacionada con esta temperatura, de modo que se utiliza, junto con otros datos, para estimar la vida útil del LED o del módulo LED. Cuanto mayor sea la temperatura  $T_j$ , menor será la emisión de luz y, además, la duración del diodo se verá reducida.

Alimentador (Driver): dispositivo electrónico utilizado para suministrar alimentación eléctrica a un LED o una matriz LED.

Corriente de alimentación: corriente sostenida suministrada por un driver de corriente constante. La vida útil del módulo LED está relacionada con la corriente de alimentación; a igualdad de temperatura de la unión, cuanto mayor sea la corriente, más corta será su vida útil.

Grupo LED: método utilizado por los fabricantes de LED para agrupar los LED con características similares (por ejemplo, color y eficacia). Al adquirir los LED, el fabricante de la luminaria especifica el rendimiento requerido del LED por medio del número de grupo del fabricante.

$T_{case}$  del LED: temperatura del punto de medición más cercano a la unión. Se utiliza para determinar la  $T_j$  a partir de la información facilitada en la guía de diseño del fabricante del LED.

Chip semiconductor: es el componente emisor de energía dentro del LED, suele tener unas dimensiones de 1,5 mm x 1,5 mm x 1 mm.

Conversión de fósforo: método utilizado para convertir la luz procedente del diodo en luz blanca, confiriendo al LED su característica coloración amarilla bajo la lente de silicona u otros dispositivos ópticos cuando no está encendido.

PCI: placa de circuitos impresos

Elipse de MacAdam: basándose en un punto cualquiera del diagrama de cromaticidad, se describe un límite circundante (que tiene forma elíptica) en el cual el ojo humano es capaz de percibir una diferencia de color respecto al punto original.

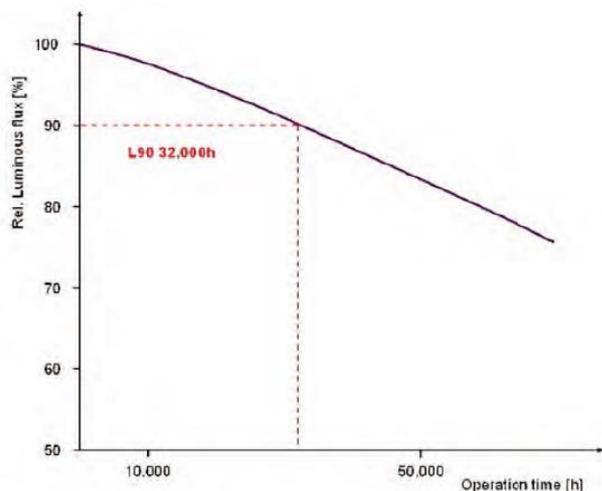
Vida nominal: el tiempo durante el cual un LED o grupo de LED mantiene o supera un flujo luminoso especificado ( $L_{xx}$ ), y al mismo tiempo mantiene o se sitúa por debajo de la fracción de fallo especificada  $F_{xx}$ .

## 2. Indicadores de la vida del LED

Lxx – El valor L indica el porcentaje de flujo luminoso que se ha reducido del valor original al cabo de un determinado tiempo, por ejemplo, L70, L80 o L90. Es el método establecido para especificar la depreciación de lúmenes conforme con la normativa de la Comisión Electrónica Internacional IEC 62717, IEC 62722–1 e IEC 62722–2–1.

**Gráfico 37**

*Flujo luminoso reducido en función del tiempo*



Fuente: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-tecnologia-LED-en-el-alumbrado-fenercom-2015.pdf>

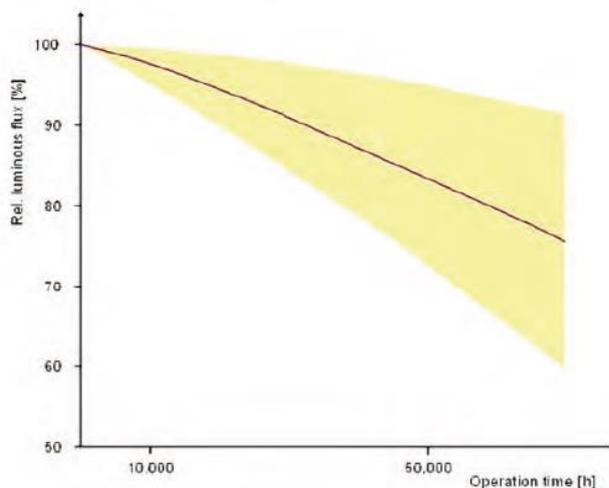
En el Gráfico 37, la línea continua representa el flujo luminoso o salida de luz. Con el paso del tiempo la emisión de luz va decayendo gradualmente. Después de 32 000 horas el valor ha caído al 90%. Esto se define como L90 a 32 000 horas.

Bxx: En la realidad la salida de luz no puede ser descrita como una línea simple. Hay desviaciones entre distintos módulos LED. Algunos pierden una cantidad mayor de flujo luminoso y otros menos. B describe el porcentaje de los LED que se sitúan por debajo de un nivel de depreciación Lxx relacionado. El Gráfico 37 aclara esta particularidad. La línea continua muestra el comportamiento (valor L) de algunos de los módulos LED, pero dentro del área amarilla hay más valores que están por encima o por debajo de dicha línea.

Por ejemplo, se tienen los índices B50 o B10, estos indicadores describen el número previsto de luminarias que no alcanzarán el valor de mantenimiento de lúmenes Lxx precedente. B50 significa que el 50% de los LED no alcanzarán el valor Lxx y el 50 % si lo harán. Así que el promedio sería un mantenimiento de lúmenes de Lxx. A su vez, B10 significa que el 10 % se situarán en o por debajo del valor Lxx y el 90 % lo excederán por lo que respecta únicamente al mantenimiento de lúmenes del LED.

### Gráfico 38

Desviaciones reales de la disminución del flujo luminoso en el tiempo para L90

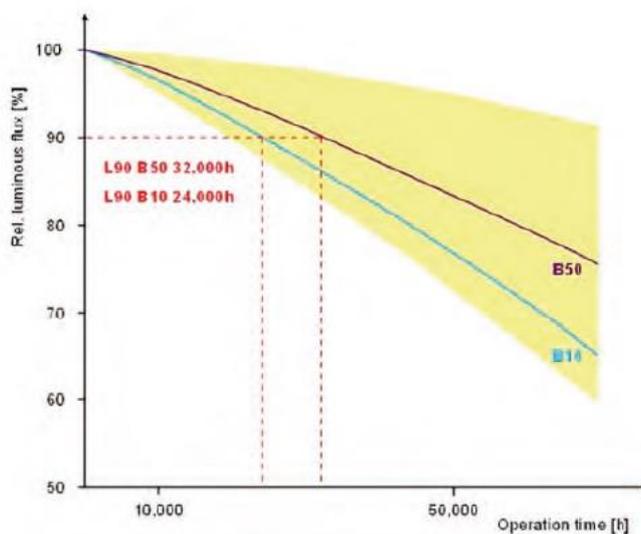


Fuente: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-tecnologia-LED-en-el-alumbrado-fenercom-2015.pdf>

El Gráfico 39 muestra el comportamiento de dos valores típicos: B50 y B10.

### Gráfico 39

Especificación para tecnología LED para L90 B50 a 32 000 horas ó L90 B10 a 24 000 horas



Fuente: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-tecnologia-LED-en-el-alumbrado-fenercom-2015.pdf>

Cxx: Indica el porcentaje de un grupo de LED que ya no emiten luz (LED fallidos). En ocasiones expresado como CxxL00.

Fxx: Fracción (%) de fallo de un grupo de LED o de módulo LED en relación con Lxx. El porcentaje de fallo (Fxx) correspondiente a la vida nominal de la lámpara y módulo LED de la luminaria, se expresa en función del porcentaje de fallos de una cantidad de fuentes de luz LED del mismo tipo al final de su vida nominal. Este porcentaje de fallo (Fxx) pone en evidencia el efecto combinado de todos los componentes de una lámpara y módulo LED, incluidos los mecánicos, en lo referente al flujo luminoso. El efecto de este porcentaje de fallo sobre la fuente de luz LED podría ser de menor flujo luminoso que el afirmado por el fabricante e incluso la carencia de dicho flujo (nada de luz).

Vida proyectada: la proyección de vida del módulo LED está relacionada con la depreciación de lúmenes, un concepto común en las tecnologías convencionales. La mortalidad y la depreciación de lúmenes a lo largo de la vida están relacionadas con la temperatura, por lo que la vida proyectada también está relacionada con la temperatura ambiente.

En términos prácticos, para los productos LED para exteriores se debe tomar en consideración el ambiente que se declara. Para los productos con lámpara de descarga, la práctica habitual de la mayoría de fabricantes consiste en declarar la temperatura ambiente máxima, independientemente de si el producto está concebido para uso en interiores o en exteriores.

En el caso de los productos LED para exteriores, resulta más práctico declarar una temperatura o temperaturas ambiente que se hallen más cercanas a la temperatura ambiente promedio prevista mientras el producto está encendido. La norma IEC 62717 sugiere a los fabricantes que adopten esta práctica, y la han designado como:

Tq: temperatura ambiente en relación con la vida proyectada, o bien temperatura ambiente alrededor de la luminaria LED en relación con el rendimiento luminoso o eficiencia expresada de la misma.

La norma IEC exige que, además de la depreciación de lúmenes, se considere también la mortalidad de los LED. Este parámetro se simboliza actualmente en las normas como Fyy. El número Lxx debería ir seguido del número Fyy, así que se obtiene LxxFyy, que expresa la depreciación de lúmenes y el porcentaje de luminarias que lo alcanzará y no lo alcanzará, tal como se ha descrito anteriormente para el indicador B.

Finalmente, lo que estos indicadores del rendimiento no informan es en qué momento se producirá esta disminución del rendimiento. La norma IEC establece que la información sobre el rendimiento debe incluir una línea cronológica: la vida nominal. Mediante este tercer elemento informativo, el comprador o especificador puede predecir el momento estimado en que se prevé que un grupo de luminarias no alcance el rendimiento declarado en términos de mantenimiento de lúmenes para la instalación. Por lo tanto, no tiene sentido indicar LxxFxx sin una línea temporal y una temperatura relacionada. Así, un fabricante podría declarar una vida proyectada de X horas a una Tq de 20 °C para Europa del Norte y de Y horas a una Tq de 25 °C para Europa del Sur.

Por ejemplo, cuando se expresa, L80F50 – 65 k 25°C, se entiende que en 65 000 horas se espera que el rendimiento en lúmenes de una luminaria haya descendido al 80 % del rendimiento inicial para el 50 % de la población, a una temperatura de operación de 25°C.

Otro ejemplo, si se expresa, L70F10 – 50 k 20°C: se entiende que en 50 000 horas se espera que el rendimiento en lúmenes de una luminaria haya descendido al 70 % del rendimiento inicial para el 10 % de la población a una temperatura de 20°C.

Esta declaración constituirá la base de la garantía del fabricante.

En el primer ejemplo, es muy probable que el nivel de luz promedio de una instalación de alumbrado se aproxime al 80 % del nivel inicial, mientras que en el segundo ejemplo es muy probable que el promedio de la instalación de alumbrado se sitúe significativamente por encima del 70 % del nivel inicial, puesto que se prevé que tan sólo el 10 % de las luminarias se sitúen en o por debajo del 70 % del rendimiento inicial.

La información requerida por la norma no se detiene aquí. Sugiere seis indicadores de rendimiento posibles: L70, L80 o L90 y F10 o F50. Los fabricantes deben publicar los seis indicadores con la vida nominal para cada uno de ellos, de modo que puedan ser comparados de igual a igual con cualquier otro fabricante que esté dispuesto a publicar sus datos de rendimiento en el formato exigido por la IEC.

### 3. Ventajas y Desventajas

A continuación, se presentan ventajas de la tecnología LED que han propiciado su avance en el campo de la iluminación:

- Alta eficacia luminosa

La iluminación LED consume un 80-90% menos de electricidad que una lámpara corriente de características similares. Esto significa un ahorro de aproximadamente un 90% en la factura eléctrica. Con las lámparas LED se ha conseguido la mayor eficacia lumínica, llegando hasta 130-150 lúmenes por vatio en las lámparas más eficientes, y a 80 lúmenes por vatio en lámparas más populares.

- Bajo consumo

Consumen 2,5 veces menos que una lámpara de bajo consumo convencional y 8,9 veces menos que una lámpara incandescente tradicional, esto conlleva un impresionante ahorro económico, que puede llegar al 90% en la factura de la energía eléctrica, y una rápida amortización de la inversión.

- Vida Útil

Las lámparas LED no tienen filamentos u otras partes mecánicas de fácil rotura. No existe un punto en que cesen de funcionar, su degradación es gradual a lo largo de su vida. Se considera una duración entre 30 000 y 50 000 horas, hasta que su luminosidad decae por debajo del 70%, eso significa entre 10 y 30 años en una aplicación de 10 horas diarias 300 días/año, reduciendo los costos de mantenimiento y remplazo.

- Calidad de la luz emitida

Las lámparas LED poseen un IRC alrededor de 90, consiguiendo que se aprecien mucho más los matices de la luz.

- Baja emisión de calor

Al consumir poca energía, las lámparas LED emiten poco calor.

- Respuesta instantánea

El encendido y apagado de las lámparas LED es rápido, a diferencia de otros sistemas no se degrada por el número de encendidos; lo que los hace muy útiles en sistemas de apagado y encendido por detección de movimiento.

- Regulables

Algunos fabricantes tienen modelos de LED que son regulables, permitiendo el control del gasto energético y la creación del ambiente deseado.

- Ecológicos

Las lámparas LED son totalmente reciclables y ecológicas ya que no contienen mercurio, ni materiales tóxicos como las lámparas fluorescentes.

- Resistencia

Las lámparas LED son mucho más resistentes a los golpes, e incluso aquellas que poseen un bulbo de cristal pueden seguir funcionando si este se rompe.

- Aplicables en sistemas de emergencia

Su bajo consumo las hace ideales para sistemas de iluminación de emergencia mediante un sistema de baterías o de generador auxiliar, por lo que pueden ahorrar energía en el dimensionamiento de los sistemas de respaldo de iluminación.

- Versatilidad

Se pueden encontrar de todo tipo de colores, incluso la mezcla de ellos mediante los LED RGB8, lámparas, tubos, paneles planos, tiras, farolas, focos industriales, etc.

- Menores emisiones de CO2

Según el “Ministerio de Energía de Estados Unidos” DOE9, la iluminación consume el 18% de la electricidad producida en los Estados Unidos, por lo que la expansión del uso de lámparas LED reduciría la cantidad de emisiones de CO2, gas considerado responsable del calentamiento global.

---

8 LED RGB: tira LED compuesta por los colores, rojo (Red), verde (Green), y azul (Blue), y que al variar la intensidad de corriente de cada LED se producen diferentes colores.

9 <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/energysavingsforecast14.pdf>

- Ahorro en cableado de instalación

Debido a que el consumo de energía es mucho menor, las instalaciones eléctricas de las lámparas de LED se hacen con cables de calibre menor, esto se traduce directamente en un ahorro sustancial en el cableado y en las instalaciones. Además, en muchas de las sustituciones, se trata de cambiar una lámpara por otra, ya que los casquillos de las lámparas LED y las tradicionales son iguales.

A continuación, se describen algunas desventajas de las lámparas LED:

- Temperatura ambiente

La temperatura ambiente es muy importante en su vida útil, ya que, una subida de 25 grados en dicha temperatura puede producir una reducción del 66 % de su vida útil (subida medida sobre la temperatura óptima de utilización indicada por el fabricante). Esto puede influir en su utilización en fábricas o lugares donde se realicen procesos industriales, que suelen conllevar altas temperaturas.

- Precios elevados

La principal desventaja de las lámparas LED es que su precio es notablemente superior al de las lámparas tradicionales.

- Equipos auxiliares especializados

Necesita usar fuentes de alimentación estabilizadas.

## Lámparas de Inducción

Las lámparas de inducción son dispositivos cuyo funcionamiento está basado en el principio de descarga de gas de mercurio a baja presión, la principal característica del sistema de la lámpara, es que prescinde de la necesidad de los electrodos para originar la ionización. En cambio, utiliza una antena interna, cuya potencia proviene de un generador externo de alta frecuencia para crear un campo electromagnético (producido en dos anillos de ferrita) dentro del recipiente de descarga, y esto es lo que induce la corriente eléctrica en el gas para originar su ionización. La ventaja principal que ofrece este avance es el aumento en la vida útil de la lámpara.

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 energéticos en el tubo de descarga. Los electrodos en las lámparas a descarga de alta presión, producen además una gran cantidad de radiación infrarroja desaprovechada, la cual disminuye la eficiencia de la lámpara.

Un ejemplo de aplicación de este tipo de tecnología se muestra en el Gráfico 40.

## Gráfico 40

*Iluminación con tecnología de inducción electromagnética*



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

El sistema de la lámpara se forma, 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 lumínica con una buena eficacia.

*Eficacia luminosa:*

La eficacia luminosa en este tipo de lámparas es de aproximadamente 80 lm/W. Con esta tecnología se ha logrado alcanzar eficiencias similares a las de lámparas de descarga, tales como las de haluros metálicos. En el Cuadro 9 se presenta el flujo luminoso para lámparas de inducción magnética potencias de 100 W y 150 W.

## Cuadro 9

*Características lámparas de inducción magnética*

Potencia (W)	Flujo Luminoso (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)
100	8000	80,0
150	12 000	80,0

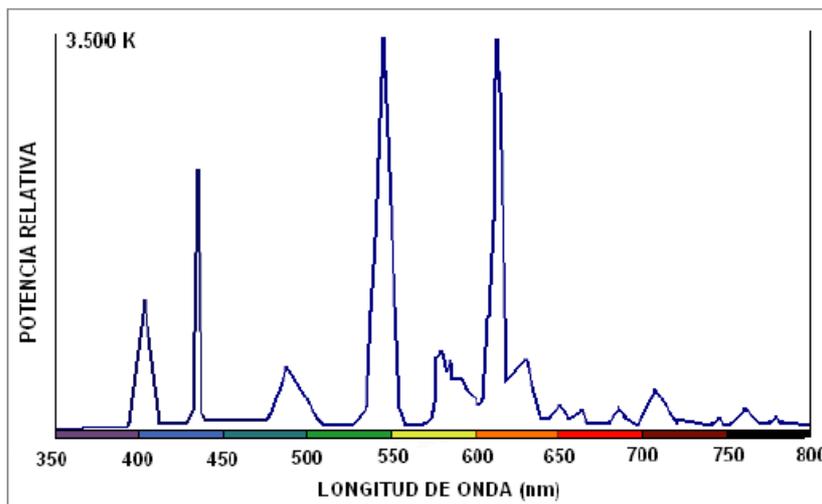
Fuente: Manual de Luminotecnia 2002. [www.indal.es](http://www.indal.es)

*Características cromáticas:*

El espectro de emisión de una lámpara de inducción electromagnética logra mejorar considerablemente la capacidad de reproducir los colores en relación a la gran mayoría de las lámparas con tecnologías de descarga, alcanzando gran parte del espectro visible. Esto se puede ver en el Gráfico 41 donde se muestra el espectro de emisión de una lámpara de inducción electromagnética.

### Gráfico 41

Distribución espectral lámpara de inducción electromagnética



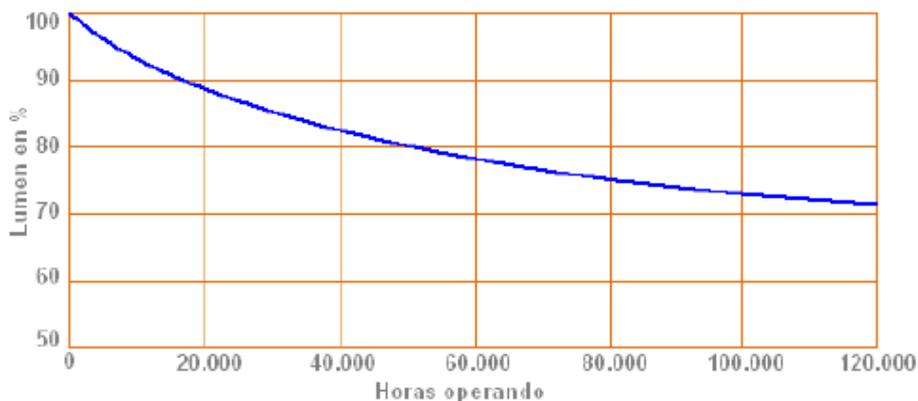
Fuente: Manual de Luminotecnia 2002. [www.indal.es](http://www.indal.es)

#### Vida útil y depreciación del flujo:

Una diferencia considerable en comparación con las lámparas de descarga es su extensa vida útil la que alcanza aproximadamente las 60 000 horas de funcionamiento. La depreciación del flujo luminoso comienza a ser notoria aproximadamente a las 40 000 horas de funcionamiento, periodo en que, según muestra la curva de depreciación luminosa mostrada en el Gráfico 41 el flujo luminoso se reduce a aproximadamente un 80% del flujo inicial de la lámpara.

### Gráfico 42

Depreciación luminosa lámpara de inducción electromagnética



Fuente: Catálogo de Productos LVD Inductions Lamps.

Las lámparas de inducción magnética para uso público, comercial e industrial son la última generación de lámparas ahorradoras con una durabilidad declarada por fabricantes de entre 60 000 y 100 000 horas y con una garantía de al menos 5 años. Adicionalmente ofrecen mejores prestaciones en varios aspectos que se resumen a continuación:

- La alta eficiencia de este tipo de lámparas hace que supongan un gran ahorro respecto a las tecnologías tradicionales provocando una reducción drástica de la factura eléctrica.
- Tienen una larga vida útil puesta que trabajan sin filamentos ni electrodos que se desgasten ni se rompan. Adicionalmente tienen una mínima depreciación de lúmenes (baja intensidad luminosa con el tiempo) comparada con otros tipos de lámparas debido a que no existe la evaporación del filamento ni la deflexión.
- Reducción de los costes de mantenimiento y operación
- Las lámparas de inducción trabajan a una temperatura muy inferior a otras lámparas de descarga, por lo tanto, se reducen los costos asociados a climatización y ventilación.
- Las lámparas de descarga tienen un rendimiento cromático superior al resto de las lámparas de descarga lo que implica un mejor confort visual y reconocimiento de colores.
- La velocidad de encendido de las lámparas de descarga es muy superior al resto de las lámparas de descarga.
- Estas lámparas son capaces de encenderse a temperaturas de hasta  $-40^{\circ}\text{C}$
- Al utilizar un equipo de encendido de alta frecuencia, las lámparas de inducción no causan el incómodo parpadeo y deslumbramiento de otras fuentes tradicionales de luz. Por lo que proveen mejora del confort y reducción de la fatiga visual.
- Las lámparas de inducción no emiten ruido como las lámparas de descarga

Sin embargo, también presentan las siguientes desventajas:

- Alto costo inicial
- En este momento están limitadas en la variedad que se ofrece al mercado, por ejemplo, en los valores de potencia.
- Físicamente son más grandes en comparación con las tecnologías tradicionales, luego de manera general no es posible reutilizar luminarias existentes
- Dañinas para el medio ambiente y listadas de riesgo personal debido al uso de mercurio.

## Análisis Comparativo de Tecnologías

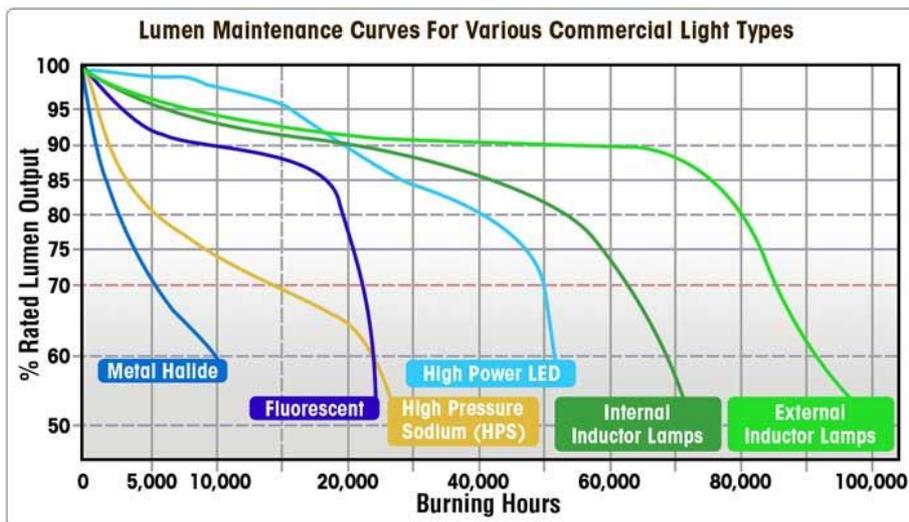
Para tener mayor claridad sobre las principales diferencias de los tipos de lámparas usadas en AP es importante hacer una comparación de sus curvas de flujo luminoso a lo largo del tiempo de operación, esta comparación se presenta en el Gráfico 42.

En el Gráfico 43 se puede observar que de acuerdo con los datos presentados por los fabricantes las dos tecnologías más convenientes en cuanto a su vida útil (referida al descenso hasta el 70% de su flujo luminoso inicial), son la tecnología LED y la de Inducción Magnética. Esto significa que si los reemplazos de lámparas se hacen utilizando estas tecnologías éstas tienen que hacerse de forma menos frecuente y por lo tanto el costo de mantenimiento se reduce considerablemente.

Asimismo, es importante considerar la definición de la vida útil de la luminaria considerando que la luminaria ha perdido su funcionalidad cuando el flujo luminoso alcanza el 70% del valor inicial, lo cual se presenta en el diagrama de barras del Gráfico 44.

**Gráfico 43**

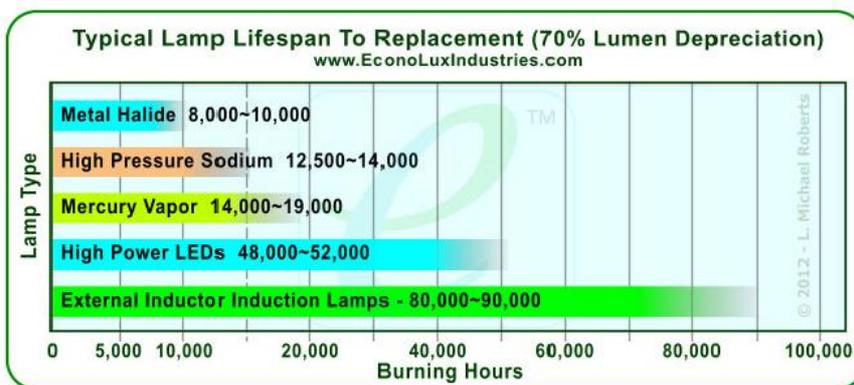
Comparación de Curvas de Flujo Luminoso



Fuente: <http://www.econoluxindustries.com/Library/EconoLux%20Induction%20Lamps%20Vs%20LEDs.pdf>

**Gráfico 44**

Comparación de tiempo de vida útil al 70% del Flujo luminoso



Fuente: <http://www.econoluxindustries.com/Library/EconoLux%20Induction%20Lamps%20Vs%20LEDs.pdf>

En el Cuadro 10 se presenta la comparación de las diferentes tecnologías de lámparas a partir de parámetros relevantes como eficacia luminosa, vida útil, temperatura de color e índice de reproducción cromática.

A continuación, se efectúa un análisis comparativo de la aplicación que tienen las lámparas de aditivos metálicos y de vapor de sodio en alta presión por ser estas tecnologías las más utilizadas en la actualidad en el alumbrado público de vialidades.

Para el alumbrado público de vialidades, las lámparas de vapor de sodio de alta presión dentro de luminarias con ópticas semi-cutoff (haz semicortado) se emplean en casos donde se requiere

altos niveles de iluminación, gran agudeza visual y alta visión de contraste, sin que sea indispensable la visión de los colores. Por ejemplo, en calles, calzadas, ejes viales, carreteras, autopistas, vías primarias y secundarias, bulevares entre otros.

En caso de requerir de altos niveles de iluminación para el alumbrado público de vialidades, como corredores de tipo turístico y comercial, los cuales cuentan con altos flujos de personas en circulación o traslado y que requieren de una adecuada visión de los colores, se utilizan lámparas de aditivos metálicos.

Para vialidades de baja velocidad, como calles y vías secundarias entre otros, que requieren de bajos niveles de iluminación, la utilización de lámparas de aditivos metálicos no es la adecuada, ya que no se requiere de una perfecta visión de los colores, sino únicamente de una buena agudeza visual y alta visión de contraste.

El uso de lámparas de aditivos metálicos es adecuado para el alumbrado público de áreas urbanas, como plazas, zócalos, parques, jardines, alamedas, andadores y quioscos entre otros, en donde la visión de los colores es muy importante.

En vialidades de alta velocidad, como bulevares, calzadas, ejes viales, autopistas, carreteras, avenidas y vías primarias entre otros, que requieren de altos niveles de iluminación se utilizan lámparas de aditivos metálicos dentro de luminarias con ópticas cutoff (haz cortado), las cuales evitan que el flujo luminoso sea enviado hacia la parte superior de la luminaria y se tenga un alto control vertical de la intensidad luminosa, lo cual permite limitar la luminancia (brillantez) hacia el ángulo visual de los conductores.

En vialidades cubiertas como túneles o pasos a desnivel donde se requieren altos valores de iluminación, menor tiempo de recuperación ante el deslumbramiento, buena visión de contraste y una menor luminancia (brillantez) de la lámpara, se utilizan lámparas de vapor de sodio en alta presión.

Las lámparas de aditivos metálicos tienen menor eficacia luminosa, vida promedio, depreciación del flujo luminoso, visión de contraste, agudeza visual, contaminación astronómica y luminancia (brillantez) con respecto a las lámparas de vapor de sodio de alta presión, características que deben ser consideradas para determinar si realmente la utilización de las lámparas de aditivos metálicos son una buena opción en el alumbrado público de vialidades.

Por otro lado, la tecnología LED cuenta con una vida útil superior a las demás tecnologías convencionales, con la desventaja de que su costo inicial resulta notablemente superior al de las lámparas tradicionales. Sin embargo, se prevé que su precio siga bajando gracias a los avances de la tecnología LED. Adicionalmente, se debe considerar que el menor consumo energético de las lámparas LED se traduce en un ahorro desde el punto de vista de los costos a lo largo de su vida útil.

Adicionalmente, la tecnología LED ofrece ventajas como su mayor eficacia lumínica, mejor calidad de la luz ofreciendo mayor nitidez y cobertura con una menor potencia instalada. Estas características hacen que tanto peatones como conductores de vehículos tengan una mejor percepción visual, al mismo tiempo que mejora la seguridad en la vía pública.

Para la aplicación de la tecnología LED para proyectos de iluminación es necesario considerar algunos factores para no ser sorprendidos por productos deficientes o que poco o nada tienen que ver con las aplicaciones requeridas, tales como:

- Se debe efectuar evaluaciones de desempeño en campo utilizando las prácticas y estándares recomendados, por ejemplo, por la IES (Illuminating Engineering Society of North America). Es necesario utilizar el mejor software disponible para predecir el rendimiento de las luminarias en su aplicación, además de evaluar los estudios de casos relevantes y creíbles.
- Se debe solicitar que el fabricante de la luminaria de LED proporcione un informe fotométrico certificado, por ejemplo, según la recomendación IESNA LM-79-08 – “Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products”, de un laboratorio aprobado por el Departamento de Energía para validar las afirmaciones de desempeño fotométrico del fabricante.
- Se debe solicitar al fabricante la información correspondiente a la depreciación de la luminaria LED certificada por ejemplo según la recomendación IESNA LM-80-08 “Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources”, que se relaciona directamente con el nivel de rendimiento del producto.
- Se debe solicitar al fabricante la información correspondiente a la depreciación de la luminaria LED certificada por ejemplo por la recomendación IESNA LM-82-12– Characterization of LED Light Engines and LED Lamps for Electrical and Photometric Properties as a Function of Temperature.
- Se debe analizar la inversión inicial frente al tiempo útil de la luminaria y considerar los beneficios del LED, como rendimiento lumínico, consumo total, mantenimiento y garantía. La luminaria completa debe ser construida para durar hasta el final de la vida útil.
- Una comparación exacta entre distintas alternativas debe evaluar los niveles de iluminación al final de la vida útil de la lámpara.

Finalmente, en el alumbrado público de vialidades, los fabricantes de luminarias con lámparas de inducción magnética sostienen que esta tecnología tiene la capacidad operativa para sustituir las luminarias con lámparas de descarga de alta presión (vapor de sodio y aditivos metálicos).

En México por ejemplo (Lagos de Moreno, Jalisco y en Toluca, Estado de México) se cuenta con experiencia de sustitución de luminarias de lámparas de vapor de sodio en alta presión de 250 W para alumbrado público de vialidades por luminarias que operan con lámparas de inducción magnética de 100 W.

Estas luminarias con lámparas de inducción magnética de 100 W cumplen con los requerimientos mínimos de rendimiento fotométrico de la Norma ANSI-IES RP8 “Recommended Practice for Roadway Lighting” de Estados Unidos. En el caso de México existe una controversia sobre la prohibición o no de su uso en el país, y el cumplimiento o de las características ofrecidas<sup>10</sup>. Tal controversia continúa a la fecha. En principio se cumpliría con la Norma Oficial Mexicana NOM-064-SCFI-2000 (seguridad) de México y con la especificación ESP 4412 del sello FIDE (eficiencia energética) de México.

En general podría manifestarse que las tecnologías de inducción y LED están en maduración y pleno desarrollo tecnológico, y que todas las características resaltadas por los fabricantes son el resultado de pruebas de laboratorio, luego, aun cuando al inicio de su operación podrían cumplir con ciertas propiedades garantizadas, no existe evidencia de campo que tales características se mantengan en el tiempo de acuerdo con las condiciones de servicio a las que son expuestas las lámparas. Por lo cual, se debe tener mucha precaución a la hora de invertir en este tipo de tecnologías por su costo mayor comparado con las tecnologías tradicionales.

Para la actualización tecnológica desde lámparas existentes, aunque en el mercado se consiguen diferentes opciones de renovación (o también llamado “retrofit”) a partir de las luminarias existentes, se debe tener presente que no basta con reemplazar la fuente luminosa (es decir el bombillo/lámpara), se debe prever que normalmente las luminarias están diseñadas para una fuente de luz (lámpara) específica. Particularmente, si se piensa en el reemplazo a LED o a inducción magnética, se debe considerar que estas tecnologías necesitan de una buena disipación de calor para funcionar adecuadamente y asegurar su vida útil.

---

<sup>10</sup> <http://www.wwestmexico.com/mitosyrealidades.pdf>  
[http://www.vtsmexico.com/files/inducccion\\_magnetica.pdf](http://www.vtsmexico.com/files/inducccion_magnetica.pdf)

## Cuadro 10

## Comparación entre tecnologías utilizadas en fuentes de iluminación

Tipo de lámpara	Eficacia Lm / W	Aplicación	Costo Inicial	Costo de Operación	Vida útil Horas	Temperatura de color Tc	Temperatura de lámpara	Índice de Reproducción Cromática IRC	Decaimiento en 2000 horas	Arranque	Espera de encendido
Incandescente	14	Residencial y decorativo (entrados en desuso)	Bajo	Alto	1000	2200 – 3200°K	170 - 200 °C	> 80	≥ 50%	Instantáneo	No
Fluorescente	50 - 90	Áreas industriales y comerciales a baja altura, oficina, escuelas, residencial (CFL)	Medio	Medio	10 000 CFL – 8 000	2700 – 6500°K	125 °C	80	≥ 20%	1 - 3 s.	No
Vapor de Mercurio	35 - 60	Grandes áreas industriales, bodegas, patios, grandes alturas de montaje	Alto	Medio	25 000	2600 – 6500°K	180 - 250 °C	50 - 95	≥ 30%	> 10 s.	> 20 s.
Vapor de Mercurio con halogenuros / haluros metálicos	60 - 96	Grandes áreas a grandes alturas, donde se necesita buen rendimiento del color	Alto	Medio	10 000	3000 – 6000°K	400 °C	65 - 95	≥ 25%	5 - 10 min.	> 5 min.
Vapor de sodio de alta presión	80 - 150	Grandes alturas de montaje, patios de maniobras, autopistas, avenidas, parques, estadios, etc. Regular rendimiento de color	Alto	Bajo	25 000	2000 – 2500°K	320 °C	< 60	≥ 15%	> 15 s.	> 3 min.
Vapor de sodio de baja presión	100 - 200	Autopistas, avenidas y demás sitios donde no importa la reproducción del color, pero si una buena visibilidad	Alto	Muy bajo	25 000	1800° K	500 - 800 °C	< 40	≥ 13%	> 5 s.	No
Inducción electromagnética	80 - 110	Autopistas, avenidas, túneles, parques, industria, oficinas, centros comerciales, Buen rendimiento del color	Alto	Muy bajo	60 000 – 100 000	2700 – 7000°K	70 °C	> 80	≤ 5%	Instantáneo	No
LED	60 - 110	Decorativo, residencial, autopistas, avenidas, parques, industria, oficinas, centros comerciales. Buen rendimiento del color	Muy Alto	Muy bajo	50 000	3000 - 7500°K	70 °C	> 80	≤ 5%	Instantáneo	No

Fuente: Elaboración propia

## Análisis Ambiental

Teniendo en cuenta la relevancia que tiene la conservación del medio ambiente, en el Cuadro 11 se presenta un resumen por tipo de tecnología de iluminación del contenido de sustancias contaminantes. Se observa que, de las tecnologías modernas, la LED no presenta contenido significativo de sustancias nocivas, en tanto que las lámparas de inducción contienen mercurio y otros elementos no amigables con el medio ambiente; la tecnología LED es la única que tiene la ventaja de ser 100% reciclable.

### Cuadro 11

Contenido de sustancias contaminantes de los diferentes tipos de iluminación

Lámpara	Mercurio (gr)	Plomo (gr)	Itrio (gr)	Tierras raras (gr)	Antimonio (gr)	Bario (gr)	Estroncio (gr)
Sodio alta Presión	0,0060	0,6000	0,0120	0,0030	0,0000	0,1260	0,0900
Inducción	0,0100	0,0100	0,1200	0,0800	0,0300	0,0600	0,2800
Fluorescente tubular	0,0100	0,0100	0,1200	0,0800	0,0300	0,0600	0,2800
Halogenuro Metálico	0,0045	0,4500	0,1050	0,0045	0,0000	0,0030	0,0015
Vapor de mercurio	0,0060	1,5000	0,3600	0,0390	0,0000	0,0060	0,1500
Fluorescente Compacta	0,0035	0,0104	0,1260	0,0800	0,0300	0,0600	0,2800
LED	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OLED	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Incandescente	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Halógena	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al riesgo fotobiológico<sup>11</sup>, las fuentes de luz se clasifican en 4 niveles:

- Exento de riesgo
- Riesgo bajo
- Riesgo moderado
- Riesgo alto

Las lámparas que se clasifican dentro del grupo exentos de riesgo (RG0) emiten radiaciones que no representan ningún riesgo fotobiológico para el ojo o la piel si están expuestas a: 8 horas de emisión actínica ultravioleta, 16 minutos de radiación ultravioleta próxima, 2,8 horas de luz azul, 10 segundos de emisión térmica o 1000 segundos de radiación infrarroja.

Las lámparas que se clasifican dentro del grupo de bajo riesgo (RG1) son lámparas que emiten radiaciones superiores a los límites permitidos en el grupo de exento, pero no presentan ningún riesgo fotobiológico para la piel o el ojo para una exposición de 10 000 segundos de emisión actínica ultravioleta, 300 segundos de radiación.

Las lámparas que se clasifican dentro del grupo de riesgo moderado (RG2) son lámparas que emiten radiaciones superiores a los límites permitidos en el grupo bajo, pero no presentan ningún riesgo fotobiológico para la piel o el ojo para una exposición de 1000 segundos de emisión

<sup>11</sup> El término "riesgo fotobiológico" alude a la capacidad de la luz de dañar la vista, especialmente en los extremos del espectro visual. En el extremo azul del espectro visual, las aprensiones conciernen a los efectos nocivos de la luz ultravioleta, mientras que en el extremo rojo se preocupan por los daños de la luz infrarroja.

actínica ultravioleta, 100 segundos de radiación ultravioleta próxima, 0,25 segundos de luz azul, 0,25 segundos de emisión térmica o 10 segundos de radiación infrarroja.

Las lámparas que excedan los límites del grupo de riesgo moderado son consideradas de riesgo alto (RG3) – Norma EN-62471:2009 “Seguridad fotobiológica de lámparas y de los aparatos que utilizan lámparas”.

## Capítulo 3

### Caracterización Técnica de las Luminarias considerando Normativas

## Caracterización Técnica de las Luminarias considerando Normativas

En este capítulo se presenta un resumen de la experiencia de diferentes países con relación a las exigencias o requisitos técnicos establecidos para los componentes de los sistemas de alumbrado público.

### Experiencia Internacional caso Colombia

#### 1. Antecedentes

De acuerdo con el Decreto 2424 del 2006 por el cual se regula la prestación del servicio de alumbrado público, se define éste como un servicio público no domiciliario que se presta con el objeto de proporcionar exclusivamente la iluminación de los bienes de uso público y demás espacios de libre circulación con tránsito vehicular o peatonal, dentro del perímetro urbano y rural de un municipio o Distrito.

El servicio de alumbrado público comprende las actividades de suministro de energía al sistema de alumbrado público, la administración, la operación, el mantenimiento, la modernización, la reposición y la expansión del sistema de alumbrado público. Un objetivo principal del servicio es proporcionar condiciones de iluminación que generen sensación de seguridad a los peatones y una adecuada visibilidad a los conductores de vehículos en zonas con alta circulación peatonal.

Por otro lado, para buscar un desarrollo sostenible, garantizar un suministro energético, mitigar el impacto de la explotación de recursos y hacer de los procesos sistemas eficientes, el uso racional y eficiente de la energía (URE) se perfila como una alternativa viable, la cual no sólo contempla la elaboración de parámetros cualitativos, sino también de herramientas técnicas aplicables y cuantificables que sirven como indicadores más precisos que los tradicionales económicos, demográficos o sociales, para medir la incidencia del consumo actual en las reservas energéticas, la calidad de los procesos, precio de los recursos, desde la explotación hasta el usuario final, para así tomar medidas correctivas.

El enfoque URE contempla medidas variadas, que van desde hábitos de consumo y medidas locales, hasta sistemas de gran tamaño, implementación de sistemas de medición, control, diseño efectivo, etiquetado de equipos eficientes, redes inteligentes y fuentes no convencionales de energía, siendo todas ellas de competencia multidisciplinaria pues para su aplicación es necesario una interacción entre aspectos eléctricos, civiles, sociales, económicos, químicos y termodinámicos, entre otros, lo que indica que todos los flancos de acción deben ser cubiertos, siendo la regulación y normalización un primer paso para tal fin.

En este contexto en Colombia, el Uso Racional de Energía (URE) es un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, como lo señalan la Ley 697 de 2001 - URE y el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales – PROURE.

Estas iniciativas del gobierno colombiano están orientadas a la consolidación de una cultura para el manejo sostenible y eficiente de los recursos naturales en el entorno energético, al mejoramiento de las condiciones económicas, técnicas, regulatorias y de información para impulsar un mercado de bienes y servicios energéticos eficientes, al fortalecimiento de las instituciones para gestionar el desarrollo de proyectos y programas, así como la concepción y aplicación de incentivos, incluyendo los tributarios están concebidas no solo como instrumentos para mejorar la seguridad

energética y contribuir a la protección del medio ambiente, sino como motor de competitividad industrial, comercial y de desarrollo económico del país.

En el documento “Alumbrado público exterior. Guía didáctica para el buen uso de la energía” se indica que el 3% del consumo total de energía eléctrica en Colombia para el año 2005 fue por funcionamiento del alumbrado público. Aunque este porcentaje de energía es bajo, se puede distinguir al alumbrado público como un importante foco para el ahorro de energía y la aplicación del uso racional de la energía o URE. La demanda estimada de energía para el año 2007 era de alrededor de 52 850 GWh, con lo cual este 3% se traduce en 1 600 GWh que en costos, con la tarifa promedio de 228 \$/kWh, representa la no despreciable suma de \$364 800 millones de pesos al año.

El Ministerio de Minas y Energía de Colombia expidió la Resolución 181331 de agosto 6 de 2009, mediante la cual se adopta el “Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público” RETILAP que entraría en vigencia el 20 de febrero de 2010. Este reglamento Técnico tiene por objeto fundamental establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar: los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos originados, por la instalación y uso de sistemas de iluminación.

## 2. Normas Aplicables al Alumbrado Público

A continuación, se describe la legislación colombiana que regula el servicio de alumbrado público:

### a. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP)

El RETILAP establece las reglas generales que se deben tener en cuenta en los sistemas de iluminación interior y exterior, y dentro de estos últimos, los de alumbrado público en el territorio colombiano, inculcando el uso racional y eficiente de energía (URE) en iluminación. En tal sentido señala las exigencias y especificaciones mínimas para que las instalaciones de iluminación garanticen la seguridad y confort con base en su buen diseño y desempeño operativo, así como los requisitos de los productos empleados en las mismas.

El reglamento igualmente es un instrumento técnico-legal para Colombia, que sin crear obstáculos innecesarios al comercio o al ejercicio de la libre empresa, permite garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en los sistemas de iluminación interior y exterior, cumplan con los siguientes objetivos legítimos:

- La seguridad nacional en términos de garantizar el abastecimiento energético mediante uso de sistemas y productos que apliquen el URE
- La protección de la vida y la salud humana.
- La protección de la vida animal y vegetal.
- La prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario.
- La protección del medio ambiente

Este reglamento está dividido en diez capítulos cuyos contenidos generales son los siguientes:

- Capítulo 1. Introducción
- Capítulo 2. Requisitos generales para un sistema de iluminación
- Capítulo 3. Requisitos de productos para iluminación y alumbrado público

- Capítulo 4. Diseños y cálculos de iluminación interior
- Capítulo 5. Alumbrado público e iluminación exterior
- Capítulo 6. Proyectos de alumbrado público
- Capítulo 7. Interventoría del servicio de alumbrado público
- Capítulo 8. Vigilancia, control, demostración de la conformidad y regímenes sancionatorios
- Capítulo 9. Disposiciones transitorias
- Capítulo 10. Interpretación, revisión, actualización y vigencia del reglamento

Todos los capítulos, excepto el 4, tienen relación con los sistemas de alumbrado público. A continuación, se realizará una breve descripción de los conceptos fundamentales presentes en esta reglamentación sobre los sistemas de alumbrado público.

En el capítulo 1 “Introducción” se encuentra definidos los productos, excepciones en instalaciones y productos, y las principales definiciones relativas a la iluminación.

En el capítulo 2 “Requisitos generales para un sistema de iluminación”, se encuentra los requerimientos principales de un sistema de iluminación, generalidades del diseño de iluminación, la iluminación en el análisis de riesgos y la medición de variables fotométricas.

En el capítulo 3 “Requisitos de productos para iluminación y alumbrado público” se presentan requisitos generales de los productos de iluminación o alumbrado público, fuentes luminosas eléctricas, luminarias, balastos, arrancadores para lámparas de descarga en gas, condensadores para conjunto eléctrico de lámparas de descarga en gas, portabombillas o portalámparas, fotocontroles para alumbrado público, contactores para control en grupo de sistemas de iluminación, postes exclusivos para alumbrado público y productos del alcance del RETILAP que no tienen definidos los requisitos específicos.

En el capítulo 5 “Requisitos generales de diseño de alumbrado público” se encuentran los requisitos técnicos del diseño de alumbrado públicos según el tipo y el uso de las vías, así como también se establecen los niveles exigidos de luminancia e iluminancia y los métodos de cálculo a ser utilizados en la etapa de diseño. Adicionalmente, se definen las características de las redes de distribución que alimentan el alumbrado público, y los procedimientos para la evaluación y mediciones fotométricas.

En el capítulo 6 “Proyectos de alumbrado público” se determina el procedimiento que se debe seguir con el propósito de evaluar las características y beneficios de un proyecto de alumbrado público.

En el capítulo 7 “Interventoría del servicio de alumbrado público” se presentan los requerimientos para los sistemas de información, mantenimiento e interventoría, los cuales son necesarios para facilitar la operación y el mantenimiento del alumbrado público.

En el capítulo 8.” Vigilancia, control, demostración de la conformidad y regímenes sancionatorios”, se describen las entidades de vigilancia, evaluación de la conformidad y régimen sancionatorio.

En el capítulo 9 “Disposiciones transitorias” se encuentran explicados aspectos de transitoriedad en los mecanismos para demostración de la conformidad y en algunos requisitos.

En el capítulo 10 “Interpretación, revisión, actualización y vigencia del reglamento” se detalla las responsabilidades de interpretación, revisión y actualización, y se establece además que este reglamento tendrá una vigencia máxima de 5 años o menos según la necesidad de revisión.

*b. Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE)*

Este reglamento establece las medidas que tienden a garantizar la seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Estas prescripciones parten de que se cumplan los requisitos civiles, mecánicos y de fabricación de equipos.

Adicionalmente, señala las exigencias y especificaciones que garanticen la seguridad de las instalaciones eléctricas con base en su buen funcionamiento, la confiabilidad, calidad y adecuada utilización de los productos, es decir, fija los parámetros mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas.

Igualmente, es un instrumento técnico-legal para Colombia, que sin crear obstáculos innecesarios al comercio o al ejercicio de la libre empresa, permite garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica, cumplan con los siguientes objetivos legítimos:

- La protección de la vida y la salud humana
- La protección de la vida animal y vegetal
- La preservación del medio ambiente
- La prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario

El Ministerio de Minas y Energía expidió el 7 de abril de 2004 la resolución 18-0398, por lo cual se expide el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE. Las principales modificaciones que ha sufrido el Reglamento de Instalaciones Eléctricas desde su entrada en vigencia en el segundo semestre de 2005, estuvieron orientadas a perfeccionar las formas de demostrar el cumplimiento del mismo y hacer claridad en aquellos requisitos que podrían tener dificultades de interpretación y por ende de poder probar su cumplimiento o incumplimiento. Por esto se han expedido varias resoluciones las cuales pueden ser revisadas en el sitio web del Ministerio de Minas y Energía<sup>12</sup>.

Posteriormente, el 30 de agosto de 2013 el Ministerio de Minas y Energía expidió la Resolución 90708 por la cual se expide el nuevo Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas versión 2013 [3], que se encuentre vigente, el cual está dividido en trece capítulos:

- Capítulo 1. Disposiciones generales
- Capítulo 2. Requisitos técnicos esenciales
- Capítulo 3. Requisitos de productos.
- Capítulo 4. Requisitos específicos para el proceso de generación.
- Capítulo 5. Requisitos específicos para el proceso de transmisión.
- Capítulo 6. Requisitos específicos para el proceso transformación (subestaciones).
- Capítulo 7. Requisitos específicos para el proceso de distribución.
- Capítulo 8. Requisitos específicos para instalaciones de uso final.
- Capítulo 9. Prohibiciones.

---

<sup>12</sup> Ver <https://www.minminas.gov.co/retie>

- Capítulo 10. Demostración de la conformidad.
- Capítulo 11. Vigilancia, control y régimen sancionatorio.
- Capítulo 12. Disposiciones transitorias.
- Capítulo 13. Revisión y actualización.

c. *Norma Técnica Colombiana (NTC 2050)*

El Código Eléctrico Colombiano NTC 2050, primera actualización del 25 de noviembre de 1998, se basa en el NEC (National Electric Code) o NFPA 70 que es una norma regional para la instalación segura de conductores y equipo eléctrico en los Estados Unidos<sup>13</sup>.

La NTC 2050 contiene los lineamientos en cuestión de seguridad para las instalaciones eléctricas en construcciones, los cuales procuran garantizar al usuario una utilización segura y confiable de las instalaciones eléctricas.

Desde la perspectiva de la ingeniería es una herramienta fundamental para el sector eléctrico colombiano en general y para los profesionales que se desempeñan en esta área, ya que establece los requisitos que unos deben solicitar y otros deben aplicar, brindando transparencia en los procesos de contratación y calidad en la ejecución de los trabajos, todo enfocado al beneficio de los clientes y usuarios en todos los niveles.

La norma NTC 2050 está dividida en nueve capítulos y dos apéndices:

- Capítulo 1. Generalidades.
- Capítulo 2. Alambrado y protección de las instalaciones eléctricas
- Capítulo 3. Métodos y materiales de las instalaciones.
- Capítulo 4. Equipos de uso general.
- Capítulo 5. Ambientes especiales.
- Capítulo 6. Equipos especiales.
- Capítulo 7. Condiciones especiales.
- Capítulo 8. Sistemas de comunicaciones.
- Capítulo 9. Tablas y ejemplos.

### 3. Requisitos generales establecidos en el RETILAP

Las fuentes luminosas deben cumplir los requisitos establecidos en el RETILAP y demostrarlo mediante un certificado de conformidad de producto, expedido por un organismo acreditado<sup>14</sup>.

---

<sup>13</sup> A pesar del uso del término "nacional", el NEC no es una ley federal de Estados Unidos. Por lo general es adoptado por los estados y municipios, en un esfuerzo para estandarizar su cumplimiento de las prácticas de seguridad eléctrica. En algunos casos, el NEC se modifica, altera y puede incluso ser rechazado en lugar de regulaciones regionales según lo votado por los órganos de gobierno local.

<sup>14</sup> El esquema de demostración de la conformidad con el RETILAP, tanto para productos como para las instalaciones de iluminación y alumbrado público, estará basado en el Subsistema Nacional de la Calidad. Los organismos de certificación, inspección, los laboratorios de pruebas y ensayos y la calibración de equipos de medida para productos e instalaciones de iluminación y alumbrado público de que trata este Reglamento, deben atender los lineamientos del Decreto 4738 de 2008 y cumplir las normas que sobre la materia haya expedido o expida el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia ONAC y demás autoridades o entidades competentes legalmente reconocidas para estos propósitos y demás normatividad aplicable sobre la materia.

a. *Contenido máximo de mercurio y plomo*

Las fuentes que utilicen mercurio y/o plomo, deben cumplir los requerimientos sobre máximas cantidades permitidas de estos elementos, establecidas en el RETILAP, acorde con disposiciones ambientales internacionales. A partir del 1° de enero de 2013 las lámparas fluorescentes compactas y fluorescentes tubulares no podrán tener contenidos de mercurio superiores a los contemplados en el Cuadro 12.

## Cuadro 12

<i>Máximos contenidos de mercurio en lámparas fluorescentes</i>	
Tipo de Lámpara	Máximo contenido de mercurio (mg)
Fluorescente compacta	5
Fluorescente tubular con Halofostato	10
Fluorescente tubular con Trifostato para vida normal	5
Fluorescente tubular con Trifostato para la vida alargada	8

Fuente: RETILAP

A partir del 1° de enero de 2013 se deberá eliminar la presencia de plomo y mercurio en los demás tipos de lámparas. Los ensayos sobre contenidos deberán realizarse de acuerdo con protocolos internacionales o de reconocimiento internacional tales como la Directiva Europea 2002/747/CE, la norma técnica IEC 62321, complementariamente podrá utilizarse el Estándar de Fabricantes Japoneses JEL 303- 2004.

b. *Ensayos para certificación*

La certificación de las fuentes de iluminación objeto del RETILAP, debe estar soportada en los resultados de siguientes ensayos, los cuales deben ser realizados en laboratorios acreditados o reconocidos por los certificadores de acuerdo con las normas vigentes.

- Ensayo de encendido de la fuente, en el caso de las fuentes lumínicas de descarga en gas que requieren arrancador.
- Tiempo de estabilización.
- Envejecimiento.
- Características eléctricas de la fuente.
- Medición de flujo luminoso.
- Ensayo de tensión de extinción, en el caso de las bombillas de descarga en gas.
- Ensayos de torsión.
- Ensayos de contenidos de plomo y mercurio.

c. *Información adicional para conocimiento general*

Además de la información de marcación tanto en el producto como en el empaque, especificada en el RETILAP para cada tipo de fuente, para los productos de aplicación especializada, tales como lámparas de sodio, mercurio alta presión halogenuros metálicos, fluorescentes tubulares, en U o circulares y balastos el fabricante o comercializador deberá disponer en catálogo impreso, en medio magnético, páginas web u otros medios, para consulta e información de los compradores o diseñadores, la información que aplique al tipo de fuente sobre los siguientes aspectos:

- Norma técnica bajo la cual se definen los parámetros eléctricos
- Vidas útiles o vidas promedio
- Curvas de depreciación del flujo luminoso
- Tipo de casquillo
- Temperatura de color (K) o Correlación de la temperatura del color (K).
- Índice del rendimiento del color
- Forma del bulbo
- Acabado del bulbo
- Flujo luminoso, posición hacia abajo (base up) (lm), si aplica
- Flujo luminoso, posición hacia arriba (base down) (lm), si aplica
- Si usa reflector la información del flujo luminoso se debe reemplazar por el ángulo de apertura e intensidad luminosa. Para probar este requisito el certificador empleará el método de ensayo usado por el fabricante o la IESNA LM20, hasta que exista norma específica para realizar el ensayo.

La existencia de dicha información y el cumplimiento de los valores allí especificados deberán ser verificada en el proceso de certificación.

#### *d. Requisitos comunes de lámparas*

Los casquillos roscables (tipo Edison)<sup>15</sup> para lámparas fijas de uso doméstico o similar, cualquiera que sea su principio de funcionamiento debe ser E27 y cumplir los requisitos los literales a, b y c del numeral 310.1.1 del RETILAP. Las lámparas para usos distintos a la iluminación domiciliar o similar, de uso permitido como excepción del Decreto 3450 de 2008 podrán utilizar casquillos diferentes al E27, siempre que dicho casquillo no induzca al error al usuario a conectar la lámpara en un portalámparas para E27 y dicho casquillo no ponga en riesgo la seguridad de las personas o de la misma instalación.

## **4. Requisitos específicos según tipo de lámpara**

### *a. Lámparas incandescentes*

De conformidad con los decretos 3450 de 2008 y 2331 de 2007 que ordenan la sustitución de lámparas de baja eficacia lumínica y la Ley 627 de 2001 sobre Uso Racional y Eficiente de la Energía – URE, las lámparas incandescentes tienen restringida su utilización en sistemas de iluminación. Por tal razón su comercialización y uso en iluminación doméstica o similar en Colombia estará permitido sólo hasta el 31 de diciembre de 2010

### *b. Requisitos específicos para lámparas incandescentes halógenas*

En cumplimiento del Decreto 3450 de 2008, las lámparas incandescentes halógenas por su baja eficacia lumínica no tendrán permitido su uso para iluminación general, su utilización estará limitado a aplicaciones de iluminación localizada donde se requiera un alto índice de reproducción del color IRC.

---

<sup>15</sup> La rosca Edison o tornillo de Edison es el nombre que recibe el mecanismo de ajuste o de fijación de una bombilla desarrollado por Thomas Edison en 1909 bajo la marca General Electric. Este tipo de conexión se identifica por la designación Exx donde xx se refiere al diámetro del conector en milímetros. Así, por ejemplo, el código E27 indica un conector de tipo rosca Edison que tiene un diámetro de 27 mm.

**Requisitos de producto:**

- Para lámparas que operen con socket bipin, tipo GU 5.3, la tensión de alimentación no debe ser mayor de 12 V.
- Si utiliza casquillo roscado tipo Edison, este debe ser E27 y cumplir los requisitos de casquillo del numeral 3101.1. del RETILAP.
- La vida promedio de estas lámparas no debe ser menor de 2000 horas.
- La eficacia lumínica no debe ser menor a 15 lm/W para lámparas doble contacto y no menor a 12 lm/W para tipo cápsula. Se exceptúa de este requisito las lámparas halógenas que utilicen proyector.
- Marcación: Sobre el bulbo de la lámpara o en la base, deben aparecer marcadas, indelebles y perfectamente legibles, como mínimo las siguientes indicaciones:
  - Marca registrada o razón social del fabricante.
  - Tensión nominal en voltios (V).
  - Potencia nominal en vatios (W)
- Empaque: Además de lo señalado en la marcación el empaque debe informarse sobre:
  - El valor del flujo luminoso en lúmenes.
  - La vida promedio en horas.
- En el caso de las lámparas con reflector incorporado en lugar del flujo luminoso en lúmenes se debe especificar la intensidad luminosa en candelas e indicar el ángulo de apertura del haz de luz.

**Restricciones de uso:**

El uso de lámparas incandescentes halógenas está restringido a:

- No podrán ser usadas como fuentes luminosas para la iluminación general de áreas.
- En alumbrado de sitios públicos, lugares de alta concentración de personas y de campos deportivos, sólo podrán ser utilizadas como alumbrado de sistemas de seguridad o de emergencia.
- Por la alta emisión de calor de estas lámparas, se debe tener especial cuidado con los tipos de materiales cercanos al lugar de funcionamiento.

Para la verificación de los requisitos establecidos se podrán utilizar, normas internacionales como la IEC 60357, de reconocimiento internacional o NTC.

c. *Lámparas de mercurio de baja presión tipo fluorescentes con balasto independiente*

Los requisitos aplican a todas las lámparas fluorescentes tubulares lineales, en forma de U o en forma circular.

**Requisitos de producto:**

Las lámparas fluorescentes tubulares con balasto independiente deben cumplir los siguientes requisitos y demostrarlo mediante certificado de producto.

- Eficacia lumínica. De acuerdo con las políticas URE los tubos fluorescentes comercializados para su uso en el país deben tener eficacias iguales o superiores a las establecidas en el Cuadro 13.

### Cuadro 13

Valores mínimos de eficacia lumínica en tubos fluorescentes T8 y T5

Tipo	Potencia (W)	Eficiencia luminosa (lm / W) <sup>a</sup>	Tipo	Potencia (W)	Eficiencia luminosa (lm / W) <sup>a</sup>
T8 26 mm de diámetro	14 a 25	68	T5 16 mm de diámetro	14 a 25	80
	26 a 30	72		26 a 30	83
	31 a 40	78		31 a 40	85
	41 a 50	79		41 a 50	87
	Mayor de 50	85		Mayor de 50	90

Fuente: RETILAP

<sup>a</sup> Medidas a temperatura ambiente de 25 °C más o menos 2°C

Tubos con diámetros menores al tipo T5 deberán tener eficacias lumínicas no menores a las de tipo T5 en su respectivo rango de potencia. Tubos de diámetro mayor a T5 y menor a T10 deberán tener eficacias no menores a las de tipo T8 en su respectivo rango de potencia. Las lámparas T10 y T12 que se utilicen en Colombia no podrán tener eficacias inferiores a las mostradas en el Cuadro 14.

### Cuadro 14

Eficiencia mínima para lámparas T10 y T12

Tipo	Potencia (W)	Eficiencia luminosa (lm/W)
T10 - T12	$>14 \leq 20$	55
	$>20 \leq 40$	70
	$>40$	75

Fuente: RETILAP

El IRC para las lámparas tubulares fluorescentes mayores a 24 W no deberá ser menor del 69%.

- La vida útil para lámparas tubulares fluorescentes no debe ser menor a 10 000 horas. Los fabricantes recomendarán las condiciones de ciclos de encendido y tipo de balasto a usar para no afectar sustancialmente la vida útil.
- Marcación. Sobre el bulbo de la lámpara deben aparecer marcadas, indelebles y perfectamente legibles, como mínimo las siguientes indicaciones:
  - Marca registrada, logotipo o razón social del fabricante.
  - Apariencia o Temperatura del color, o su código dado por el fabricante.
  - Índice de Rendimiento del Color (IRC), o su código de fabricante.
  - Potencia nominal en vatios (W).
- Empaque. Las lámparas fluorescentes deben informar en su empaque los siguientes parámetros, los cuales deben haber sido verificados en el proceso de certificación.

- Potencia nominal (W).
  - Diámetro del bulbo.
  - Correlación de la temperatura del color (K).
  - Índice del rendimiento del color. (IRC).
  - Flujo luminoso (lm).
  - Vida promedio (horas).
- Normas usadas para ensayo: Para la verificación de los requisitos establecidos se podrán utilizar las siguientes normas IEC 60081, IEC 60901, IEC 60882, NTC 1133, NTC 318 y NTC 5109.

d. *Lámparas fluorescentes compactas con balasto independiente*

Requisitos de producto:

Las lámparas fluorescentes compactas con balasto independiente deben cumplir los requisitos de la lámpara fluorescente compacta con balasto incorporado que le apliquen y los siguientes:

- Las eficacias lumínicas no podrán ser menores a las establecidas en el cuadro 15
- El factor de potencia no podrá ser menor que 0.8
- La distorsión armónica no podrá ser mayor a 120%.
- La vida promedio no podrá ser menor a 8000 horas.

### Cuadro 15

*Eficacia mínima lámparas fluorescentes compactas con balasto independiente*

Potencia (W)	Eficiencia luminosa (lm/W)
≤8	50
8 y ≤15	57
15 y ≤25	66
25 y ≤ 45	69
> 45	74

Fuente: RETILAP

- Marcación, las lámparas fluorescentes compactas con balasto independiente deben marcarse en su base con la siguiente información:
  - Marca registrada, logotipo o razón social del fabricante.
  - Potencia nominal.
  - Tipo de casquillo.
- Empaque, además de la información anterior en el empaque o en catálogos del producto, de público conocimiento, deberá indicar el IRC, correlación o temperatura de color, flujo luminoso, vida promedio.

e. *Lámparas de descarga de vapor de mercurio de alta presión*

En cumplimiento del Decreto 3450 de 2008, el uso de lámparas de mercurio de alta presión, estará permitido sólo en aplicaciones donde con otra fuente de mayor eficacia lumínica no se pueda alcanzar los requisitos de iluminación requeridos, no se permitirá su uso en iluminación domiciliaria o similar y en alumbrado público. El uso de lámparas de mercurio en los nuevos sistemas de alumbrado público queda prohibido. Las lámparas de mercurio de alta presión utilizadas en Colombia deben cumplir los siguientes requisitos:

## Requisitos de Producto:

- La vida promedio de las lámparas de vapor de mercurio de alta presión no podrá ser menor a 24 000 horas.
- La eficacia lumínica de la lámpara de mercurio de alta presión no podrá ser inferior a las contemplados en el Cuadro 16.

### Cuadro 16

*Eficiencia mínima para lámparas de mercurio de alta presión*

Potencia la lámpara (W)	Eficiencia luminosa (lm/W)
> 50	35
>50 ≤ 80	36
>80 ≤ 125	47
>125 ≤ 250	50
>250 ≤ 400	52
>400 ≤ 700	55
>700 ≤ 1000	57
>1000	57

Fuente: RETILAP

- **Marcación.** Sobre el bulbo de la lámpara deben aparecer marcadas, indelebles y perfectamente legibles, como mínimo las siguientes indicaciones:
    - Marca registrada o razón social del fabricante.
    - Potencia nominal en vatios (W).
  - **Empaque.** Las lámparas de mercurio a alta presión deben informar en su empaque los siguientes parámetros, los cuales deben haber sido verificados en el proceso de certificación.
    - Potencia nominal (W).
    - Tipo de casquillo
    - Vida promedio (horas).
    - Flujo luminoso (lm)
  - **Normas utilizadas para los ensayos.** Para la verificación de los requisitos establecidos se podrán utilizar normas NTC, normas internacionales o de reconocimiento internacional, tales como:
    - IEC. 60188 lámparas de descarga de vapor de mercurio a alta presión.
    - IEC. 67004-21 Características de bases o casquillos para lámparas
    - NTC. 3281 lámparas de vapor de mercurio. Métodos para medir sus Características.
    - NTC. 2119 lámparas de vapor de mercurio a alta presión.
    - NTC. 1470 electrotecnia. Casquillos y portalámparas roscados E27 y E40 o Mogul (E39). Dimensiones.
- f. Lámparas de halogenuros metálicos

## Requisitos de producto:

- La vida promedio para lámparas de halogenuros metálicos no podrá ser menor a 12 000 horas y su eficacia no podrá ser menor de 72 lm/W. Se exceptúan las lámparas tipo miniatura de potencia inferior a 35 W que se podrán aceptar con vida promedio no menor a 6000 horas siempre y cuando la eficacia no sea menor a 85 lm/W. Igualmente, se excluyen las lámparas para aplicaciones deportivas de alta potencia de vidas útiles no menores a 2500 horas, siempre que tengan eficacias lumínicas mayores de 90 lm/W. Para lámparas con reflector incorporado no aplica el requisito de eficacia lumínica.
- Marcación. Sobre el bulbo de la lámpara deben aparecer marcadas, indelebles y perfectamente legibles, como mínimo las siguientes indicaciones:
  - Marca registrada, logotipo o razón social del fabricante.
  - Potencia nominal en vatios (W).
  - Referencia de fabricación.
  - Temperatura del color (K) o código del fabricante.
- Empaque. En el empaque deberá aparecer como mínimo la información de los siguientes parámetros, los cuales deben haber sido verificados en el proceso de certificación.
  - Marca Registrada, logotipo o razón social del fabricante y/o importador.
  - Potencia Nominal (W)
  - Referencia de fabricación o denominación.
- Normas utilizadas para los ensayos. Para la verificación de los requisitos establecidos se podrán utilizar normas NTC, normas internacionales o de reconocimiento internacional, tales como:
  - IEC. 61167 Lámparas de vapor de mercurio y halogenuros.
  - NTC. 2393 Bombillas eléctricas de halogenuros metálicos de 400 W.
  - NTC. 2394 Bombillas eléctricas de halogenuros metálicos de 1000 W

## g. Lámparas de vapor de sodio de alta presión

## Requisitos de producto:

- La vida promedio para lámparas de sodio de alta presión no podrá ser menor a 24 000 horas
- Las lámparas de sodio alta presión deben cumplir con las especificaciones eléctricas de funcionamiento, definidas en la norma técnica bajo la cual estén fabricadas o certificadas. La cuales deben ser internacionales como la IEC 60662 o equivalentes de reconocimiento internacional o NTC.
- Las eficacias de las lámparas de sodio de alta presión no podrán ser menores a las establecidas en el Cuadro 17.

### Cuadro 17

*Eficiencia mínima para lámparas de sodio de alta presión*

Potencia de la lámpara (W)	Eficacia en lm/W	
	Tubular	Ovoide
50	88	70
70	91	80
100	98	90
150	100	100
250	120	114
400	125	135
600	150	135
1000	150	135

Fuente: RETILAP

- **Marcación.** Sobre el bulbo de la lámpara deben aparecer marcadas, indelebles y perfectamente legibles, como mínimo las siguientes indicaciones:
  - Marca registrada, logotipo o razón social del fabricante.
  - Potencia nominal en vatios (W).
  - Símbolo que indique el método de arranque (lámpara europea)
- **Empaque.** Las lámparas de sodio de alta presión deben informar en su empaque por lo menos los siguientes parámetros los cuales deben haber sido verificados en el proceso de certificación.
  - Potencia Nominal (W)
  - Flujo luminoso (lm)
  - Vida promedio (horas)
  - Símbolo que indique el método de arranque (lámpara europea)
- La certificación de la lámpara debe hacerse con el procedimiento de una Norma Internacional tal como la IEC 60662 “High – pressure sodium vapour lamps”, o de reconocimiento internacional como la ANSI C78, u otra equivalente.

#### Restricción de uso:

En razón a que pueden distorsionar el color, no se podrá utilizar este tipo de fuentes donde la resolución o reproducción del color sea un factor determinante para la actividad realizada en el área iluminada.

- Normas utilizadas para los ensayos. Para la verificación de los requisitos establecidos se podrán utilizar normas NTC, normas internacionales o de reconocimiento internacional, tales como:
  - IEC. 60662 High pressure sodium vapour lamps.
  - NTC 2243 Bombillas de vapor de sodio a alta presión.
  - ANSI C78-42

#### *h. Otras fuentes luminosas*

El uso de otras fuentes tales como Lámparas de inducción, LEDs, OLEDs, LEPs, entre otras estará condicionada a los siguientes requisitos:

- Cumplir con el Decreto 3450 de 2008 en cuanto a alta eficacia lumínica.
- Cumplir los requisitos de seguridad contra riesgo de origen eléctrico o térmico.
- Certificar el cumplimiento de estos requisitos mediante declaración del proveedor.

Lámparas de inducción: Para las lámparas que tienen balasto incorporado no deben tener una vida útil inferior a 50 000 horas y las de balasto independiente no inferior a 80 000 horas, por lo que su uso es recomendado en lugares donde el reemplazo es difícil. La eficacia de estas fuentes no deberá ser menos a 60 lm/W, conservar no menos del 70% del flujo luminoso nominal al final de la vida útil y operar a frecuencias acordes con normas internacionales o de reconocimiento internacional.

Diodos emisores de luz (LED), OLED O (LEP). Son fuentes lumínicas con tecnologías promisorias y gran dinámica de investigación.

Con el propósito de ser aprobadas para su uso en los sistemas eléctricos de Colombia, las lámparas de inducción, LEDs, OLEDs, OLEDs, LEPs, etc ", deben cumplir los siguientes requerimientos generales:

- a) Cumplir con el Decreto 3450 de 2008 en cuanto a alta eficacia lumínica y
- b) Cumplir los requisitos de seguridad contra riesgo de origen eléctrico o térmico,
- c) Certificar el cumplimiento de estos requisitos mediante declaración del proveedor.

A la fecha, la reglamentación colombiana no establece el cumplimiento de normas internacionales técnicas o de reconocimiento internacional, que permita establecer requisitos específicos obligatorios para estas tecnologías no convencionales, lo cual no implica que su uso esté prohibido cuando el producto y su aplicación cumplen los requisitos generales de iluminación eficiente y segura establecidos en el RETILAP y que se enumeraron en el párrafo anterior.

## Experiencia Internacional caso México

### 1. Antecedentes

En México, como parte de los esfuerzos para la elaboración del Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012 (PRONASE)<sup>16</sup>, se identificaron áreas de oportunidad para aumentar la eficiencia energética en el mediano y largo plazo y, por tanto, reducir el consumo de energía en determinados sectores.

Las 7 áreas de oportunidad prioritarias consideradas fueron:

- Transporte. Relacionado con el consumo de energía en el transporte automotor, tanto ligero y mediano, así como de carga pesada.
- Iluminación. Enfocado en las necesidades de iluminación a lo largo de los sectores residencial, comercial, servicios e industrial, así como dentro de las dependencias y entidades de la administración pública federal y dentro de gobiernos estatales y locales.
- Equipos del hogar y de inmuebles. Referido al consumo de energía derivado del uso de los electrodomésticos, aparatos electrónicos y equipos de mayor consumo dentro de los hogares, incluyendo aire acondicionado, refrigeración, ventilación y calentamiento de agua.
- Cogeneración. Identifica la posibilidad de ahorro de energía en las industrias con potencial latente de cogeneración.
- Edificaciones. Busca aprovechar las oportunidades de ahorro de energía relacionado con mejoras en las prácticas de construcción.
- Motores industriales. Actúa sobre el consumo de energía en motores trifásicos de menos de 75 HP, ya que éstos representan la gran mayoría de la carga instalada y del consumo de motores en el país.
- Bombas de agua. Constituye el análisis del consumo de energía para fines de bombeo agrícola y municipal.

Para atacar el área de oportunidad en iluminación, se planteó el objetivo de “Incrementar la eficiencia del parque de focos para iluminación”, para lo cual en su línea de acción 2.1.5 se estableció: “Acelerar la implementación de iluminación eficiente en alumbrado público.” Esta acción consiste en incrementar la eficiencia energética por iluminación mediante la sustitución acelerada de lámparas de alumbrado público que cumplan con mayores estándares en la materia, es decir, se fomenta la sustitución de las luminarias ineficientes del parque por luminarias de mayor eficiencia. Esta sustitución presenta una oportunidad para los gobiernos locales ya que al reemplazar las luminarias por otras con mayor eficiencia se promueve la disminución del consumo energético.

De acuerdo con el PRONASE entre 1997 y 2007 el consumo de electricidad para iluminación creció a un ritmo del 3,9% anual. Aunque tuvo un crecimiento importante en esos años, se consideraba que aún existía potencial de crecimiento adicional, ya que el consumo de electricidad per cápita en México (aproximadamente 2900 kWh en 2005) es significativamente menor al de países desarrollados como el Reino Unido (aproximadamente 6200 kWh en 2005).

---

<sup>16</sup> Ver un resumen del programa en: [http://ecpamericas.org/data/files/Initiatives/energy\\_efficiency\\_working\\_group/eewg\\_mexico\\_workshop/presentacion\\_MARZO\\_2012\\_pronase\\_ECPA%20vfx.pdf](http://ecpamericas.org/data/files/Initiatives/energy_efficiency_working_group/eewg_mexico_workshop/presentacion_MARZO_2012_pronase_ECPA%20vfx.pdf)

Por lo anterior, se esperaba que el consumo de electricidad en iluminación continúe creciendo en el mediano y largo plazo. El consumo de energía para iluminación se concentra principalmente en los sectores residencial e industrial. El alto consumo en estos sectores se debe a una alta utilización de lámparas/focos de baja eficacia.

A partir del año 2010, en el marco del convenio de colaboración entre la Secretaría de Energía SENER; la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía CONUEE; la Comisión Federal de Electricidad CFE y el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos BANOBRAS, se dio inicio a la ejecución del Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal – PNEEAPM.

El PNEEAPM atiende uno de los compromisos inscritos en el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012 (PRONASE), que constituye un aspecto especial en términos de la Ley de Planeación, en el que se establecieron objetivos, estrategias, acciones y metas costo-efectivas para alcanzar el óptimo aprovechamiento de la energía en el país.

Uno de los objetivos del PNEEAPM es incrementar la eficiencia de los equipos utilizados con el propósito de iluminación. Para alcanzar este objetivo se estableció como una de las líneas de acción acelerar la implementación de iluminación eficiente en alumbrado público.

En este contexto el propósito de esta iniciativa fue impulsar la eficiencia energética a través de la sustitución de sistemas de alumbrado público municipal ineficientes por eficientes, lo cual contribuye a obtener los siguientes beneficios:

- Reducción en el consumo de energía eléctrica.
- Fortalecimiento de las finanzas públicas municipales al generarse ahorros en el consumo de energía eléctrica.
- Mejoramiento de la imagen urbana y la seguridad de los habitantes.
- Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes locales.

El proyecto busca apoyar a los municipios que lo soliciten para la sustitución de sus sistemas de alumbrado público por sistemas más eficientes, en donde se identifique un potencial importante de ahorro de energía eléctrica. Para lo cual los gobiernos municipales que se encuentren interesados en participar en el PNEEAPM, deben seguir los pasos indicados en la Guía Práctica para incorporarse al "Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal", y cumplir con requisitos tales como contar con la opinión técnica favorable de CONUEE, en cuanto al cumplimiento con la normatividad técnica. A continuación, se describe la normatividad mexicana aplicable a los sistemas de alumbrado público.

## 2. Normas aplicables al alumbrado público

A continuación, se indican las Normas Oficiales Mexicanas vigentes que tienen relación con los sistemas de alumbrado público:

- NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones Eléctricas (utilización). Esta norma establece las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a la protección contra descargas eléctricas, efectos térmicos, corrientes de falla y sobretensiones. En la versión de la norma de 1999, NOM-001-SEDE-1999, se incorporó como disposición general la prohibición del uso de lámparas incandescentes, fluorescentes, tungsteno – halógeno, vapor de mercurio y luz mixta para el alumbrado público.
- NOM-013-ENER-2013 Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas. Esta norma rige el diseño de los sistemas de alumbrado público, estableciendo los valores mínimos de iluminancia, luminancia y relación de uniformidad y los valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) según el tipo de vialidad. Esto quiere decir que la norma impone una eficiencia energética mínima para los equipos a instalarse, pues debe lograrse un mínimo de iluminación con un máximo de potencia para una superficie definida. El campo de aplicación de la norma abarca a todos los sistemas de iluminación nuevos para vialidades y estacionamientos, incluyendo los casos en que se hagan modificaciones a sistemas existentes<sup>17</sup>. Están excluidos aquellos lugares que requieran iluminación especial, como aeropuertos y puestos de vigilancia, entre otros.
- NOM-028-ENER-2010 Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba. Esta norma establece los valores mínimos de eficacia para lámparas de uso general, entre ellas, muchas de las que se utilizan en el alumbrado público. La norma no aplica para tecnologías que tengan una norma específica, como las luminarias LED para alumbrado público, que se rigen por la norma NOM-031-ENER-2012, entre otras excepciones como el vapor de sodio de baja presión y las lámparas de inducción. Esta norma significó un gran progreso en cuanto a la transición a la utilización de tecnologías más eficientes, pues fue la encargada de retirar del mercado una inmensa cantidad de lámparas incandescentes al fijar una eficacia mínima que muy difícilmente puede conseguirse. Adicionalmente, la norma fija eficacias mínimas para muchas otras tecnologías. La eficacia que se requiere depende de la potencia; en general, a mayor potencia, se requiere una mayor eficacia.

En el Cuadro 18 se presenta las tecnologías que abarca la NOM-028-ENER-2010 y que comúnmente se utilizan en aplicaciones de alumbrado público en vialidades, con sus respectivos rangos de potencia y eficacia requerida.

---

<sup>17</sup> Entiéndase como modificación el cambio de luminarios, distancia interpostal o cualquier cambio en el sistema de iluminación.

### Cuadro 18

*Eficacia mínima para lámparas utilizadas en alumbrado público en México*

Tipo de Lámpara	Rango de Potencia	Eficiencia luminosa (lm/W)
Luz mixta	-	60
Vapor de mercurio	-	60
Aditivos metálicos cuarzo	Menor a 175 W	60
Aditivos metálicos cuarzo	Mayor o igual a 175 W	65
Aditivos metálicos cerámicos	-	70
Vapor de sodio alta presión	Menor o igual a 100 W	75
Vapor de sodio alta presión	Mayor a 100 W	90

Fuente: CONUEE NOM -028-ENER-2010

- NOM-031-ENER-2012 Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (LED) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas. Especificaciones y métodos de prueba. Esta norma establece las especificaciones que deben cumplir las luminarias que funcionen con tecnología LED y que estén destinados a utilizarse en alumbrado público para poder ser comercializados e instalados en México.

La norma clasifica las luminarias con tecnología LED en dos categorías: luminarias para alumbrado de vialidades y luminarias para el alumbrado de áreas exteriores.

En cuanto a eficiencia energética, la norma señala que la eficacia mínima con que debe cumplir la luminaria LED, si se trata de una luminaria que será montada en un poste, es 70 lm/W, mientras que, si la instalación tendrá lugar en una pared, entonces únicamente se requiere una eficacia luminosa de 52 lm/W.

Asimismo, se establecen otros parámetros con sus respectivas especificaciones que, si bien no son determinantes en cuestiones de eficiencia energética, sí lo son en lo que se refiere a garantizar una calidad mínima en el producto. En el Cuadro 19 se presenta la vida útil máxima que debe reportarse según el mantenimiento de flujo luminoso medido a las 6,000 horas. El Cuadro 20 presenta la tolerancia permitida en la declaración por parte del fabricante de la temperatura de color correlacionada.

### Cuadro 19

*Requisitos de mantenimiento del flujo luminoso total*

Vida nominal (horas)	Flujo Luminoso Total Mínimo
Menor a 35 000	93,1
35 000 y menor a 40 000	94,1
40 000 y menor a 45 000	94,8
45 000 y menor a 50 000	95,4
50 000 y menor a 100 000	95,8
100 000 y mayores	97,9

Fuente: NOM -031-ENER-2012

## Cuadro 20

<i>Temperatura de Color Correlacionada - TCC</i>	
TCC Nominal (K)	Intervalo de Tolerancia
2 700	2 580 a 2 870
3 000	2 870 a 3 220
3 500	3 220 a 3 710
4 000	3 710 a 4 260
4 500	4 260 a 4 746
5 000	4 745 a 5 311
5 700	5 310 a 6 020
6 500	6 020 a 7 040

Fuente: NOM -031-ENER-2012

El valor mínimo del índice de rendimiento de color es de 67 para luminarias a ser instaladas en vialidades y de 70 para luminarias para uso en áreas exteriores.

Las luminarias deben tener un factor de potencia mínimo de 0,90 y la distorsión armónica total en corriente eléctrica, debe ser menor a 20%.

- NMX-J-230-ANCE-2011 Iluminación-balastos para lámparas de descarga en alta intensidad y vapor de sodio en baja presión - métodos de prueba. Esta norma establece los métodos de prueba aplicables a los balastos electromagnéticos y electrónicos para las lámparas de descarga en alta intensidad y de vapor de sodio en baja presión. Balastos para lámparas de vapor de mercurio en alta presión y aditivos metálicos.
- NMX-J-503-ANCE-2011 Iluminación-balastos para lámparas de descarga de alta intensidad y lámparas de vapor de sodio de baja presión-especificaciones. Esta norma establece las especificaciones de seguridad, de calidad y funcionamiento de los balastos para lámparas de descarga de alta intensidad (DAI) y vapor de sodio a baja presión, que operan a tensiones nominales de alimentación de hasta 600 V con una frecuencia de 60 Hz, y se designan para operación en interiores o exteriores. Esta norma no es aplicable a los siguientes balastos:
  - Balastos que consisten únicamente de resistencias.
  - Transformadores (serie) de corriente constante para operación de lámparas de vapor de mercurio.
  - Balastos que utilicen semiconductores para el control de las lámparas.
- NMX-J-507/1-ANCE-2013 Coeficiente de utilización de luminarios para alumbrado público de vialidades-especificaciones. La norma establece los valores mínimos de coeficientes de utilización en el lado calle para luminarias que operan con lámparas de descarga de alta intensidad y que se utilizan en el alumbrado público de vialidades. El coeficiente de utilización es la relación que existe entre el flujo luminoso emitido que incide en el plano de trabajo y el flujo luminoso emitido por la lámpara de la luminaria. La norma define valores mínimos de coeficiente de utilización para cada tipo de luminaria según dos características: el corte vertical del haz y el control lateral, y se limita a aquellos que operan con lámparas de vapor de sodio alta presión y aditivos metálicos.

- NMX-J-510-ANCE-2011 Balastos de alta eficiencia para lámparas de descarga de alta intensidad, para utilización en alumbrado público – especificaciones. La norma establece, entre otros, la potencia máxima que debe consumir un balastro en relación con la potencia de la lámpara para considerarse de alta eficiencia.  
La norma distingue entre dos tipos de balastos, electromagnéticos y electrónicos, y fija los valores según el tipo de lámpara que vaya a operar el balastro. En general, la exigencia es mayor para los balastos electrónicos que para los electromagnéticos, sobre todo en potencias por debajo de los 200 W, donde la eficiencia de los balastos electromagnéticos resulta muy baja.
- NMX-J-537-ANCE-2010 Iluminación-balastos de impedancia lineal para lámparas de descarga de alta intensidad y lámparas de vapor de sodio en baja presión-especificaciones y método de prueba. La norma establece las especificaciones esenciales y de operación, así como el método de prueba de los balastos de impedancia lineal para las lámparas de descarga de alta intensidad y lámparas de vapor de sodio en baja presión que operan con balastos para sistemas de 60 Hz.
- NMX-J-530-ANCE-2008 Iluminación guía para la medición de características eléctricas y fotométricas para lámparas de descarga en alta intensidad. Esta Norma es aplicable a las lámparas comúnmente conocidas como lámparas de vapor de mercurio en alta presión, lámparas de vapor de sodio en alta presión y lámparas de aditivos metálicos, usadas en aplicaciones de iluminación general. Quedan excluidas de esta Norma, las lámparas de doble terminal.

Existen otras normas oficiales mexicanas de productos que dictan las especificaciones básicas con que deben cumplir los balastos para lámparas de alta intensidad de descarga y luminarias en general para poder garantizar la seguridad de las personas. Estas normas fueron elaboradas por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, actualmente Secretaría de Economía.

- NOM-058-SCFI-1999 “Productos eléctricos – Balastos para lámparas de descarga eléctrica en gas – Especificaciones de seguridad”.
- NOM-064-SCFI-2000 “Productos eléctricos – Luminarios para uso en interiores y exteriores – Especificaciones de seguridad y métodos de prueba”.

### 3. Tecnología eficiente para alumbrado público

En México se considera que un aspecto fundamental para seleccionar una tecnología para alumbrado público es el costo de operación; específicamente el consumo energético y el reemplazo de los equipos al fin de su vida útil son los parámetros de mayor relevancia. Con base en el ahorro energético y en la mejora de la percepción visual por la emisión de luz blanca, en México se sugiere utilizar las siguientes tecnologías de iluminación:

- Vapor de sodio de alta presión cerámicos
- Aditivos metálicos cerámicos
- LED

En el Cuadro 21 se presentan las características de las tecnologías eficientes actualmente consideradas en México como la mejor alternativa para realizar la función del alumbrado público en los municipios.

## Cuadro 21

*Tecnologías eficientes para alumbrado público con eficiencia y vida útil promedio - CONUEE*

Característica	Vapor de sodio alta presión cerámico	Aditivos metálicos cerámicos	LED
Vida media (horas)	22 000 a 36 000	18 000 a 30 000	50 000 a 150 000
Eficacia (lm/W)	94 a 150	107 a 118	70 a 105
Mantenimiento de lúmenes (%)	90	89	85
Índice de Rendimiento de Color	20 - 25	70 - 90	65 a 90
Temperatura de Color (K)	2 100	3 000 a 4 200	2 700 – 5 700
Costo de operación	Bajo	Bajo	Bajo
Encendido (minutos)	2 a 3	2 a 3	<1
Reencendido (minutos)	3 a 5	3 a 5	<1
Pérdidas por equipo auxiliar (%)	6 a 15	6 a 15	6 a 15

Fuente: CONUEE, [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/91894/1\\_Lamparas\\_Aditivos\\_metalicos\\_ceramicos.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/91894/1_Lamparas_Aditivos_metalicos_ceramicos.pdf)

Además de las ventajas en eficacia y vida útil que ofrecen las tecnologías eficientes que aparecen en el Cuadro 21, es importante mencionar que el tamaño de las fuentes de luz es relativamente pequeño en comparación con sus contrapartes ineficientes, este parámetro es de suma importancia para la eficiencia de las luminarias, pues mientras más parecido a un punto sea el emisor, mayor precisión se tiene al momento de dirigir la luz en la dirección deseada. Otro aspecto a considerar cuando se busca implementar tecnología eficiente en el alumbrado público es, en el caso de las lámparas de descarga de alta intensidad (HID, por sus siglas en inglés), la eficiencia del balastro y de la luminaria.

Recientemente la tecnología de inducción magnética también ha sido utilizada en sistemas de alumbrado público debido a su larga vida útil; sin embargo, al no existir normas de eficiencia energética nacionales o internacionales para medir y evaluar el desempeño, esta tecnología no se recomienda para aplicaciones de alumbrado en vialidades.

#### 4. Resultados aplicación proyecto PNEEAPM en México

De la implementación y análisis posterior de los proyectos PNEEAPM, el CONUEE determinó que la iniciativa para mejorar los sistemas de alumbrado público con tecnologías más eficientes, permitió reducir la demanda de energía eléctrica y, por ende, la facturación que realizan los municipios en el pago de este servicio.

De acuerdo con el “Informe cero, 2009- 2015. Síntesis ejecutiva de la memoria del fondo para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía”, hasta 2015 el programa reportó un ahorro de la demanda de energía eléctrica de 36 614 kW, un ahorro en el consumo de energía eléctrica de 13 348 134 kWh/mes, así como un ahorro promedio estimado por facturación de los municipios por un 38,5%, y la no emisión de 6785 toneladas de CO<sub>2</sub>.

La finalización del programa se tenía prevista para mediados de 2016 con la entrega total de los recursos autorizados. Para finales de 2015 se había apoyado a 15 municipios: Xochitepec, Morelos; Apodaca, Nuevo León; Delicias e Hidalgo del Parral, Chihuahua; Ocotlán, Mezquitic, Ixtlahuacan del Río, San Miguel el Alto y Arandas, Jalisco; Durango, Durango; Aguascalientes, Aguascalientes; Oaxaca, Oaxaca; Chalco, Estado de México; Gral. Plutarco Elías Calles, Sonora; Atlixco, Puebla.

En el Cuadro 22 se presenta los resultados individuales de inversión realizada en cada proyecto, así como el monto de ayuda estatal hecho mediante el PNEEAPM. Se incluye en este cuadro el ahorro obtenido, tanto en energía consumida mensual, como el porcentaje de ahorro porcentual.

En el Cuadro 23 se puede observar las tecnologías eficientes que fueron utilizadas en los proyectos. De los 15 proyectos indicados, 2 utilizaron vapor de sodio de alta presión cerámico, 6 utilizaron tecnología LED, y 7 utilizaron aditivos metálicos cerámicos. La información disponible no permite analizar las causas de esta distribución en la selección de tecnologías eficientes.

Con el fin de realizar un análisis de la eficacia de las inversiones realizadas en el proyecto PNEEAPM, a partir de los datos de los Cuadros 22 y 23 se elaboró el Cuadro 24 en la cual se proponen parámetros de comparación basados en el nivel de inversión inicial por kWh, o por luminaria instalada, o por habitante beneficiado del proyecto; es viable a partir de estos índices, concluir sobre aquellos proyectos que resultarán más eficientes, por cuanto se está evaluando el ahorro en energía consumida de acuerdo a la vida útil de las tecnologías de reemplazo.

### Cuadro 22

Resultados individuales proyectos PNEEAPM

Identificación Proyecto	Incentivo	Ahorros			Beneficios Ambientales	Población total beneficiada	Monto de Inversión sin IVA
	Fondo para la Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía beneficio al municipio	Energía	Consumo de viviendas equivalente	Ahorro promedio estimado en facturación	Toneladas/m es evitadas de CO2 Aprox.	Habitantes	Pesos mexicanos
	(Pesos mexicanos)	(kWh/mes)	(número de viviendas)	(%)			
Xochitepec, Morelos	1 141 800	124 229	1118	34	63	63 382	7 611 999
Delicias, Chihuahua	4 220 444	345 402	3111	51	172	137 935	28 136 295
Durango, Durango	8 511 859	888 034	7992	43	451	582 267	56 745 725
Aguascalientes, Aguascalientes	6 097 097	857 038	8085	23	436	797 010	40 467 314
Apodaca, Nuevo León	10 000 000	893 210	8038	29	454	523 370	115 000 000
Arandas, Jalisco	1 858 562	142 702	859	48	73	72 812	12 390 416
Ixtlahuacán del Rio, Jalisco	698 273	42 286	254	36	21	19 005	4 655 154
Atlixco, Puebla	6 502 577	211 256	1891	43	107	127 062	43 350 513
Chalco, Estado de México	8 930 925	527 153	3406	44	268	310 130	59 539 505
Plutarco Elías, Sonora	722 926	29 923	193	34	15	15 652	4 819 510
Hidalgo de Parral, Chihuahua	4 966 886	159 258	1029	34	81	107 061	33 112 575
Mezquitic, Jalisco	2 077 577	73 142	520	46	37	18 084	13 850 514
Oaxaca de Juárez, Oaxaca	1 730 418	308 542	2910	28	157	263 357	11 536 123
Ocotlán, Jalisco	2 574 359	60 522	544	32	31	92 967	17 162 399
San Miguel El Alto, Jalisco	481 117	17 528	155	20	9	31 166	3 207 452

Fuente: CONUEE <http://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estados-y-municipios-proyecto-nacional-de-eficiencia-energetica-en-alumbrado-publico-municipal>

**Cuadro 23**

*Tecnologías eficientes para alumbrado público utilizadas en proyectos PNEEAPM*

Identificación Proyecto	Sistemas instalados	Costos unitarios promedio de la tecnología instalada			Tecnología Eficiente Instalada	Tecnología Ineficiente Sustituída
	Unidades	Lámpara Pesos mexicanos	Balastro Pesos mexicanos	Luminaria Pesos mexicanos	Tipo de tecnología	Tipo de tecnología
Xochitepec, Morelos	5199	162	1004	1586	Vapor de sodio de alta presión cerámico de 70, 100, 150, 250 y 400 W.	Aditivos metálicos de 1000 y 400 W. Vapor de sodio de alta presión 150 W.
Delicias, Chihuahua	12 963	6350 (Leds)			Leds 60 y 70 W.	Vapor de sodio de alta presión 100, 150 y 250 W. Vapor de mercurio 175 W
Durango, Durango	26 321	694	796	1207	Aditivos metálicos 50, 70, 100 y 140, 150 y 250 W.	Vapor de sodio de alta presión 70, 100, 150, 175 y 250 W.
Aguascalientes, Aguascalientes	55 293	671	436	4962	Aditivos metálicos cerámicos 100 W.	Vapor de sodio de alta presión 150 W
Apodaca, Nuevo León	35 596	800	1450	1850	Aditivos metálicos cerámicos 100 y 150 W.	Aditivos metálicos de 100 y 400 W. Vapor de sodio de alta presión 150, 175, 250 W.
Arandas, Jalisco	4722	985	1134	2357	Aditivos metálicos cerámicos 50, 70, 100, 140, 150, 250 W.	Vapor de sodio de alta presión 50, 70, 100, 150, 250, 400 W. Aditivos metálicos de 1000 W Vapor de mercurio de 70, 175, 250, 400 y 500 W Incandescentes 75, 100 y 200 W Lux mixta de 250 W
Ixtlahuacán del Rio, Jalisco	2475	319	850	1970	Aditivos metálicos cerámicos 50, 70, 100 y 150 W Vapor de sodio de alta presión cerámico 50 y 73 W	Vapor de sodio de alta presión 100, 150 y 250 W - Vapor de mercurio 175 W Incandescentes 100 W
Atlixco, Puebla	10 263	7957 (Led 37 W) 8311 (Led 54 W) 9509 (Led 90 W) 11898 (Led 130 W)			Led 37, 54, 90 y 130 W	Vapor de sodio de alta presión 100, 150 y 250 W Incandescentes 150, 200 y 300 W Fluorescentes 105 W Vapor de mercurio 100 y 175 W Aditivos metálicos 250 y 400 W Luz Mixta 250 y 500 W
Chalco, Estado de México	17 991	4703 (Led 43 W) 5264 (Led 57 W) 6014 (Led 83 W)			Led 43, 57 y 83 W Vapor de sodio	Vapor de sodio de alta presión 100, 150, 250 W

Identificación Proyecto	Sistemas instalados	Costos unitarios promedio de la tecnología instalada			Tecnología Eficiente Instalada	Tecnología Ineficiente Sustituída
	Unidades	Lámpara Pesos mexicanos	Balastro Pesos mexicanos	Luminaria Pesos mexicanos	Tipo de tecnología	Tipo de tecnología
Plutarco Elías, Sonora	1 356	5875 (Led 53 W) 8003 (Led 101 W)			de alta presión Cerámico 400 W Aditivos metálicos cerámicos 60, 150 y 250 W  Led 53, 100 W	Aditivos metálicos 150, 250, 400, 500 y 1000 W  Vapor de sodio de alta presión 70, 100, 150 W Aditivos metálicos 175 W
Hidalgo de Parral, Chihuahua	11 378	5595 (Led 43 W) 6700 (Led 83 W)			Led 43, 83 W	Vapor de sodio de alta presión 70, 100, 150 y 250 W Aditivos metálicos 400 W
Mezquitic, Jalisco	2 564	6386 (Led 25,49 y 53 W) 1500 (Lámpara Aditivos metálicos cerámicos 60 y 140 W) 2000 (Balasto 60 y 140 W)			Led 25, 49, 53 W Aditivo metálico 60 y 140 W	Vapor de sodio de alta presión 100, 175 y 250 W Incandescentes 60, 100, 150 y 200 W Vapor de mercurio 100, 150, 175, 250 W Luz mixta 150 W
Oaxaca de Juárez, Oaxaca	20 055	283	670	1115	Vapor de sodio de alta presión cerámico de 70, 100, 150 W.	Vapor de sodio de alta presión 100, 150 y 250 W Aditivos metálicos 150, 175, 250 W Incandescentes 100, 150 y 200 W Vapor de mercurio 175, 250 y 400 W Luz mixta 160, 250, 500 W
Ocotlán, Jalisco	4175	890	730	2993	Aditivos metálicos cerámicos 70 W	Vapor de sodio de alta presión 100 W
San Miguel El Alto, Jalisco	2255	318	445	2420	Aditivos metálicos cerámicos 70, 100 y 150 W	Vapor de sodio de alta presión 100 y 150 W Fluorescentes 250 W

Fuente: CONUEE <http://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estados-y-municipios-proyecto-nacional-de-eficiencia-energetica-en-alumbrado-publico-municipal>

Los resultados del Cuadro 24 se muestran en el Gráfico 44. Del Cuadro 24 se puede concluir que los proyectos Oaxaca de Juárez, y Aguascalientes de Aguascalientes son los más eficientes desde la perspectiva de ahorro de energía consumida puesto que se requieren 37 y 47 pesos respectivamente para obtener un ahorro de 1 kWh/mes. Para estos casos el tipo de tecnología eficiente aplicada corresponde a vapor de sodio de alta presión cerámico (70, 100, 150 W) y aditivos metálicos cerámicos (100 W) respectivamente.

Al contrario de los casos anteriores, las ciudades de Ocotlán e Hidalgo de Parral son las menos eficientes desde la perspectiva de ahorro de energía consumida puesto que se requieren 284 y 208 pesos respectivamente para obtener un ahorro de 1 kWh/mes. Esto representa al menos 4 veces el costo de los casos más eficientes. Para estos casos el tipo de tecnología eficiente aplicada corresponde a aditivos metálicos cerámicos (70 W) para Ocotlán y LED (43, 83 W) para Hidalgo.

Considerando la inversión por luminaria, los proyectos Mezquitic y Atlixco son los más costosos puesto que se requieren 5402 y 4224 pesos respectivamente para realizar el cambio de una luminaria. Esto es aproximadamente 5 veces el costo de los casos más eficientes. Para estos casos el tipo de tecnología eficiente aplicada corresponde a LED (25, 49, 53 W) y aditivo metálico (60, 140 W) para Mezquitic y a LED (37, 54, 90 y 130 W) para Atlixco.

Cuando se analiza la inversión requerida por habitante, nuevamente los proyectos Mezquitic y Atlixco son los menos eficientes puesto que se necesitan 766 y 341 pesos por habitante respectivamente para ejecutar el proyecto, valores que están en una relación de al menos 6 veces con respecto a los casos más eficientes.

Desde la perspectiva de la inversión por luminaria, los proyectos Oaxaca de Juárez, y Aguascalientes, son los más eficientes puesto que se requieren 575 y 732 pesos respectivamente para realizar el cambio de una luminaria.

Cuando se analiza la inversión requerida por habitante, nuevamente los proyectos Oaxaca de Juárez, y Aguascalientes, son los más eficientes puesto que se necesitan 44 y 51 pesos por habitante respectivamente para ejecutar el proyecto.

Las ciudades de los proyectos Oaxaca de Juárez y Aguascalientes son municipios relativamente grandes con 308 542 y 857 038 habitantes, respectivamente. En estos proyectos se utilizaron las tecnologías eficientes basadas en vapor de sodio de alta presión cerámico y aditivos metálicos cerámicos.

## Cuadro 24

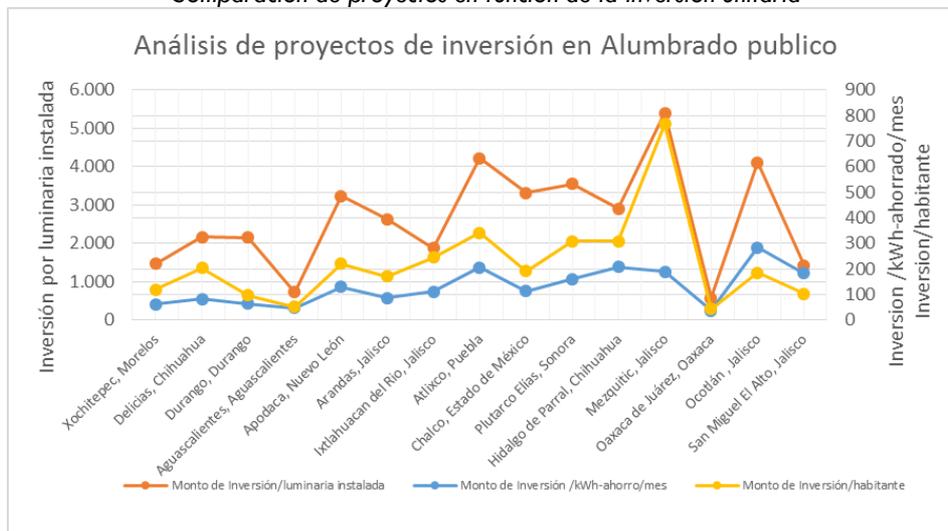
### *Análisis de inversión unitaria en los proyectos PNEEAPM*

Identificación Proyecto	Monto de inversión	Monto de Inversión	Monto de Inversión
	/ kWh -mes	/ Luminaria instalada	/habitante
	Pesos mexicanos /kWh/mes	Pesos mexicanos /luminaria	Pesos mexicanos / habitante
Xochitepec, Morelos	61	1464	120
Delicias, Chihuahua	81	2171	204
Durango, Durango	64	2156	97
Aguascalientes, Aguascalientes	47	732	51
Apodaca, Nuevo León	129	3231	220
Arandas, Jalisco	87	2624	170
Ixtlahuacán del Río, Jalisco	110	1881	245
Atlixco, Puebla	205	4224	341
Chalco, Estado de México	113	3309	192
Plutarco Elías, Sonora	161	3554	308
Hidalgo de Parral, Chihuahua	208	2910	309
Mezquitic, Jalisco	189	5402	766
Oaxaca de Juárez, Oaxaca	37	575	44
Ocotlán, Jalisco	284	4111	185
San Miguel El Alto, Jalisco	183	1422	103

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 45**

*Comparación de proyectos en función de la inversión unitaria*



Fuente: Elaboración propia

## Experiencia Internacional caso Chile

### 1. Antecedentes

En Chile a finales del año 2005, con el fin de modernizar las normativas de la institucionalidad política en materia de eficiencia energética, el gobierno a través del Ministerio de Minería creó oficialmente el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE), con el objetivo de establecer una política nacional permanente para la utilización eficiente de los recursos energéticos.

En el año 2005 se estimó el potencial de mejoramiento de la eficiencia energética para el alumbrado público en un 5,6%, aplicando las siguientes medidas:

- Cambio de lámparas de mercurio por lámparas de sodio de alta presión.
- Utilización de balastos más eficientes.
- Uso de balastos de doble nivel de potencia.

En el año 2006 la Comisión Nacional de Energía-CNE realizó el estudio de Caracterización Nacional de Alumbrado Público; uno de los hallazgos más relevantes fue que el 80% de las lámparas del alumbrado público eran de Sodio de Alta Presión SAP, siendo las de 70 W las más utilizadas, con un 34% del total de las lámparas informadas en el sondeo. Se observó además que el nivel de gasto presupuestario en AP en los municipios presentaba una tendencia a aumentar año a año, por lo que se recomendó que el gasto en AP se realizará incorporando criterios de eficiencia energética en las decisiones de los municipios, que ayudaran a suavizar ese aumento y a entregar a la comunidad el servicio de iluminación necesario.

En el año 2008, la Comisión Nacional de Energía a través de su Programa País de Eficiencia Energética (PPEE), suscribió un convenio con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para llevar a cabo el proyecto denominado: “Programa de Mejoramiento de la Eficiencia Energética del Alumbrado Público (PMEEAP)”, aprobado mediante la Resolución N° 82 de la CNE del 31 de julio de ese año.

La apuesta base del programa consistió en que incorporando tecnologías más eficientes se podía esperar la reducción de al menos un 25% de la energía eléctrica consumida por un municipio, objetivo que finalmente se consiguió una vez que se completó la implementación del PMEEAP.

La primera etapa consistió en implementar entre 3 y 5 proyectos piloto en municipios. Para ello, PNUD realizó un proceso de selección entre los 345 municipios existentes en el país, en los cuales se desarrollarían los llamados proyectos demostrativos.

En el año 2010 se creó el Ministerio de Energía, cuyo objetivo es elaborar y coordinar los planes, políticas y normas para el buen funcionamiento y desarrollo del sector de la energía. Dentro del ministerio es la División de Eficiencia Energética la delegada para desarrollar políticas, planes, líneas de acción y estándares en temas de eficiencia energética. Además, es la encargada de establecer las pautas regulatorias, los criterios de elaboración y de evaluación de proyectos de alumbrado público, liderando procesos de capacitación municipal e impulsando la elaboración de un catastro del parque existente. De esta forma, se apoyará a los municipios en los procesos de recambio de alumbrado público, en especial a aquellos con menores recursos.

Uno de los primeros desafíos que se planteó este Ministerio fue la creación de un Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020 (PAEE), este plan, aspiraba a ser una guía para que los sectores público y privado puedan orientar sus acciones para incrementar la eficiencia energética en sus respectivos ámbitos de acción. El PAEE20 contemplaba la reducción de la demanda energética proyectada para el 2020 de un 12%.

El Plan de Acción constituía una propuesta para que los diferentes sectores del país integraran la eficiencia energética en sus decisiones y fue el primer paso para lograr desarrollar una cultura en torno a este concepto. El Plan estableció medidas o programas cuyo objetivo central es aumentar la eficiencia energética nacional. Estas medidas se dividen operacionalmente en las siguientes componentes: sector industrial y minero, sector transporte, sector edificación, uso final de artefactos y consumo de leña. A esto se suman las medidas que están orientadas a generar un cambio cultural y que son transversales a todas estas componentes. La eficiencia energética en alumbrado de vías vehiculares y zonas peatonales de áreas urbanas.

Por su parte, y como encargada de la función ejecutiva de los programas del Ministerio de Energía, se estableció la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) en noviembre de 2010. La AChEE se instauró como la institución encargada de reemplazar al Programa País de Eficiencia Energética (PPEE), en un esfuerzo por darle aún más movilidad y solvencia a los programas establecidos y a los futuros, siempre focalizada en ser una parte activa en el camino establecido en Chile hacia un desarrollo sostenible.

## 2. Programa de Mejoramiento de Eficiencia Energética del Alumbrado Público

El Programa de Mejoramiento de la Eficiencia Energética del Alumbrado Público se puede resumir en los siguientes aspectos: **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

### a. Consumo y selección de comunas beneficiarias para proyecto piloto

Los requisitos establecidos para la selección de las municipalidades del país fueron los siguientes:

- Pertenecer al 50% de los municipios de menores ingresos.
- Disponer de información básica de su sistema de alumbrado público.

- Tener las luminarias asociadas a un circuito con medidor mediante el cual se registre el consumo eléctrico.
- Al menos el 80% de las luminarias postuladas debían ser de sodio de alta presión.

*b. Levantamiento de información de base de las instalaciones de alumbrado público en los municipios beneficiados*

Debido a la falta de información sobre las instalaciones de alumbrado público, el equipo de trabajo del proyecto debió desarrollar un levantamiento de información de terreno, que consistió en recopilar los tipos y potencias de luminarias por circuito de AP, asociar cada una a un medidor, caracterizar las calles de las ciudades y realizar mediciones de niveles de iluminación en una calle por tipo. En base a la información recopilada en cada municipio, se establecieron los requerimientos particulares de cada uno de ellos y, además, en este proceso fueron elaboradas las especificaciones técnicas que fueron utilizadas en la posterior licitación realizada.

*c. Panel de Expertos*

Para poder definir la tecnología de alumbrado público que se utilizaría en la implementación de los proyectos demostrativos, se creó un panel de expertos que desarrolló un método de análisis y evaluación que permitió seleccionar luminarias que cumplieran con una serie de exigencias mínimas propuestas por el panel. Dicho panel estuvo conformado por reconocidos especialistas en el tema y representantes de organismos que tienen directa relación con la utilización de sistemas de alumbrado público y eficiencia energética.

*d. Implementación*

Se reemplazó un total de 4008 luminarias de sodio de alta presión, por luminarias de sodio de alta presión con balastos de doble nivel de potencia y luminarias LED. Además, se reemplazaron 404 brazos de soporte de luminarias, y para los circuitos de alumbrado público se construyeron 106 nuevos tableros de control metálicos con índice de protección suficiente para impedir el ingreso de polvo y humedad, los cuales incluyeron un reloj astronómico para el control del encendido y apagado de las luminarias.

*e. Estudio técnico de medición y verificación de resultados*

Para poder contar con una retroalimentación precisa que permitiera discriminar los logros y las deficiencias o imprevistos en el desarrollo del Programa, se hicieron mediciones extensivas del consumo de cada parque de luminarias correspondiente a cada municipio.

Dado que el funcionamiento del alumbrado público es estacional, la comparación de los consumos para determinar su variación tiene que realizarse en periodos de 12 meses, entre meses homólogos de años consecutivos.

Los periodos de consumo considerados fueron de junio/julio de 2011 a mayo/junio de 2012, dependiendo de las fechas de inicio y término de las obras en cada municipio. Los consumos reales del periodo de 12 meses posterior al reemplazo de las luminarias existentes, consideraron desde junio/julio de 2012 a mayo/junio de 2013.

### 3. Requerimientos técnicos panel de expertos Chile

En relación al método de trabajo para la implementación del PMEEAP se determinó la necesidad de conformar un panel de expertos cuya función era la elaboración de un procedimiento de análisis y evaluación de los parámetros más relevantes y característicos de un sistema de alumbrado público de tal forma que sean de impacto en la eficiencia energética. Para ello el panel utilizó como referencia la siguiente documentación:

#### Documentación internacional

- CIE 34 “Road Lighting Lantern and Installation Data Photometrics, Classification and Performance”.
- CIE 43 “Photometry of Floodlights”.
- CIE 70 “The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions”.
- CIE 84 “The Measurement of Luminous Flux”.
- CIE 115 “Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic”.
- CIE 121 “The Photometry and Goniophotometry of Luminaries”.
- CIE 126 “Guidelines for minimizing Sky Glow”.
- CIE 127 “Measurement of LEDS”.
- CIE 132 “Design Methods for Lighting of Roads”.
- CIE 140 “Road Lighting Calculations”.
- CIE 144 “Road Surface and Road Marking Reflection Characteristics”.
- IEC 60188 Lámparas de Mercurio.
- IEC 60192 Lámparas de Sodio Baja Presión.
- IEC 60238 Portalámparas Edison.
- IEC 60598-1 Luminarias - Requisitos generales.
- IEC 60598-2-3 Luminarias para Calles y Carreteras.
- IEC 60529 Grados IP.
- IEC 60923 Balastos para Lámparas de Descarga (excepto lámparas fluorescentes) - Requisitos de desempeño.
- IEC 60927 Ignitores.
- IEC 60662 Lámparas de Sodio de Alta Presión.
- IEC 61048 Condensadores 1.
- IEC 61049 Condensadores 2.
- IEC 61167 Lámparas Haluros Metálicos.
- IEC 61347-1 Balastos - Requisitos Generales.
- IEC 61347-2-9 Balastos para Lámparas de Descarga. Requisitos particulares para balastos para lámparas de descarga (excepto lámparas fluorescentes) Mantenimiento.
- IEC 62035 Lámparas de Descarga - Especificaciones de Seguridad.
- IEC LM-35 IEC Approved Method for Photometric Testing of Floodlights Using Incandescent Filament or Discharge Lamps.
- IEC IM-31 Photometric Testing of Roadway Luminaries Using Incandescent Filament and High Intensity Discharge Lamps.
- IECNA TM-15-07 Luminaries Classification System for Outdoor Luminaries.
- IES LM-63 IECNA Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data.

- Propuesta de Modelo de Ordenanza Municipal de Alumbrado Exterior para la Protección del Medio Ambiente mediante la mejora de la eficiencia energética, Comité Español de Iluminación, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, 2002.

#### Documentación nacional<sup>18</sup>

- Proyecto de Norma de Alumbrado Público que incorpora la Eficiencia Energética como criterio fundamental, Estudio de la PUCV para la CNE de noviembre del 2005.
- Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tráfico Vehicular.
- NCh 3110. Of 2008 Balastos para lámparas de descarga (excluyendo lámparas fluorescentes tubulares) - Requisitos de comportamiento.
- P.E. N° 5/07 de 2009 Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Seguridad de Producto Eléctrico: Luminaria para Alumbrado Público.
- P.E. N° 5/08 de 2010 Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Seguridad y desempeño de Producto Eléctrico: Lámparas de descarga con vapor de sodio a alta presión.
- P.E. N° 5/09 de 2010 Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Seguridad y Desempeño de Producto Eléctrico: Lámparas de descarga con vapor de sodio a baja presión.
- P.E. N° 5/10 de 2010 Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Seguridad y Desempeño de Producto Eléctrico: Balastos para lámparas de descarga con vapor de: sodio a alta presión, sodio a baja presión, mercurio a alta presión y/o haluros metálicos.
- P.E. N° 5/11 de 2011 Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Seguridad y Desempeño de Producto Eléctrico: Lámparas de descarga con vapor de mercurio a alta presión.
- P.E. N° 5/12 de 2011 Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Seguridad y Desempeño de Producto Eléctrico: Lámparas de descarga con vapor de haluros metálicos.

El panel acordó que más que seleccionar una tecnología en particular, lo que correspondía era desarrollar un método de análisis y evaluación que permitiera seleccionar luminarias que cumplieran con determinadas exigencias mínimas aceptadas por el panel. Ello en razón de que luminarias de una misma tecnología pueden presentar grados de eficiencia muy diferentes. El criterio general es primero vigilar por la eficiencia energética de las partes del sistema para posteriormente desarrollar un índice de eficacia energética representativo para la luminaria completa.

Estos requerimientos mínimos se elaboraron para lámparas, luminarias y balastos.

Posterior a la implementación del PMEEAP, se elaboraron protocolos adicionales relacionados con la tecnología LED y balastos electrónicos que se detallan a continuación:

- P.E. N° 5/13 de 2011 Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Seguridad Producto Eléctrico: Módulos LED, para uso en alumbrado público.
- P.E. N° 5/14 de 2011 Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Seguridad y Desempeño Producto Eléctrico: Dispositivos de Control Electrónicos para Módulos LED, para uso en alumbrado público.
- P.E. N° 5/19 de 2013 Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Seguridad de Producto Eléctrico: Luminaria Proyector o Proyector de Área, para uso en alumbrado público.

---

<sup>18</sup> Protocolos de Ensayos de Productos para Alumbrado Público. Descargar en [http://www.sec.cl/portal/page?\\_pageid=33,5605710&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5605710&_dad=portal&_schema=PORTAL)

- P.E. N° 5/22 de 2016 Protocolo de Análisis y/o Ensayos de Seguridad de Producto eléctrico – Balasto Electrónico para lámparas de descarga con vapor de: Sodio a alta presión, sodio a baja presión, mercurio a alta presión y/o haluros metálicos, para uso en alumbrado público

a. *Requerimientos de las lámparas*

La eficacia luminosa de las lámparas (EFL) deberá ser igual o mayor que 80 lúmenes/watt. Dado que algunas fuentes no pueden ser separadas de sus equipos eléctricos y, por ende, no se puede determinar su consumo específico, se estableció un criterio para manejar esta situación a fin de permitir la correcta comparación entre fuentes de una misma familia y de ésta con otras familias.

Por ello, se define:

- Eficacia luminosa de la Lámpara, EFL en (lúmenes/watt) como la razón entre el flujo luminoso de la lámpara y la potencia eléctrica por ella consumida.
- Eficacia luminosa del conjunto lámpara-equipos eléctricos, EFLB en (lúmenes/watt) como la razón entre el flujo luminoso de la lámpara y la potencia eléctrica consumida por el conjunto lámpara-equipos eléctricos.

b. *Requerimientos de las luminarias*

En el Cuadro 25 se indican los requerimientos para las luminarias sobre la forma en que ellas deben entregar sus prestaciones en los sistemas de alumbrado público:

**Cuadro 25**

<i>Requisitos luminarias para alumbrado público</i>		
Aspectos		Requisito
Sistema óptico		Cerrado
Clasificación: CIE 34-1976		
Fotometría		Rendimiento lumínico (RLum): igual mayor de 70% <sup>a</sup>
Hermeticidad	Sistema óptico	Igual o mejor que IP 54
Índice de Protección IP	Compartimiento eléctrico	Igual o mejor que IP 53

Fuente: Diseño e implementación Servicio de Asistencia Técnica en Alumbrado Público a Municipios. (2010). Informe panel de expertos

<sup>a</sup> Rendimiento lumínico de la luminaria, RLum (%), entendida como la razón entre el flujo luminoso emitido por la luminaria y el flujo luminoso emitido por la lámpara

c. *Requisitos balastos*

Los balastos a ser utilizados en las lámparas de descarga deberán acreditar sus pérdidas eléctricas conforme a los siguientes valores máximos:

## Cuadro 26

*Pérdidas máximas aceptadas en balastos de para lámparas de sodio y haluros metálicos*

Potencia (W)	Pérdida Máxima (W) <sup>a</sup>	
	Sodio alta presión	
70	16	15
100	16	16
150	20	22
250	27	25
400	37	33

Fuente: Diseño e implementación Servicio de Asistencia Técnica en Alumbrado Público a Municipios. (2010). Informe panel de expertos.

<sup>a</sup> Las pérdidas serán medidas al voltaje nominal del balasto (ver IEC - 60923).

### d. Metodología de selección de luminarias con base en la opinión de expertos

El método de selección de luminarias para alumbrado público elaborado por los expertos chilenos, permite verificar que estas satisfacen los criterios de eficiencia energética. Las principales características de esta metodología son las siguientes:

- El análisis propuesto supone etapas secuenciales, mandatarias y concatenadas.
- Los parámetros mínimos a cumplir son coherentes con los establecidos en el Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tráfico Vehicular.
- El método establece que los parámetros de cada luminaria analizada deben ser validados por un organismo técnico independiente no vinculados con el proveedor o fabricante<sup>19</sup>.
- El método define un índice que represente la Eficiencia Energética de la luminaria en su totalidad.

El Cuadro 27 presenta los parámetros considerados en la propuesta de evaluación de luminarias.

## Cuadro 27

*Parámetros críticos considerados en la metodología*

Componente	Indicador	Valor o Condición Mínima Requerida
Lámpara	Eficacia EFL (lúmenes/watt)	Igual o mayor que 80
	Eficacia EFLB (lúmenes/watt)	La que permita que EFLum sea igual o mayor que 46
Equipo Eléctrico	Pérdidas máximas (watts)	Según potencia
	Rendimiento (%) RLum	Igual o mayor de 70
Luminaria	Distribución longitudinal de flujo	Presentar intensidad máxima a la que se debe estar ubicada en ángulo de elevación sobre 45°
	Grado IP Polvo y lluvia	Óptica IP 54; Cuerpo IP 53

Fuente: Diseño e implementación Servicio de Asistencia Técnica en Alumbrado Público a Municipios. (2010). Informe panel de expertos.

<sup>19</sup> Listado de Organismos de Certificación Autorizados en Chile Resoluciones de Autorización de Organismos de Certificación: Sitio web: [http://www.sec.cl/portal/page?\\_pageid=33,5607703&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5607703&_dad=portal&_schema=PORTAL)

Para determinar la eficiencia total de una luminaria para alumbrado público, representada por su eficacia (EFLum) se procede de la manera siguiente:

$$\text{EFLum} = \text{PL}/\text{PT} \times \text{EFL} \times \text{RLum} \text{ (lúmenes/watt)}, \text{ o su equivalente}$$
$$\text{EFLum} = \text{EFLB} \times \text{RLum} \text{ (lúmenes/watt)}$$

El valor mínimo de la eficacia total (EFLum) que una luminaria debe certificar es de 46 (lúmenes/watt).

Donde:

PT: Potencia Total consumida en la Luminaria (watts).  
PL: Potencia consumida en la lámpara (watts).  
RLum: Rendimiento lumínico de la Luminaria (%).  
EFL: Eficacia de la Lámpara (lúmenes/watt).  
EFLum: Eficacia de la luminaria (lúmenes/watt).  
EFLB: Eficacia del conjunto Lámpara-Balasto (lúmenes/watt)

Para los productos relacionados con alumbrado público, cada proveedor debe entregar un informe técnico, para cada uno de sus productos, que avale el cumplimiento de los parámetros definidos. El realizador de los ensayos y del informe técnico debe cumplir con los protocolos establecidos para tal efecto por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) y acreditar que su ejecución cumple con las buenas prácticas establecidas para la elaboración de ensayo, tales como, infraestructura y condiciones del ensayo, instrumentación adecuada, calibración de los instrumentos, trazabilidad y competencias de los profesionales que ejecutan tales ensayos.

#### 4. Resultados proyecto piloto PMEEAP

De la aplicación del Programa de Mejoramiento de la Eficiencia Energética del Alumbrado Público PMEEAP, los conocimientos y enseñanzas del proyecto fueron identificados y expuestos en el documento: “Lecciones aprendidas. Programa de capacitación para municipalidades en temas de eficiencia energética en el alumbrado público”, las mismas que se resumen a continuación:

- Se requiere disponer de un buen diagnóstico municipal que permita entender cuáles son las responsabilidades de los funcionarios a cargo del AP.
- Se requiere contar con un sistema de información sistematizado del AP, con el propósito de poseer la capacidad/información para realizar cualquier tipo de proyecto que permita mejorar su gestión.
- Se requiere que los municipios cuenten con personal con dedicación exclusiva y baja rotación para la administración de los sistemas de AP. Una de las lecciones aprendidas es que la generalidad de los municipios no cuenta con personal con dedicación exclusiva para la administración de los sistemas de AP.
- El éxito de los proyectos en temas de eficiencia energética depende en gran medida de la capacidad de las instituciones públicas para organizar, transformar y desarrollar las posibilidades de nuevos bienes y servicios, así como de la capacidad que tenga el sector privado para aplicar adecuadas técnicas de comunicación y buenas prácticas afines a las tecnologías que sean más eficientes y su aplicación en experiencias exitosas y fallidas.
- Un mayor conocimiento por parte de los encargados del AP sobre los beneficios de la eficiencia energética es un elemento vital para lograr promover su uso de manera permanente.

- Las instituciones públicas cumplen un rol decisivo en la utilización y promoción de la eficiencia energética y son clave al momento de aplicar estas nuevas tecnologías en la formulación de proyectos e iniciativas vinculadas con el AP.
- El alumbrado público en sí se compone de un complejo entramado. Sus procesos de operación, gestión y control conllevan un manejo que no siempre es viable en su totalidad por quienes lo operan. Para quienes son responsables de él, ya sea por cargo profesional o designación, implica responsabilizarse de un tema de gran envergadura a nivel municipal.
- Apoyar a los municipios es clave para comprender a cabalidad su realidad, tanto en el ámbito administrativo como en el profesional, y las condiciones medioambientales existentes que pueden relacionarse con los temas de AP.
- El intercambio de experiencias durante el desarrollo de proyectos, entre los funcionarios de diversos municipios, ha permitido sentir una identificación sobre los diferentes temas que conlleva el AP. Han comprendido que sus necesidades y requerimientos, tanto en el ámbito técnico, tarifario, elaboración de proyectos y otros, son pertenecientes a todos, y que se vuelven comunes para todos ellos, sintiendo una identificación y empatía en el intercambio de experiencias. Esta identificación los ha llevado a crear redes de apoyo de intercambio de información entre ellos, que aún siguen vigentes.
- La alta demanda del sector privado en materias de AP implicó para el proyecto ahondar esfuerzos al momento de realizar los procesos de licitación para las diferentes consultorías relacionadas con este tema. El escaso grupo de profesionales que cuentan con experiencia suficiente a nivel de docencia, relatorías o entrega de conocimientos hacia el sector público, implicó una mayor demanda de tiempo para cada uno de estos procesos.
- Tener un acceso mayor y de mejor calidad del AP ayuda a aumentar el nivel de la productividad, así como también, en el largo plazo, a mejorar el crecimiento económico, especialmente si va acompañado de otras inversiones, más aún en zonas más aisladas y vulnerables, donde el alumbrado tiene un rol fundamental en la vida cotidiana.
- Permitir un espacio público planificado y en buenas condiciones ayuda a mejorar la percepción de seguridad, y posiblemente mejore las relaciones dentro de la misma comunidad, y lleve a un mejor y mayor uso de los espacios públicos.
- Más allá de estas realidades compartidas por la enorme mayoría de los municipios, existen también criterios específicos que aparecieron como muy relevantes a la hora de pensar en AP. Para las localidades del sur de Chile, por ejemplo, aumenta notoriamente la diferencia del día y la noche en el periodo de invierno, por lo que si se utilizan sistemas reductores de potencia se debe considerar sistemas programables para ajustarlos a la realidad de cada localidad.
- Los municipios afectados por la ley de contaminación lumínica, especialmente en el norte de Chile, donde la presencia de los más grandes proyectos de observación espacial hace de la limpieza lumínica uno de los grandes temas a considerar a la hora de hacer cambios o mejoras en el AP.
- Desde una perspectiva administrativa, es importante mencionar los plazos y tiempos de demora que existen para facilitar la participación de un funcionario de estos procesos de capacitación en nuevos conocimientos. El proyecto fue riguroso al momento de proceder sobre las personas que debían asistir, ya que hubo un porcentaje importante de candidatos que no tenían ninguna relación con los temas que se impartirían en los cursos, por lo tanto, hubo que insistir y priorizar sobre el profesional que fuese partícipe.
- Se requiere una acabada planificación incorporando todas las variables y riesgos políticos para futuras intervenciones en el ámbito del fortalecimiento municipal y el AP. En efecto, las elecciones de alcaldes generan incertidumbre en la toma de decisiones a nivel local, retrasando tiempos y plazos establecidos por el proyecto. Al asumir un nuevo

alcalde, los avances realizados por el PCEEAP quedaban en muchos casos inactivos, debido a que la nueva administración debía tomar posesión del cargo, con todas las implicancias asociadas.

- La carencia generalizada de profesionales que se dedican en forma exclusiva al alumbrado público implicó que, al momento de asistir a las capacitaciones, varios municipios dejaran de contar con estos profesionales que, además, dedican gran parte de su tiempo y responsabilidades a otras funciones, lo que finalmente se transforma en un aumento de la carga laboral una vez finalizados los cursos impartidos. En particular, esto fue señalado por los asistentes de municipios de regiones, reflejando una vez más la brecha que hay en relación a los numerosos municipios de la Región Metropolitana que cuentan con departamentos de AP.

## Experiencia Internacional caso – UE

En esta sección se presenta una descripción de los medios de ejecución de la política medioambiental y de eficiencia energética establecidos en la Unión Europea determinantes en la normatividad de las nuevas tecnologías eficientes para sistemas de alumbrado interior y exterior. En la sección 1 se describe de manera general los instrumentos legales para la ejecución de la política medioambiental y de eficiencia energética aplicables en los países miembros de la Unión Europea.

En la sección 2 se presenta brevemente los instrumentos legales para la ejecución de la política medioambiental y de eficiencia energética que están impulsando la aplicación de tecnologías eficientes, y específicamente la tecnología SSL, iluminación de estado sólido, por sus siglas en inglés Solid State Lightning basada en Diodos Emisores de Luz LED.

En la sección 3 se presenta los instrumentos legales para la ejecución de la política medioambiental y de eficiencia energética relacionados con lámparas y luminarias aplicados a alumbrado exterior.

### 1. Reglamentación y Normativa de la Unión Europea

En la Unión Europea los instrumentos para la ejecución de la política medioambiental y de eficiencia energética son los actos jurídicos típicos, constituidos por el derecho ordinario o primario (los tres tratados constitutivos, sus tratados modificativos y las sucesivas Actas de Adhesión de nuevos miembros), y el derecho derivado o secundario integrado por una serie de actos típicos (directivas, reglamentos, decisiones, recomendaciones, resoluciones o dictámenes), y actos atípicos o programas de acción que corresponden a una política y estrategia a llevar a cabo en un determinado periodo de tiempo.

Las Directivas están dirigidas a los Estados miembros y solamente obligan a éstos en cuanto al resultado, de modo que las autoridades nacionales eligen la forma y los medios para alcanzarlo, mediante la transposición a la legislación de cada país, ya sea bajo la modalidad de una Ley, Real Decreto o publicación Oficial en el Diario Oficial del Estado.

El Reglamento, es vigente directamente en todos los Estados miembros una vez aprobado y publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea, es decir, los Estados deben aplicar el reglamento con carácter inmediato y forzoso.

Las Decisiones, a diferencia de las Directivas y Reglamentos, no son actos legales dirigidos a la generalidad; regulan casos particulares, precisan su incorporación a la legislación nacional y son de aplicación obligatoria desde su publicación en el Diario Oficial de la UE.

Las Recomendaciones, Comunicaciones, Resoluciones y Dictámenes carecen de fuerza jurídica vinculante y se adoptan fundamentalmente para establecer orientaciones generales y opiniones.

## 2. Instrumentos que impulsan la implementación de tecnologías eficientes

El informe Iluminando las Ciudades de la Comisión Europea proporciona directrices sobre la mejor manera de proceder con la implementación de la tecnología SSL en ciudades europeas, y presenta una descripción de los instrumentos que se han establecido en la Unión Europea en relación a la política medioambiental y de eficiencia energética para el alumbrado interior y exterior de las ciudades.

En el informe se destaca que existe un contexto favorable a nivel europeo para el despliegue de iluminación LED de alta calidad en instalaciones exteriores e interiores, basado en los siguientes antecedentes:

- A. El Libro Verde 'Iluminemos el Futuro' (COM 2011) 889 de la Comisión Europea estableció la base para la implementación generalizada de tecnología SSL de alta calidad en Europa. En este libro se describen Instrumentos políticos y legislativos de la UE aplicables a los productos SSL, tanto voluntarios como obligatorios, que impulsarían su desarrollo imponiendo a los productos que la utilicen unos requisitos mínimos de rendimiento y de seguridad. Entre esos instrumentos, se destacan los siguientes:

**El diseño ecológico** Reglamentos (EC) No 244/2009, (EC) No 245/2009, (UE) No 1194/2012 modificados por el Reglamento (UE) 1428/2015: su objetivo es reducir el impacto medioambiental de los productos, incluido el consumo de energía que hacen a lo largo de su ciclo de vida.

**El etiquetado energético** Reglamento (EU) No 874/2012: establece el marco para la elaboración de medidas de etiquetado energético aplicables específicamente a cada producto, a fin de que los usuarios finales puedan, gracias a la información normalizada que se les facilite sobre el consumo de energía de los productos, elegir aquéllos que sean más eficientes.

**La etiqueta ecológica:** Se trata de un régimen facultativo que promueve los productos que ofrecen un alto rendimiento medioambiental.

**La Directiva sobre el material eléctrico de baja tensión:** regula la seguridad de los equipos eléctricos que funcionan con una tensión de más de 50 voltios y garantiza que sólo se comercialicen aquéllos que sean seguros.

**Las Directivas 2011/65/EU y 2012/19/EU:** sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas y sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

**La contratación pública ecológica COM (2008) 400 (Green Public Procurement -GPP):** La contratación pública ecológica es un régimen voluntario, establecido a nivel de la UE, en virtud del cual las autoridades públicas garantizan que los contratos de bienes, servicios y obras celebrados por ellas tendrán un limitado impacto medioambiental durante su ciclo de vida.

**El nuevo marco legislativo NML:** Desde el año 2010, la ejecución de las exigencias de rendimiento y seguridad contenidas en la mayoría de los instrumentos antes indicados puede basarse en el nuevo marco legislativo (NML). El NML se compone de dos instrumentos complementarios: un reglamento y una decisión. El reglamento establece a partir de ese año un marco más estricto para la vigilancia del mercado de los equipos eléctricos y regula las facultades y las obligaciones de las autoridades nacionales competentes, las cuales deben efectuar a una escala adecuada controles de los productos tanto nacionales como importados y excluir aquéllos que presenten un riesgo o que no se ajusten a los requisitos aplicables. La decisión, por su parte, somete las obligaciones de los operadores económicos a una serie de disposiciones de referencia a las que debe adaptarse la normativa de armonización aplicable a los productos.

**La acción de la Agencia Internacional de la Energía (AIE):** Encargada de la calidad global de la tecnología SSL con el desarrollo de un sistema de garantía de la calidad. El sistema establece categorías de productos, valores mínimos de rendimiento, marcas específicas para la declaración de los productos y la obligación de informar de los valores controlados.

- B. La Directiva Europea de Eficiencia Energética en Edificios 2010/31/EU (Energy Performance of Buildings Directive –EPBD-), indica que la instalación de iluminación (principalmente en el sector no residencial) es uno de los principales elementos a tener en cuenta para el cálculo de la eficiencia energética de un edificio.
- C. La Directiva Europea de Eficiencia Energética 2012/27/UE requiere que los Estados miembros renueven los edificios de la administración de acuerdo con los requisitos que marca la EPBD y promueve la aplicación de sistemas de gestión energética. También requiere que las administraciones adquieran productos, servicios y edificios con altos índices de eficiencia energética, coherente con las directivas de etiquetado energético y de ecodiseño, que también apoyan la transición a iluminación LED de alta calidad en instalaciones residenciales de interior y exterior.

### **3. Directivas y Reglamentos aplicables a lámparas y luminarias para uso exterior**

#### *a. Diseño ecológico – Directiva 2009/125/CE*

En esta Directiva se instauró un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los Productos que Utilizan Energía (PUE), que representan una gran proporción del consumo de recursos naturales y de energía en la Comunidad Europea y tienen otros impactos importantes en el medio ambiente.

Según la Directiva se entiende por diseño ecológico la integración de los aspectos medioambientales en el diseño del producto, con el fin de mejorar su comportamiento respecto al medio ambiente a lo largo de todo un ciclo de vida, o etapas consecutivas e interrelacionadas de un producto, desde el uso de su materia prima hasta la eliminación final.

Los productos relacionados con la energía que cumplan las reglas de diseño ecológico asumidas en las medidas de ejecución de la Directiva 2009/125/CE, deben llevar el “mercado CE” y la información asociada para poder introducirlos en el mercado interior y permitir su libre circulación.

Los preceptos de diseño ecológico relacionados con lámparas, luminarias y equipos aplicables a alumbrado exterior están cubiertos por las medidas de ejecución que estos productos obligatoriamente deberán cumplir conforme a los siguientes reglamentos:

- ✓ Reglamento (CE) No 245/2009. Relativo a los requisitos de diseño ecológico para lámparas fluorescentes sin balastos integrados, para lámparas de descarga de alta intensidad y para balastos y luminarias que puedan funcionar con dichas lámparas.
- ✓ Reglamento (UE) No 347/2010. Modifica el Reglamento (CE) n° 245/2009.
- ✓ Reglamento (UE) No 1194/2012 por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE en lo que atañe a los requisitos de diseño ecológico aplicables a las lámparas direccionales, a las lámparas LED y a sus equipos.
- ✓ Reglamento (UE) No 1428/2015: por el que, entre otros, se modifican el Reglamento (CE) No 245/2009 y el Reglamento (UE) No 1194/2012.

En el Artículo 10 “Normas armonizadas” de la Directiva se establece que los Estados miembros, en la medida de lo posible, garantizarán la adopción de medidas adecuadas que permitan consultar a las partes interesadas a nivel nacional en la preparación y seguimiento de las normas armonizadas.

Se dispone en la Directiva que uno de los principales cometidos de las normas armonizadas debe consistir en ayudar a los fabricantes a ejecutar las medidas de ejecución adoptadas con arreglo a la Directiva. Estas normas podrían ser esenciales para establecer métodos de medición y de control. En el caso de los requisitos de diseño ecológico las normas armonizadas podrían contribuir considerablemente a orientar a los fabricantes para establecer el perfil ecológico de sus productos de conformidad con los requisitos de la medida de ejecución aplicable. Dichas normas deben indicar claramente la relación entre sus cláusulas y los requisitos de que se trate. El objetivo de las normas armonizadas no debe ser establecer límites en relación con aspectos medioambientales.

Se considerará que los productos a los que se hayan aplicado normas armonizadas, cuyas referencias se hayan publicado en el “Diario Oficial de la Unión Europea”, se ajustan a los requisitos pertinentes de la medida de ejecución aplicable a que se refieren dichas normas.

#### **4. Reglamento (CE) No 245/2009**

Con este Reglamento se aplica la Directiva 2009/125/CE, y se establecen:

- Los requisitos de diseño ecológico para lámparas fluorescentes sin balastos integrados, para lámparas de descarga de alta intensidad, y para balastos y luminarias que puedan funcionar con dichas lámparas, incluso cuando estén integradas en otros productos que utilizan energía.
- Los criterios de referencia indicativa para productos destinados a ser utilizados en iluminación de oficinas y alumbrado de vías públicas, con el fin de guiar a los usuarios acerca de la mejor tecnología disponible para estas aplicaciones específicas.

Los requisitos de diseño ecológico aplicados bajo este Reglamento, se definieron para cumplimiento por etapas de acuerdo al siguiente calendario, cada uno de las cuales añade requisitos nuevos o más restrictivos respecto a la fase anterior.

Etapa 1:	Al año de la entrada en vigor del Reglamento	13-04-2010
Fase Intermedia:	A los 18 meses de la entrada en vigor del Reglamento	13-10-2010
Etapa 2:	A los 3 años de la entrada en vigor del Reglamento	13- 04- 2012
Fase intermedia:	A los 6 años de la entrada en vigor del Reglamento	13-04-2015
Etapa 3:	A los 8 años de la entrada en vigor del Reglamento	13-04-2017

El Reglamento (UE) No 347/2010 modifica los anexos I, II, III y IV del Reglamento (CE) No 245/2009 y el Reglamento (UE) No 1428/2015 modifica el Anexo III. En lo que sigue se presentan los conceptos conforme a la última modificación aplicable.

En el Anexo I se presentan definiciones incluidas en el Artículo 2 “Definiciones” y en el Anexo II del Reglamento que se consideran necesario mostrar a efectos de entender las partes aplicables al alumbrado exterior.

*a. Anexo III - Reglamento (CE) No 245/2009*

El Anexo III del Reglamento se divide en las siguientes secciones:

1. Requisitos aplicables a las lámparas fluorescentes sin balasto integrado y a las lámparas de descarga de alta intensidad.
2. Requisitos aplicables a los balastos para lámparas fluorescentes sin balasto integrado y a los balastos para lámparas de descarga de alta intensidad.
3. Requisitos aplicables a las luminarias para lámparas fluorescentes sin balasto integrado y a las luminarias para lámparas de descarga de alta intensidad.

A continuación, se presenta las partes de cada una de las secciones aplicables a equipos de uso común en el alumbrado público.

*b. Anexo III - Reglamento (CE) No 245/2009 Sección 1*

**Requisitos de Eficacia de las lámparas**

En los Cuadros 27 y 28 se presentan los requisitos aplicables a las lámparas de descarga de alta intensidad a partir de la Segunda etapa.

Las lámparas con  $T_c \geq 5\,000\text{ K}$  o equipadas con una segunda envolvente deberán cumplir al menos el 90 % de los requisitos de eficacia luminosa.

Las lámparas de sodio a alta presión con  $R_a \leq 60$  deberán presentar al menos las eficacias luminosas asignados en el Cuadro 30.

## Cuadro 28

*Eficacia mínima aplicable a las lámparas de sodio a alta presión con  $Ra \leq 60$*

Etapa 2		
Potencia nominal de la lámpara (W)	Eficacia asignada (lm/W)	Eficacia asignada (lm/W)
	Lámparas claras	Lámparas no claras
$W \leq 45$	$\geq 60$	$\geq 60$
$45 < W \leq 55$	$\geq 80$	$\geq 70$
$55 < W \leq 75$	$\geq 90$	$\geq 80$
$75 < W \leq 105$	$\geq 100$	$\geq 95$
$105 < W \leq 155$	$\geq 110$	$\geq 105$
$155 < W \leq 255$	$\geq 125$	$\geq 115$
$255 < W \leq 605$	$\geq 135$	$\geq 130$

Fuente: Comisión Europea. Reglamentos (CE) 245/2009 – Reglamento 347-2010

Los requisitos del Cuadro 28 se aplicarían a las lámparas de sodio a alta presión adaptadas diseñadas para funcionar con equipos de alimentación para lámparas de vapor de mercurio a alta presión a partir de los 6 años después de la entrada en vigor del Reglamento, es decir, 13-04-2015.

Las lámparas de halogenuros metálicos con  $Ra \leq 80$  y las lámparas de sodio a alta presión con  $Ra > 60$  deberán presentar al menos las eficacias luminosas asignadas en el Cuadro 29.

## Cuadro 29

*Eficacia mínima aplicable a las lámparas de halogenuros metálicos con  $Ra \leq 80$  y las lámparas de sodio de alta presión con  $Ra > 60$*

Etapa 2		
Potencia nominal de la lámpara [W]	Eficacia asignada [lm/W]	Eficacia asignada [lm/W]
	Lámparas claras	Lámparas no claras
$W \leq 55$	$\geq 60$	$\geq 60$
$55 < W \leq 75$	$\geq 75$	$\geq 70$
$75 < W \leq 105$	$\geq 80$	$\geq 75$
$105 < W \leq 155$	$\geq 80$	$\geq 75$
$155 < W \leq 255$	$\geq 80$	$\geq 75$
$255 < W \leq 405$	$\geq 85$	$\geq 75$

Fuente: Comisión Europea. Reglamentos (CE) 245/2009 – Reglamento 347-2010

A partir del 13-04-2015, las demás lámparas de descarga de alta intensidad deberían presentar al menos las eficacias luminosas presentadas en el Cuadro 30.

### Cuadro 30

*Eficacia mínima aplicable a las demás lámparas de descarga de alta intensidad*

Etapa 2	
Potencia nominal de la lámpara [W]	Eficacia asignada de la lámpara [lm/W]
$W \leq 40$	50
$40 < W \leq 50$	55
$50 < W \leq 70$	65
$70 < W \leq 125$	70
$125 > W$	75

Fuente: Comisión Europea. Reglamento (CE) 245/2009

En el Cuadro 31 se presentan los requisitos aplicables a partir de la etapa tres para las lámparas de halogenuros metálicos.

### Cuadro 31

*Eficacia mínima aplicable a lámparas de halogenuros metálicos*

Etapa 3		
Potencia nominal de la lámpara (W)	Eficacia asignada (lm/W)	Eficacia asignada (lm/W)
	Lámparas claras	Lámparas no claras
$W \leq 55$	$\geq 70$	$\geq 65$
$55 < W \leq 75$	$\geq 80$	$\geq 75$
$75 < W \leq 105$	$\geq 85$	$\geq 80$
$105 < W \leq 155$	$\geq 85$	$\geq 80$
$155 < W \leq 255$	$\geq 85$	$\geq 80$
$255 < W \leq 405$	$\geq 90$	$\geq 85$

Fuente: Comisión Europea. Reglamentos (CE) 245/2009

Las lámparas con  $T_c \geq 5\,000\text{ K}$  o equipadas con una segunda envolvente deberán cumplir al menos el 90 % de los requisitos de eficacia luminosa aplicables.

#### **Requisitos de comportamiento de las lámparas**

Para la etapa 2 las lámparas de sodio a alta presión con requisitos de eficiencia energética deberán presentar al menos los factores de mantenimiento del flujo luminoso y los factores de supervivencia mostrados en el Cuadro 32.

### Cuadro 32

*Factores de mantenimiento de flujo luminoso y factores de supervivencia aplicables a lámparas de sodio a alta presión*

Etapa 2 <sup>a</sup>			
Categoría de lámparas de sodio a alta presión y horas de funcionamiento para la medición		Factor de mantenimiento del flujo luminoso	Factor de supervivencia
P ≤ 75 W Ambos factores medidos sobre la base de 12 000 horas de funcionamiento	Ra ≤ 60	> 0,80	> 0,90
	Ra > 60	> 0,75	> 0,75
	todas las lámparas adaptadas diseñadas para funcionar con balasto para lámparas de vapor de mercurio a alta presión	> 0,75	> 0,80
P > 75 W ≤ 605 W Ambos factores medidos sobre la base de 16 000 horas de funcionamiento	Ra ≤ 60	> 0,85	> 0,90
	Ra > 60	> 0,70	> 0,65
	todas las lámparas adaptadas diseñadas para funcionar con balasto para lámparas de vapor de mercurio a alta presión	> 0,75	> 0,55

Fuente: Comisión Europea. Reglamentos (CE) 245/2009 y 2015/1428

<sup>a</sup> Conforme a modificación del Reglamento CE No 245-2009, presentado en el Reglamento UE No 2015/1428, cuadro 13.

Los requisitos del cuadro 13 para las lámparas adaptadas diseñadas para funcionar con balasto para lámparas de vapor de mercurio a alta presión serán aplicables durante los seis años siguientes a la entrada en vigor del Reglamento UE No 2015/1428, esto es el 27/02/2016.

Para la etapa 3 las lámparas de halogenuros metálicos con requisitos de eficiencia energética deberán presentar al menos los factores de mantenimiento del flujo luminoso y los factores de supervivencia mostrados en el Cuadro 33.

### Cuadro 33

*Factores de mantenimiento del flujo luminoso y factores de supervivencia aplicables a las lámparas de halogenuros metálicos*

Etapa 3		
Horas de funcionamiento	Factor de mantenimiento del flujo luminoso	Factor de supervivencia
12 000	> 0,80	> 0,80

Fuente: Comisión Europea. Reglamentos (CE) 245/2009 y 2015/1428

#### **Requisitos de información sobre el producto aplicables a las lámparas**

A partir del 13-10-2010, los fabricantes deben facilitar al menos la siguiente información en sitios web de acceso libre y en otras formas que consideren adecuadas, en relación con cada una de sus lámparas fluorescentes sin balasto integrado y cada una de sus lámparas de descarga de alta intensidad:

- Potencia nominal y asignada.
- Flujo luminoso nominal y asignado.

- c. Eficacia asignada a 100 h en condiciones estándar (25 °C; para las lámparas T5 a 35 °C). Se indicará de manera bien visible que la potencia disipada por los equipos auxiliares, como los balastos, no se incluye en la potencia consumida por la fuente.
  - d. Factor de mantenimiento asignado del flujo luminoso a 2000 h, 4000 h, 6000 h, 8000 h, 12 000 h, 16 000 h y 20 000 h (hasta 8000 h solo en el caso de lámparas nuevas en el mercado cuando todavía no se disponga de datos), indicando el modo de funcionamiento utilizado para el ensayo si la lámpara puede funcionar tanto a 50 Hz como a alta frecuencia.
  - e. Factor de supervivencia asignado a 2000 h, 4000 h, 6000 h, 8000 h, 12 000 h, 16 000 h y 20 000 h (hasta 8000 h solo en el caso de lámparas nuevas en el mercado cuando todavía no se disponga de datos), indicando el modo de funcionamiento utilizado para el ensayo si la lámpara puede funcionar tanto a 50 Hz como a alta frecuencia.
  - f. Contenido de mercurio, en X.X mg.
  - g. Índice de rendimiento de color (Ra).
  - h. Temperatura de color.
  - i. Temperatura ambiente a la que se ha diseñado la lámpara para maximizar su flujo luminoso.
- c. Anexo III - Reglamento (CE) No 245/2009 Sección 2

### **Requisitos de comportamiento energético de los balastos**

Para la etapa 2 los balastos para lámparas de descarga de alta intensidad deberán tener la eficiencia presentada en el cuadro 34.

## **Cuadro 34**

*Eficiencia mínima de los balastos para lámparas de descarga de alta intensidad*

Etapa 2	
Potencia nominal de la lámpara (W)	Eficiencia mínima del balastro ( $\eta_{\text{balastro}}$ ) (%)
$P \leq 30$	65
$30 < P \leq 75$	75
$75 < P \leq 105$	80
$150 < P \leq 405$	85
$P > 405$	90

Fuente: Comisión Europea. Reglamentos (CE) 245/2009

Para la etapa 3 los balastos para lámparas de descarga de alta intensidad deberán tener la eficiencia presentada en el cuadro 35 Eficiencia mínima de los balastos para lámparas de descarga de alta intensidad cuadro 35.

### Cuadro 35

*Eficiencia mínima de los balastos para lámparas de descarga de alta intensidad*

Etapa 2	
Potencia nominal de la lámpara (W)	Eficiencia mínima del balastro ( $\eta_{\text{balastro}}$ ) (%)
$P \leq 30$	78
$30 < P \leq 75$	85
$75 < P \leq 105$	87
$150 < P \leq 405$	90
$P > 405$	92

Fuente: Comisión Europea. Reglamentos (CE) 245/2009

#### **Requisitos de información sobre el producto aplicables a los balastos**

La federación europea de asociaciones nacionales de fabricantes de luminarias y componentes electrotécnicos para luminarias en la Unión Europea CELMA, la cual cuenta con 19 asociaciones miembro y representa a más de 1000 empresas en 13 países europeos, preparó el documento “Guía CELMA para la aplicación del reglamento 245/2009 de la Comisión sobre “productos de alumbrado del sector terciario” [19].

Esta Guía CELMA fue elaborada con el fin de ayudar al mercado a comprender el Reglamento (CE) No 245/2009. La información que se incluye en la guía es la interpretación del reglamento tal y como lo entendieron los miembros de CELMA.

Según la interpretación CELMA a partir del 13-04-2012 respecto a los balastos para lámparas de descarga de alta intensidad se facilitará por el fabricante una clase del índice de eficiencia energética (IEE) como se indica a continuación:

La eficiencia típica medida de la serie del producto se indica en el propio balastro y en la documentación del producto [18]:

Si el balastro cumple los requisitos del cuadro 34:

$$EEI=A3$$

Si el balastro cumple los requisitos del cuadro 35:

$$EEI=A2$$

La marca CE en el balastro supone la confirmación por parte del fabricante de que el balastro cumple los requisitos del reglamento 245/2009.

#### *d. Anexo III - Reglamento (CE) No 245/2009 Sección 3*

#### **Requisitos de comportamiento energético de las luminarias**

Conforme a lo indicado por CELMA [19] para los objetivos del reglamento 245/2009, las luminarias incluyen lámparas y balastos. Mientras que los balastos suelen estar integrados, las

lámparas se diseñan para poder sustituirlas y normalmente no se incluyen con el producto. Las luminarias distribuyen la luz que emiten las lámparas de acuerdo con los requisitos de diseño lumínico adecuados a la aplicación específica. Los criterios de calidad como la limitación del deslumbramiento, el ángulo de reflexión, etc. que desempeñan un papel importante en la iluminación el Reglamento no los tiene en cuenta.

Para la etapa 2 el consumo de energía de las luminarias para lámparas de descarga de alta intensidad no deberá ser superior a la suma del consumo de energía de los balastos integrados cuando las lámparas que normalmente hacen funcionar no emitan ninguna luz, estando desconectados los demás componentes que puedan conectarse (conexiones de red, sensores, etc.). En caso de que no puedan desconectarse, se medirá su potencia y se restará del resultado.

Para la etapa 3 todas las luminarias para lámparas de descarga de alta intensidad serán compatibles con los balastos que cumplan los requisitos de la tercera etapa.

### **Requisitos de información sobre el producto aplicables a las luminarias**

A partir del 13-04-2012, los fabricantes de luminarias deben proporcionar obligatoriamente información sobre los productos que utilicen lámparas fluorescentes y de alta intensidad de descarga (HID) (> 2000 lúmenes) en sus páginas web y en la documentación técnica. Se debe incluir información de:

- 1) Eficiencia del balastro. Por ejemplo,  $EI=A2$ , según la información del fabricante de balastos.
- 2) Eficiencia de la lámpara (lúmenes/watio). Por ejemplo, color 840 = 90 lm/W.
- 3) Si el balastro o la lámpara no se ponen en el mercado conjuntamente con la luminaria, deberán facilitarse las referencias utilizadas en los catálogos de los fabricantes que correspondan a los tipos de lámparas o balastos compatibles con la luminaria.
- 4) Instrucciones de mantenimiento para garantizar que la luminaria conserve, en la medida de lo posible, su calidad original a lo largo de toda su vida útil. Por ejemplo, instrucciones de limpieza.
- 5) Instrucciones de desmontaje.

#### *e. Anexo VII - Reglamento (CE) No 245/2009*

El anexo VII del Reglamento se presenta información sobre los criterios de referencia que se recomienda para el alumbrado de vías públicas. El reglamento establece las siguientes características de referencia para las luminarias:

- Índice de Protección contra entrada de polvo y humedad para el sistema óptico: IP 65 para vías de clase ME1-ME6 y MEW1-MEW6.
- Índice de Protección contra entrada de polvo y humedad para el sistema óptico: IP 5x para vías de clase CE0-CE5, S1-S6, ES, EV y A.

En el Reglamento se recomienda incluir como parte de la información que debe proporcionarse con la luminaria para alumbrado público la siguiente:

- a) La información requerida en la sección 3.4.4.4.
- b) Los valores del factor de utilización para condiciones normales de las carreteras en forma de tabla para las clases de vías definidas. La tabla debe contener los valores del factor de utilización por ancho de la vía, alturas del poste, espacio máximo entre postes e inclinación y saliente de la luminaria, en función de la clase de vía y del diseño de la luminaria.
- c) Instrucciones de instalación para la optimización del factor de utilización.
- d) Recomendaciones de instalación adicionales para minimizar la luz molesta.
- e) Para luminarias con elementos ópticos, debe indicarse el valor del factor de mantenimiento de la luminaria en forma tabulada, como se presenta en el cuadro 36.

### Cuadro 36

Valores indicativos del factor de mantenimiento del flujo luminoso de la luminaria (nivel de referencia)

Categoría de contaminación	Valores LMF						
	Tiempo de exposición en años						
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Alta							
Media							
Baja							

Fuente: Comisión Europea. Reglamentos (CE) 245/2009

En el caso de luminarias con fuentes de luz direccionales, como lámparas de reflector o LED, debe indicarse el valor LLMF (factor de mantenimiento de los lúmenes de la lámpara) x LMF (factor de mantenimiento de la luminaria) en lugar de solamente el valor LMF.

## 5. Resultados de aplicación de proyectos de reemplazo de luminarias en Europa

En Europa se considera que la tecnología LED es la alternativa más prometedora y de más rápido desarrollo con una amplia gama de usos potenciales. El informe "LED projects and economic test cases in Europe" [28] presenta el estado de proyectos piloto de utilización de tecnología LED.

El análisis incluye 106 casos de prueba en 17 países europeos. Los proyectos comprenden los sectores público y privado, y el análisis se enfoca de manera especial en los aspectos económicos de los proyectos de LED.

Los casos de prueba revisados incluyen el uso de la tecnología LED en semáforos, alumbrado público de vías, senderos para bicicletas, hoteles y tiendas de almacenes, así como las aplicaciones en edificios históricos.

Uno de los beneficios mencionados con mayor frecuencia es la reducción de costos de operación y mantenimiento. Alrededor de un tercio de los proyectos mencionan explícitamente que la ventaja comparativa de los LED, frente a otras tecnologías, serían la reducción de los costos de operación y mantenimiento, sustentándose esta característica en la mayor vida útil presentada por la tecnología LED, de esta forma disminuyéndose la frecuencia de sustitución de lámparas dañadas.

Además del ahorro de energía, los informes de los proyectos han destacado algunos beneficios colaterales, que se suman al potencial de ahorro de energía. Estos co-beneficios incluyen, entre otros:

- La seguridad vial en los semáforos
- Ninguna radiación UV
- Mejor calidad de la iluminación interior y exterior
- La variabilidad en el diseño de aplicaciones de LED
- Beneficios ambientales

Estos co-beneficios (complementarios al ahorro de energía) rara vez se cuantifican, posiblemente, por la dificultad en su evaluación, sin embargo, se perciben como muy importantes por los clientes. A menudo, estas cualidades se destacan como los principales beneficios, superando el beneficio directo de ahorro de energía, que, por otra parte, pueden no ser suficientes para cubrir los mayores costos de inversión de los proyectos.

A continuación, se describen las desventajas encontradas en los proyectos de acuerdo con el informe “LED projects and economic test cases in Europe”.

En algunos casos, lo que para un proyecto se percibía como un beneficio, en otro proyecto se reportó como una desventaja. Esta situación se considera básicamente que era producto de la falta de conocimiento de la realidad y necesidades de cada proyecto previo a su implementación.

Entre las desventajas señaladas en el informe están las siguientes:

- La tecnología LED todavía no tiene niveles altos de luminancia.
- Los equipos de tecnología LED en algunos casos eran de baja calidad.
- Los instaladores de la tecnología LED se quejaron de grandes lagunas en la información recibida de los fabricantes, y datos faltantes o incorrectos para los accesorios.
- Los vendedores, o de manera general los suministradores de tecnología tienen o escaso o nulo conocimiento técnico de la tecnología y por tanto no contribuyen adecuadamente en el desarrollo de los proyectos.
- Los costos iniciales son muy elevados y es muy difícil conseguir los fondos para la implementación de proyectos.

## Experiencia internacional caso España

En esta sección se presenta la aplicación de las Directivas y Reglamentos de la Comisión Europea referentes al alumbrado exterior en España.

### 1. Requerimientos técnicos en alumbrado exterior

El Reglamento de Eficiencia Energética de Instalaciones de Alumbrado Exterior documento GUÍA-EA-RD Real Decreto 1890/2008 publicado en el año 2008 y revisado en 2013 [20], regula las instalaciones de alumbrado exterior, ajustándose a las Directivas y Reglamentos de la Comisión Europea. El objeto de este Reglamento es establecer las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior, con la finalidad de:

- Mejorar la eficiencia y ahorro energético, así como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa y reducir la luz intrusa o molesta.

Puesto que en Reglamento RD 1890/2008 en su versión original no contempló la aplicación de la Tecnología LED, en la revisión 1 y específicamente en sus Guías técnicas de aplicación se incorporó esta tecnología precisando que se debe considerar, además de las lámparas convencionales, la implantación de los LED, de forma que las fuentes de luz basadas en la tecnología LED, sus equipos auxiliares (Drivers), y las luminarias y proyectores que los incorporen, tendrán que cumplir con la normativa aplicable.

A continuación, se listan las Guías técnicas de aplicación que forman parte de Reglamento RD 1890/2008, revisión 2013:

- Instrucción Técnica Complementaria EA – 01 (ITC-EA-01): Eficiencia energética.
- Instrucción Técnica Complementaria EA – 02 (ITC-EA-02): Niveles de iluminación.
- Instrucción Técnica Complementaria EA – 03 (ITC-EA-03): Resplandor luminoso nocturno y luz intrusa o molesta
- Instrucción Técnica Complementaria EA – 04 (ITC-EA-04): Componentes de las instalaciones
- Instrucción Técnica Complementaria EA – 05 (ITC-EA-05): Documentación técnica, verificaciones e inspecciones.
- Instrucción Técnica Complementaria EA – 06 (ITC-EA-06): Mantenimiento de la eficiencia energética de las instalaciones.
- Instrucción Técnica Complementaria EA – 07 (ITC-EA-07): Mediciones luminotécnicas en las instalaciones de alumbrado.

## 2. Guía técnica de aplicación GUÍA-EA-04 / ITC-EA-04

El Reglamento GUÍA-EA-RD presenta en su Guía técnica de aplicación GUÍA-EA-04 / ITC-EA-04-Componentes de las instalaciones [21], los parámetros de diseño aplicables a los componentes de las instalaciones de alumbrado exterior, aclarando que:

Los componentes empleados en las instalaciones de alumbrado exterior deberán ser utilizados en la forma y para la finalidad que fueron fabricados. Los incluidos en el campo de aplicación de la reglamentación derivada de la transposición de las Directivas de la Unión Europea deberán cumplir con lo establecido en las mismas.

En lo no cubierto por tal reglamentación se aplicarán los criterios técnicos preceptuados por el presente Reglamento, así como en el Reglamento Electrónico para Baja Tensión. En particular, se incluirán junto con los equipos y materiales las indicaciones necesarias para su correcta instalación y uso, debiendo marcarse con las siguientes indicaciones mínimas:

- a) Identificación del fabricante o representante legal o responsable de la comercialización
- b) Marca y modelo
- c) Tensión y potencia (o intensidad) asignadas

d) Cualquier otra indicación referente al uso específico del material o equipo, asignado por el fabricante

En la GUÍA-EA-04 / ITC-EA-04 [21] se establecen los parámetros de diseño para las componentes, presentadas en las siguientes secciones.

a. *Lámparas*

**Eficacia luminosa**

Con excepción de las iluminaciones navideñas y festivas, las lámparas utilizadas en instalaciones de alumbrado exterior tendrán una eficacia luminosa superior a:

1. 40 lm/W, para alumbrados de vigilancia y seguridad nocturna y de señales y anuncios luminosos.
2. 65 lm/W, para alumbrados vial, específico y ornamental.

Se observa que el Reglamento (CE) No 245/2009 [15] y posteriores actualizaciones, se establecen requisitos de eficacia mínima a las lámparas de alta intensidad de descarga que son superiores a los establecidos en este apartado, por lo que aplica lo indicado en el Reglamento.

**Factor de mantenimiento**

A efectos de eficiencia y ahorro energético, se especifica que, tanto el factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara (FDFL), como el factor de supervivencia de la lámpara (FSL), resulten lo más elevados posibles, tal y como se indica en la Guía de aplicación GUÍA-EA-06 / ITC-EA-06 [22].

El factor de mantenimiento ( $f_m$ ) es la relación entre la iluminancia media en la zona iluminada después de un determinado período de funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior (Iluminancia media en servicio –  $E_{servicio}$ ), y la iluminancia media obtenida al inicio de su funcionamiento como instalación nueva (Iluminancia media inicial –  $E_{inicial}$ ):

$$f_m = \frac{E_{servicio}}{E_{inicial}} \quad (0-8)$$

El factor de mantenimiento será siempre menor que la unidad ( $< 1$ ), e interesa que resulte lo más elevado posible para lograr una frecuencia de mantenimiento baja.

El factor de mantenimiento es función fundamentalmente de:

- a) El tipo de lámpara, depreciación del flujo luminoso y su supervivencia en el transcurso del tiempo.
- b) La estanqueidad del sistema óptico de la luminaria mantenida a lo largo de su funcionamiento.
- c) La naturaleza y modalidad de cierre de la luminaria.
- d) La calidad y frecuencia de las operaciones de mantenimiento.
- e) El grado de contaminación de la zona donde se instale la luminaria.

El factor de mantenimiento se define como el producto de los factores de depreciación del flujo luminoso de las lámparas, de su supervivencia y de depreciación de la luminaria:

$$f_m = \text{FDFL} \cdot \text{FSL} \cdot \text{FDLU} \quad (0-9)$$

Siendo:

FDFL = factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara.

FSL = factor de supervivencia de la lámpara.

FDLU = factor de depreciación de la luminaria.

En el caso de túneles y pasos inferiores de tráfico rodado y peatonal también se tendrá en cuenta el factor de depreciación de las superficies del recinto (FDSR), de forma que se cumplirá:

$$f_m = \text{FDFL} \cdot \text{FSL} \cdot \text{FDLU} \cdot \text{FDSR} \quad (0-10)$$

Los factores de depreciación y supervivencia máximos admitidos se indican en los cuadros 37 a cuadro 39, tomados de la guía:

### Cuadro 37

*Factores de depreciación del flujo luminoso de las lámparas (FDFL)*

Tipo de lámpara	Período de funcionamiento en horas				
	4000h	6000h	8000h	10 000h	12 000h
Sodio alta presión	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Sodio baja presión	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87
Halogenuros metálicos	0,82	0,78	0,76	0,76	0,73
Vapor de mercurio	0,87	0,83	0,80	0,78	0,76
Florescente tubular Trifósforo	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
Florescente tubular Halofosfato	0,82	0,78	0,74	0,72	0,71
Florescente compacta	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84

Fuente: GUÍA-EA-06 / ITC-EA-06

### Cuadro 38

*Factores de supervivencia de las lámparas (FSL)*

Tipo de lámpara	Período de funcionamiento en horas				
	4000h	6000h	8000h	10 000h	12 000h
Sodio alta presión	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89
Sodio baja presión	0,92	0,86	0,80	0,74	0,62
Halogenuros metálicos	0,98	0,97	0,94	0,92	0,88
Vapor de mercurio	0,93	0,91	0,87	0,82	0,76
Florescente tubular Trifósforo	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96
Florescente tubular Halofosfato	0,99	0,98	0,93	0,86	0,70
Florescente compacta	0,98	0,94	0,90	0,78	0,50

Fuente: GUÍA-EA-06 / ITC-EA-06

### Cuadro 39

*Factores de depreciación de las luminarias (FDLU)*

Grado protección sistema óptico	Grado de contaminación	Intervalo de limpieza en años				
		1 año	1,5 años	2 años	2,5 años	3 años
IP 2X	Alto	0,53	0,48	0,45	0,43	0,42
	Medio	0,62	0,58	0,56	0,54	0,53
	Bajo	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78
IP 5X	Alto	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
	Medio	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	Bajo	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
IP 6X	Alto	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83
	Medio	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	Bajo	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90

Fuente: GUÍA-EA-06 / ITC-EA-06

A los efectos del cálculo del factor de mantenimiento, 1 año equivale a 4000 h de funcionamiento.

Para la adopción de los factores presentados en los cuadros se establece:

#### Cuadro 37

- Podrán contemplarse otros tipos de fuentes de luz no incluidas en este cuadro.
- De conformidad con los avances tecnológicos podrán adoptarse factores de depreciación del flujo luminoso de las fuentes de luz superiores a los establecidos en el cuadro, de acuerdo con los datos proporcionados por los fabricantes, que deberán estar debidamente avalados por ensayos de Laboratorio Oficial acreditado por ENAC o equivalente internacional.
- En el supuesto de alumbrados proyectados con LED, cuyas horas de vida son muy superiores a las utilizadas con fuentes de luz tradicionales, el factor de depreciación del flujo luminoso deberá ser cuidadosamente escogido para evitar sobredimensionamientos de las instalaciones de alumbrado exterior, que podrían ser poco rentables y escasamente eficiente.

#### Cuadro 38

- Cuando el plan de mantenimiento de la instalación garantice la reparación de las averías de fuentes de luz en un tiempo inferior a las 72 horas desde su detección, podrá utilizarse un factor de supervivencia de las fuentes de luz (FSL) de valor 1.
- En todo caso se deberá cumplir lo dispuesto en el Reglamento (CE) No 245/2009 y posteriores actualizaciones, en el que se establecen los valores mínimos de mantenimiento de flujo y de supervivencia de las lámparas de alta intensidad de descarga.

#### Cuadro 39

- Este cuadro (cuadro 3 del Reglamento) corresponde a la Publicación CIE 154, se propone en el Reglamento como alternativa el cuadro 40, la cual está basada en datos actualizados proporcionados por los fabricantes, que han sido incluidos en las Recomendaciones Relativas al Alumbrado de las Vías Públicas de la Asociación Francesa del Alumbrado (AFE).

## Cuadro 40

Factores de depreciación de las luminarias (FDLU) – Nueva propuesta

Grado protección sistema óptico	Tipo de Cierre	Grado de contaminación	Intervalo de limpieza en años		
			1 año	1,5 años	años
IP 2X	-----	Alto	0,53	0,45	0,42
		Medio	0,62	0,56	0,53
		Bajo	0,82	0,79	0,78
IP 55	Plástico	Alto	0,87	0,71	0,61
		Medio	0,88	0,74	0,64
		Bajo	0,92	0,80	0,71
	Vidrio	Alto	0,91	0,78	0,70
		Medio	0,92	0,81	0,72
		Bajo	0,94	0,85	0,77
IP 65	Plástico	Alto	0,89	0,76	0,66
		Medio	0,91	0,79	0,69
		Bajo	0,95	0,85	0,76
	Vidrio	Alto	0,94	0,84	0,76
		Medio	0,95	0,86	0,78
		Bajo	0,97	0,90	0,82
IP 66	Plástico	Alto	0,91	0,81	0,74
		Medio	0,92	0,83	0,76
		Bajo	0,95	0,87	0,82
	Vidrio	Alto	0,95	0,88	0,83
		Medio	0,96	0,89	0,84
		Bajo	0,97	0,93	0,90

Fuente: GUÍA-EA-06 / ITC-EA-06

A los efectos del cálculo del factor de mantenimiento, 1 año equivale a 4000 h de funcionamiento

Para el caso de instalaciones equipadas con luminarias tipo LED, se aclara que rara vez el factor de mantenimiento supera el valor 0,85, y que cualquier valor del factor de mantenimiento superior a 0,85 deberá justificarse adecuadamente.

El grado de contaminación atmosférica referido en los cuadros 39 y cuadro 40, corresponde a:

1. Grado de contaminación alto

Existe en las proximidades actividades generadoras de humo y polvo con niveles elevados. Con frecuencia las luminarias se encuentran envueltas en penachos de humo y nubes de polvo, que conducirá a un ensuciamiento importante de la luminaria en un medio corrosivo, corresponde entre otras, a:

- Vías de tráfico rodado de muy alta intensidad de tráfico.
- Zonas expuestas al polvo, contaminación atmosférica elevada y, eventualmente, a compuestos corrosivos generados por la industria de producción o de transformación.
- Sectores sometidos a la influencia marítima.

## 2. Grado de contaminación medio

Hay en el entorno actividades generadoras de humo y polvo con niveles moderados con intensidad de tráfico media, compuesto de vehículos ligeros y pesados, y un nivel de partículas en el ambiente igual o inferior a  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que supondrá un ensuciamiento intermedio o mediano de la luminaria y corresponde, entre otras, a:

- a) Vías urbanas o periurbanas sometidas a una intensidad de tráfico medio.
- b) Zonas residenciales, de actividad u ocio, con las mismas condiciones de tráfico de vehículos.
- c) Aparcamientos al aire libre de vehículos

## 3. Grado de contaminación bajo

Ausencia en las zonas circundantes de actividades generadoras de humo y polvo, con poca intensidad de tráfico casi exclusivamente ligero. El nivel de partículas en el ambiente es igual o inferior a  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , corresponder entre otras, a:

- a) Vías residenciales no sometidas a un tráfico intenso de vehículos.
- b) Grandes espacios no sometidos a contaminación.
- c) Medio rural.

### **Explotación de las lámparas**

En la Guía de aplicación GUÍA-EA-04 [21] se aclara que lograr una óptima explotación de las lámparas se deben cumplir las siguientes condiciones:

- a) Existir compatibilidad entre las características técnicas del equipo auxiliar y la lámpara.
- b) Mantener estabilizada la tensión de la red eléctrica de alimentación a los valores más próximos al nominal o disponer de dispositivos de control de lámpara que mantengan estables los valores eléctricos de la lámpara ante variaciones de la tensión de red. Un aumento de la tensión de la red ocasionará un incremento de potencia en la lámpara, al tiempo que se producirá una importante reducción de la vida de la misma.
- c) Tomar las precauciones necesarias para lograr una correcta posición de funcionamiento de la lámpara.
- d) No superar los límites de resistencia mecánica de la lámpara – limitación a los choques y vibraciones-, y los térmicos, -adecuación de las dimensiones del bloque o sistema óptico de la luminaria al tamaño y potencia de la lámpara-.

#### *b. Luminarias*

Las luminarias incluyendo los proyectores, que se instalen en las instalaciones de alumbrado excepto las de alumbrado festivo y navideño, deberán cumplir con los requisitos del cuadro 41 respecto a los valores de rendimiento de la luminaria ( $\eta$ ) y factor de utilización ( $f_u$ ).

## Cuadro 41

*Características de las luminarias y proyectores*

Parámetros	Alumbrado vial		Resto de alumbrado <sup>a</sup>	
	Funcional	Ambiental	Proyectores	Luminarias
Rendimiento	≥ 65%	≥ 55%	≥ 55%	≥ 60%
Factor de utilización	b	b	≥ 0,25	≥ 0,30

Fuente: GUÍA-EA-04 / ITC-EA-04

<sup>a</sup> A excepción de alumbrado festivo y navideño.

<sup>b</sup> Alcanzarán los valores que permitan cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en las tablas 1 y 2 de la ITC-EA-01 [23].

[23] Instalaciones de alumbrado vial funcional: Instalaciones de alumbrado vial de autopistas, autovías, carreteras y vías urbanas.

[23] Instalaciones de alumbrado vial ambiental: Instalaciones de alumbrado vial que se ejecuta sobre soportes de 3-5 m de altura en áreas urbanas para iluminación de vías peatonales, comerciales, aceras, parques, jardines, centros históricos, vías de limitada velocidad.

En lo referente al factor de mantenimiento (fu) cumplirán lo dispuesto en la ITC-EA-06 [22], ver apartado B, y para el flujo hemisférico superior instalado (FHSinst) cumplirán lo dispuesto en la guía ITC-EA-03 [24], de acuerdo con la cual:

La luminosidad del cielo producida por las instalaciones de alumbrado exterior depende del flujo hemisférico superior instalado y es directamente proporcional a la superficie iluminada y a su nivel de iluminancia, e inversamente proporcional a los factores de utilización y mantenimiento de la instalación. El flujo hemisférico superior instalado FHSinst o emisión directa de las luminarias a implantar en cada zona E1, E2, E3 y E4, no superará los límites establecidos en el cuadro 42.

## Cuadro 42

*Valores límite del flujo hemisférico superior instalado*

Clasificación de zonas	Flujo Hemisférico Superior Instalado FHSINST
E1	≤ 1%
E2	≤ 5%
E3	≤ 15%
E4	≤ 25%

Fuente: GUÍA-EA-03 / ITC-EA-03

E1: Observatorios astronómicos y parques naturales

E2: Zonas periurbanas y áreas rurales

E3: Zonas urbanas residenciales

E4: Centros urbanos y áreas comerciales

Adicionalmente, las luminarias deberán elegirse de forma que se cumplan los valores de eficiencia energética mínima, para instalaciones de alumbrado vial y el resto de requisitos para otras instalaciones de alumbrado, según lo establecido en la ITC-EA-01 [23].

A continuación, se presenta especificaciones adicionales presentadas en el Reglamento para las luminarias [21]:

- Para la medición y presentación de las características fotométricas, las luminarias cumplimentarán las normas UNE-EN 13032-1 y UNE-EN 13032-2, así como lo señalado en la Publicación CIE 121. Asimismo, se ajustarán a la norma UNE-EN 60598-2-3.
- Las luminarias abiertas deberán tener como mínimo un grado de protección IP 23, mientras que en las luminarias con cierre abatible dicho grado oscilará entre IP 44 ó IP 55 ambos

inclusive. En las luminarias con cierre no abatible del sistema óptico el grado de protección será IP 65 ó IP 66.

- De acuerdo con lo señalado en la publicación CIE 154 y en la ITC-EA-06 del Reglamento, el factor más favorable de depreciación de las luminarias (FDLU) para el mantenimiento de la instalación, en función del nivel de contaminación atmosférico de la zona donde se implanten, corresponderá a luminarias con cierre del sistema óptico no abatible con un grado de hermeticidad IP 66, por lo que se recomienda su implantación en aras de mejorar la eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado vial funcional.
- Las luminarias se ajustarán a lo establecido en el Reglamento (CE) No. 245/2009 con sus correspondientes actualizaciones.
- Cuando como mejora de la eficiencia energética de una instalación existente, se proceda al cambio de luminarias o modificación de las mismas que afecte a sus características luminotécnicas, se verificará si las alturas y/o ubicaciones de los puntos de luz existentes son las adecuadas para obtener el mejor factor de utilización. Cuando no resulte así, será recomendable sustituir los soportes y/o su ubicación para optimizar dicha instalación.
- Respecto a la naturaleza del cierre del sistema óptico: metacrilato, policarbonato y vidrio se aconseja instalar preferentemente aquellas luminarias cuyos cierres conserven mejor el factor de transmisión de la luz a lo largo del tiempo y envejezcan menos, como es el caso del vidrio.
- En relación a la distribución de la intensidad luminosa, las luminarias se clasificarán en función del alcance longitudinal, dispersión transversal y control del deslumbramiento:
  - a) El alcance es la distancia longitudinal a la que la luz emitida por la luminaria queda distribuida a lo largo de la calzada, y queda definida por la distancia (A) en metros en función de la altura (h) de montaje de la luminaria, así como por el ángulo de elevación del centro del haz ( $\gamma_{max}$ ).

### Cuadro 43

*Clasificación de las luminarias conforme al alcance longitudinal*

Alcance	Corto	Intermedio	Largo
Distancia	$A < 1.73h$	$1.73h \leq A \leq 2.75h$	$A > 2.75h$
Ángulo	$\gamma_{max} < 60^\circ$	$60^\circ \leq \gamma_{max} \leq 70^\circ$	$\gamma_{max} > 70^\circ$

Fuente: GUÍA-EA-04 / ITC-EA-04

- b) La dispersión es la distancia transversal a la que la luz emitida por la luminaria queda distribuida a lo ancho de la calzada y se define mediante la posición de la línea, paralela al eje de la calzada, que es tangente al contorno de la curva del 90 % de la intensidad máxima de calzada  $\gamma_{90}$ . De las dos posibles tangentes al contorno de la mencionada curva se adoptara la más alejada.

La distancia (D) a la que llega la luz emitida por la luminaria a lo ancho de la calzada se expresa en metros en función de la altura (h) de montaje de la luminaria.

### Cuadro 44

*Clasificación de las luminarias conforme a la distancia transversal*

Dispersión	Estrecha	Media	Ancha
Distancia	$D < 1h$	$1h \leq D \leq 1.43h$	$A > 1.43h$
Ángulo	$\gamma_{90} < 45^\circ$	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$	$\gamma_{90} > 55^\circ$

Fuente: GUÍA-EA-04 / ITC-EA-04

Mediante el sistema de reglaje de las luminarias se sitúa la lámpara en la posición asignada respecto al reflector, de forma que se adapta la distribución luminosa (alcance y dispersión) a las características geométricas de la calzada a iluminar.

Para la elección de las luminarias en el alumbrado vial funcional se considera conveniente tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Características y eficacia fotométrica.
- Optimización del factor de utilización en función de los niveles de iluminación, las características dimensionales de la calzada a iluminar y geométricas de la instalación.
- Flujo hemisférico superior instalado mínimo, adoptando luminarias “cut-off” o “semi cut-off” que limiten el resplandor luminoso nocturno y la luz intrusa o molesta.
- Prestaciones mecánicas y su conservación en el transcurso del tiempo, especialmente en lo que respecta al mayor grado de hermeticidad del sistema óptico IP 65 o IP 66, preferiblemente este último.
- Utilización de cierres que mantengan el factor de transmisión de luz a lo largo del tiempo, preferentemente vidrio.
- Resistencia a los choques.
- Estética de la luminaria.

Las luminarias utilizadas en el alumbrado vial ambiental, en general son aparatos dotados de una envolvente decorativa destinada a establecer un determinado estilo o diseño apropiado que armonice con la estética del emplazamiento y su entorno. Para la elección de las luminarias en el alumbrado vial ambiental se aconseja considerar prioritariamente los siguientes criterios:

- Calidades estéticas que permitan su integración en el emplazamiento.
- Prestaciones mecánicas que permitan un mantenimiento cómodo y una excelente resistencia al vandalismo y a la corrosión, con un grado elevado de estanqueidad en el bloque óptico, preferiblemente IP 65.
- Características fotométricas y limitación de deslumbramiento, con un flujo hemisférico superior instalado controlado, que limite el resplandor luminoso nocturno y reduzca la luz intrusa o molesta.

En el caso que el fabricante suministre tanto la luminaria y el proyector con los equipos auxiliares (balastro, arrancador y condensador) incorporados, el responsable del cumplimiento de la norma de luminarias será el fabricante.

Cuando la luminaria, dotada de alojamiento para el equipo auxiliar, y el proyector se suministre sin equipamiento eléctrico (balastro, arrancador y condensador), será responsabilidad del instalador la utilización y conexión adecuada de dichos equipos para asegurar el cumplimiento de los requisitos incluidos en la norma de luminarias del conjunto completo. Para ello se deberán seguir las instrucciones proporcionadas por el fabricante de la envolvente de la luminaria, especialmente en lo relativo a los calentamientos y protección contra los choques eléctricos, así como en el tipo de potencia de lámpara máxima a instalar en la luminaria.

### c. *Luminarias LED*

En la Guía ITC-EA-04 [21] se establecen en forma separada los criterios de selección para las luminarias de tecnología LED. Para lo cual se presentan las siguientes definiciones:

**Luminarias LED:** Son luminarias constituidas por múltiples fuentes luminosas cuya correcta orientación en la luminaria, unido al desarrollo de un idóneo sistema óptico para dirigir el haz de

luz, permiten conseguir fotometrías adecuadas para cada aplicación, mejorando el factor de utilización con disminución de la luz molesta.

Los sistemas ópticos para la fuente de luz LED pueden ser:

Óptica plana, en la que cada lente individual proporciona una distribución luminosa idéntica.

Óptica 3D, que desarrolla diferentes sistemas de lentes que se orientan en la propia luminaria, de manera que cada LED proporciona una pequeña parte de la distribución fotométrica (combinación de lentes diferentes).

Óptica basada en reflectores, en la que se utiliza el flujo directo que proporciona cada LED con el que está equipada la luminaria, así como el que aporta por reflexión sobre un material altamente reflectante.

La matriz de intensidades luminosas de las luminarias para LED se obtiene mediante goniofotómetro calibrado, ensayando directamente el conjunto de la luminaria constituida por el grupo óptico de LED, incluyendo su propia alimentación eléctrica (“drivers”). Se cumplirá lo dispuesto en la Normas UNE-EN 13201-1 y UNE-EN 13201-2, en la que se utiliza el flujo directo que proporciona cada LED con el que está equipada la luminaria, así como el que aporta por reflexión sobre un material altamente reflectante.

Las características esenciales a considerar en las luminarias con fuente de luz LED son las siguientes:

- *Rendimiento total de la luminaria ( $\eta$ ):*

El rendimiento de una luminaria que incorpora LED puede expresarse en términos absolutos como el flujo luminoso total emitido por la luminaria dividido por la potencia total de la luminaria ( $\text{lm/W}$ ), incluyendo la correspondiente al equipo auxiliar.

El rendimiento luminoso en valores relativos, como habitualmente se expresa con las luminarias dotadas de lámparas de descarga, es aplicable a las luminarias que incorporan módulos LED reemplazables, en cuyo caso se ajustará a los valores establecidos en la tabla 1 de la ITC-EA-04, ver Cuadro 41 Características de las luminarias y proyectores.

- *Distribución de intensidad luminosa según la dirección (de una luminaria):*

La distribución de intensidad luminosa puede representarse mediante tablas numéricas (matriz de intensidades) o mediante gráficos y usualmente para luminarias que incorporan lámparas de descarga reemplazables se expresa en unidades de candelas para 1000 lm de flujo de lámpara. Para el caso de que incorporen fuentes de luz no reemplazables del tipo módulo LED se suelen expresar en candelas. No obstante, cuando las luminarias que incorporan LED se suministran con datos relativos en candelas para 1000 lm de flujo total de la luminaria.

- *Potencia de la luminaria ( $P$ ):*

Potencia nominal total en ( $W$ ) de la luminaria, de conformidad con lo dispuesto en la norma UNE-EN 15193 Anexo B.

- *Factor de utilización:*

La relación del flujo luminoso recibido por la superficie de referencia respecto el flujo total de una luminaria en una instalación.

- *Flujo luminoso:*

Flujo luminoso total emitido por la luminaria y flujo luminoso emitido al hemisferio superior en posición de trabajo.

- *Eficacia de la luminaria:*

En  $\text{lm/w}$ , siendo ambos valores los reales medidos, es decir, los lúmenes finales medidos por el goniómetro y los vatios consumidos por la luminaria incluida la alimentación eléctrica ("drivers").

- *Temperaturas:*

- Crítica de funcionamiento  $t_c$  de la fuente de luz.
- Rango de temperatura  $t_a$  a la que puede funcionar la luminaria sin que se vean alteradas sus especificaciones, detallando la curva de variación del flujo emitido por la luminaria en función de la temperatura ambiente.
- Temperatura ambiente media nocturna en torno a la luminaria  $t_q$

- *Factor de mantenimiento:*

Justificación y acreditación del mismo, previa a su utilización en los cálculos luminotécnicos.

- *Vida útil del sistema de LED en la luminaria:*

El parámetro de vida útil de una luminaria de tecnología LED vendrá determinado en horas de vida por las siguientes tres magnitudes:

- Mantenimiento del flujo total emitido por la luminaria.
- Porcentaje de fallo del LED.
- Temperatura ambiente de funcionamiento.

Por ejemplo: L70 B10, 60 000 horas,  $t_q=25^\circ\text{C}$ , significa que:

Hasta 60 000 horas y a una temperatura ambiente de funcionamiento de  $25^\circ\text{C}$  el flujo total emitido por la luminaria es al menos de un 70% del inicial con una tasa máxima de fallo del LED del 10%.

Para determinar la vida útil del sistema de LED en la luminaria, se tendrá en cuenta la vida útil de los equipos auxiliares (drivers).

En este caso  $t_q$  es la temperatura ambiente del laboratorio donde se realizó el ensayo.

- *Grado de hermeticidad y resistencia a impactos:*

Se definirá un grado de hermeticidad IP, recomendándose no resulte inferior a IP 65, así como su resistencia a impactos IK.

- *Características de la luminaria:*

Material del cuerpo y protector, sistema de cierre y apertura, tipo de fijación mecánica y demás características que definen la calidad de una luminaria y la adecuan para cada aplicación.

Se indicará la temperatura de color y el IRC de los LED, así como la potencia nominal del sistema de LED, detallando el número de LED, intensidad de corriente y su potencia nominal individual.

En la guía de aplicación [21] se presenta las siguientes recomendaciones para la utilización de luminarias LED:

- Se detallará el sistema óptico adoptado de la luminaria para LED, y se concretará su alcance y dispersión.
- Respecto al rendimiento y vida de la luminaria, en un alumbrado vial funcional, se recomienda que para una duración de 50 000 horas el flujo luminoso no descienda por debajo del 85% del flujo inicial, con una tasa máxima de fallo de LED de un 10% a la temperatura ambiente de funcionamiento de 25° C, es decir, L85 B10, 50 000 hora,s tq = 25° C.
- Se concretará la potencia nominal y el consumo total del sistema de la luminaria para LED, incluido el equipo auxiliar (driver).
- La eficacia luminosa del conjunto de la luminaria para LED deberá ser en todos los casos superior a 70 lm/W. Deberán justificarse eficacias inferiores a dicho valor en caso especiales (por ejemplo iluminación con LED monocromáticos de luz ámbar en zonas protegidas de observatorios nocturnos).
- La temperatura de color del sistema de LED en la luminaria oscilará entre 2700 K y 5800 K. Deberán justificarse temperaturas de color fuera de dicho intervalo.
- El índice de reproducción cromática IRC será como mínimo Ra > 70
- Cada luminaria para LED dispondrá de un sistema capaz de gestionar de forma independiente el flujo luminoso emitido, reduciéndolo como mínimo hasta un 20% del valor nominal.
- En lo referente a la estanqueidad de la luminaria para LED se recomienda sea IP 66, exigiéndose como mínimo IP 65. No obstante, como criterio de referencia a título indicativo, el grado de hermeticidad de la luminaria será el establecido en el epígrafe 3.1 del anexo VII del Reglamento CE No 245/2009.
- En los cálculos luminotécnicos a realizar en el dimensionamiento de las instalaciones de alumbrado, podrá considerarse como máximo un factor de mantenimiento de 0,85. Cualquier valor superior a 0,85 deberá justificarse adecuadamente. Dichos cálculos se efectuarán de acuerdo con la Publicación CIE No 88 de 2004, para el caso de túneles, y de conformidad con la norma UNE-EN 13.201-3 y Publicación CIE No 140 de 2000, para el alumbrado vial.
- Se aportarán los datos correspondientes sobre la depreciación del flujo luminoso en el transcurso de la vida de la luminaria.
- Los ensayos y certificados que correspondan, deberán emitirse por Laboratorio acreditado por ENAC o entidad internacional equivalente.

d. *Equipos auxiliares*

La potencia eléctrica máxima consumida por el conjunto del equipo auxiliar y lámpara de descarga, no superará los valores del cuadro 2.

## Cuadro 45

Potencia nominal de lámpara (W)	Potencia máxima del conjunto lámpara y equipo auxiliar			
	SAP	HM	SBP	VM
18	--	--	23	--
35	--	--	42	--
50	62	--	--	60
55	--	--	65	--
70	84	84	--	--
80	--	--	--	92
90	--	--	112	--
100	116	116	--	--
125	--	--	--	139
135	--	--	163	--
150	171	171	--	--
180	--	--	215	--
250	277	270 (2,15A) 277 (3A)	--	270
400	435	425 (3,5A) 435 (4,6A)	--	425

Fuente: GUÍA-EA-04 / ITC-EA-04

La potencia eléctrica máxima consumida del conjunto equipo auxiliar y lámpara fluorescente se ajustarán a los valores presentado en el Reglamento CE No 245/2009.

e. *Sistemas de accionamiento*

Los sistemas de accionamiento deberán garantizar que las instalaciones de alumbrado exterior se enciendan y apaguen con precisión a las horas previstas cuando la luminosidad ambiente lo requiera, al objeto de ahorrar energía [21].

El accionamiento de las instalaciones de alumbrado exterior podrá llevarse a cabo mediante diversos dispositivos, como por ejemplo, fotocélulas, relojes astronómicos y sistemas de encendido centralizado.

Para instalaciones de alumbrado exterior con una potencia de lámparas y equipos auxiliares superiores a 5 kW, se debe incorporar un sistema de accionamiento por reloj astronómico o sistema de encendido centralizado.

Para instalaciones con una potencia en lámparas y equipos auxiliares inferior o igual a 5 kW podrá incorporarse un sistema de accionamiento mediante fotocélula.

Para el accionamiento de seguridad se necesitarán uno o varios interruptores manuales, que podrán instalarse en el circuito de potencia, puentando los contactores, o en el de maniobra accionando directamente las bobinas de éstos.

Los sistemas de encendido en el cuadro de alumbrado utilizarán fotocélulas de precisión, relojes astronómicos o relojes astronómicos digitales. Las fotocélulas presentan la ventaja de ajustar las órdenes de encendido y apagado a la luminosidad ambiental, pero normalmente en el transcurso del tiempo pierden precisión y su mantenimiento es bastante difícil, mientras que los relojes astronómicos digitales, aun cuando tienen una gran precisión en el cálculo del orto y el ocaso y

resultan de fácil mantenimiento, tienen el inconveniente de los problemas que se presentan los días de poca luminosidad, ya que no es posible corregir los horarios programados.

Cuando resulte viable, serán recomendables los sistemas de encendido centralizado que accionarán el alumbrado de una ciudad desde un puesto central –sistema de gestión centralizada-, enviando una orden de encendido y apagado a los cuadros de alumbrado de una manera sincronizada, atendiendo a un reloj central o una fotocélula patrón. Tienen la ventaja que pueden controlarse las órdenes con precisión y sincronismo, y el inconveniente que se presentan problemas cuando, por cualquier circunstancia, falla la orden de mando y no existen elementos de seguridad adicionales.

Las normas de aplicación a los sistemas de accionamiento serán las siguientes:

Interruptor Astronómico UNE-EN 60730-2-7.

Interruptor Crepuscular (célula fotoeléctrica) (si  $P < 5$  kW) UNE-EN 60669-2-1.

*f. Sistemas de regulación del nivel luminoso*

Con la finalidad de ahorrar energía, las instalaciones de alumbrado señaladas en el capítulo 9 de la ITC-EA-02 [25]:

- Alumbrado vial, alumbrado específico, alumbrado ornamental y alumbrado de señales y anuncios luminosos, con potencia instalada superior a 5 kW salvo que, por razones de seguridad, a justificar, en el proyecto, no resultara recomendable efectuar variaciones temporales o reducción de los niveles de iluminación.

Se proyectarán con dispositivos o sistemas para regular el nivel luminoso mediante alguno de los siguientes sistemas:

- a) Balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia
- b) Reguladores - estabilizadores en cabecera de línea
- c) Balastos electrónicos de potencia regulable

Los sistemas de regulación del nivel luminoso deberán permitir la disminución del flujo emitido hasta un 50% del valor en servicio normal, manteniendo la uniformidad de los niveles de iluminación, durante las horas con funcionamiento reducido. También podrán utilizarse sistemas de telegestión o gestión centralizada como sistema regulador del nivel luminoso.

Los sistemas de regulación del nivel luminoso podrán permitir la disminución del flujo emitido hasta el valor de servicio mínimo que admite la fuente de luz.

Para el establecimiento del porcentaje de ahorro energético y la elección, en cada supuesto, del sistema idóneo deberán considerarse:

- a) Las variaciones de tensión de la red, sus características.
- b) Tipos de lámparas a implantar, etc.
- c) En el caso de instalaciones existentes, el estado de las líneas eléctricas de alimentación de los puntos de luz, secciones, caídas de tensión, equilibrio de fases, armónicos, etc.

En sectores específicos con altos porcentajes de accidentalidad nocturna, zonas peatonales con riesgo significativo de criminalidad, etc., por razones de seguridad no resulta recomendable efectuar variaciones temporales o reducción de los niveles de iluminación.

Se verificará que el sistema de regulación del nivel luminoso adoptado es perfectamente compatible con el tipo de fuente de luz proyectado exigiendo, en su caso, las garantías precisas a los fabricantes tanto del sistema de regulación como de la fuente de luz.

*g. Balastos serie tipo inductivo para doble nivel de potencia*

Los balastos para doble nivel, son balastos serie de tipo inductivo a los que se ha añadido un bobinado adicional sobre un mismo núcleo magnético, de manera que pueda obtenerse la impedancia nominal para la potencia nominal de lámpara (primer nivel), y por conmutación a la conexión del bobinado adicional, una impedancia superior que da lugar a la potencia reducida en lámpara (segundo nivel).

*h. Reguladores estabilizadores en cabecera de línea*

El funcionamiento del equipo estabilizador de tensión y reductor de flujo luminoso en cabecera de línea, consiste en la estabilización de la tensión de alimentación a una instalación de alumbrado exterior y también en reducir la tensión de alimentación al conjunto lámpara – balasto de forma que se consigue una reducción del flujo luminoso emitido por las lámparas de descarga.

Este sistema no permite alimentar distintos tipos de lámparas en la misma línea. En instalaciones en las que puedan existir caídas de tensión elevadas (por ejemplo las que sean muy largas) deberá evitarse la posibilidad de que las últimas luminarias se apaguen cuando se conmuta al régimen reducido. Deberá evitarse que el reencendido de la instalación ante una desconexión se produzca en régimen reducido, debiéndose realizar en todo caso en el de encendido inicial.

*i. Balastos electrónicos de potencia regulable*

El balasto electrónico de potencia regulable es un dispositivo compacto que realiza las funciones del equipo auxiliar para el funcionamiento estable de la lámpara de descarga y sustituye al balasto electromagnético, condensador y arrancador cuando sea necesario.

Lleva incorporado los elementos necesarios para efectuar de forma autónoma la reducción del flujo luminoso de la lámpara y la potencia en determinados períodos de funcionamiento del alumbrado.

*j. Telegestión*

Además de su uso para el encendido, apagado y la regulación del nivel luminoso, se podrá utilizar para la gestión del alumbrado exterior un sistema de telegestión punto a punto o de cuadro de alumbrado.

Siempre que resulte viable se implantará un sistema de gestión centralizada o telegestión que facilite el mantenimiento preventivo permitiendo obtener una información fiable, completa y continua del estado de los diferentes elementos de las instalaciones de alumbrado exterior. Una vez tratada adecuadamente dicha información, previa validación de la misma, será esencial para efectuar las acciones y operaciones de mantenimiento que se estimen procedentes.

Hoy en día existen dos tipos de telegestión referentes al alumbrado exterior, una más orientada a la instalación eléctrica, también llamada Telegestión por cuadro de alumbrado y otra más enfocada en la luminaria conocida por Telegestión punto a punto.

La telegestión por cuadro de alumbrado centraliza todos sus recursos en el cuadro, por lo que se pueden gestionar todos los circuitos de un cuadro remotamente, y además el usuario puede recibir información de dichos cuadros vía internet gracias a unos servidores sobre los que se descarga dicha información.

La telegestión punto a punto es algo más avanzada, y centra sus objetivos en la luminaria, de tal manera, que todas las luminarias disponen de un elemento que las gestiona. Dicho elemento, se comunica con un controlador de grupo al que pertenecen un número limitado de luminarias, y éste, manda la información vía internet a unos servidores, donde se aloja toda la información del sistema, a la cual el usuario accede a través de un interfaz software.

Con este tipo de telegestión, no sólo se envían datos en un sentido, sino que además es bidireccional, ya que se puede conocer el estado de cada punto de luz en todo momento, así como enviar órdenes a dichos puntos de luz, tales como apagado, encendido, reducción de flujo, consumo en tiempo real. En definitiva, es la herramienta más avanzada para la gestión de un alumbrado público existente hoy en día.

## Capítulo 4

### Conclusiones y recomendaciones

## Conclusiones y recomendaciones

- Aunque el consumo de energía eléctrica de los sistemas de alumbrado público-AP es de alrededor del 3% del total de la energía total consumida de un país, se constituye en una carga importante en el consumo de energía eléctrica a cargo de los municipios. De acuerdo con el informe del SEAD “*Super-efficient Equipment and Appliance Deployment Initiative*” el AP es típicamente una de las mayores fuentes de consumo de energía eléctrica a cargo del control de los municipios, constituyéndose en un 40% del consumo de energía eléctrica de los municipios. De manera similar en el informe de la Comisión Europea “*Iluminando las ciudades*” se indica que el AP puede representar hasta un 50% del costo de la energía eléctrica dentro de un municipio, siendo el alumbrado de las vías la mayor fuente de costo. Bajo este contexto el cambio de los sistemas de AP ineficientes representa para las ciudades una fuente importante de ahorro en el consumo de energía eléctrica a la vez que se contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, al realizarse el cambio a tecnologías eficientes y amigables con el medio ambiente.
- En la actualidad existen múltiples proyectos enfocados a la sustitución de sistemas ineficientes de AP por sistemas eficientes, proyectos soportados por las políticas de Uso Racional de Energía (reducción de la energía consumida) y de reducción de gases de efecto invernadero, así como de disposición de residuos finales de la aplicación, adaptados por los diferentes países.
- En varios países se han desarrollado proyectos de modernización de los sistemas de AP, los cuales usualmente se basan en lámparas de descarga en sodio y mercurio, mediante el reemplazo con lámparas de tecnologías como halogenuros metálicos cerámicos, inducción electromagnética y LED; tecnologías que ofrecen ventajas como una mayor eficacia lumínica y mayor vida útil, lo cual se traduce en un menor consumo de energía eléctrica, menores emisiones de gases de efecto invernadero y menores costos de mantenimiento.
- Las experiencias de modernización de los sistemas de alumbrado público mencionan la sustitución de elementos de los sistemas, técnicamente llamado “*retrofit*” que consiste en el reemplazo de una parte o la combinación de varias partes de los componentes del sistema, sin embargo, no se menciona el resultado desde el punto de vista técnico, esto es, si realmente se da cumplimiento de los niveles de iluminación y/o luminancia y los niveles de uniformidad requeridos para los diferentes tipos de vías.
- Las experiencias que actualmente están en curso y que incluyen la tecnología LED, elegida por el menor consumo de energía, mayor vida útil y la posibilidad de reciclar el 100% de sus componentes poco se encuentran documentadas en el ámbito latinoamericano. A nivel de la Unión Europea es una tecnología con amplia difusión y aplicabilidad en los proyectos de sustitución de sistemas de AP ineficientes, así por ejemplo, la Comisión Europea en su informe “*Iluminando las ciudades*” proporciona directrices sobre la mejor manera de proceder con la implementación de soluciones basadas en iluminación LED, presenta ejemplos documentados de ciudades en las cuales se ha realizado la transición a esta tecnología, y busca que las ciudades compartan sus experiencias.
- Para la ejecución de un proyecto de modernización se recomienda partir de la evaluación del diseño con la infraestructura existente (primera alternativa y la más económica – sustitución únicamente de la luminaria) antes de proceder con su ejecución ya que no se debe desconocer que los sistemas de AP han evolucionado a la medida del crecimiento de las ciudades y que en muchos casos no fueron concebidos partiendo de un diseño

fotométrico dado que en la mayoría de países no existía normatividad legal aplicable a los sistemas de AP.

- Para los sistemas de AP se están desarrollando en paralelo con la sustitución de las tecnologías de iluminación (componentes: lámparas, luminarias, equipos auxiliares) la telegestión de los sistemas desde centros de control. Estos sistemas de telegestión permiten realizar desde el encendido de los sistemas de AP hasta la dimerización para reducir los niveles de iluminación en horas en donde los requerimientos lo ameritan.
- La normatividad desarrollada propende por la modernización de los sistemas de iluminación, pero parten de la premisa de que toda instalación nueva de iluminación debe cumplir con las especificaciones técnicas legales vigentes en donde el cumplimiento de las variables fotométricas está asociado a un referente normativo.
- En la actualidad en Bogotá-Colombia se está realizando la modernización del sistema de alumbrado público de la ciudad, sistema que cuenta con una cantidad de puntos luminosos del orden de 350 000. En una primera fase que comprende la modernización del 10% de los puntos luminosos de la ciudad, en cuya ejecución se hace un retrofit (incluye la sustitución de las luminarias instaladas haciendo el re-uso del poste y retomando las variables existentes y que hacen parte del diseño geométrico del sistema de iluminación, esto es, se toma el mismo retroceso, la misma altura de montaje, la misma inter-distancia, entre otras condiciones de las condiciones), se ha reportado que los resultados financieros han sido atractivos para la implementación y el desarrollo del proyecto. Sin embargo, desde el punto de vista técnico no hay certeza sobre el cumplimiento con los niveles de iluminación, luminancia y uniformidad según las normas legales vigentes.
- En Chile no existen propuestas enfocadas al uso de un tipo específico de tecnología, en su lugar se recomienda establecer sistemas de gestión orientados a lograr objetivos de ahorro de energía y de alcanzar beneficios para el medio ambiente. A la vez se plantean valores o condiciones mínimas requeridas para las componentes del sistema de AP tales como la eficacia luminosa de la lámpara, sin delimitar a un tipo específico de tecnología.
- En México para el alumbrado público se promueven fundamentalmente tres tecnologías, a saber: vapor de sodio de alta presión, aditivos metálicos cerámicos y LED. Estas tecnologías disponen de normatividad que reglamenta su uso y características mínimas que deben cumplir para su implementación. Esta estructura normativa puede tomarse como base para los países participantes de este proyecto teniendo en cuenta además la experiencia de México con el Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal –PNEEAPM.
- A pesar de las argumentaciones de fabricantes a favor de la tecnología de inducción magnética en México, esta tecnología no ha demostrado sus capacidades en el largo plazo, por lo cual para proyectos piloto se debe tener mucho cuidado en su selección, especialmente por su elevado costo inicial. Para proyectos de sustitución de tecnologías ineficientes de AP, en caso de aplicar esta tecnología se recomienda establecer como estrategia con los fabricantes, obtener precios más cómodos con el propósito de convertir el proyecto en experimental de esta tecnología bajo determinadas garantías por parte del fabricante.
- La Unión Europea cuenta con los instrumentos legales para la ejecución de la política medioambiental y de eficiencia energética aplicables a los países miembros. Específicamente, el Reglamento CE 245-2009 establece criterios de referencia indicativa para productos destinados de uso en AP, tales como lámparas de tecnología de descarga y halogenuros metálicos. Para estas tecnologías se presentan valores límites para eficacia

luminosa de las lámparas, valores mínimos de factores de mantenimiento y supervivencia. De igual manera se establecen eficiencias mínimas a cumplir para los equipos auxiliares.

- Adicionalmente, este Reglamento presenta los requerimientos de etiquetado que garantizan el cumplimiento con la reglamentación de la Comisión Europea en relación al diseño ecológico de los productos que consumen energía eléctrica. El Reglamento prevé el cumplimiento de límites por etapas (a partir de la fecha de entrada en vigencia del mismo) lo cual obliga a los fabricantes a mejorar sus productos. Este Reglamento es un buen referente para los países participantes del proyecto al momento de realizar las prescripciones que deben cumplir los componentes del sistema de AP.
- En España a través del Reglamento de Eficiencia Energética de Instalaciones de Alumbrado Exterior (Real Decreto 1890/2008) se regula las instalaciones de alumbrado exterior, ajustándose a las Directivas y Reglamentos de la Comisión Europea. Este Reglamento en su Instrucción Técnica Complementaria EA - 04 (ITC-EA-04) presenta los requerimientos exigibles a las componentes de los sistemas de AP, con la particularidad de haber incorporado en su última revisión del 2013 las prescripciones para la utilización de tecnología LED. Esta constituye en un buen referente para los países participantes del proyecto al momento de realizar las prescripciones con este tipo de tecnología.
- La tecnología LED ha tenido distintos resultados para similares aplicaciones, así como deficiencias en el desempeño en algunos sistemas implementados. Entre las posibles causas de estos problemas están: la falta de conocimiento por parte de los diseñadores, interventores y vendedores sobre los fundamentos y uso de la tecnología LED, y la falta de desarrollo de procedimientos de mantenimiento específicos para esta tecnología. Si bien existen ahorros en las operaciones de mantenimiento (por la mayor vida útil de las lámparas) se debe prever la necesidad de una limpieza frecuente de las luminarias considerando el grado de contaminación de las vías. De igual manera, se debe prever por parte de los municipios inventarios unificados para evitar reemplazos con componentes de características diferentes a las del elemento a ser reemplazado.
- Las tecnologías no convencionales de inducción magnética y LED están en pleno desarrollo tecnológico, lo cual resulta en una dificultad para los diseñadores a la hora de realizar especificaciones para el producto. Además, existe una gran variabilidad en la calidad y en la fiabilidad de la información proporcionada por los fabricantes, que dificulta esta labor. La Comisión Europea recomienda para el caso de la tecnología LED definir y aplicar requisitos de rendimiento mínimo para el proyecto expresadas conforme a estándares existentes de iluminación LED o pre-estándares de organizaciones de normalización tales como CEN (Comité Europeo de Normalización), CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica), IEC, CIE.
- Puesto que las características resaltadas por los fabricantes de las tecnologías no convencionales podrían cumplirse al inicio de su operación, no existe evidencia de campo que tales características se mantengan en el tiempo de acuerdo con las condiciones de servicio a las que son expuestas las luminarias/lámparas. Luego se debe tener mucha precaución a la hora de invertir en este tipo de tecnologías por su elevado costo de inversión y disponer de garantías con los suministradores teniendo en cuenta que algunos indicadores, por ejemplo, la vida útil será verificable después de un periodo de tiempo considerable.

## Bibliografía

- [1] Unidad de Planeación Minero Energética, UPME (2007). Alumbrado público exterior. Guía didáctica para el buen uso de la energía. 2016-07-01, Sitio web: [http://www.upme.gov.co/Docs/Alumbrado\\_Publico.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Alumbrado_Publico.pdf)
- [2] Ministerio de Energía y Minas. (2010). Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP. 2016-06-29, Sitio web: <https://www.minminas.gov.co/retilap>
- [3] Ministerio de Energía y Minas. (2013). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE. 2013-08-30, Sitio web: <https://www.minminas.gov.co/retilap>
- [4] Secretaría de Energía SENER; Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía CONUEE; Comisión Federal de Electricidad CFE. (2010). Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal. 2016-07-08 Sitio web: <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/91780/ProyectoNacional.pdf>
- [5] Secretaría de Energía SENER; Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía CONUEE; Comisión Federal de Electricidad CFE. (2010). Guía Práctica para incorporarse al "Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal". 2016-07-09 Sitio web: <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/91775/AnexoBGuiapractica.pdf>
- [6] Subsecretaria de Planeación y Transición Energética. Dirección General de Energías Limpias. Fondo para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía (FOTEASE). (2016). Informe cero, 2009- 2015. Síntesis ejecutiva de la memoria del fondo para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía. 2016-07-11, Sitio web: [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/101526/Informe\\_Cero\\_FOTEASE.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/101526/Informe_Cero_FOTEASE.pdf)
- [7] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Área de Energía y medioambiente, Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), Ministerio de Energía. División de Eficiencia Energética (2014). Lecciones aprendidas. Programa de capacitación para municipalidades en temas de eficiencia energética en el alumbrado público. 2016-07-05, Sitio web: [http://www.cl.undp.org/content/chile/es/home/library/environment\\_energy/lecciones-aprendidas--programa-de-capacitacion-para-municipalida/](http://www.cl.undp.org/content/chile/es/home/library/environment_energy/lecciones-aprendidas--programa-de-capacitacion-para-municipalida/)
- [8] Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) (2015). Memoria final experiencias de alumbrado público y eficiencia energética en Chile. 2016-07-05, Sitio web: [http://www.cl.undp.org/content/chile/es/home/library/environment\\_energy/memoria-final--experiencias-de-alumbrado-publico-y-eficiencia-en.html](http://www.cl.undp.org/content/chile/es/home/library/environment_energy/memoria-final--experiencias-de-alumbrado-publico-y-eficiencia-en.html)
- [9] Diseño e implementación Servicio de Asistencia Técnica en Alumbrado Público a Municipios. (2010). Informe panel de expertos. 2016-07-05, Sitio web: [http://dataset.cne.cl/Energia\\_Abierta/Estudios/Minerg/29.Informe%20Final%20-%20Alumbrado%20P%C3%BAblico%20Obs%20\(1101\).pdf](http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/29.Informe%20Final%20-%20Alumbrado%20P%C3%BAblico%20Obs%20(1101).pdf)
- [10] Ministerio de Energía (2013). Plan de Acción Eficiencia Energética 2020. 2016-07-05, Sitio web: <http://www.amchamchile.cl/UserFiles/Image/Events/octubre/energia/plan-de-accion-de-eficiencia-energetica2020.pdf>
- [11] Superintendencia de Electricidad y Combustibles. (SEC). (2015). Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tráfico Vehicular. 2016-07-06, Sitio web: [http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/PRODUCTOS/ALUMBRADO\\_PUBLICO/DS2\\_2014PUBLICACION\\_DIARIO\\_OFICIAL.PDF](http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/PRODUCTOS/ALUMBRADO_PUBLICO/DS2_2014PUBLICACION_DIARIO_OFICIAL.PDF)  
<http://www.amchamchile.cl/UserFiles/Image/Events/octubre/energia/plan-de-accion-de-eficiencia-energetica2020.pdf>
- [12] Fundación de la energía de la comunidad de Madrid. Guía sobre tecnología LED en el alumbrado. Madrid ahorra energía. www.madrid.org. Mayo 2015.
- [13] Comisión Europea. Iluminando las Ciudades. Acelerando el Despliegue de Soluciones de Iluminación Innovadoras en las Ciudades Europeas. Junio 2013.

- [14] Comisión Europea. Libro verde. Iluminemos el futuro. Acelerando el despliegue de tecnologías de iluminación innovadoras. COM (2011) 889 final. Bruselas, 15.12.2011.
- [15] Comisión Europea. Directiva 2009/125/CE.
- [16] Comisión Europea. Reglamento (UE) 245/2009.
- [17] Comisión Europea. Reglamento 347-2010.
- [18] Comisión Europea. Reglamento (UE) 1194/2012.
- [19] Comisión Europea. Reglamento (UE) No 1428/2015.
- [20] CELMA. Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires in the European Union Comisión Europea. Guía CELMA para la aplicación del reglamento 245/2009 de la Comisión sobre “productos de alumbrado del sector terciario”. Diciembre de 2009. Primera edición.
- [21] Real Decreto 1890/2008. GUÍA-EA-RD 1890/2008. Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior. Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España. Revisión 1. Mayo 2013.
- [22] Real Decreto 1890/2008. GUÍA-EA-RD 1890/2008. Guía de aplicación GUÍA-EA-04. ITC-EA-04. Eficiencia Energética. Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España. Revisión 1. Mayo 2013.
- [23] Real Decreto 1890/2008. GUÍA-EA-RD 1890/2008. Guía de aplicación GUÍA-EA-06. ITC-EA-06. Mantenimiento de la eficiencia energética en instalaciones. Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España. Revisión 1. Mayo 2013.
- [24] Real Decreto 1890/2008. GUÍA-EA-RD 1890/2008. Guía de aplicación GUÍA-EA-01. ITC-EA-01. Eficiencia energética. Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España. Revisión 1. Mayo 2013.
- [25] Real Decreto 1890/2008. GUÍA-EA-RD 1890/2008. Guía de aplicación GUÍA-EA-03. ITC-EA-03. Resplandor luminoso nocturno y luz intrusa molesta. Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España. Revisión 1. Mayo 2013.
- [26] Real Decreto 1890/2008. GUÍA-EA-RD 1890/2008. Guía de aplicación GUÍA-EA-02. ITC-EA-02. Niveles de iluminación. Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España. Revisión 1. Mayo 2013.
- [27] Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología LED de alumbrado exterior del Comité Español de Iluminación (CEI). Revisión 1, 2014.
- [28] Comunicación de la Comisión. COM (2015) 443 final. Valoración del mercado de las lámparas de tensión de red, de conformidad con el requisito establecido en el Reglamento (UE) No 1194/2012 de la Comisión. Bruselas, 11-09-2015.
- [29] M. Valentová, M. Quicheron P. Bertold 2012 “LED projects and economic test cases in Europe”. European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012 Report EUR 25352 EN. 2016-07-15. Sitio Web: <http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/led-test-cases-report.pdf>
- [30] Clean Energy Ministerial (CEM). SEAD Super-efficient Equipment and Appliance Deployment. SEAD Procurement Street Lighting. Sitio web: <http://superefficient.org/Research/Procurement>

## Anexos

### Anexos

## Anexo 1 Definiciones reglamento No 245-2009 Artículo 2

**Alumbrado general:** Iluminación básicamente uniforme de una zona sin tener en cuenta necesidades específicas en determinados puntos. Esto significa que los productos contribuyen a aportar iluminación artificial en sustitución de la luz natural para una visión humana normal.

**Alumbrado de vías públicas:** Una instalación fija de iluminación destinada a proporcionar una buena visibilidad a los usuarios de las zonas públicas de tráfico en el exterior durante las horas de oscuridad para contribuir a la seguridad del tráfico, la fluidez de este y la seguridad pública.

**Lámpara de descarga:** Una lámpara en la que la luz es producida, directa o indirectamente, por una descarga eléctrica a través de un gas, un vapor metálico o una mezcla de varios gases y vapores.

**Balasto:** Un dispositivo que sirve fundamentalmente para limitar la intensidad de la corriente de la lámpara o lámparas al valor requerido en caso de que esté conectado entre la alimentación y una o varias lámparas de descarga. Puede incluir también medios para transformar la tensión de la alimentación, regular la intensidad de la luz de la lámpara, corregir el factor de potencia y, solo o combinado con un dispositivo de encendido, producir las condiciones necesarias para encender la lámpara o lámparas.

**Luminaria:** Un aparato que reparte, filtra o transforma la luz transmitida desde una o varias fuentes luminosas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de las fuentes luminosas y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación, pero no las fuentes luminosas propiamente dichas.

**Lámparas fluorescentes:** Las lámparas de descarga del tipo de mercurio a baja presión en las que la mayor parte de la luz es emitida mediante una o varias capas de sustancias fluorescentes que son activadas por la radiación ultravioleta de la descarga.

**Lámparas fluorescentes sin balastos integrados:** Las lámparas fluorescentes de casquillo simple o doble sin balastos integrados.

**Lámparas de descarga de alta intensidad:** Las lámparas de descarga en las cuales el arco que produce la luz es estabilizado por el efecto térmico de su recinto cuya potencia superficial es superior a 3 W/cm<sup>2</sup>.

## Anexo 2 REGLAMENTO 245-2009

### 1. Parámetros técnicos para los requisitos de diseño ecológico

A efectos de cumplimiento y verificación del cumplimiento de los requisitos del presente Reglamento, los parámetros que se detallan a continuación se determinarán mediante un procedimiento de medición fiable, exacto y reproducible, teniendo en cuenta el estado de la técnica generalmente reconocido.

**Eficacia luminosa de una fuente - Eficacia de una fuente luminosa -Eficacia de una lámpara ( $\eta_{\text{fuente}}$ ):** cociente del flujo luminoso emitido ( $\Phi$ ) por la potencia consumida por la fuente ( $P_{\text{fuente}}$ ). La potencia disipada por equipos auxiliares, por ejemplo, los balastos, no se incluye en la potencia consumida por la fuente.

$$\eta_{\text{fuente}} = \frac{\Phi}{P_{\text{fuente}}} \left[ \frac{\text{lm}}{\text{W}} \right] \quad (5-1)$$

**Factor de mantenimiento del flujo luminoso de la lámpara:** Proporción entre el flujo luminoso emitido por la lámpara en un momento determinado de su vida útil y el flujo luminoso inicial.

**Factor de supervivencia de la lámpara:** Fracción del número total de lámparas que siguen funcionando en un momento dado, y en condiciones y con una frecuencia de conmutación determinadas. A efectos del cuadro 6 del anexo III, el factor de supervivencia de la lámpara se medirá en el modo de funcionamiento de alta frecuencia con un ciclo de conmutación de 11h/1h.

**Eficiencia del balasto ( $\eta_{\text{balasto}}$ ):** Proporción entre la potencia de la lámpara (salida del balasto) y la potencia de entrada del circuito lámpara-balasto, con los posibles sensores, conexiones de red y otras cargas auxiliares desconectadas.

**Cromaticidad:** Propiedad de un estímulo de color definida por sus coordenadas cromáticas, o bien por la combinación de su longitud de onda dominante o complementaria y su pureza.

**Flujo luminoso:** Magnitud derivada del flujo radiante (potencia radiante) mediante la evaluación de la radiación según la sensibilidad espectral del ojo humano.

**Temperatura de color correlacionada ( $T_c$  [K]):** Temperatura de un radiador planckiano (cuerpo negro) cuyo color percibido es el más similar al de un estímulo determinado de la misma luminosidad, en condiciones específicas de observación.

**Rendimiento de color ( $R_a$ ):** Efecto de un iluminante en el aspecto cromático de los objetos, comparado consciente o inconscientemente con el aspecto cromático de dichos objetos bajo un iluminante de referencia.

**Potencia de radiación UV efectiva específica:** Potencia efectiva de la radiación UV de una lámpara en relación con su flujo luminoso (unidad: mW/klm).

**Índice de protección contra la penetración:** Código que indica el grado de protección que ofrece un envoltorio contra la penetración de polvo, objetos sólidos y humedad y que facilita información adicional en relación con la protección.

## 2. Parámetros técnicos para los criterios de referencia indicativos

**Contenido de mercurio de la lámpara:** Cantidad de mercurio que contiene una lámpara.

**Factor de mantenimiento del flujo luminoso de una luminaria:** Proporción entre la eficiencia de flujo luminoso de una luminaria en un momento determinado y la eficiencia de flujo luminoso inicial.

**Factor de utilización de una instalación para una superficie de referencia:** Proporción entre el flujo luminoso recibido por la superficie de referencia y la suma de todos los flujos de cada de las lámparas de la instalación.

## 3. Definiciones:

**Fuente luminosa dirigida:** Fuente de luz con al menos el 80 % del flujo luminoso dentro de un ángulo sólido de  $\pi$  sr (correspondiente a un cono con un ángulo de  $120^\circ$ ).

**Fuente de luz blanca:** Fuente luminosa cuyas coordenadas de cromaticidad satisfacen el siguiente requisito:

$$0,270 < x < 0,530$$

$$-2,3172 x^2 + 2,3653 x - 0,2199 < y < -2,3172 x^2 + 2,3653 x - 0,1595$$

**Valor «asignado»:** valor cuantitativo de una característica de un producto para las condiciones operativas que se especifican en el presente Reglamento o en las normas aplicables. Salvo indicación contraria, todos los límites de los parámetros de los productos se expresan en valores asignados.

**Valor «nominal»:** valor cuantitativo aproximado que se utiliza para designar o identificar un producto.

**Contaminación lumínica:** suma de todos los efectos negativos de la luz artificial en el medio ambiente, incluido el impacto de la luz intrusa.

**Luz intrusa:** parte de la luz de una instalación de iluminación que no cumple la función para la que se diseñó la instalación. Incluye:

- la luz que cae indebidamente fuera de la zona que iluminar,
- la luz difusa en las proximidades de la instalación de iluminación,
- luminiscencia del cielo, es decir, la iluminación del cielo nocturno que resulta del reflejo directo e indirecto de la radiación (visible e invisible), dispersada por los constituyentes de la atmósfera (moléculas de gas, aerosoles y partículas) en la dirección de observación.

**Eficiencia base balasto (EBb):** Relación entre la potencia asignada de una lámpara ( $P_{lamp}$ ) y la eficiencia del balasto. En los balastos para lámparas fluorescentes de casquillo doble o simple, la EBbFL se calcula como sigue:

Cuando  $P_{lamp} \leq 5$  W: EBbFL = 0,71

Cuando  $5$  W <  $P_{lamp} < 100$  W: EBbFL =  $P_{lamp} / (2 \cdot \sqrt{(P_{lamp}/36) + 38/36 \cdot P_{lamp} + 1})$

Cuando  $P_{lamp} \geq 100$  W: EBbFL = 0,91

**Segundo envoltente de la lámpara:** Segunda envoltura exterior de una lámpara que no es necesaria para la producción de luz, por ejemplo, un manguito externo para evitar la liberación de mercurio y vidrio al medio ambiente en caso de rotura de la lámpara. Al determinar la presencia de una segunda envoltente, los tubos de descarga de las lámparas de descarga de alta intensidad no se considerarán envoltentes.

**Equipo de alimentación de la fuente luminosa:** Componente o componentes entre la alimentación y una o varias fuentes luminosas que pueden servir para transformar la tensión de alimentación, reducir la intensidad de la lámpara o lámparas al valor requerido, proporcionar tensión de cebado y una corriente de precalentamiento, evitar el arranque en frío, corregir el factor de potencia o reducir las interferencias radioeléctricas. Los balastos, los convertidores y transformadores halógenos y los controladores de diodos electroluminiscentes (LED) son ejemplos de equipos de alimentación de fuentes luminosas.

**Lámpara (de vapor) de mercurio a alta presión:** Lámpara de descarga de alta intensidad en la que la mayor parte de la luz se produce, directa o indirectamente, por la radiación del vapor de mercurio cuya presión parcial durante el funcionamiento es superior a 100 kilopascales.

**Lámpara (de vapor) de sodio a alta presión:** Es una lámpara de descarga de alta intensidad en la que la luz se produce principalmente por la radiación del vapor de sodio cuya presión parcial durante el funcionamiento es del orden de 10 kilopascales.

**Lámpara de halógenos metálicos:** Lámpara de descarga de alta intensidad en la que la luz se produce por la radiación de una mezcla de vapor metálico, halógenos metálicos y productos de la disociación de halógenos metálicos.

**Balasto electrónico o de alta frecuencia:** Ondulador alterna/alterna conectado a la red que incluye elementos estabilizadores para el encendido y el funcionamiento de una o varias lámparas fluorescentes tubulares, generalmente de alta frecuencia.

**Lámpara clara:** Lámpara de descarga de alta intensidad con un envoltente exterior transparente o un tubo exterior en el que el tubo del arco que produce la luz es claramente visible (por ejemplo, lámpara de vidrio claro).

**Lámpara de luz mezcla:** Una lámpara que contiene una lámpara de vapor de mercurio y un filamento incandescente conectado en serie en la misma bombilla.



 @OLADEORG

 /OLADE

 Organización Latinoamericana de Energía OLADE

 OLADE Organización Latinoamericana de Energía

Av. Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y Fernández Sálvador  
Edificio Olade, Sector San Carlos

Casilla 17-11-6413  
Quito - Ecuador

Telf: (593 2) 2598 122 / 2598 280

Fax: (593 2) 2531 691

olade@olade.org  
www.olade.org