



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Alumbrado público exterior

Guía didáctica para el
buen uso
de la energía

ISBN: 978-958-8363-01-1



Libertad y Orden

REPÚBLICA DE COLOMBIA

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA

Alumbrado público exterior

Ministro de Minas y Energía
Hernán Martínez Torres

Director General UPME
Alberto Rodríguez Hernández (E)

Subdirector de Planeación Energética
Jairo Pedraza Castañeda (E)

Coordinador General
Carlos Fernando Valles Franco

Guía didáctica desarrollada por el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia para la Unidad de Planeación Minero Energética UPME.

Director del Proyecto
Fernando Augusto Herrera León

Asesor
Francisco Amórtegui Gil
Jesús Quintero Quintero
Oscar Duarte Velasco

Redacción
Edwin Páez Alonso
César Erasmo Rondón Rojas

Ilustraciones
Carlos Eduardo Narvárez Marmolejo
Lina María Hernández

Diseño y diagramación
Mauricio Rodríguez Ruiz

© Unidad de Planeación Minero Energética, UPME 2007
ISBN 978-958-8363-01-1

Impresión POLIGRAMA

Presentación

Para la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, es satisfactorio colocar a disposición de la sociedad en general, la guía didáctica de URE en iluminación para alumbrado público.

Con esta publicación, esperamos aportar un instrumento ágil de consulta de los elementos que debemos tener en cuenta para realizar un uso racional de la energía en lo que a iluminación respecta en nuestro alumbrado público.

Su sencillo lenguaje hace de esta cartilla una herramienta de consulta permanente que redundará en beneficio de los recursos energéticos de nuestro país. Está dirigido a todos los agentes involucrados con el servicio de alumbrado público.

En la medida que hagamos un uso eficiente de la iluminación en el alumbrado público se tendrán significativos ahorros económicos los cuales podrán ser utilizados en otras necesidades.

Estamos en la era de la eficiencia energética. Aportes como este brindan bienestar a la población en general.

Lo invitamos a que lea con detenimiento el contenido de esta cartilla y adopte las recomendaciones que en ésta se presentan.

ALBERTO RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

Director General (E)

Uso Racional de Energía en Alumbrado Público

El alumbrado público

Es un servicio público no domiciliario que se presta con el fin de iluminar lugares de libre circulación, que incluyen las vías públicas, los parques y demás espacios que se encuentren a cargo del municipio, con el fin de permitir el desarrollo de actividades nocturnas dentro del perímetro urbano y rural. Pero sin duda, el objetivo principal 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.

¡El Alumbrado Público proporciona seguridad a los peatones y visibilidad a los conductores de vehículos!

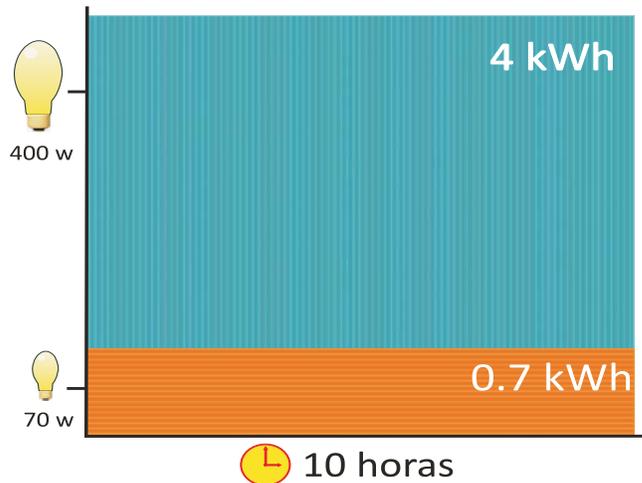
Consumo de energía eléctrica en alumbrado público

La energía eléctrica es la fuerza vital de la sociedad porque gracias a ella se encienden los electrodomésticos, se puede enfriar los alimentos, se obtiene calefacción y se puede iluminar tanto el hogar como las calles. La energía eléctrica consumida se mide en kilovatios-hora (kWh) y el proveedor de energía cobra una tarifa por cada kWh consumido.

Recuerde

Para calcular la energía consumida por una luminaria encendida durante un determinado período de tiempo, se multiplica la potencia de la bombilla en kW (los vatios de la bombilla \div 1000) por el tiempo en horas del período determinado. Por ejemplo, una bombilla de 70 W encendida durante diez (10) horas consumirá 0.7 kWh, mientras que una bombilla de 400 W encendida el mismo tiempo consumirá 4 kWh, es decir más de cinco veces la energía consumida por la primera.

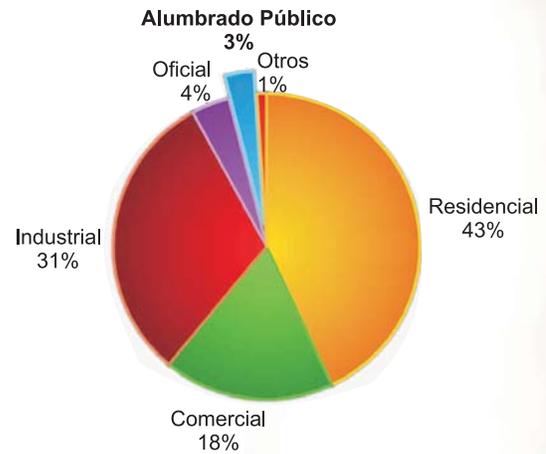
kW= 1000 W
MW=1000 KW
GW=1000 MW



¡Consumo de energía eléctrica en alumbrado público en Colombia!

En el siguiente cuadro se observa 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, ya que la demanda estimada de energía para el año 2007 está alrededor de 52 850 GWh. 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.



¿Pero... qué es URE?

URE es el Uso Racional de Energía. Esto significa aprovecharla al máximo, sin perder calidad de vida. Claro está, se puede continuar utilizando el computador, el automóvil, la iluminación o cualquier elemento que requiera energía para funcionar, pero se debe **evitar su desperdicio** y la producción de desechos contaminantes.

Aplicando URE, regulando y optimizando el uso de la energía, se lograría un gran impacto económico y ambiental en la sociedad.



¿Cuándo y cómo hacemos URE?

El uso racional de energía en alumbrado público se hace utilizando luminarias de potencias adecuadas y en cantidades suficientes para lograr niveles de iluminación óptimos. También se regula y se hace URE cuando se mantienen las instalaciones del alumbrado público en buen estado, velando por su seguridad y sobre todo cuando se realizan actividades de limpieza a las luminarias para evitar que la capa de suciedad haga ineficiente el uso de la energía.

Si todos tomamos conciencia de la importancia del URE podemos regular y ahorrar energía de muchas maneras para beneficio de la sociedad



Una solución para reducir el consumo de energía por alumbrado público es el cambio de tecnología pasando de bombillas de mercurio a bombillas de sodio de alta presión, las cuales son de mayor eficiencia y menor potencia.

Alumbrado público exterior

En las siguiente tabla se puede observar que reemplazando, por ejemplo, una cantidad de 1000 luminarias de Mercurio de 250 W por su equivalente en Sodio de 150 W, se contribuye a la optimización de la capacidad de generación eléctrica instalada, ahorrando 438 000 kWh al año y al municipio ahorrando \$ 99 864 000 en costos anuales (aplicando la tarifa promedio nacional del kWh año 2007), por concepto de energía no consumida.

Datos a considerar de sustitución de tecnologías para un municipio		Energía ahorrada (kWh) cada año en la sustitución de mercurio por sodio			Dinero ahorrado (miles de pesos) cada año en la sustitución de mercurio por sodio.		
		Cantidad luminarias sustituidas (unidades)			Cantidad luminarias sustituidas (unidades)		
Existente Mercurio	Sustituto Sodio	1	1 000	10 000	1	1 000	10 000
125 W	70 W	240	240 900	2 409 000	\$ 54	\$ 54 925	\$ 549 252
250 W	150 W	438	438 000	4 380 000	\$ 99	\$ 99 864	\$ 998 640
400 W	250 W	657	657 000	6 570 000	\$ 149	\$ 149 796	\$ 1 497 960

Nota: este ejercicio se plantea tomado un valor promedio nacional de \$228/kWh, obtenido de los valores, por departamentos, de la tarifa de energía para alumbrado público reportada al Sistema unificado de información (SUI) en el año 2007.

Pero la reducción en el consumo de energía debe ir acompañada de un cambio en la cultura y costumbres respecto al uso de la iluminación

Efectos ambientales del alumbrado público





¿Qué es la contaminación lumínica?

Es un efecto producido por el reflejo y la emisión inadecuada de la luz artificial de uso exterior e interior, por ejemplo por las luminarias que emiten luz hacia arriba, que puede verse por las noches en el cielo e impide la observación normal de las estrellas, además produce deslumbramiento y reduce la visibilidad del firmamento en las ciudades.



Básicamente es un efecto producido por la reflexión y difusión de la luz artificial en los gases y en las partículas del aire y va más allá de ser un problema estético visual, también significa un gasto innecesario de energía eléctrica.

Funcionamiento alumbrado público y conceptos básicos de iluminación

Sistema de alumbrado público (AP)

“Comprende el conjunto de luminarias, redes, transformadores de uso exclusivo y en general, todos los equipos necesarios para la prestación del servicio de alumbrado público, que no formen parte del sistema de distribución”

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto Numero 2424 de Julio 18 de 2006, Artículo 3°. Por el cual se regula la prestación del servicio de Alumbrado Público. Bogotá, D.C. 2006.



Red de baja tensión

Compone los conductores que llevan energía desde el transformador a las luminarias, los postes que las soportan, las cajas y las canalizaciones en las que se encuentran los cables.

Conceptos básicos de iluminación

Tensión (V)

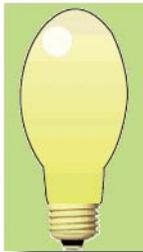
Se conoce comúnmente como voltaje; su unidad de medida es el voltio (V).

Los niveles de operación para sistemas de alumbrado público en Colombia, están definidos de la siguiente manera:

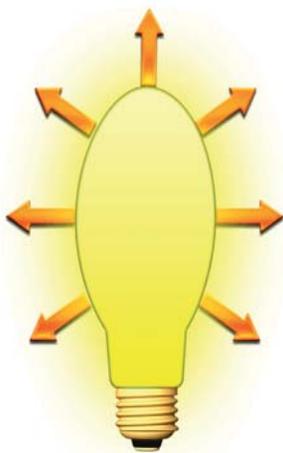
- 220 V para redes eléctricas exclusivas para alumbrado público (existe la alternativa de 277 V)
- 208 V o 240 V para redes eléctricas en las cuales se comparten conexiones para alumbrado público y los usuarios de la red.

Potencia Eléctrica (P)

La potencia es la energía consumida por unidad de tiempo. Su unidad de medida es el vatio (W).



Los fabricantes proporcionan información de la potencia que consume cada bombilla mediante su valor en Vatios, por ejemplo, se consiguen en el mercado bombillas de vapor de sodio de alta intensidad de descarga (HID) de 70 W, 150 W, 250 W, 400 W y 1000 W.



Flujo luminoso (ϕ)

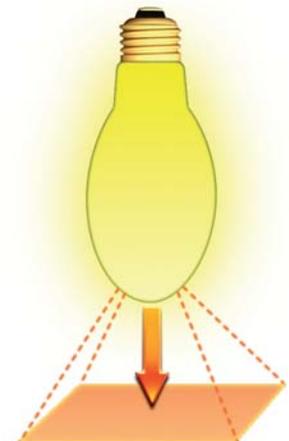
Es la cantidad de luz que emite una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo.

Lumen (lm): unidad de medida del flujo luminoso.

Nivel de luz o iluminancia (E)

La iluminancia es la densidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie.

Lux (lx): unidad de medida de Iluminancia. Un lux equivale a un lumen por metro cuadrado. ($1lx = 1lm/m^2$)



Para medir el nivel de Iluminancia en un terreno determinado se utiliza un instrumento llamado Luxómetro



Luminancia (L)

Es una medida de la luz emitida por una fuente primaria o secundaria. En la figura para el observador, la fuente primaria es la superficie del pavimento y la fuente secundaria es la luminaria.

Deslumbramiento

Es una sensación producida, dentro del campo visual del observador, por una luminancia suficientemente mayor o menor que aquella a la cual los ojos se habían adaptado y que causa molestias, incomodidad o pérdida temporal de la visibilidad.

En alumbrado público el deslumbramiento tiene dos componentes:

- El deslumbramiento molesto que produce falta de comodidad al observador durante la conducción a través de un área iluminada.
- El deslumbramiento incapacitivo que consiste en la disminución temporal de la capacidad del observador.

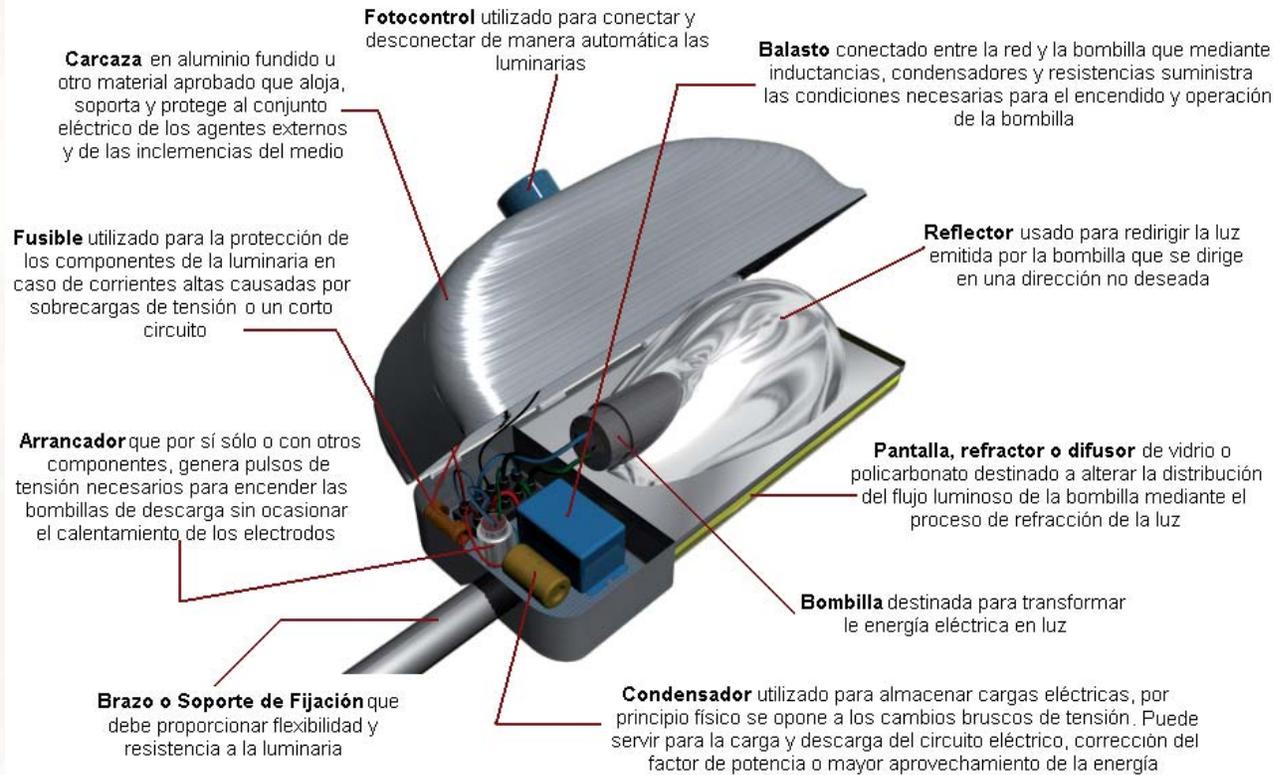


Luminaria

Conjunto de elementos para distribuir, filtrar, controlar, transformar y dirigir la luz emitida por la bombilla, incluye todos los accesorios mecánicos, ópticos y eléctricos indispensables para el soporte, protección de las bombillas y su conexión a la fuente de alimentación.

En la luminaria se contemplan los siguientes componentes:

Alumbrado público exterior



Eficacia lumínica o luminosa

Expresa la relación que existe entre el flujo luminoso que emite una bombilla y la potencia eléctrica consumida. Su unidad de medida es el lumen por vatio (lm/W).

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Lúmenes emitidos por la bombilla}}{\text{Potencia de la bombilla}}$$

Eficiencia de una luminaria

La eficiencia de una luminaria define la relación que existe entre el flujo luminoso emitido por el conjunto (luminaria+bombilla) y el emitido sólo por la bombilla en su interior. Es una medida del aprovechamiento que se hace del flujo luminoso total de la bombilla instalada en una luminaria.

En estas dos figuras, la luminaria A y la luminaria B tienen el mismo tipo de bombilla, pero la luminaria A tiene mayor eficiencia porque entrega mayor flujo luminoso.



Índice de reproducción del color (IRC):

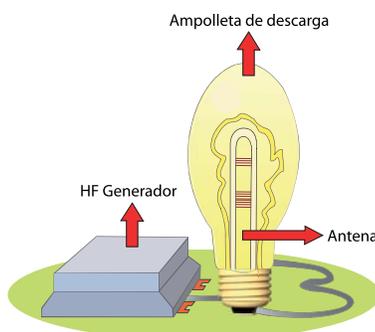
Escala de medida creada para comparar la calidad de reproducción de los colores en las fuentes de luz. La medida se presenta como porcentaje, entre mayor sea, mejor es el resultado. Como referencia, la luz día tiene 100% de IRC.

Tipos de bombillas para alumbrado público

Entre las bombillas de alta intensidad de descarga encontramos:

Bombillas de descarga de gas a alta presión o alta intensidad de descarga (HID)

Bombilla de mercurio a alta presión.	Bombilla de vapor de sodio a alta presión.	Bombilla de metal-halide (haluros metálicos)
		
 Mercurio puro y Argón	 Vapor de Sodio a altas presiones y a temperaturas de miles de grados.	 Haluros metálicos de Mercurio, Galio, Indio, Litio, Sodio, Talio, entre otros.
 Tiempo de vida 24000 horas	 Tiempo de vida entre 24000 y 32000 horas	 Tiempo de vida entre 9000 y 15000 horas
 Encendido de 4 a 5 min.	 Encendido de 3 a 4 min.	 Encendido de 3 a 5 min.
 Luz Blanca	 Luz Amarilla	 Luz Blanca
 Parques, jardines, vías de malla vial secundarias y vías de barrio.	 Iluminación de autopistas y carreteras de alto tráfico vehicular, zonas céntricas, peatonales y plazas	 Iluminación de estaciones de combustible, escenarios deportivos, y en donde la importancia se centre en la correcta reproducción del color.
 Costo iluminación: 5,5 \$/k-lm-h	 Costo iluminación: 3 \$/k-lm-h	 Costo iluminación: 6 \$/k-lm-h
 Residuos con riesgos ambientales altos.		 Se recomienda su utilización en luminarias con cubierta o refractor.
 Largo: 38 cm / Ancho: 8 cm	 Largo: 20 cm / Ancho: 5 cm	 Largo: 21 cm / Alto: 10 cm
 Deficiente	 Aceptable	 Aceptable
 Eficacia lumínica: 40 lm/W	 Eficacia lumínica: 100 lm/W	 Eficacia lumínica: 56 lm/W



Otras tecnologías de fuentes de luz

- Bombillas de Inducción**

Es una tecnología reciente que aún tiene una reducida gama de potencias y un elevado costo. Sin embargo presentan una larga vida útil de aproximadamente 60 000 horas y un arranque inmediato.

Aplicación en faros, túneles, alumbrado público y básicamente en lugares donde resulta difícil el mantenimiento.

Se debe tener en cuenta el efecto de contaminación electromagnética asociado.

• Alumbrado Público con Leds

El led (diodo emisor de luz), es un dispositivo de una tecnología emergente en el campo de la iluminación y podría llegar, en unos años, a reemplazar a las lámparas convencionales. La iluminación con leds es sensible a altas temperaturas, costosa y no podrá ser mundialmente aplicada hasta que su precio reduzca.



Este tipo de alumbrado representa un gran ahorro debido a su bajo consumo, larga duración y robustez mecánica, además de ser más ecológica, por su menor consumo de energía, reduciendo así la cantidad de residuos tóxicos en la atmósfera

Tipos de balastos para alumbrado público

Los tipos de balastos más utilizados en alumbrado público son:

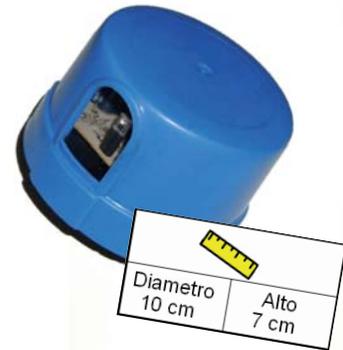
	<p style="text-align: center;">Balasto tipo reactor</p> <p>Pérdidas eléctricas bajas comparadas con las de balastos autorregulados CWA.</p> <p>La corriente para encendido de bombilla es alta.</p> <p>Precio competitivo.</p> <p>Problemas de regulación de tensión en la bombilla ante variaciones en la red.</p>
	<p style="text-align: center;">Balasto autorregulado o tipo CWA (Constant Wattage Autotrasformador)</p> <p>Pérdidas eléctricas mayores a las de balasto reactor.</p> <p>La corriente para encendido de bombilla es menor a la de balasto reactor.</p> <p>Precio superior al del balasto reactor.</p> <p>Asegura la regulación de tensión en la bombilla ante variaciones en la red.</p>
	<p style="text-align: center;">Balasto electrónico</p> <p>Pérdidas eléctricas inferiores comparadas con balastos reactor y CWA.</p> <p>Garantiza la corriente para encendido instantáneo de la bombilla.</p> <p>Precio superior al de balasto CWA, pero con tendencia a la baja.</p> <p>Asegura la regulación de tensión en la bombilla ante variaciones en la red.</p>

Dispositivos de control

Fotocontrol.

Es un dispositivo utilizado para conectar y desconectar de manera automática las luminarias de alumbrado público en función del nivel de iluminación del ambiente. En el caso más común el fotocontrol enciende la bombilla durante la noche y la apaga durante el día.

Fotocontroles como el presentado en la figura, realizan control individual para cada luminaria; sin embargo, existen otros fotocontroles asociados con un contactor los cuales pueden controlar un grupo de luminarias.



Marco legal servicio de alumbrado público en Colombia

Definición Servicio de alumbrado público: Es el 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. Artículo 2- DECRETO NÚMERO 2424 DE JULIO 18 DE 2006 – MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA”

Cada ente que interviene en la prestación de servicio de alumbrado público tiene unas responsabilidades, tal como se muestra en el siguiente diagrama:

ALUMBRADO PÚBLICO: RESPONSABILIDADES



El alcalde como representante del municipio tiene la responsabilidad de garantizar la prestación del servicio de alumbrado público.

La prestación del servicio implica eficiencia y eficacia, criterios que aplicados al alumbrado público tiene las siguientes características:

Debe ser prestado con calidad, y esto implica el cumplimiento de unos niveles mínimos de iluminación. Dichos niveles se miden y se evalúan con metodologías establecidas por la norma técnica vigente, como la NTC 900, utilizando equipos para medición de luminancia e iluminancia.



Calidad implica que todas las luminarias instaladas en un municipio, incluyendo la cabecera municipal y las zonas rurales funcionen correctamente; lo que conlleva acciones de mantenimiento preventivo y correctivo en caso de falla.

Garantizar niveles de iluminación adecuados implica programación de trabajos de limpieza que tengan como objetivo recuperar las condiciones de flujo emitido por las luminarias.



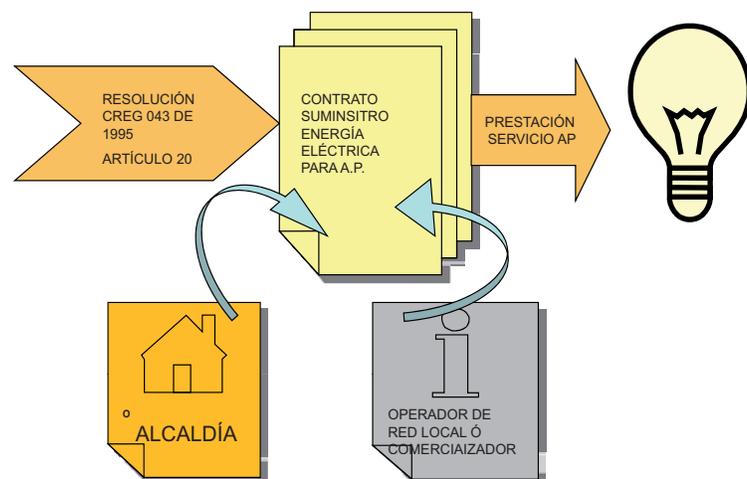
La eficiencia aplica directamente a la implementación de medidas de URE, por ejemplo la sustitución de bombillas de mercurio por sodio de alta intensidad de descarga; esto sin olvidar el cumplimiento de los niveles mínimos de iluminación, pero procurando la eficiencia energética y económica.

En caso de proyectos nuevos, se debe garantizar la optimización desde el diseño que tenga como objetivo el uso eficiente de la energía utilizando fuentes de luz con potencias adecuadas y ante todo, garantizando condiciones de mantenimiento que eviten desde el inicio, la instalación de luminarias de mayor potencia y/o en mayores cantidades.

Para la prestación del servicio de alumbrado público, el municipio debe garantizar el suministro de la energía eléctrica; para lo cual el mecanismo contemplado en la regulación, es la constitución de un Contrato de Prestación del Servicio entre el municipio y el operador de red o comercializador, en este contrato el cliente es el municipio.

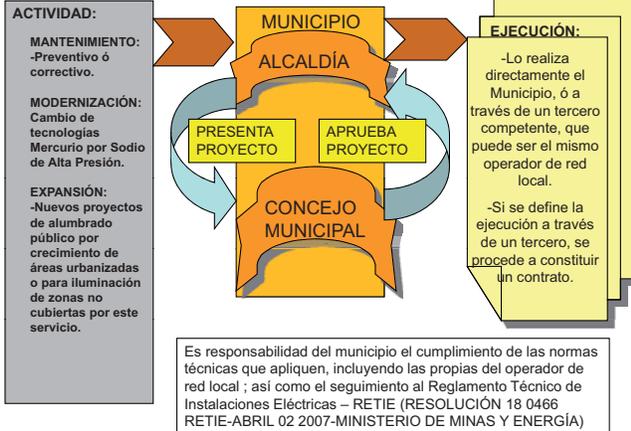
Adicionalmente, es obligación de la alcaldía realizar las actividades de alumbrado público y en especial, las expansiones considerando el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de su municipio.

ALUMBRADO PÚBLICO: SUMINISTRO DE ENERGÍA



Alumbrado público exterior

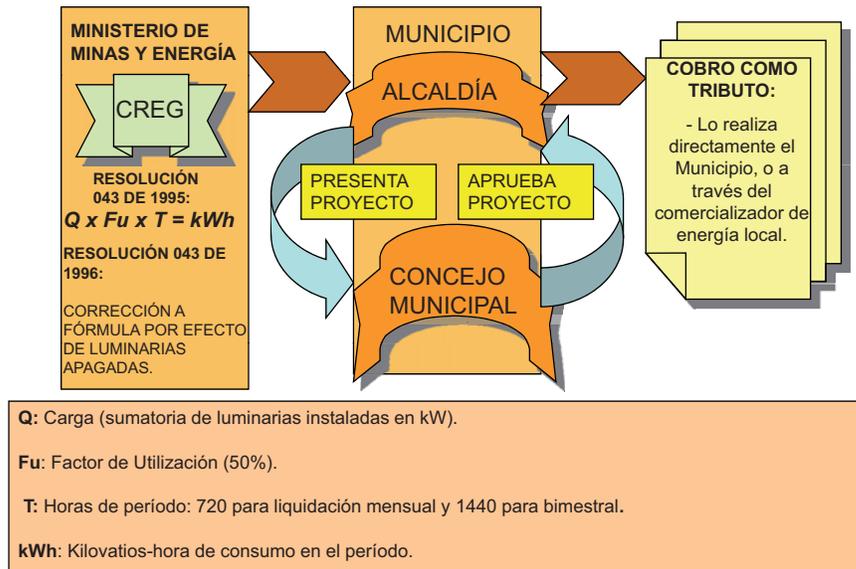
ALUMBRADO PÚBLICO: MANTENIMIENTO-MODERNIZACIÓN-EXPANSIÓN



Desde el punto de vista técnico, y considerando el diseño, construcción, mantenimiento y gestión del alumbrado público, una importante referencia técnica es la Norma Técnica Colombiana NTC 900 “Reglas generales y especificaciones para el alumbrado público 2006-10-25”; la cual contiene información detallada respecto a los requisitos de niveles de iluminación, y las metodologías para medir y evaluar.

De especial cuidado, es el manejo de bombillas de alta intensidad de descarga, por los componentes del tubo central, como el caso de las bombillas de vapor de mercurio. Es obligación de la Alcaldía, conocer las normas y directrices señaladas por las autoridades ambientales para garantizar su cumplimiento.

ALUMBRADO PÚBLICO: COBRO DEL SERVICIO



Otras consideraciones respecto al manejo del alumbrado público.

Por su objetivo de iluminar vías y zonas comunes, el sistema de alumbrado público está expuesto a riesgos permanentes, como acciones vandálicas o accidentes de tránsito en los cuales la infraestructura y especialmente los postes resultan afectados, así como los robos de cable, de bombillas y de componentes en las luminarias.

Debido a la obligación de mantener el funcionamiento eficiente y eficaz del alumbrado público, el municipio debe encaminar acciones preventivas y/o correctivas.

En zonas en las cuales los árboles puedan presentar problemas por obstruir la iluminación generada por luminarias (efectos de sombra), ó riesgos por contacto con los cables eléctricos, se deben programar actividades de poda ó tala, las cuales se encuentran reguladas y reglamentadas por las autoridades ambientales. Es obligación del Municipio dar cumplimiento técnico desde el punto de vista ambiental a los procedimientos de poda y tala, así como a la disposición de los residuos según dispongan las autoridades ambientales.

Recomendaciones prácticas URE en alumbrado público

Proyectos nuevos – eficiencia energética:

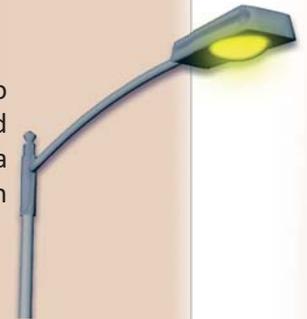
En el momento de plantear un proyecto de alumbrado público, bien sea para iluminación de una zona nueva (expansión), como parte de programas de ampliación de cobertura de alumbrado público en un municipio, o inclusive para proyectos de modernización de tecnología de mercurio por sodio de alta intensidad de descarga (modernización), debe plantearse la siguiente pregunta:

¿Cómo hacer una instalación de alumbrado público con los lineamientos de Uso Racional de Energía?

Mediante los procedimientos de ingeniería y arquitectura para el diseño, combinando adecuadamente las propiedades luminotécnicas de las luminarias (curvas de intensidad luminosa para ejes transversal y longitudinal), las potencias a instalar y la calidad de la luz requerida para apreciar el color (IRC), se puede cumplir con los niveles de iluminación requeridos para una aplicación en tránsito vehicular o peatonal.

Esto implica una decisión que considere cuatro aspectos:

1. Geometría de la zona a iluminar.
2. Adecuada selección de luminaria.
3. Selección del tipo de tecnología (sodio alta presión, haluros metálicos o mercurio) de acuerdo con los requerimientos de calidad de apreciación del color.
4. Considerar una política de mantenimiento que evite el sobredimensionamiento inicial en un diseño.



La gestión implica la optimización de los recursos, y en el caso de alumbrado público las inversiones por proyectos nuevos serán ejecutadas por las alcaldías.

Por lo tanto, en el diseño se debe buscar la optimización económica pensando en el corto plazo para la etapa de construcción del proyecto, de la siguiente forma:

Si el diseño incluye la separación entre postes para instalación de luminarias, menos puntos luminosos será necesario instalar y la inversión inicial será más baja.

Pensando en el largo plazo, se debe garantizar el funcionamiento de todos los puntos luminosos instalados, por lo tanto, entre menos puntos existan, más fácil será manejar las operaciones de reparación, porque las probabilidades de falla serán más bajas si existe menor cantidad de elementos instalados.

En lo que a la calidad por cumplimiento de los niveles de iluminación se refiere, existen dos alternativas:

1. No plantear la ejecución de programas de limpieza de luminarias en el mantenimiento, lo que conlleva generalmente a instalar potencias mayores a las requeridas, teniendo como efecto inicial niveles de iluminación muy por encima de los requeridos por las normas, para que a largo plazo, por efectos de la capa de suciedad causada por la contaminación exterior, se tengan los niveles mínimos exigidos.

Haciendo cuentas:

¿Cuánto tendrá que pagar el municipio por la potencia adicional instalada?

Es importante recordar que la factura depende del consumo y como ya se mencionó, éste está relacionado directamente con la potencia de las luminarias instaladas.

2. Pensar desde el comienzo en la ejecución de programas de limpieza periódica de las luminarias.

Esto facilita la opción de instalar luminarias de potencias adecuadas y el municipio pagará por consumo de energía lo que realmente necesita para garantizar la calidad, teniendo como criterio el cumplimiento de los niveles de iluminación.

A continuación se presentan criterios de carácter técnico que son importantes en la etapa de diseño de un proyecto de alumbrado público:

Niveles de iluminación requeridos

Para vías de tipo vehicular:

Los requisitos de niveles de iluminación, así como las definiciones de los criterios que se tienen en cuenta para evaluar una instalación de alumbrado público tipo vehicular se encuentran en la tabla 12 de la norma NTC 900. Sin embargo, es importante identificar las exigencias en niveles de iluminación a partir de dos criterios básicos presentados en la tabla 2 de la misma norma:

- La velocidad de circulación de los vehículos en las vías (en km/h). Para efecto de análisis en los municipios, estas velocidades se encuentran en dos categorías:
 - Velocidades entre 30 km/h y 60 km/h (clasificadas según norma como tipo M2)
 - Velocidades menores a 30 km/h (clasificadas según norma como tipo M3)
- Un criterio auxiliar contemplado en la NTC 900 es la cantidad de vehículos que circulan por la vía en un período de una hora (en horas nocturnas).

Los valores mínimos definidos por la norma para estas zonas son:

Tipo de vía	Luminancia media (cd/m ²)	Uniformidad global	Valores de Iluminancia calculados (lx)
M2	1,0	0,4	10 - 25
M3	0,75	0,4	7 - 20

Por otra parte, las superficies de las vías se clasifican en cuatro tipos según la capacidad para reflejar la luz emitida por las luminarias, es decir, que tan clara pueda ser una superficie (cemento, por ejemplo) u oscura y áspera (con menor capacidad para reflejar luz). Esta clasificación se encuentra ilustrada en la tabla 11 de la norma NTC 900.

Para vías de circulación peatonal:

Los requisitos de niveles de iluminación, así como las definiciones de los criterios que se tienen en cuenta para evaluar una instalación de alumbrado público para uso peatonal se encuentran en la tabla 3 de la norma NTC 900; los niveles de iluminación requeridos se obtienen de la descripción del uso de la zona. A manera de ilustración se presenta una muestra, considerando los usos más comunes en los municipios colombianos:

- Uso nocturno intenso por peatones ó por ciclistas. Se le clasifica según norma como tipo P2.
- Uso nocturno moderado por peatones ó por ciclistas. Se clasifica como tipo P3.
- Uso nocturno menor por ciclistas ó por peatones únicamente asociados con propiedades adyacentes. Se clasifica como tipo P4.

Los valores mínimos definidos por la norma se encuentran en la siguiente tabla:

Tipo de vía	Iluminancia media. Em (lx)	Iluminancia mínima. Emin (lx)
P2	10	3
P3	7,5	1,5
P4	5	1

Eficacia de la bombilla



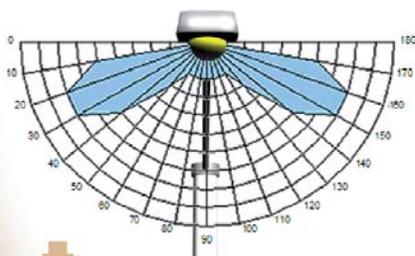
La cantidad de luz se mide en lúmenes. La cantidad de energía consumida se mide en Vatios. Si por una determinada cantidad de vatios, se obtiene mayor cantidad de luz, se aplica URE.

A manera de ejemplo, una bombilla de vapor de sodio que emite 54 800 lúmenes y consume 400 W, su eficacia es de 137 lm/W

Una bombilla de haluro metálico produce 34 000 lúmenes y consume 400 W, su eficacia es de 85 lm/W

Por esta razón, el uso de bombillas de vapor de sodio de alta presión se ha extendido mucho en sistemas de alumbrado público a nivel mundial.

Parámetros luminotécnicos de la luminaria – curva cie 0° - 180°



ALCANCE CORTO
Luminaria cuyo máximo valor de intensidad está en un ángulo menor de 60° respecto a la vertical

ALCANCE INTERMEDIO
Luminaria cuyo máximo valor de intensidad está entre 60° y 70° respecto a la vertical

ALCANCE LARGO
Luminaria cuyo máximo valor de intensidad está por encima de 70° respecto a la vertical

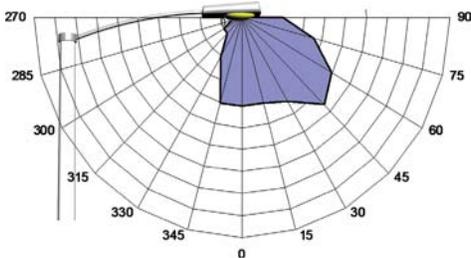


Dependiendo de la característica de alcance seleccionada, combinada con una potencia adecuada y una altura de montaje óptima para obtener los niveles de iluminación requeridos, se pueden lograr mayores interdistancias (separación entre postes), lo que implica instalar menor infraestructura (postes y luminarias).

- La característica de alcance largo permite obtener mayores interdistancias.
- La característica de alcance corto reduce la interdistancia.

Tener menor cantidad de luminarias instaladas reduce los costos por consumo de energía

Parámetros luminotécnicos de la luminaria – curva cie 90°-270°



DISPERSIÓN ESTRECHA

Luminaria cuyo máximo valor de intensidad está en ángulos de 45° respecto a la vertical

DISPERSIÓN MEDIA

Luminaria cuyo máximo valor de intensidad está entre los ángulos de 45° y 55° respecto a la vertical

DISPERSIÓN ANCHA

Luminaria cuyo máximo valor de intensidad está por encima de 55° respecto a la vertical

El ángulo de referencia es 45°, equivalente a una condición de altura del montaje de la luminaria igual al ancho de la vía.

Con este criterio se determina la altura de montaje, el poste para el montaje de la luminaria y potencia de la luminaria.

Tener luminarias de la potencia más baja posible cumpliendo con niveles de iluminación requeridos, reduce los costos por consumo de energía.

Índice de protección de la luminaria.



Índice de protección (IP)

Corresponde a una característica de las luminarias que se presenta como dos dígitos de la siguiente forma:

IP XX

La norma NTC 2230 en las tablas J1 y J2 presenta los detalles de IP.

El primer dígito representa protección contra objetos sólidos, los clase 5 y 6 indican hermeticidad a polvo dentro de la luminaria.

El segundo dígito representa protección contra el agua, siendo los números 3 en adelante y hasta el 8, protegidos contra lluvia.



El IP se observa en la forma como se encuentra sellada la luminaria, siendo menor el IP si la luminaria está abierta (sin protección). El costo de las luminarias es directamente proporcional al grado IP, el criterio de selección del IP depende directamente de la política de mantenimiento por limpieza definida por la alcaldía.

- Luminarias con grado IP alto requieren períodos de limpieza más largos.
- Luminarias con grado IP bajo, requieren períodos de limpieza más cortos.

La decisión depende de la evaluación económica de costo luminaria por IP Vs Costos de limpieza proyectados en el tiempo.

Efectos de las condiciones atmosféricas (calor, humedad y polvo)

Se recomienda el uso de luminarias con segundo dígito de IP con valor alto, superior a 3, independiente del clima en la zona de instalación. En zonas cálidas, se recomienda utilizar luminarias con suficiente volumen interior para reducir los efectos de incremento de temperatura por efecto de la sumatoria de temperaturas de la bombilla y el ambiente.



URE y mantenimiento del alumbrado público

Actividades de mantenimiento

El mantenimiento de alumbrado público generalmente es correctivo porque se programan trabajos cuando se presenta falla (apagado). Entonces, se programa un mantenimiento cuyo objetivo es ubicar la falla, solucionarla y dejar la luminaria nuevamente funcionando.

Sin embargo, hay actividades de tipo preventivo que programadas en periodos adecuados de tiempo, generan un efecto de mejoramiento en las condiciones de iluminación por efecto de limpieza en las partes del conjunto óptico de una luminaria.

En una instalación nueva, los componentes de una luminaria se encuentran limpios, los contactos eléctricos bien ajustados y los equipos en el inicio de su vida útil. Pero, conforme avanza el tiempo de operación, una instalación de alumbrado público esta expuesta a la contaminación ambiental, a vibraciones y efectos de tipo eléctrico (como variación en la tensión de alimentación proveniente de la red), los cuales generan deterioro en los componentes, en el conjunto óptico de las luminarias y en la reducción de los niveles de iluminación.

Por lo tanto, se debe tener en cuenta un nuevo elemento a considerar en la etapa de diseño, operación, gestión y administración del sistema: el factor de mantenimiento (FM).

Componentes eléctricos

Es recomendable revisar contactos eléctricos, ya que la luminaria instalada vibra frecuentemente por el tránsito de vehículos y los contactos tienden a aflojarse.

Balasto

Se debe tener en cuenta el factor de balasto (FB), el cual mide una relación entre el desempeño de un balasto de referencia en laboratorio y el normalmente utilizado en la instalación.



Norma NTC 900:

FB para luminarias de Alta Intensidad de Descarga como las utilizadas en alumbrado público:
FB=0.97

Fotocontrol

Este elemento es de suma importancia en el momento de los mantenimientos, porque en condición de falla puede generar dos situaciones:

1. No enciende la bombilla con niveles de iluminación ambiental bajos afectando la calidad del servicio.
2. La bombilla se permanece encendida constantemente afectando URE y consumos de energía.

Depreciación de flujo luminoso (DLB)

Por efectos de envejecimiento, el tubo interior de descarga se va oscureciendo por evaporación del material del electrodo y su acumulación en las paredes del mismo. Esto va aumentando gradualmente con el paso del tiempo hasta el final de la vida útil de la bombilla.

Según la tabla de NTC 900, para bombillas de vapor de sodio de alta presión el flujo se deprecia 1,1% cada 1 000 horas de operación; para bombillas de vapor de mercurio es del 1,15% en el mismo tiempo. Esto significa que la pérdida de flujo luminoso es más rápida en las bombillas de mercurio.

Se debe tener en cuenta que, de acuerdo con la CREG, se deben retirar las bombillas con menos del 70% del flujo inicial.

La pérdida de flujo luminoso emitido por la bombilla conforme avanza el tiempo no se puede solucionar por mantenimiento. Pero es propio de las bombillas y debe tenerse en cuenta.

Depreciación por suciedad de la luminaria (DLL)

Conjunto óptico

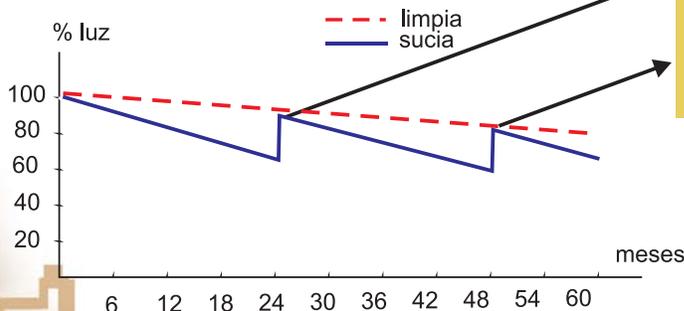
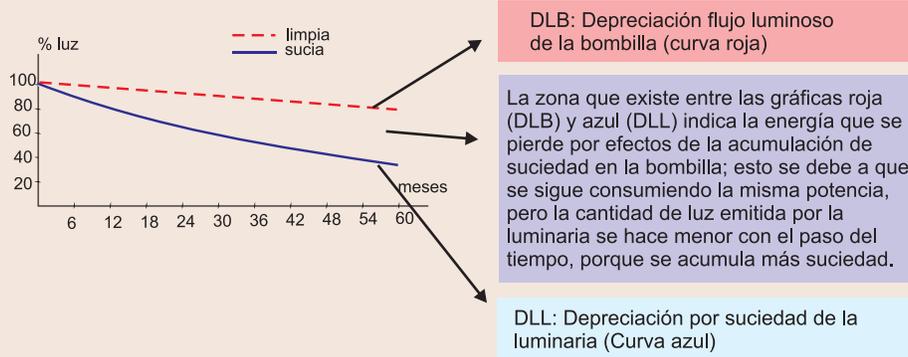
Por efectos de contaminación ambiental (polución), la luminaria va acumulando suciedad y por lo tanto se va perdiendo en forma gradual, la cantidad de luz emitida.

Los niveles de contaminación son básicamente tres y están definidos en la tabla 17 de la norma NTC 900:

- Bajo
- Medio
- Alto

Este último está asociado a zonas industriales o a carreteras destapadas, en las cuales el tráfico vehicular expone directamente las luminarias al polvo.

Se observa que en luminarias con IP bajo (IP23), expuestas a condiciones de polución media, se pierde gradualmente la cantidad de luz emitida de acuerdo con la línea azul en la gráfica



Este aspecto es clave. Al observar las gráficas, la primera muestra que la depreciación por acumulación de suciedad de la luminaria en 60 meses (5 años), implica pérdidas en el flujo emitido hasta un 60%. Como consecuencia directa del requisito en los niveles de iluminación, implicaría en el diseño, un sobredimensionamiento del 50% al inicio, de tal forma que al final de estos 5 años, los niveles de iluminación se cumplan sin haber realizado labores de limpieza en la luminaria.

En la segunda gráfica se observa que realizando labores de limpieza periódica (en este caso cada 2 años), las pérdidas solamente alcanzan un 20% y por efecto de limpieza se recupera el flujo luminoso emitido, siendo el valor tope el correspondiente a la depreciación nominal de flujo luminoso de la bombilla.

Para calcular la influencia del ensuciamiento de la luminaria por polución (DLL) en el factor de mantenimiento, se tiene como referencia los valores presentados en la tabla 19 de la NTC 900; tomando como factor a utilizar el resultante de cruzar el índice de protección (IP) de la luminaria instalada, el nivel de contaminación y el tiempo transcurrido sin hacer limpieza.

Cálculo del factor de mantenimiento

Para efectos prácticos el factor de mantenimiento (FM) se calcula así:

$$FM = FB \times DLB \times DLL$$

donde: FB: factor de balasto = 0.97

DLB: factor de depreciación de flujo luminoso bombilla.

DLL: factor de mantenimiento de la luminaria (por limpieza)

De la fórmula se observa que el único factor sobre el cual se puede actuar es el de mantenimiento de la luminaria (DLL).

De ahí su importancia, porque permite optimizar el diseño de una instalación con luminarias de menor consumo de potencia, siempre y cuando se cumpla el programa de limpieza para garantizar los niveles de iluminación requeridos.



Análisis de caso

A continuación se presentan ejercicios prácticos para ilustrar los conceptos presentados en la presente cartilla.



IMPORTANTE

Para la presentación de cada uno de los casos a analizar se utilizó una aplicación desarrollada únicamente con objeto de análisis académico e ilustrativo, no es una herramienta para diseño. Para este fin existen herramientas de software especializadas, las cuales contienen las curvas específicas para cada tipo de luminaria existente en el mercado. Es importante saber que los proveedores de luminarias y productos de iluminación disponen de estas herramientas y las colocan al servicio de sus clientes con el fin de que se tome una decisión adecuada en el momento de tomar decisiones de compra.

En la siguiente figura se ilustra el objeto de análisis para los casos de uso.

Caso 1. Sustitución sodio – mercurio tipo de vía M3

CONDICIÓN INICIAL

Para este caso, se tienen instaladas luminarias de 125 W de vapor de mercurio, las cuales llevan en funcionamiento 3 años y no se ha realizado limpieza de la luminaria, razón por la cual se toma un factor de mantenimiento de la luminaria –DLL- de 0.76.

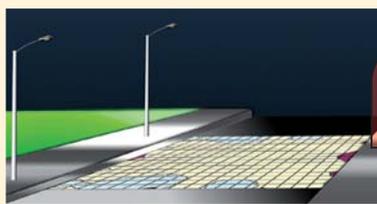
Las condiciones de reflexión de la calzada son buenas y por lo tanto los requisitos de iluminación para este tipo de vía están en:

Iluminancia Media (Emedia): 13 lx . Uniformidad (U): 0.4. Se observa que en estas condiciones la iluminación cumple el criterio de uniformidad, pero no con los niveles de iluminación media requeridos.

The screenshot shows a software interface titled "GUIA DIDÁCTICA URE ALUMBRADO PÚBLICO". It contains several sections:

- PARÁMETROS GEOMÉTRICOS:**
 - Interdistancia (S): 20 m
 - Altura montaje (H): 8 m
 - Ancho de vía (A): 6 m
- FACTOR MANTENIMIENTO:**
 - FM = FB × DLL × DLL
 - Factor balasto: 0.97
 - Tipo Bombillo: 125 W - Hg
 - Año verificación: 3
 - Factor Suciedad Luminaria: 0.76
- RESULTADOS:**
 - E media: 10.000 lx
 - E max: 15.059 lx
 - E min: 4.8827 lx
 - Uniformidad: 0.485
- REQUISITOS NIVELES DE ILUMINACIÓN:**
 - VÍAS VEHICULARES: [Icon]
 - VÍAS PEATONALES: [Icon]

RESULTADO SUPERFICIE VÍA



Cambio a 70 W sodio alta presión

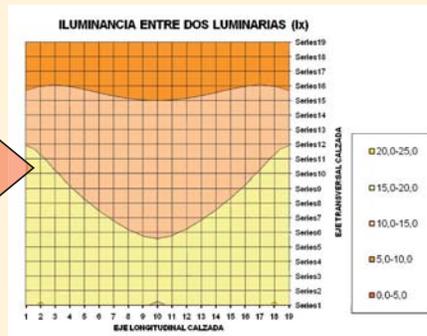
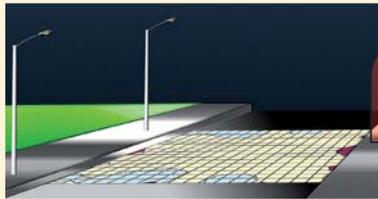
Para este caso, se cambian las luminarias de 125 W de vapor de mercurio por luminarias de vapor de sodio de alta presión 70 W.

Las condiciones implican un cambio, se ha realizado limpieza por mantenimiento, por esto el DLL es 1 , los requisitos de niveles de iluminación son los mismos que en el caso anterior.

Los resultados obtenidos son:

Se observa que se cumplen los valores de Iluminancia media y uniformidad, por lo tanto realizando la sustitución de Mercurio de 125 W por Sodio de 70 W, y considerando planes de limpieza de luminarias se cumple con los requisitos garantizando calidad en la prestación del servicio de alumbrado público.

RESULTADO SUPERFICIE VIA:



Caso 2: sobredimensionamiento en diseño:

En este caso la vía sera tipo m3 con los siguientes requisitos de iluminación:

Iluminación media (Emedia): 16lx Uniformidad (u):0.4

Condición I:

Luminancia IP23

Factor de mantenimiento por limpieza (DLL):0.53

Tipo de polución: media

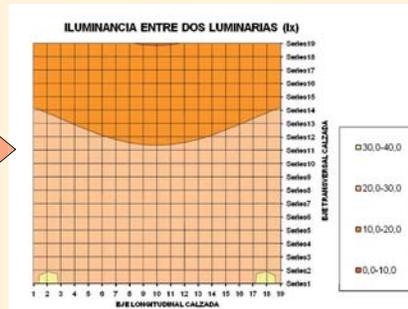
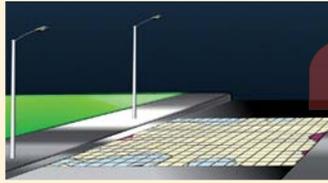
Sin limpieza durante 3 años.

Condición II:

Luminaria IP23 Factor de mantenimiento por limpieza (DLL): 1 Con limpieza a la luminaria

Se obtienen resultados similares cumpliendo con los requisitos; pero con una diferencia fundamental: la condición I implica el uso de luminarias de 250W de sodio de alta presión, mientras la condición II luminarias de 150W de sodio de alta presión.

RESULTADO SUPERFICIE VIA:



Consideraciones económicas

En la tabla siguiente, se presentan los costos básicos asociados a una instalación de alumbrado público, tomados como referencia para definir una evaluación económica de alternativas técnicas.

Nota: Es conveniente aclarar que todos los valores en esta cartilla corresponden a pesos colombianos para el año 2007.

Para la revisión de la información se debe considerar:

1. Los costos de instalación están aproximados en múltiplos de \$50 000, al valor más cercano.
2. La tarifa en Col \$/ kWh, se obtuvo de un promedio estadístico entre la información de tarifas reportada al SUI en 2007 por cada departamento.
3. Los valores de gastos por reparaciones y limpieza se aproximan en múltiplos de \$5.000 al valor más cercano.

Costos básicos asociados a instalaciones de alumbrado público por punto luminoso						
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VR. UNITARIO			
			70 W Sodio	150 W Sodio	250 W Sodio	400 W Sodio
1	GASTOS DE INSTALACIÓN (miles de pesos)					
1.1	Costo instalación luminaria	UNIDAD	\$ 150	\$ 150	\$ 150	\$ 150
1.2	Costo alambrado luminaria	UNIDAD	\$ 50	\$ 50	\$ 50	\$ 50
1.3	Costo luminaria	UNIDAD	\$ 200	\$ 350	\$ 400	\$ 450
1.4	Costo cable red aérea	50 m	\$ 150	\$ 200	\$ 150	\$ 150
1.5	Costo postes red aérea	UNIDAD	\$ 900	\$ 900	\$ 900	\$ 900
SUBTOTAL INSTALACIÓN			\$ 1 450	\$ 1 600	\$ 1 650	\$ 1 700
2	GASTOS CONSUMO ENERGÍA					
2.1	Tarifa promedio kWh	\$	\$ 218	\$ 218	\$ 218	\$ 218
3	GASTOS POR CAMBIO DE LUMINARIAS (miles de pesos)					
3.1	Valor luminaria	UNIDAD	\$ 200	\$ 350	\$ 400	\$ 450
3.2	Costo mano de obra	UNIDAD	\$ 50	\$ 50	\$ 50	\$ 50
SUBTOTAL			\$ 250	\$ 400	\$ 450	\$ 500
4	GASTOS POR LIMPIEZA (miles de pesos)					
4.1	Costo mano de obra	horas/hombre	\$ 25	\$ 25	\$ 25	\$ 25
5	GASTOS POR REPARACIONES					
Costo mano de obra cambio bombilla			UNIDAD	\$ 35	\$ 35	\$ 35
Costo bombilla			UNIDAD	\$ 15	\$ 25	\$ 35
SUBTOTAL REPARACIONES			\$ 50	\$ 60	\$ 70	\$ 80

Alumbrado público exterior

Un ejercicio económico consiste en presentar los resultados de los costos de un proyecto de alumbrado público, teniendo en cuenta solamente el efecto de la inversión en la construcción y los costos por consumo de energía. Con el objeto de simplificar el análisis, se mantienen el valor del kWh constante en \$ 228 (valor promedio nacional año 2007). Para realizar análisis en el tiempo se utiliza la metodología de Valor Presente Neto (VPN), con una tasa de interés del 4% anual, la cual incluye los costos financieros asociados a recaudo, administración y pago del dinero en las operaciones relacionadas con gestión de alumbrado público.

Situación I: sustitución sodio por mercurio

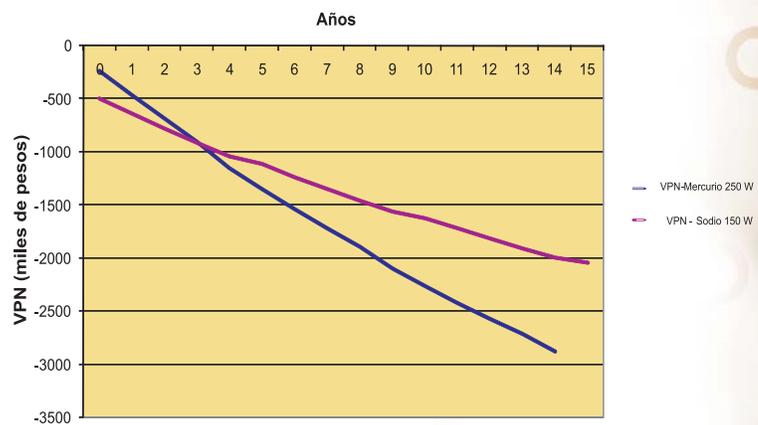
Para este análisis se consideran los costos asociados a inversión en el año cero por efectos de cambio de luminaria y mano de obra; cada cinco años se considera el costo por insumo y mano de obra asociado al cambio de bombilla por reposición, así como el costo anual por concepto de consumo de energía manteniendo constante el valor de 228 \$/kWh.

Los flujos de costos anuales se presentan en la siguiente tabla:

Ítem	Período	Mercurio 250 W	Sodio 150 W
Costo de inversión en cambio luminaria a comienzo del año 1	Una vez	\$ 0	\$ 500 000
Costos energía (valor anual durante 15 años)	Cada año	\$ 249 660	\$ 149 796
Inversión bombilla	Cada 5 años	\$ 50 000	\$ 60 000

Realizando la evaluación y calculando el Valor Presente Neto (VPN) para cada año, se observan los resultados obtenidos en la siguiente figura:

Se observa que en el año 3 se presenta el punto de equilibrio (VPN para mercurio 250 W igual a VPN para sodio 150 W incluyendo los costos de cambio de luminaria), y a partir de este momento, la luminaria de sodio de 150 W presenta mejor rentabilidad porque los costos de valor presente para cada año, son menores a los obtenidos para mercurio de 250 W.



Comportamiento Anual VPN Punto Luminoso Instalado



Consideraciones ambientales

Con respecto al medio ambiente, la alcaldía debe considerar el impacto ambiental en las actividades propias de modernización, expansión y mantenimiento. Por lo tanto debe incluir y desarrollar Planes de Manejo Ambiental (PMA), los cuales tendrán en cuenta los lineamientos del Ministerio del Medio Ambiente y la autoridad ambiental local.

De especial cuidado, es el manejo de bombillas para alumbrado público, por los componentes del tubo central. Es obligación de la alcaldía, conocer las normas y directrices señaladas por las autoridades ambientales para garantizar su cumplimiento, en los procedimientos de manipulación de elementos con residuos peligrosos, el manejo general de los residuos sólidos y su adecuado trato en el almacenamiento y disposición final.

Referencias bibliográficas

- 1) Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG. Cartilla del Usuario de los servicios públicos de Energía Eléctrica y Gas Combustible. Bogotá D.C., Colombia. Junio de 2005.
- 2) MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto Numero 2424 de Julio 18 de 2006, Por el cual se regula la prestación del servicio de Alumbrado Público. Bogotá, D.C., Colombia. 2006.
- 3) UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Boletín Estadístico de Minas y Energía 1999-2005. Colombia. Mayo de 2006. ISBN 95897855-0-6
- 4) DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. Estrategias y acciones para fomentar el uso eficiente y racional de energía. Bogotá D.C., Colombia. Agosto 23 de 1995. 25 p. (Documento CONPES 2801).
- 5) SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Cartilla de servicios públicos para alcaldes. Bogotá D.C. Colombia. Noviembre de 2007.
- 6) Unidad Ejecutiva de Servicios públicos - UESP. Manual Único de Alumbrado Público para Bogotá, D.C. Bogotá: Imprenta Distrital, 2004. 847 p. (Resolución N° 17 del 10 de Febrero de 2004). No. 3069. ISSN 0124-0552.
- 7) INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Reglas generales y especificaciones para el alumbrado público. Bogotá: ICONTEC, 2004. 150 p. (NTC 900).
- 8) _____. Luminarias: Requisitos generales y ensayos. Bogotá: ICONTEC, 1999. (NTC 2230).
- 9) CIE TECHNICAL REPORT. Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic. Commission International de L'éclairage, Publication No. 115. ISBN 3-900-734-59-3.
- 10) Uso Racional y Eficiente de la Energía / Mundo Eléctrico. Vol. 21, No. 69 (Oct. – Dic. 2007). Bogotá, Colombia. ISSN 1692-7052.
- 11) SILVA L., Jorge y PORRAS R., Gregorio. Implantación de las políticas de eficiencia energética. [en línea]. Colombia. Universidad de los Andes. Disponible en <<http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/rev10art3.pdf?ri=7fdb520c1aedc3a582f518cebcc9ed92>>.
- 12) UNIDAD DE PLANEACION MINERO ENERGÉTICA. Programas de Uso Racional de Energía. En: 13er Congreso Mercado de Energía Mayorista. [en línea]. Colombia, 2007. UPME. Disponible en <http://www.energiamayorista.com.co/memorias2007/noviembre2/Programa_Uso_Racional_Energia_UPME.pdf>.