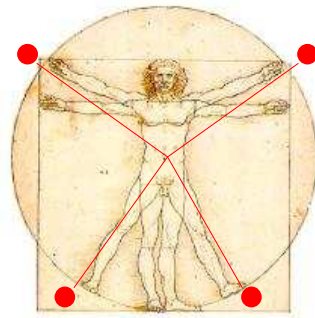


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN XI. AÑO 2013

SEPARATA



ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS DE LA
EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN ESPAÑA

Carlos de la Fuente Borreguero y Esther Guervós Sánchez



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Carlos de la Fuente Borreguero y Esther Guervós Sánchez
Mayo, 2013.

<http://www.uax.es/publicacion/analisis-de-la-situacion-actual-y-perspectivas-futuras-de-la-eficiencia.pdf>

© De la edición: *Revista Tecnol@ y desarrollo*
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

Tecnol@ y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol. XI. 2013

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN ESPAÑA

Carlos de la Fuente Borreguero^(a) y Esther Guervós Sánchez^(b)

(a) Máster en Ingeniería Ambiental. Ingeniero Eléctrico. Delegado de Servicios de Conservación y Obras de ImesAPI. Director Técnico de LuzMadrid. e-mail: c.fuente@wanadoo.es

(b) Doctora en Ingeniería Industrial. Licenciada en Ciencias Físicas. Área de Matemáticas y Física Aplicadas.

Universidad Alfonso X el Sabio Tf: 918109157, email: guervos@uax.es

RESUMEN:

Las actuales instalaciones de alumbrado público pueden hacerse más eficientes energéticamente al tener un importante potencial de ahorro y también es posible mejorar la protección del medio ambiente, reduciendo la contaminación lumínica y la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

Para evaluar su eficiencia energética es necesario realizar una completa auditoría que ha de comprender: inventario de las instalaciones existentes, verificación de las condiciones de seguridad, auditoría energética, propuestas de ahorro energético y cuadro comparativo de las mismas. A su vez, la auditoría energética ha de incluir la clasificación de las vías, mediciones lumínicas, análisis de la información obtenida y panel con indicadores de sostenibilidad.

PALABRAS CLAVE: Alumbrado público, auditoría energética, eficiencia energética.

ABSTRACT:

The public lighting installations can be more energy efficient because they have a significant potential savings and also it's possible to improve environmental protection, reducing light pollution and greenhouse gas emissions to atmospheric.

In order to assess its energy efficiency is necessary to perform a complete audit that must include: inventory of existing facilities, verification of safety, energy audit, proposed for energy savings and comparison of the same. In turn, the energy audit must include the classification of roads, lighting measurements, analysis of the information obtained and panel sustainability indicators.

KEY-WORDS: Public lighting, energy audit, energy efficiency.

SUMARIO: 1. Introducción 2. El alumbrado público en España. 3. La eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado público. 4. Auditoría de las instalaciones. 5. Conclusiones. 6. Bibliografía

<http://www.uax.es/publicacion/analisis-de-la-situacion-actual-y-perspectivas-futuras-de-la-eficiencia.pdf>

SUMMARY: 1. Introduction. 2. Street lighting in Spain. 3. Energy efficiency in public lighting installations. 4. Site audit. 5. Conclusions. 6. Bibliography.

1. Introducción

Uno de los objetivos del presente artículo es establecer una metodología que permita evaluar la eficiencia energética de las instalaciones existentes de alumbrado público y conocer su potencial de ahorro y de protección del medio ambiente. Para ello es necesario conocer su situación actual en relación con los países de nuestro entorno, tendencia de crecimiento prevista e identificar los factores sobre los que es posible intervenir para conseguir este objetivo: niveles de iluminación, calidad de sus componentes (luminarias, lámparas, etc.), reducción de la contaminación lumínica (emisión flujo luminoso hacia espacios ajenos al objeto de la iluminación), regulación de encendidos y apagados, telegestión de su funcionamiento y operativa de mantenimiento.

2. El alumbrado público en España

El gasto en alumbrado público en España, por habitante y año, es el mayor de la Unión Europea. Como puede observarse en la Figura 1, en los últimos años fue del orden de 118-114 kWh por ciudadano, frente a los 90-97 de Francia o los 48-43 de Alemania [1].

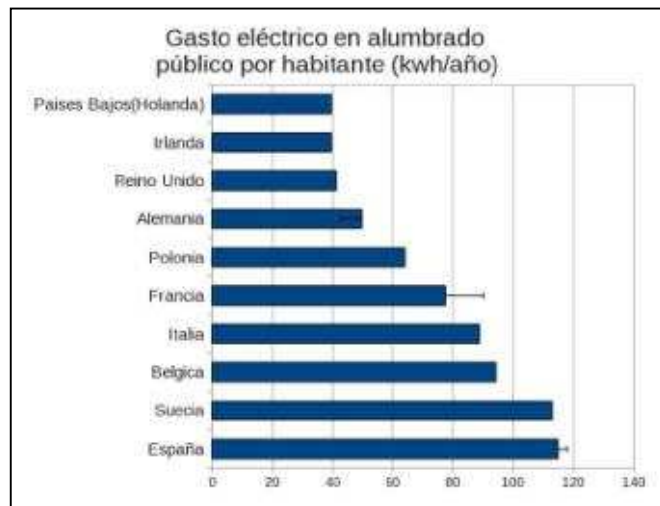


Figura 1. Gasto eléctrico en alumbrado público por habitante y año.

Fuente: (Sánchez de Miguel, 2012)

España es el país de la Unión Europea con las calles más iluminadas y, por tanto, el que más contamina lumínicamente por habitante. En la figura 2 [1] puede apreciarse la potencia media por luminaria correspondiente al año 2009.

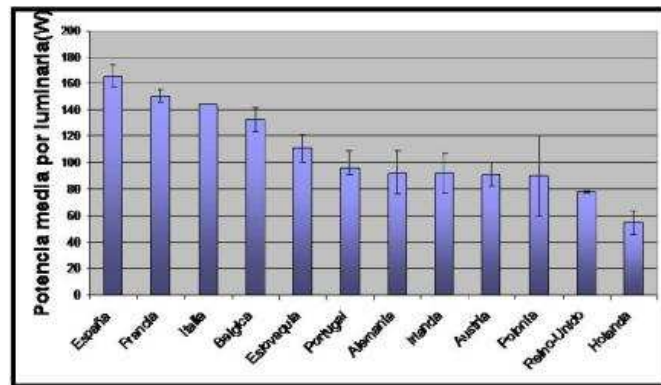


Figura 2. Potencia media por luminaria.
Fuente: (Sánchez de Miguel, 2012)

El crecimiento del gasto anual en alumbrado público se sitúa en un 4,7%, frente al 0,7% de crecimiento de la población y España es el país de la Unión Europea con mayor densidad de población en área construida, por lo que iluminar debería ser mucho más barato que en otros países.

En los últimos años el mayor aumento de iluminación se ha dado en las nuevas construcciones, como en Murcia, y en zonas de baja densidad de población, donde se ha duplicado, y hasta triplicado en algunos casos el nivel de emisión de contaminantes [1].

La contaminación lumínica supone un consumo innecesario de energía y puede implicar una afección en las personas, dificultar la visión natural del cielo y poner en peligro el equilibrio de determinados ecosistemas. La contaminación lumínica se origina cuando se emite un flujo luminoso, proveniente de fuentes de iluminación artificial, en direcciones, intensidades y rangos espectrales innecesarios para la actividad prevista. También se debe al uso excesivo e irresponsable del alumbrado de exteriores, como la iluminación publicitaria no controlada, el empleo de niveles luminosos excesivos, la ausencia de horarios de apagados de la iluminación ornamental y de espacios deportivos, etc. Esto ha suscitado que, en ocasiones, se tenga una concepción errónea del problema, creyendo que se evitaría la contaminación lumínica si se dejara de usar la iluminación artificial nocturna, cuando lo que se requiere es realizar un buen diseño de la misma, una correcta ejecución de la correspondiente obra y una gestión eficiente de su funcionamiento.

6. Carlos de la Fuente Borreguero y Esther Guervós Sánchez

Los mapas de contaminación lumínica y las imágenes por satélite ponen de manifiesto que nuestro país tiene un alto consumo en alumbrado público y podemos decir que es uno de los más derrochadores de toda Europa y que estamos a la cola en eficiencia energética [2].

La eficiencia energética y la reducción de la contaminación lumínica en las instalaciones de alumbrado público constituyen un objetivo prioritario para España y la Unión Europea. El 29 de Julio de 2011, el Consejo de Ministros aprobó el 2º Plan Nacional de Eficiencia Energética de España 2011-2020 [3], que da continuidad a los planes de ahorro y eficiencia energética anteriormente aprobados en el marco de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2010, y que da cumplimiento a la Directiva 2006/32/CE sobre eficiencia en el uso final de la energía y los servicios energéticos. El objetivo de este plan es garantizar el cumplimiento de los objetivos 20-20-20 (20% de reducción del consumo energético, 20% de energía final proveniente de fuentes de energías renovables y 20% de reducción de emisiones de CO₂). En este último plan se da una gran importancia a la mejora de la eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado público.

El Plan de Acción 2011-2020 presenta la relación completa de medidas y mecanismos para hacer posible la consecución de los objetivos previstos. El capítulo 10 se refiere a los Servicios Públicos, que agrupa las instalaciones de alumbrado exterior en vías y espacios públicos y las de suministro de agua a la población. Como instalaciones de alumbrado exterior se entiende las instalaciones de iluminación funcional, ambiental y ornamental de vías y espacios abiertos.

El 95% del alumbrado exterior corresponde a instalaciones propiedad de los ayuntamientos [3]. Este subsector ha experimentado un importante crecimiento en los últimos 15 años, asociado al gran desarrollo urbanístico habido en los distintos municipios de España y al consiguiente equipamiento de los nuevos viales y otros espacios e infraestructuras.

Se estima que en el año 2010 el parque de puntos de luz de alumbrado exterior en España era de 4.800.000 unidades, que con una potencia media de 180 W y 4.200 horas de utilización anual, representó un consumo de electricidad de 3.629 GWh/año [3]. La distribución en función del tamaño (población) de los municipios es la que se presenta en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1. Evaluación del alumbrado exterior 2010.

Fuente: (Plan Nacional de Ahorro y Eficiencia. Energética 2011-2020, 2011).

Tamaño municipio	kWh/hab/año	W/puntos de luz	Puntos de luz/1.000 hab.	GWh/año	Puntos de luz
> 75.00 habitantes	62	202	73	1.265	1.493.782
40.001 a 75.000 hab.	83	181	109	351	460.993
10.000 a 40.000 hab.	91	200	108	969	1.151.938
< 10.000 hab.	106	147	172	1.043	1.693.287
Total	80	180	106	3.629	4.800.000

Se estima que el subsector del alumbrado exterior siga creciendo en la próxima década, consecuencia de una mejora del equipamiento urbano. Todo ello produce el escenario tendencial de consumo de energía para el año 2020 recogido en la Tabla 2:

Tabla 2. Evaluación tendencial del consumo de energía en alumbrado exterior (ktep).

Fuente: (Plan Nacional de Ahorro y Eficiencia. Energética 2011-2020, 2011).

	2010 ktep	2020 ktep
Consumo total	326	363

Sin embargo, el 2º Plan Nacional de Eficiencia Energética de España 2011-2020 evalúa el objetivo del consumo de energía en alumbrado exterior en los valores que se dan en la Tabla 3:

Tabla 3. Evaluación objetivo del consumo de energía en alumbrado exterior (ktep).

Fuente: (Plan Nacional de Ahorro y Eficiencia. Energética 2011-2020, 2011).

	2010 ktep	2016 ktep	2020 ktep	Porcentaje 2020/2010
Consumo total	326	333	305	94%

Según esto, a lo largo de la década, el consumo de energía en el subsector del alumbrado exterior deberá experimentar una reducción del 6%. Este objetivo se alcanzará por los cambios tecnológicos y de mejora de la gestión aplicable a estas instalaciones.

El alumbrado exterior está experimentando avances tecnológicos (la tecnología led como nueva fuente de iluminación aplicable a las instalaciones de alumbrado exterior), normativos (publicación del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, RD 1890/2008) y la admisión de la contratación de empresas de servicios energéticos (ESEs) por las administraciones públicas, son cambios habidos en los dos últimos años que van a transformar, previsiblemente, las instalaciones de alumbrado exterior que conocemos hoy en nuestros municipios y carreteras y su gestión energética.

Las instalaciones de alumbrado público se proyectan y ejecutan en un corto tiempo, incorporando, la mayoría de las veces, los elementos energéticamente más eficientes del momento. No obstante, su funcionamiento se prolonga durante bastantes años y si no se renuevan y se sustituyen sus componentes iniciales por los que el desarrollo tecnológico ha ido poniendo en el mercado, cada vez

serán menos eficientes. Un buen ejemplo de ello es el desarrollo experimentado por las fuentes de luz, siendo cada vez más eficientes, de mayor duración y con mejor reproducción cromática.

Similares avances ha habido en el desarrollo de las luminarias (aumentando su rendimiento y reduciendo la contaminación lumínica), de los sistemas de reducción del flujo luminoso (sobre todo a altas horas de la noche de menor actividad), de los sistemas de control de encendidos y apagados, de los sistemas de telecontrol de su funcionamiento, de la importancia que ha adquirido toda la operativa de mantenimiento preventivo orientada a mantener la eficiencia luminosa, etc.

3. La eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado público

La eficiencia energética implica que se emplee la menor cantidad posible de energía para lograr el fin deseado, por ejemplo al calentar una cierta porción de agua, al enfriar alimentos en un refrigerador, al trasladar personas de un piso a otro mediante un ascensor o escalera mecánica o al iluminar un recinto acorde a los requerimientos visuales, etc. El concepto de Eficiencia para un sistema puede ser definido como la relación entre la energía que éste entrega, como resultado de su funcionamiento, dividida por la energía de entrada al sistema, siendo las pérdidas en el proceso la diferencia entre ambas; en la medida que se reduzcan estas pérdidas la Eficiencia Energética del sistema mejorará [4], tal como se representa en la Figura 3:

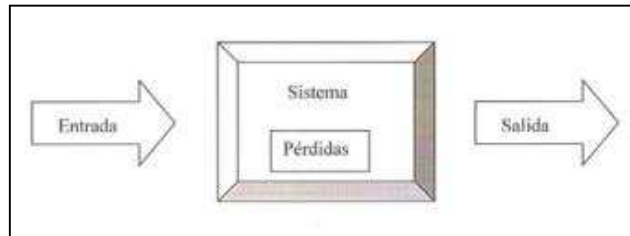


Figura 3 Esquema simplificado sobre la eficiencia energética.
Fuente: (Piraino, 2008).

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} \cdot 100 (\%)$$

Para el caso de un sistema de alumbrado público, al ser su función proveer la iluminación que los usuarios necesitan cuando la iluminación natural desaparece, su Índice de Eficiencia estaría dado entre la potencia eléctrica instalada en el sistema y la potencia lumínica suministrada por él. Esta sencilla relación requiere que las unidades de la Entrada y la Salida sean las mismas, lo que no suele ocurrir y es aquí donde reside la dificultad de su aplicación.

En el caso de un sistema de alumbrado público se consumen energía eléctrica y el resultado es dotar de iluminación una determinada superficie ó área. La eficiencia energética en una instalación de alumbrado exterior, el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE) [5], la define «como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada»:

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} \left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}} \right)$$

Siendo:

- ε = Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior ($\text{m}^2 \cdot \text{lux} / \text{W}$)
- S = Superficie iluminada (m^2)
- E_m = Iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto (lux)
- P = Potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares) (W)

Según el REEIAE, la eficiencia energética se puede determinar mediante la utilización de los siguientes factores:

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u \left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}} \right)$$

Donde:

- ε_L = *Eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares.* Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia total consumida por la lámpara más su equipo auxiliar.
- f_m = *Factor de mantenimiento.* Es la relación entre los valores de iluminancia que se pretende mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales.
- f_u = *Factor de utilización.* Es la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias. Se considera, por tanto, la luminaria ya instalada en un lugar determinado alumbrando una superficie de ancho conocido y con una altura de montaje dada.

El factor de utilización de la instalación es función del tipo de lámpara, de la distribución de la intensidad luminosa y rendimiento de las luminarias, así como de la geometría de la instalación, tanto en lo referente a las características dimensionales de la superficie a iluminar (longitud y anchura), como a la disposición en la instalación de alumbrado exterior (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz).

10. Carlos de la Fuente Borreguero y Esther Guervós Sánchez

Para mejorar la eficiencia energética de una instalación de alumbrado se podrá actuar incrementando el valor de cualquiera de los tres factores anteriores, de forma que la instalación más eficiente será aquella en la que el producto de los tres factores -eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares y factores de mantenimiento y utilización de la instalación- sea máximo.

Además de los factores indicados por el REEIAE para mejorar la eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior, existen otros factores, referidos al usuario, que influyen decisivamente en el diseño de la instalación: el deslumbramiento y la visibilidad.

El usuario puede aprovechar mejor la energía lumínica del sistema si se evita que sufra deslumbramiento por efecto de las luminarias. Ello se debe en que al estar deslumbrado necesita mayor contraste para distinguir los objetos y, por lo tanto, el sistema le debe suministrar una cantidad de energía lumínica mayor que si no estuviera sufriendo deslumbramiento [4]. Las recomendaciones internacionales evalúan el grado de deslumbramiento de un sistema mediante el índice TI (Threshold Increment -Incremento del Umbral), y establecen que este no debe superar el 10% para que el usuario no se vea afectado. La forma de reducir este TI es actuando sobre la distribución fotométrica de las luminarias.

El concepto de visibilidad reemplaza al objeto estándar de reflexión cero, usado en el método del contraste, por otro objeto de reflexión 20%. Este concepto, al aplicarse, determina luminancias menores que en el método primero.



Figura 4 Visibilidad por contraste.

Fuente: (Piraino, 2008)

Como se puede apreciar en la Figura 4, en zonas oscuras de la calzada se aprecia mejor un objeto con reflexión 20% que un objeto perfectamente oscuro. Según esto, se pueden disminuir las exigencias de

nivel de iluminación al diseñar una instalación, lo que supone bajar la inversión inicial y el coste de explotación de una instalación de alumbrado público.

Los componentes de una instalación de alumbrado que influyen en la eficiencia energética son:

- *Luminarias*: en ellas encontramos el mayor número de componentes sobre los que actuar para aumentar la eficiencia energética de la instalación. En ellas podemos actuar sobre:
 - *Reflector*: es el componente del sistema óptico cuya función es dirigir el flujo luminoso de la ampolla de la lámpara hacia el difusor de la luminaria. Por tanto, cuanto más reflectante sea mayor será su rendimiento.
 - *Difusor*: es el componente de la luminaria encargado de proteger el sistema óptico frente a la entrada de objetos, contaminación y agua. Con su diseño se procura mejorar la distribución del flujo luminoso sobre el área a iluminar. Suele ser de cristal prismático. El difusor juega un importante papel en el rendimiento de la luminaria, pues por él pasa toda la luz directa emitida por la lámpara y la reflejada por el reflector. Es, por tanto, un elemento muy influyente en la eficiencia del alumbrado público. El conjunto difusor-reflector-lámpara determinan el rendimiento de la luminaria (η), el factor de utilización (f_u), el factor de mantenimiento (f_m) y el flujo superior instalado (FHS_{inst}), que el REEIAE exige que cumplan unos valores mínimos y también influyen en el TI que se vio anteriormente.
- *Lámparas*: es el componente de la instalación que transforma la energía eléctrica que consume en energía lumínica. La eficacia luminosa de las lámparas se mide en lm/W (lumen/Vatio) y el REEIAE exige que presente unos valores mínimos dependiendo del tipo de alumbrado. Este índice representa la potencia luminosa en forma de radiación visible que es capaz de emitir la lámpara por cada vatio de energía eléctrica consumida.
- *Equipos auxiliares*: son los encargados de proporcionar a las lámparas las características de corriente y tensión que requieren para su funcionamiento. Estos componentes presentan pérdidas de energía, principalmente en forma de calor. Al igual que sucede con los componentes descritos anteriormente, el REEIAE limita la potencia eléctrica máxima consumida por el conjunto del equipo auxiliar y lámpara de descarga.
- *Factor de Utilización f_u* : Definido anteriormente. Responde a la siguiente expresión:

$$f_u = \frac{\text{Flujo en superficie}}{\text{Flujo lámpara}} \%$$

O también:

$$f_u = \frac{\text{Luz útil}}{\text{Luz lámpara}} (\%)$$

Donde:

Luz útil: Aquella que llega a la superficie a iluminar
Luz lámpara: La luz total emitida por la lámpara

En la Figura 5 puede verse claramente la importancia de diseñar las instalaciones con un adecuado factor de utilización f_u para que las pérdidas de luz sean las menores posibles.

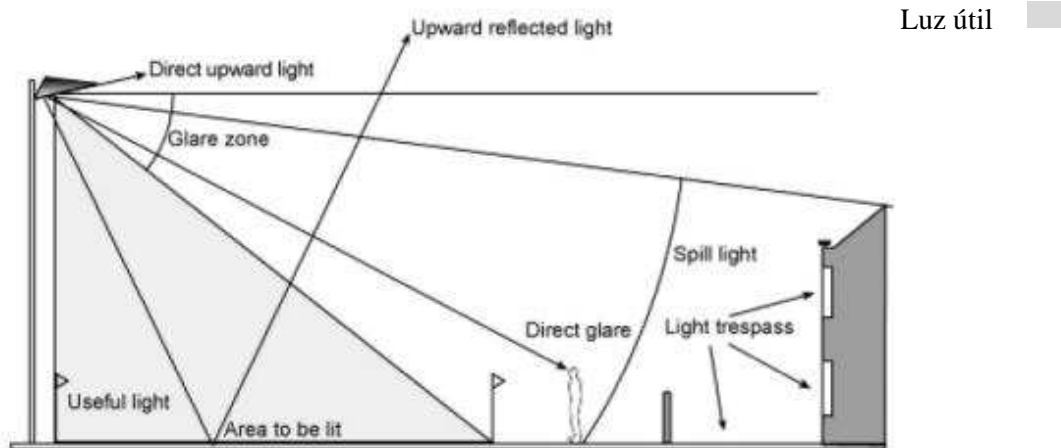


Figura 5. Luz útil y luz intrusa
Fuente: (Lighting research center, 2010)

- *Características de reflexión del pavimento:* la capacidad de ver de los usuarios por la noche aumenta con la luminosidad del entorno y/o fondo. Los usuarios reconocen los objetos por contraste con el fondo iluminado. En el caso del alumbrado público el fondo iluminado es el pavimento, que recibe la luz y la refleja hacia el usuario. De ello se desprende que el pavimento aunque aparentemente no forma parte del sistema de alumbrado, en realidad sí lo es. Cuanta menos luz refleje el pavimento más flujo luminoso deberá preverse en los cálculos, para mantener la luminosidad en los valores adecuados. La importancia es tal para la eficiencia de un sistema de alumbrado que si su reflexión se mejora en un 10%, se podrá bajar el flujo que emite la luminaria en ese mismo porcentaje.

En la Tabla 4 se ha hecho un resumen de los componentes que intervienen en la eficiencia de un sistema de alumbrado público.

Tabla 4. Componentes de un sistema de alumbrado público sobre los que intervenir para mejorar la eficiencia energética.

Fuente: (Piraino, 2008).

Usuarios	Lámparas	Auxiliares eléctricos	Luminarias	Superficie a iluminar
Deslumbramiento	Eficacia luminosa	Pérdidas	Reflector	Geometría de la superficie
Contraste			Difusor	Reflexión del pavimento
			Rendimiento	
			Factor de utilización	

4. Auditoría de las instalaciones

Para conocer el potencial de ahorro de las instalaciones existentes de alumbrado público es necesario realizar una completa auditoría de las mismas. Su realización es relativamente reciente y aún no son muchas las efectuadas. No obstante, en breve constituirán una herramienta de trabajo habitual e imprescindible para evaluar la eficiencia energética de estas instalaciones.

Uno de los objetivos de este artículo es establecer una metodología que permita evaluar la eficiencia energética de las instalaciones existentes de alumbrado público y conocer el potencial de ahorro energético y de protección del medio ambiente, lo que permitirá estudiar las posibilidades de abordar los costes de renovación de las instalaciones para mejorar su eficiencia mediante los ahorros energéticos obtenidos.

Las auditorías e inventarios que se han consultado presentan numerosas carencias, por lo que no pueden servir de modelo para conocer el potencial de ahorro energético de las instalaciones existentes de alumbrado público.

Otro de los objetivos de este artículo es elaborar un modelo de *auditoría de las instalaciones de alumbrado público* que permita cuantificar los ahorros energéticos. Una auditoría debe contener la siguiente información:

- *Inventario de la instalación*, compuesto de:
 - *Planos* de la instalación de alumbrado público de las áreas auditadas.
 - *Relación de vías*, ordenadas alfabéticamente y por centros de mando, con la siguiente información:
 - Tipos y características de las luminarias, altura de instalación y equipos de encendido
 - Tipos y características de las lámparas

- Tipos y características de los soportes: altura, interdistancias, disposición, longitud del brazo e inclinación
- Identificación de los centros de mando (CM) y calles anexadas
- *Centros de mando* y sus principales características: situación, tipo de envolvente, número de circuitos, potencia, aparamenta, tensión de suministro, tarifa contratada, sistema de accionamiento (encendido y apagado), sistema de regulación de flujo y su programación, etc.
- *Circuitos* con indicación del tipo de instalación, secciones de los conductores, aislamientos, etc.
- *Verificación de las condiciones de seguridad de la instalación*, identificando todos los incumplimientos de los reglamentos que le sean de aplicación. Se han de aportar los Certificados de Inspección por OCA (Organismo de Control Autorizado), en caso de poseerlos, que exige el REBT en la ITC-BT-04 y 05 [6].
- *Auditoría energética*. Comprende toda la información necesaria para clasificar las vías según el REEIAE y los valores de las mediciones realizadas:
 - *Clasificación de las vías según el REEIAE*. Para su clasificación es necesaria la siguiente información:
 - Identificación de la vía
 - Velocidad de circulación
 - Intensidad media de tráfico diario (IMD)
 - Zona de protección contra la contaminación lumínica
 - *Tablas con la clasificación de las vías*:
 - Clasificación de las vías y tipos de alumbrado, ordenadas alfabéticamente.
 - Clasificación de las vías y tipos de alumbrado, ordenadas por CM.
 - *Características de los componentes de la instalación de alumbrado del área auditada*. Se obtienen del inventario. Si no existe se obtienen de campo, según se indicó en *inventario de la instalación*. Identifica la presencia de zonas de luz intrusa, influencia de la vegetación, puntos negros, última limpieza de luminarias y última reposición de lámparas realizada.
 - *Mediciones luminotécnicas*. De cada medición luminotécnica aporta la siguiente información:
 - Identificación del área auditada
 - Selección e identificación de la retícula de referencia para realizar las mediciones.
 - Geometría de la vía: ancho de aceras, calzadas y medianas.
 - Número, tipo y características de las luminarias, altura de instalación y equipos de encendido
 - Número, tipo y características de las lámparas
 - Numero, tipos y características de los soportes: altura, interdistancias, disposición, longitud del brazo e inclinación.
 - Valores de las mediciones realizadas.
 - Cálculo del factor de mantenimiento.

- Cálculo de los valores lumínicos medio, mínimo y máximo.
- Cálculo de los valores de uniformidad media y extrema.
- Cálculo de la eficiencia energética de la instalación, eficiencia de referencia, índice de referencia, índice de consumo energético y clasificación energética.
- *Tablas comparativas de los valores luminotécnicos y factores de uniformidad*, según el REEIAE con los obtenidos en las mediciones de campo, ordenados alfabéticamente por los nombres de las vías y por CM, para conocer las vías con nivel deficiente, óptimo y excesivo.
- *Análisis de la información obtenida* para conocer la situación actual e identificar los factores sobre los que intervenir para mejorar la eficiencia energética de la instalación. Comprende los siguientes factores:
 - Niveles de iluminación.
 - Clasificación de las vías y selección de los tipos de alumbrado.
 - Comparación de los niveles de iluminación según REEIAE con los datos obtenidos en las mediciones de campo.
 - Luminarias.
 - Lámparas.
 - Equipos auxiliares.
 - Sistemas de accionamiento.
 - Regulación de los niveles luminosos.
 - Mantenimiento de la instalación.
 - Balance energético de la instalación y emisión de CO₂
 - Análisis del resplandor luminoso nocturno.
- *Panel con indicadores de sostenibilidad* de la instalación de alumbrado público auditada, con el siguiente formato:

Panel con indicadores de sostenibilidad de la instalación de A.P.		
1	Habitantes en las áreas auditadas	
2	Número de centros de mando	
3	Número de puntos de luz	
4	Lámparas eficientes utilizadas	
5	Luminarias eficientes utilizadas	
6	Nivel de resplandor luminoso emitido por el A.P.	
7	Potencia instalada en lámparas	
8	Potencia instalada en lámparas + equipos auxiliares	
9	Potencia media del punto de luz (sin equipo auxiliar)	
10	Número de puntos de luz por habitante	

Panel con indicadores de sostenibilidad de la instalación de A.P.		
11	Horas anuales de funcionamiento	
12	Consumo anual de energía kWh	
13	Consumo anual de energía por punto de luz kWh	
14	Consumo anual de energía en A.P. por habitante	
16	Cantidad anual de CO ₂ emitido por el A.P.	
17	Cantidad anual de CO ₂ emitido por habitante por el A.P.	
18	Áreas con nivel excesivo alumbrado	
19	Áreas con nivel correcto de alumbrado	
20	Áreas con nivel deficiente de alumbrado	

- *Propuestas de ahorro energético:* se realizan las distintas propuestas de ahorro energético, cuantificando los ahorros previstos, el coste de implantación y el periodo de retorno de la inversión.
- *Cuadro resumen comparativo* de las propuestas realizadas, indicando, para cada una de ellas, el ahorro de la energía consumida (en kWh y valor porcentual), la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera (en Tm), el ahorro económico anual (en €), el coste de implantación de la medida de ahorro (en €) y el periodo de retorno de la inversión con los ahorros energéticos obtenidos (en años).

Las fases que comprende la elaboración de la auditoría son:

- *Fase 1. Recopilación de información existente:* planos y datos técnicos de la instalación de alumbrado prevista auditar. En esta fase se procede a clasificar las vías según establece el REEIAE en la ITC-EA-02. La información necesaria para su clasificación: velocidad de circulación e intensidad media diaria de tráfico (IMD), se obtiene de los responsables de circulación. En caso de no existir se realizan mediciones de campo.
- *Fase 2. Trabajo de campo para realizar el inventario de las instalaciones y la auditoría energética.* Se procede a identificar sobre el terreno los centros de mando, puntos de luz, canalizaciones, etc. para verificar la validez de la información recopilada y obtener toda la necesaria. Previa a la toma de datos se confeccionan los formatos para la toma de datos de las instalaciones y de las mediciones luminotécnicas. El inventario de la instalación y auditoría energética se realiza por centros de mando y calles anexadas, pues permitir llevar un buen control de la información sobre la existencia de reguladores de flujo en cabecera, tramos de calle conectados, sistemas de accionamiento del alumbrado, etc., de gran utilidad para realizar las propuestas de ahorro energético. Otra razón añadida es que, en ocasiones, una misma calle tiene distintos tipos de alumbrado dependiendo del CM del que se alimenta. Una vez concluida la toma de datos se procede, en horas nocturnas, a realizar las mediciones luminotécnicas y medidas de tensión en los CM.

En caso de no existir información sobre la velocidad de circulación e intensidad media diaria de tráfico, necesaria para clasificar las vías, en esta fase se realizan las mediciones de campo correspondientes.

- *Fase 3. Análisis de la información obtenida y panel con indicadores de sostenibilidad.*
- *Fase 4. Propuestas de mejora de la eficiencia energética y cuadro resumen comparativo de las mismas.*

5. Conclusiones

La conclusión más importante es que las instalaciones de alumbrado público existentes en España, en relación con los países de nuestro entorno, presentan un importante potencial de ahorro energético y de protección del medio ambiente.

La eficiencia energética y la reducción de la contaminación lumínica en las instalaciones de alumbrado público constituyen un objetivo prioritario para España y la Unión Europea. El 2º Plan Nacional de Eficiencia Energética de España 2011-2020 [3], da cumplimiento a la Directiva 2006/32/CE sobre eficiencia en el uso final de la energía y los servicios energéticos y su objetivo es garantizar para el año 2020 el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Reducción del consumo energético en un 20% (respecto de 2007)
- Energía final proveniente de fuentes de energías renovables: 20%
- Reducción de emisiones de CO₂ en un 20%

El Plan de Acción 2011-2020 presenta la relación completa de medidas y mecanismos para hacer posible la consecución de los objetivos previstos. Según ese Plan, a lo largo de la década, el consumo de energía en el subsector del alumbrado exterior deberá experimentar una reducción del 6%. Este objetivo se alcanzará por los cambios tecnológicos y de mejora de la gestión aplicable a estas instalaciones.

Para conocer el potencial de ahorro energético de las instalaciones de alumbrado público es necesario realizar una completa auditoría que permita identificar los factores sobre los que intervenir y realizar las propuestas de mejora de la eficiencia energética y reducción de la contaminación lumínica. La auditoría ha de comprender:

- Inventario con indicación de las características de todos los componentes de las instalaciones: luminarias, lámparas, equipos de encendido, soportes, centros de mando, sistemas de accionamiento, sistemas de reducción de flujo, circuitos, características de la instalación (altura y separación de los puntos de luz, disposición), etc.
- Verificación de las condiciones de seguridad de la instalación.

18. Carlos de la Fuente Borreguero y Esther Guervós Sánchez

- Auditoría energética con la clasificación de las vías, mediciones luminotécnicas, cálculos de los valores lumínicos, factores de uniformidad, eficiencia energética, etc.
- Tablas comparativas de los valores luminotécnicos según REEIAE con las mediciones de campo.
- Análisis de la información obtenida para identificar los factores sobre los que intervenir y elaboración del panel con indicadores de sostenibilidad.
- Elaboración de propuestas de mejora de la eficiencia energética.

6. Bibliografía

- [1] Sánchez de Miguel, Alejandro. El alumbrado público en España, el de mayor gasto eléctrico por habitante en Europa, Universidad Complutense de Madrid, Nota de Prensa 03.03.2011. <http://www.ucm.es/cont/descargas/documento36329.pdf>
- [2] Sánchez de Miguel, A., Zamorano, J., Pila-Díez, B., Rubio Jimenez, J., Ruiz Carmona, R. Rodríguez Herranz, I. Gonzalez Pérez, A, Contaminación Lumínica en España, Universidad Complutense de Madrid, 2010, http://eprints.ucm.es/12284/1/SEA2010_Luminica_ASanchez.pdf
- [3] Plan Nacional de Ahorro y Eficiencia. Energética 2011-2020, 2º Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética de España 2011-2020, aprobado por acuerdo del Consejo de Ministros de fecha 29 de Julio de 2011, pág. 7, 40-77 y 225-227, http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_11905_PAEE_2011_2020_A2011_A_a1e6383b.pdf.
- [4] Piraino Davidson, E. Sobre la Eficiencia Energética en Iluminación Pública. Valparaiso, 2008, <http://www.cursos.ucv.cl/eie54200/EEAP.pdf.Consultada en Octubre 2012>
- [5] REEIAE: Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior. Real Decreto 1890/2008, de 14 de Noviembre.
- [6] Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, Real Decreto 842/2002, de 2 de Agosto