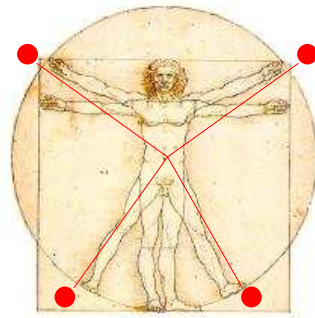


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN XI. AÑO 2013

SEPARATA



PROPUESTAS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES EXISTENTES DE ALUMBRADO PÚBLICO

Carlos de la Fuente Borreguero, Esther Guervós Sánchez



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

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

<http://www.uax.es/publicacion/propuestas-de-mejora-de-la-eficiencia-energetica-en-instalaciones-existentes.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.

PROPUESTAS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES EXISTENTES DE ALUMBRADO PÚBLICO.

Carlos de la Fuente Borreguero^(a), 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 presentan un importante potencial de ahorro y de mejora de la protección 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 nos permitirá identificar los factores sobre los que actuar para realizar las propuestas de ahorro.

Se realizan varias propuestas para mejora de la eficiencia energética: desmontaje del alumbrado innecesario, sustitución de las luminarias y lámparas de baja eficiencia, disminución de la potencia instalada y de los niveles luminosos mediante el cambio de lámparas y equipos, instalación de un sistema de regulación de flujo en cabecera, sustitución de balastos electromagnéticos por equipos electrónicos, instalación de sistemas de telegestión, sustitución de las luminarias existentes por otras basadas en la tecnología led y elaboración de programas de mantenimiento.

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

ABSTRACT:

The public lighting installations have a significant potential savings and improve environmental protection, reducing light pollution and greenhouse gas emissions to atmospheric. To assess its energy is necessary to perform a complete audit that will allow us identify the factors which act to make savings proposals.

He made several proposals for improving energy efficiency: removal of unnecessary lighting, replacement of luminaries and lamps of low efficiency, low installed power and light levels by changing lamps and equipment, installation of a flow control header, replacing magnetic ballasts by electronic equipment, installation of remote management systems, replacing existing fixtures by others based on led technology and development of maintenance program.

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

<http://www.uax.es/publicacion/propuestas-de-mejora-de-la-eficiencia-energetica-en-instalaciones-existentes.pdf>

SUMARIO: 1. Introducción 2. Consideraciones previas. 3. Desmontaje del alumbrado innecesario. 4. Sustitución de luminarias y lámparas poco eficientes. 5. Disminución de la potencia instalada y de los niveles luminosos mediante el cambio de lámparas y equipos donde sea posible y sin perjuicio de los niveles y uniformidades exigidas. 6. Instalación de equipos de regulación de flujo en cabecera. 7. Sustitución de balastos electromagnéticos por electrónicos. 8. Instalación de un sistema de telecontrol del alumbrado punto a punto. 9. Instalación de un sistema de telecontrol de los centros de mando. 10. Sustitución de las luminarias actuales por otras equipadas con tecnología led. 11. Implantación de programas de mantenimiento. 12. Conclusiones. 13. Bibliografía

SUMMARY: 1. Introduction. 2. Previous considerations. 3. Removing unnecessary lighting. 4. Replacing inefficient lighting fixtures and lamps. 5. Decreasing power consumed and light levels by changing lamps, equipment where possible and subject to required levels and uniformities. 6. Installation of flow control header. 7. Replacing magnetic ballasts with electronic. 8. Installing a remote lighting system for individual control. 9. Installing remote control system centers. 10. Replacement of existing fixtures with others equipped with LED technology. 11. Implementation of maintenance programs. 12. Conclusions. 13. Bibliography.

1. Introducción

Uno de los objetivos del presente artículo es conocer el potencial de ahorro y de protección del medio ambiente (reducción de la contaminación lumínica y la emisión de gases contaminantes a la atmósfera), de las instalaciones existentes de alumbrado público. Para ello es necesario realizar una completa auditoría de las mismas [1], que permita identificar los factores sobre los que intervenir y poder efectuar las propuestas de mejora de la eficiencia energética.

En el alumbrado público, en los dos últimos años, se están produciendo importantes cambios que van a transformar, previsiblemente, las instalaciones de alumbrado exterior que conocemos hoy en nuestros municipios y carreteras y su gestión energética. Los principales cambios que se están produciendo son:

- *Avances tecnológicos:* la aplicación de la tecnología led como nueva fuente de iluminación aplicable a las instalaciones de alumbrado exterior, 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, etc.
- *Operativa de mantenimiento preventivo* orientada a mantener la eficiencia luminosa de la instalación, que ha adquirido una enorme importancia.
- *Normativos:* la publicación del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, (REEIAE) [2], RD 1890/2008.
- *Empresas de Servicios Energéticos (ESEs):* la admisión de la contratación de ESEs por las administraciones públicas para la gestión del servicio de alumbrado público.

2. Consideraciones previas

Antes de proceder a realizar las propuestas de mejora de la eficiencia energética de las instalaciones existentes de alumbrado público es necesario realizar unas consideraciones.

El REEIAE en la ITC-EA-02, apartado 1, establece que los niveles máximos de luminancia o de iluminancia media de las instalaciones de alumbrado no podrán superar en más de un 20% los niveles medios de referencia establecidos en la ITC-EA-02. Superar en más de un 20% los niveles medios de referencia significa que el consumo de energía es superior al necesario.

El REEIAE no establece niveles mínimos de iluminación en los distintos tipos de vías o espacios a iluminar. Les corresponde a los titulares de las instalaciones de alumbrado público, normalmente Ayuntamientos, establecer los niveles mínimos.

Se establecen unos datos de tolerancia en función de los resultados obtenidos de acuerdo al siguiente criterio (REEIAE, ITC-EA-02 y UNE-EN 13201):

- Si el nivel medio está por debajo del nivel de referencia → *El nivel es deficiente*
- Si el nivel medio está comprendido entre el nivel de referencia y el nivel de referencia + 20% → *El nivel es óptimo*
- Si el nivel medio está por encima del nivel de referencia + 20% → *El nivel es excesivo*

Las tablas de la auditoría donde se identifican las vías y se comparan los niveles de iluminación según el REEIAE con los obtenidos en las mediciones de campo, incluyen la calificación de las mismas con el criterio anterior. Según esta calificación, se debe actuar reduciendo los niveles y el consumo de energía de las vías de nivel excesivo o sobreiluminadas.

Las auditorías energéticas, al comparar los niveles de iluminación según REEIAE con los obtenidos en las mediciones de campo, en ocasiones, para una misma calle o vía los valores de iluminancia media y mínima y los factores de uniformidad presentan diferencias importantes. La explicación puede deberse a uno o varios de los siguientes factores:

- La interdistancia entre los puntos de luz no es siempre la misma.
- No existen programas de mantenimiento para la sustitución de las lámparas una vez que han superado las horas de vida útil, lo que hace que aumente progresivamente el número de lámparas que al fallar son sustituidas por otras nuevas, con mayor flujo luminoso que las viejas no sustituidas. Además, cada vez que se repone una lámpara es habitual proceder a la limpieza de la luminaria, lo que también contribuye a aumentar el flujo de luz emitido.

- No existen programas de limpieza de luminarias, lo que hace descender progresivamente y de forma desigual el flujo distribuido por las luminarias, debido al ensuciamiento del bloque óptico por penetración y acumulación de polvo, humedad, etc. y al ensuciamiento del difusor o reflector.
- Calles que para una misma tipología presentan más de un tipo de alumbrado.
- Calles con distintas tipologías y distintas soluciones luminotécnicas

A continuación se desarrollan distintas propuestas de actuación para mejora de la eficiencia energética de las instalaciones existentes de alumbrado público y se indica, para cada una de ellas, como calcular los ahorros energéticos.

3. Desmontaje del alumbrado innecesario

La auditoría energética [1] permite conocer las vías o espacios que presentan exceso de iluminación. De todas las actuaciones posibles, la que más rápidamente proporciona ahorros y presenta el periodo de amortización más reducido, consiste en desmontar todos los puntos de luz que no son necesarios. Se propone desmontarlos, en lugar de desconectarlos, para ahorrar también en su mantenimiento.

Al auditar las instalaciones de alumbrado público aparecen dos tipos de puntos de luz innecesarios:

- *Puntos de luz adosados a soportes principales:* para iluminar las aceras nos encontramos con puntos de luz adosados a los soportes principales, generalmente luminarias esféricas a unos 4 m de altura. Estos puntos de luz adosados pueden ser necesarios en las aceras muy anchas con presencia de arbolado que impide que la luz procedente de la luminaria principal, colocada en la parte alta del soporte, ilumine correctamente la acera. Además, estos puntos adosados ocasionan malos factores de uniformidad, dada la relación entre su poca altura frente a su separación. Las auditorías permiten identificar los que sobran.
- *Puntos de luz múltiples:* son los constituidos por un único soporte con dos o más faroles o luminarias a la misma altura, o alturas muy próximas. Suelen emplearse para la iluminación de espacios amplios ó abiertos con costes reducidos, tales como plazas, jardines, etc. La auditoría pone de manifiesto la posibilidad de reducir el número de faroles o luminarias instaladas sobre un mismo soporte.

Con esta propuesta, el ahorro energético y de costes de mantenimiento comienzan en el mismo momento del desmontaje y, dado el poco coste de esta actuación, el periodo de amortización es muy reducido. El cálculo del ahorro energético es muy sencillo, basta con multiplicar la potencia de los puntos de luz desmontados por las horas de funcionamiento.

4. *Sustitución de luminarias y lámparas poco eficientes*

La auditoría informa de los tipos de lámparas y luminarias existentes, lo que permite identificar fácilmente las que no cumplen con los rendimientos mínimos que exige el REEIAE.

El REEIAE en la ITC-EA-04, en el apartado 2, establece que la eficacia luminosa mínima de las lámparas sea la siguiente:

Con la excepción de las iluminaciones navideñas y festivas, será superior a:

- a) 40 lm/W, para alumbrado de vigilancia, seguridad nocturna y de señales y anuncios luminosos
- b) 65 lm/W, para alumbrados vial, específico y ornamental

La ITC-EA-04, apartado 3, establece los rendimientos mínimos que deben satisfacer las luminarias de las instalaciones de alumbrado y que se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de las luminarias y proyectores.
Fuente: (REEIAE, 2008)

Parámetros	Alumbrado vial		Resto alumbrado (1)	
	Funcional	Ambiental	Proyectores	Luminarias
Rendimiento	$\geq 65\%$	$\geq 55\%$	$\geq 55\%$	$\geq 60\%$
Factor de utilización	(2)	(2)	$\geq 0,25$	$\geq 0,30$
(1) A excepción de alumbrado festivo y navideño.				
(2) Alcanzarán los valores que permitan cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en las tablas 1 y 2 de la ITC-EA-01.				

La ITC-EA-03 limita las emisiones luminosas hacia el cielo en las instalaciones de alumbrado exterior, con excepción del alumbrado festivo y navideño.

La luminosidad del cielo producida por las instalaciones de alumbrado exterior depende del flujo hemisférico superior instalado FHSinst 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 la Tabla 2.

Tabla 2. Valores límite del flujo hemisférico superior instalado.
Fuente: (REEIAE, 2008)

Clasificación de zonas	Flujo hemisférico superior instalado FHSinst
E1	≤ 1%
E2	≤ 5%
E3	≤ 15%
E4	≤ 25%

En la Tabla 3 se clasifican las diferentes zonas en función de su protección contra la contaminación luminosa, según el tipo de actividad a desarrollar en cada una de las zonas.

Tabla 3. Clasificación de zonas de protección contra la contaminación luminosa
Fuente: (REEIAE, 2008)

Clasificación de zonas	Descripción
E1	Áreas con entornos o paisajes oscuros: Observatorios astronómicos de categoría internacional, parques nacionales, espacios de interés natural, áreas de protección especial (red natura, zonas de protección de aves, etc.) donde las carreteras están sin iluminar
E2	Áreas de brillo o luminosidad baja: Zonas periurbanas o extrarradios de las ciudades, suelos no urbanizables, áreas rurales y sectores generalmente situados fuera de las áreas residenciales urbanas o industriales, donde las carreteras están iluminadas
E3	Áreas de brillo o luminosidad media: Zonas urbanas residenciales, donde las calzadas (vías de tráfico rodado y aceras) están iluminadas.
E4	Áreas de brillo o luminosidad alta: Centros urbanos, zonas residenciales, sectores comerciales y de ocio, con elevada actividad durante la franja horaria nocturna

La auditoría energética permite identificar las luminarias, conocer sus características y el flujo hemisférico superior instalado FHSinst. Se propone la sustitución de todas las luminarias cuyo rendimiento esté por debajo de lo exigido por el REEIAE y cuyo FHSinst esté por encima de los valores exigidos para su zona de instalación.

En cuanto a las lámparas, la auditoría también permite identificar aquellas cuyo rendimiento esté por debajo de lo exigido por el REEIAE. Las lámparas de vapor de mercurio e incandescentes, presentes

aún en muchas instalaciones de alumbrado público, tienen unos valores de eficacia luminosa del orden de 35-55 lm/W, por debajo de los 65 lm/W exigidos por el REEIA, por lo que se propone su sustitución.

Una vez identificadas las lámparas a sustituir, se comprueba si las luminarias donde están instaladas admiten equiparlas con otro tipo de lámparas, por ejemplo de vapor de sodio alta presión que son las de mayor eficacia luminosa (del orden de 70-120 lm/W), y si sus valores de rendimiento y FHSinst superan los mínimos exigidos. La sustitución se hace de modo que los niveles de iluminación cumplan con los requisitos del REEIAE. Esto requiere realizar los correspondientes cálculos justificativos para el tipo de luminaria existente y características de su instalación (altura, interdistancia, disposición, etc.). Si la luminaria no admite el nuevo equipo y lámparas se propone también su sustitución. Los costes de sustitución del equipo y lámpara son muy inferiores a los de sustitución de la luminaria completa, por lo que también es menor el periodo de amortización.

Es habitual en las instalaciones existentes de alumbrado público que las lámparas poco eficientes (de vapor de mercurio o incandescencia), estén montadas en luminarias de bajo rendimiento y con un FHSinst muy alto, y suele deberse a la antigüedad de la instalación.

Al igual que en el apartado anterior el cálculo del ahorro energético es, también, muy sencillo. Basta con calcular primero la bajada de potencia de la instalación y, a continuación, multiplicar por las horas de funcionamiento del alumbrado.

5. *Disminución de la potencia instalada y de los niveles luminosos mediante el cambio de lámparas y equipos donde sea posible y sin perjuicio de los niveles y uniformidades exigidas.*

Para las vías de nivel excesivo se propone como solución para mejorar la eficiencia energética bajar los niveles, aproximándolos a los que las corresponden según el REEIAE, mediante la sustitución de las lámparas y equipos auxiliares por otros de menor potencia, en aquellas vías donde sea posible y siempre que las luminarias admitan el nuevo equipamiento. Esto requiere un estudio, vía a vía, para ver si es posible realizar esta reducción.

Para su análisis se recomienda confeccionar tablas resumen con las vías ó calles que presentan niveles excesivos de iluminación, ordenadas por orden alfabético y con indicación del CM del que se alimentan, con los datos del alumbrado actual (nivel, tipo de lámpara y su potencia, tipo de luminaria) y de la solución propuesta.

Si en algunas vías no es posible realizar la sustitución porque los niveles no presentan excesos suficientes, cabe la posibilidad de instalar sistemas reductores de flujo, que actúen desde el momento del encendido del alumbrado, como se verá en los dos próximos apartados.

El cálculo del ahorro energético se realiza igual que en el apartado anterior: una vez calculada la bajada de potencia de la instalación se multiplica por las horas de funcionamiento del alumbrado.

6. Instalación de equipos de regulación de flujo en cabecera

En todas las vías, durante las horas nocturnas de menor actividad (menor tráfico de vehículos y de peatones), se puede reducir los niveles luminosos, manteniendo los factores de uniformidad, garantizando, en todo momento, la seguridad y confort de los usuarios y cumpliendo con la reglamentación en vigor.

El REEIAE en la ITC-EA-02 apto. 9, dice que:

“Con la finalidad de ahorrar energía, disminuir el resplandor luminoso nocturno y limitar la luz molesta, a ciertas horas de la noche, deberá reducirse el nivel de iluminación en las instalaciones de alumbrado vial, alumbrado específico, alumbrado ornamental y alumbrado de señales y anuncios luminosos, con una 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”.

Este reglamento, en la ITC-EA-04 apto. 6, dice:

“Con la finalidad de ahorrar energía, las instalaciones de alumbrado recogidas en el capítulo 9 de la ITC-EA-02, se proyectarán con dispositivos o sistemas para regular el nivel luminoso mediante alguno de los sistemas siguientes:

- c) Balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia.
- d) Reguladores - estabilizadores en cabecera de línea
- e) 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”.

En el presente apartado se aborda la propuesta de instalar equipos estabilizadores de tensión y reguladores de flujo en los centros de mando, pues el hecho de instalarse en su interior (cabecera de líneas), hace que su incorporación en instalaciones existentes sea extremadamente sencilla, evitando la costosa intervención en cada uno de los puntos de luz que requieren los otros dos sistemas de regulación. Al reducir la tensión reducimos el flujo luminoso, sin perturbar la calidad lumínica, y también se reducirá el consumo de energía eléctrica de la instalación de alumbrado y la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Cálculo del ahorro energético

A continuación se indica cómo realizar los cálculos de los ahorros energéticos que se obtienen con la instalación de equipos reguladores de flujo en cabecera.

a) Ahorro por estabilización de la tensión de alimentación

Los equipos estabilizadores solventan los problemas producidos por la inestabilidad de la red, eliminando cualquier sobretensión que en ella se produzca. Las sobretensiones nocturnas son muy habituales. Los alumbrados públicos, formados por lámparas de descarga de vapor de sodio alta presión o de vapor de mercurio color corregido asociadas a balastos electromagnéticos, son muy susceptibles a las variaciones en su tensión de alimentación. Tensiones superiores al 105% del valor nominal para el que fueron diseñadas, hacen disminuir considerablemente la vida de las lámparas y equipos, incrementando el consumo de energía.

Para proceder al cálculo de los ahorros producidos por el factor de sobretensión en la red eléctrica que se produce en horas nocturnas, utilizamos la Ley de Ohm:

$$P = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

Si aumenta la tensión en la red eléctrica tenemos:

$$V_2 = V_1 \cdot F$$

Donde F es el *factor de sobretensión medio de la instalación*.

Desarrollando ambas fórmulas tenemos:

$$P_2 = \frac{V_2^2}{R} = \frac{(V_1 \cdot F)^2}{R} = \frac{V_1^2 \cdot F^2}{R} = P_1 \cdot F^2 \quad (\text{Ec. 6.1})$$

Según esta expresión, una sobretensión en la red de alimentación supone un aumento cuadrático de la potencia.

Según el artículo 104.3 del Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica, los límites de variación de la tensión de alimentación a los consumidores finales serán iguales o inferiores al 7% de la tensión de alimentación declarada. Según esto, la tensión de alimentación por parte de las compañías suministradoras puede ser del $\pm 7\%$ de la tensión nominal.

Para un porcentaje de sobretensión del 7%, tenemos que el sobreconsumo (factor F) es:

$$F = 1,07^2 = 1,14$$

Las lámparas de descarga y sus balastos electromagnéticos de alimentación tienen un comportamiento no lineal, que da lugar a que el valor real empírico sea aún mayor. No obstante, para los cálculos se considera un comportamiento lineal.

Para calcular los ahorros por efecto de la sobretensión es necesario conocer el valor del factor de sobretensión de la red, lo que requiere realizar medidas de tensión en horas nocturnas.

b) Ahorro por reducción de flujo (reducción de la tensión de alimentación de las lámparas)

Para regular el flujo luminoso de las lámparas, estos equipos actúan sobre la tensión de alimentación, reduciéndola. Para calcular el ahorro por reducción de flujo se vuelve a la Ley de Ohm:

$$P = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

Si reducimos la tensión de alimentación tenemos.

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{V_{\text{ahorro}}}{V_{\text{nom}} \cdot F}$$

Desarrollando ambas fórmulas tenemos:

$$P_2 = \frac{V_2^2}{R} = \frac{\left[V_1 \cdot \left(\frac{V_{\text{ahorro}}}{V_{\text{nom}} \cdot F} \right) \right]^2}{R} = \frac{V_1^2 \left(\frac{V_{\text{ahorro}}}{V_{\text{nom}} \cdot F} \right)^2}{R} = P_1 \cdot \left(\frac{V_{\text{ahorro}}}{V_{\text{nom}} \cdot F} \right)^2$$

Así, el porcentaje de energía ahorrada es:

$$\Delta E = \left[1 - \left(\frac{V_{\text{ahorro}}}{V_{\text{nom}} \cdot F} \right)^2 \right] \cdot 100$$

Sin embargo, como se indicó anteriormente, las lámparas de descarga junto con sus balastos electromagnéticos no tienen un comportamiento lineal, por lo que el valor real empírico será algo mayor. Al igual que en el caso anterior se realizan los cálculos como si su comportamiento fuera lineal.

El valor de la tensión de alimentación de las lámparas de descarga tiene un límite por debajo del cual no funcionan correctamente, se producen apagados de lámparas e inestabilidad en la instalación de alumbrado, debidos a la característica inversa de la tensión de arco de las lámparas (a menor potencia mayor tensión de arco). La tensión mínima a la que se pueden alimentar las lámparas de descarga depende de varios factores:

- Del tipo de lámpara.
- De las horas de funcionamiento de la lámpara, de modo que si ha superado su vida útil estos valores mínimos se elevan.

En la Tabla 4 se relacionan las tensiones mínimas, aconsejadas por los fabricantes, para funcionamiento en régimen de ahorro ó reducido.

Tabla 4. Tensiones mínimas aconsejadas por los fabricantes para funcionamiento en régimen reducido.

Fuente: (Scorpio Elektro XXI, 2011)

Modelo de lámpara	Tensión mínima
Vapor de sodio alta presión (VSAP)	170 V
Vapor de mercurio (VM)	190 V
Vapor de mercurio con dispositivo de ahorro (VM)	180 V
Vapor de sodio baja presión (VSBP)	185 V
Halogenuros metálicos (HM)	200 V
Incandescencia	170 V
Fluorescencia	180V

Otro factor a tener en cuenta es la caída de tensión en la red. Los reductores de flujo se instalan en los centros de mando, en cabecera de línea, y bajan la tensión de alimentación de todos los circuitos que alimentan. Al valor de la tensión de alimentación que sale del equipo hay que restar la caída de tensión que experimenta el circuito, de modo que a menor tensión de alimentación mayor será la caída de tensión.

c) Calculo de la energía consumida y del ahorro obtenido

El consumo anual de energía C_{ae} de una instalación funcionando sin equipo estabilizador-reductor de flujo, a la tensión nominal, se calcula con la expresión:

<http://www.uax.es/publicacion/propuestas-de-mejora-de-la-eficiencia-energetica-en-instalaciones-existentes.pdf>

$$C_{ae} = H_{ia} \cdot P_t \cdot F^2$$

Donde:

- C_{ae} = Consumo anual de energía
- H_{ia} = Número anual de horas de iluminación trabajando a la tensión nominal
- P_t = Potencia total de las lámparas y equipos auxiliares de la instalación
- F = Factor de sobretensión medio de la instalación.

Con un equipo estabilizador-reductor de flujo el cálculo de la energía consumida se realiza con las expresiones siguientes:

Funcionando la instalación a la tensión nominal, con el equipo estabilizador-reductor a tensión plena:

$$C_{ae} = \frac{H_{ia} \cdot P_t}{\eta}$$

Donde:

- η = Rendimiento del equipo estabilizador-reductor de flujo. El rendimiento estándar es de un 97%

Funcionando el equipo en modo ahorro:

$$C_{ae} = \frac{H_{ia1} \cdot P_t \cdot F \cdot \left(1 - \frac{\Delta E_1}{100}\right)}{\eta} + \frac{H_{ia2} \cdot P_t \cdot F \cdot \left(1 - \frac{\Delta E_2}{100}\right)}{\eta}$$

$$C_{ae} = \frac{P_t \cdot F}{\eta} \cdot \left[H_{ia1} \cdot \left(1 - \frac{\Delta E_1}{100}\right) + H_{ia2} \cdot \left(1 - \frac{\Delta E_2}{100}\right) \right]$$

$$\Delta E_1 = \left[1 - \left(\frac{V_{ahorro1}}{V_{nom} \cdot F} \right)^2 \right] \cdot 100$$

$$\Delta E_2 = \left[1 - \left(\frac{V_{ahorro2}}{V_{nom} \cdot F} \right)^2 \right] \cdot 100$$

Donde:

- H_{ia1} = Número anual de horas de iluminación trabajando a la tensión de ahorro 1
- H_{ia2} = Número anual de horas de iluminación trabajando a la tensión de ahorro 2
- P_t = Potencia total de las lámparas y equipos auxiliares de la instalación
- F = Factor de sobretensión medio de la instalación.

ΔE_1 = Porcentaje de ahorro 1 de energía
 ΔE_2 = Porcentaje de ahorro 2 de energía

Según se puede ver en las expresiones anteriores, los ahorros de energía de la instalación, funcionando con el equipo regulador-reductor de flujo, dependen de las tensiones de ahorro programadas, las franjas horarias, del tipo de lámparas de la instalación que nos determinan la tensión mínima de salida del regulador, etc.

La necesidad de iluminación se puede individualizar para cada centro de mando (CM) y, en consecuencia, las posibilidades de ahorro. La propuesta consiste en reducir los niveles en los períodos de menor actividad en las vías y, por tanto, de "baja utilización", manteniendo en todo momento la uniformidad del alumbrado y unos niveles suficientes para garantizar la seguridad del tráfico y una fiabilidad visual y comodidad para los usuarios, atendiendo a parámetros tales como nivel de alumbrado, uniformidad y deslumbramiento perturbador.

En la Figura 1 puede verse, a título de ejemplo, un gráfico de programación de un reductor de flujo.

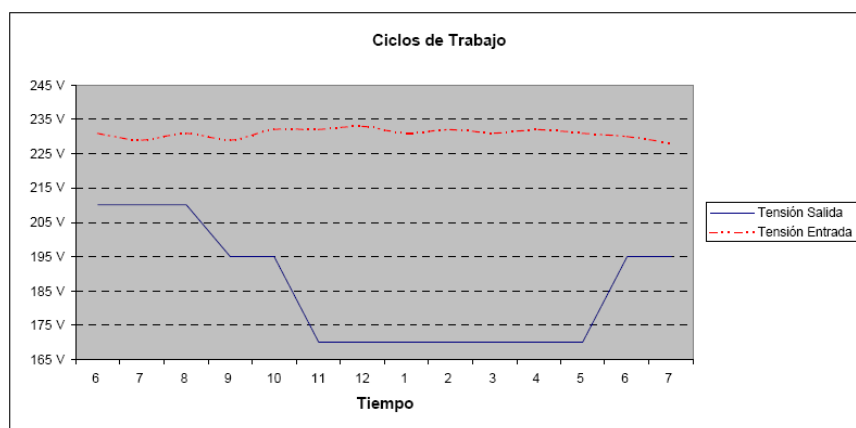


Figura 1. Ejemplo de programación de un reductor de flujo.
Fuente: (Scorpio Elektro XXI, 2011)

Para los cálculos de las horas de funcionamiento de los equipos reguladores-reductores de flujo puede emplearse la Tabla 5, donde aparecen los tiempos de funcionamiento de las instalaciones de alumbrado con tensión reducida y tensión plena, dependiendo del uso de la instalación.

Tabla 5. Propuesta de horas anuales de funcionamiento del alumbrado público a tensión plena y reducida.

Fuente: (Scorpio Elektro XXI, 2011)

Horas/año de utilización	Ciclo urbano	Ciclo autopista	Ciclo turístico
H ₁ - Tensión reducida	2.280	2.900	3.640
H ₂ - Tensión plena	1.930	1.310	570
H Total	4.210	4.210	4.210

Según la tabla anterior, el ciclo del alumbrado en modo ahorro o tensión reducida, se inicia a las 23:00 h y permanece hasta las 05:15 h.

La auditoría energética nos dice los excesos de iluminación de todas las vías que se alimentan de un determinado centro de mando. En el supuesto de que todas ellas presenten niveles excesivos, es posible poner la tensión en régimen reducido desde el momento del encendido. No obstante, la tensión de salida del regulador, o tensión de ahorro 1, viene limitada por la vía que menor sobreiluminación presente respecto del que le corresponde según el REEIAE, de modo que la reducción de tensión no suponga dejar la vía con nivel deficiente.

7. Sustitución de balastos electromagnéticos por equipos electrónicos

Las lámparas de descarga que se emplean en alumbrado público tienen la particularidad de que la intensidad que pasa por ellas y la tensión aplicada no son proporcionales, es decir, la relación tensión-corriente no es lineal, sino negativa. Esto significa que la tensión de arco depende poco de la tensión que la atraviesa. Dependiendo de la tensión aplicada, si se produce el arranque, puede ocurrir que la intensidad de la corriente se eleve enormemente hasta provocar la destrucción de la lámpara o que la corriente fluctúe desproporcionadamente con pequeñas variaciones de tensión. Por estas razones, para conseguir un funcionamiento correcto es imprescindible utilizar dispositivos estabilizadores de la corriente, que se denominan balastos. El balasto es un elemento fundamental en una instalación de alumbrado con lámparas de descarga, pues sin ellos no pueden funcionar.

De forma general, las funciones que cumple el balasto son:

- Proporcionar la corriente de arranque o de precalentamiento de cátodos para conseguir en éstos la emisión inicial de electrones
- Suministrar la tensión de salida en vacío suficiente para hacer saltar el arco en el interior de la lámpara.
- Limitar la corriente de la lámpara a los valores adecuados para su correcto funcionamiento.

- Controlar las variaciones de la corriente en la lámpara, frente a variaciones de la tensión de alimentación, lo que se conoce como rango de regulación.

Existen dos tipos principales de balastos: electromagnéticos y electrónicos. A continuación se exponen las características de cada uno de ellos.

- *Balastos electromagnéticos*: están compuestos, principalmente, por un gran número de espiras de cobre enrolladas sobre un núcleo de hierro laminado. En ellas se produce la pérdida de calor por la resistencia óhmica de las bobinas y la histéresis en el núcleo. Estas pérdidas dependen de la construcción mecánica de los balastos y de la sección del cobre.
- *Balastos electrónicos*: como indica su nombre, están formados por componentes y circuitos electrónicos. Frente a los electromagnéticos presentan una serie de ventajas, que básicamente son:
 - Mejoran la eficiencia de la lámpara y el sistema. Las pérdidas de potencia en los balastos electromagnéticos oscilan entre un 6-7% hasta un 20%, mientras que en los balastos electrónicos son menores.
 - Solventan los problemas producidos por la inestabilidad de la red, eliminando cualquier sobretensión que en ella se produzca.
 - Incrementan la vida de las lámparas, lo que supone una reducción de los costes de mantenimiento.
 - Contienen un interruptor que desconecta el circuito al acabar la vida de la lámpara, evitando los intentos de encendidos indefinidos.
 - El encendido de las lámparas es rápido y fluido y está garantizado, evitando el efecto parpadeo o estroboscópico
 - Ofrecen excelentes posibilidades de regulación del flujo de las lámparas
 - Factor de potencia próximo a la unidad, aunque hay que vigilar que los armónicos en la red no excedan los valores admitidos.
 - Incorporan un sistema de protección contra sobretensiones que evita daños en los circuitos electrónicos
 - Producen menos calentamiento
 - No producen zumbidos ni ruidos
 - Fácil conexión, menos volumen y menor peso (no hay arrancador ni condensador).
 - Pueden utilizarse con corriente continua
 - El funcionamiento de los balastos electrónicos a alta frecuencia, por encima de 16 kHz, hace aumentar la eficiencia de la lámparas

El consumo de los balastos electromagnéticos representa un incremento del 6% hasta el 20% sobre el consumo de la lámpara, dependiendo del tipo de lámpara, de las características constructivas y del fabricante.

<http://www.uax.es/publicacion/propuestas-de-mejora-de-la-eficiencia-energetica-en-instalaciones-existentes.pdf>

Los electrónicos tienen unas pérdidas menores. Además, con los balastos electrónicos no se producen las pérdidas debidas a las sobretensiones en la red.

En la Tabla 6 se dan las potencias de las lámparas y equipos electromagnéticos y electrónicos del fabricante ETI [4]. Este fabricante aún no dispone de balastos electrónicos aptos para instalar en el interior de las luminarias para lámparas de VSAP de 100 W y HM de 100 W, debido a que aún no han resuelto los problemas derivados de las temperaturas que alcanzan.

Tabla 6. Tabla comparativa de las potencias de las lámparas y balastos electromagnéticos y electrónicos para algunos tipos de lámpara.

Fuente: (ETI. S.A. 2010).

Tipo	Potencia unitaria W	Potencia de lámpara y balasto electromagnético W	Potencia de lámpara y balasto electrónico W
VSAP	400	433,00	433,00
VSAP	250	275,00	259,00
VSAP	150	167,00	160,00
VSAP	100	115,00	
VSAP	70	82,00	82,00
HM	150	167,00	160,00
HM	100	115,00	
HM	70	82,00	81,00

Como se observa en la Tabla anterior, la diferencia de potencias de lámparas más balastos electromagnéticos respecto de la de lámparas más balastos electrónicos no es muy significativa. El principal ahorro se produce por la estabilización de la tensión, al desaparecer el consumo originado por las sobretensiones.

Algunos fabricantes han desarrollado equipos electrónicos de encendido o drivers, que tienen la posibilidad de ser programados con una curva de regulación de flujo específica para conseguir importantes ahorros de consumo en las horas centrales de la noche, cuando el tráfico de personas y vehículos son más reducidos. Estos equipos pueden programarse con un PC o conectarse a sistemas de telecontrol para añadirle distintas funcionalidades o regulaciones. El uso de estos equipos electrónicos no sólo aporta los ahorros brindados por las menores pérdidas asociadas a dichos equipos y factor de sobretensión, sino que también incluyen la posibilidad de conseguir ahorros extras al programar en ellos una curva de regulación, según los requisitos marcados.

Cálculo del ahorro energético

Para calcular el ahorro energético obtenido al instalar balastos electrónicos se procede del siguiente modo:

- Se calcula la bajada de potencia que supone el empleo de balastos electrónicos frente a las reactancias electromagnéticas y se multiplica por el número de horas de funcionamiento del alumbrado.
- Se calcula el ahorro por no existir el factor de sobretensión en la red, que según se vio en el apartado anterior se realiza con la expresión Ec. 6.1.
- Si se han instalado equipos electrónicos con curva de regulación de flujo, se calculan los ahorros correspondientes a la reducción de flujo, según se indicó en el apartado 6
- Por último, se calcula el ahorro total sumando todos los ahorros calculados anteriormente.

8. Instalación de un sistema de telecontrol del alumbrado punto a punto

Los sistemas de telecontrol del alumbrado público punto a punto se combinan con el uso de los equipos de encendido electrónicos, de forma que desde un PC central se pueden enviar órdenes de regulación más afinadas y ajustadas en tiempo real y tener información del estado de cada punto de luz. Estos sistemas han sido desarrollados por empresas del sector [5] y proporcionan una serie de beneficios encaminados tanto al ahorro de energía, como al ahorro en costes de mantenimiento y mejorar la fiabilidad de la iluminación.

El establecimiento de un control punto a punto con equipos electrónicos permite:

- Vigilar la situación de encendido o apagado de cada punto.
- Conocer el estado de cada punto de luz en cuanto a sus características eléctricas y fotométricas.
- La regulación del flujo luminoso de todos los puntos de luz al nivel deseado, de forma individual o colectiva.
- Tener información del estado de cada lámpara y de los fallos.
- Conocer la antigüedad de cada lámpara para realizar la sustitución masiva.
- Realizar el encendido y apagado de la instalación y la sincronización horaria.

Los ahorros energéticos vienen dados fundamentalmente por:

- *Utilización de balastos electrónicos:* el empleo de balastos electrónicos permite ahorrar al <http://www.uax.es/publicacion/propuestas-de-mejora-de-la-eficiencia-energetica-en-instalaciones-existentes.pdf>

optimizar la tensión de alimentación de la lámpara y al menor consumo propio del equipo. La cuantificación de estos ahorros se expuso en el apartado 7.

- *Ahorro por reducción de flujo:* este sistema permite, mediante un software apropiado, reducir la potencia y, en consecuencia, el flujo luminoso de cada lámpara o grupo de lámparas. Como se comentó anteriormente, en todas las vías, durante las horas nocturnas de menor actividad, se puede reducir los niveles luminosos, manteniendo los factores de uniformidad, garantizando en todo momento la seguridad y confort de los usuarios y cumpliendo con la reglamentación en vigor. La cuantificación de los ahorros se expuso en el apartado 6.
- *Flujo luminoso constante:* esta función, según los fabricantes de los equipos [5], permite ahorrar hasta un 8% del consumo de la energía total durante toda la vida de la lámpara. Para ello, un algoritmo almacenado en la memoria del equipo electrónico regulable se encarga de elevar el flujo de las lámparas, de modo que si al principio de su vida útil está, por ejemplo, al 85%, este porcentaje se va elevando progresivamente hasta el 100% conforme vaya envejeciendo la lámpara y disminuyendo el flujo que emite. La función compensa el factor de depreciación de la lámpara en los diseños de alumbrado, evitando de esta forma los espacios sobreiluminados.
- *Potencia virtual:* las lámparas están disponibles en el mercado en una gama fija de potencias. Los niveles y la uniformidad longitudinal de una instalación de alumbrado exterior suele ser el factor limitante para la interdistancia de los soportes, dando como resultado, en ocasiones, una potencia de lámpara inexistente. El proyectista no tiene otra alternativa que elegir la lámpara que se comercializa de potencia inmediata superior a la obtenida en los cálculos, con lo que, inevitablemente, se produce sobreiluminación. Esta función permite corregir estos efectos de sobredimensionamiento, por ejemplo, ajustando las lámparas de 250 W como si fuesen lámparas de 180 W virtuales, lo que permite cumplir con precisión los niveles y las especificaciones indicadas.
- *Ahorro de energía por desconexión en caso de fallo de la lámpara:* en caso de fallo de la lámpara el equipo se desconecta y deja de consumir energía.
- *Otros ahorros no energéticos que permite este sistema son:*
 - Informa del punto de luz donde se ha producido una avería, lo que permite su rápida localización sin necesidad de una patrulla de vigilancia que las localice.
 - También informa del tipo de avería: si se trata de un fallo en la lámpara, en la reactancia electrónica o de la unidad de control del punto de luz, lo que permite que reducir el tiempo de reparación empleado por el equipo de trabajo.
 - Al registrar las horas de funcionamiento de cada lámpara permite una mejor planificación de las reposiciones en grupo al conocer el flujo luminoso que emite.

Cálculo del ahorro energético

Se realizan los cálculos de los ahorros energéticos considerando todas las posibilidades que permite este sistema, según se expone a continuación.

a) *Por reducción de niveles luminosos (Ar)*

Reduciendo la tensión de alimentación de las lámparas en las horas de menor actividad, se consigue un ahorro en el consumo eléctrico. El regulador de flujo en cabecera actúa sobre la totalidad de las lámparas conectadas al mismo, y como vimos en la Tabla 4, la tensión mínima de funcionamiento depende del tipo de lámpara, lo que supone una limitación al valor mínimo de la tensión de salida del regulador, y no será inferior a la que admita la lámpara de tensión mínima de funcionamiento más elevada. El sistema de control punto a punto no tiene las limitaciones que el regulador en cabecera, sino que permite ajustar los niveles en cada punto de luz al tipo de lámpara. Esta regulación individualizada por punto de luz también proporciona un mejor ajuste de niveles en las vías sobreiluminadas, con los consiguientes ahorros energéticos. Este es un cálculo que hay que hacer calle a calle y CM a CM.

b) *Por utilización de balastos electrónicos (Ab)*

Como se expuso en el apartado 7, el empleo de balastos electrónicos permite ahorros en el consumo de energía, consecuencia del menor consumo de estos equipos y de evitar los producidos por las sobretensiones de alimentación de las lámparas.

c) *Ahorros por flujo luminoso constante, potencia virtual y por desconexión en caso de fallo de las lámparas (An)*

Estos equipos permiten ahorros por mantener constante el flujo luminoso de las lámparas, por corregir el sobredimensionado de las mismas para ajustarlo a las necesidades propias de la instalación y por desconexión en caso de fallo de las lámparas. Estos ahorros también hay que hacerlos calle por calle y CM a CM.

El flujo inicial de las lámparas disminuye progresivamente con las horas de funcionamiento. Este flujo perdido se recupera al realizar las operaciones de mantenimiento (en el caso de las luminarias su limpieza y en el de las lámparas con su reposición por otras nuevas). Al proyectar una instalación se tiene en cuenta en el factor de mantenimiento de la instalación f_m .

El REEIAE en la ITC-EA-06, define el factor de mantenimiento f_m de una instalación como la relación entre la iluminancia media en la zona iluminada, después de un determinado período de funcionamiento de la instalación (iluminancia media en servicio), y la iluminancia media al inicio de su funcionamiento, con todos sus componentes nuevos (iluminancia media inicial). Sus factores son:

$$f_m = FDSL \times FSL \times FDLU \quad (\text{Ec. 8.1})$$

Donde:

FDFL	=	Factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara.
FSL	=	Factor de supervivencia de la lámpara.
FDLU	=	Factor de depreciación de la luminaria.

Con la expresión anterior y los valores de las tablas de la ITC-EA-06 del REEIAE, puede calcularse el exceso de flujo de las lámparas, previsto en proyecto, para compensar la pérdida del mismo tras un periodo de funcionamiento. No obstante, como se indicó al hablar del flujo luminoso constante, los fabricantes indican ahorros de hasta un 8% del consumo total de la energía total durante todo el ciclo la lámpara.

El ahorro por el exceso de potencia de lámparas se calculó anteriormente, en el apartado de cálculo de los ahorros por reducción de niveles luminosos (A_r).

En cuanto al ahorro que se obtienen por la desconexión de los equipos en caso de fallo de la lámpara es muy pequeño y de muy difícil cuantificación.

d) Ahorro energético total por la implantación de un sistema de telecontrol punto a punto (A_{et})

El ahorro energético total viene dado por la suma de los tres conceptos en los que este sistema reduce el consumo y que se han cuantificado en los apartados anteriores, quedando la expresión:

$$A_{et} = (A_r + A_b + A_n)$$

9. Instalación de un sistema de telecontrol de los centros de mando

La instalación de un sistema de telecontrol de los centros de mando permite mejorar las prestaciones de las instalaciones de alumbrado público, reducir los costes de mantenimiento y aumentar la eficiencia energética.

El objetivo principal es conocer, desde un puesto de control central y/o unidades móviles que podrán llevar los responsables del mantenimiento, los principales parámetros eléctricos de los centros de mando, así como ciertas situaciones que puedan requerir asistencia técnica o conocimiento, lo que redundará en evitar consumos excesivos o no deseados por averías, enganches fraudulentos o por funcionamiento innecesario de la instalación, permite reducir los tiempos de respuesta en la reparación de las averías que se produzcan y supone una mejora en la calidad del servicio. Igualmente, este conocimiento on line permite un mejor ajuste de los parámetros eléctricos, consiguiendo optimizar consumos.

El sistema de control de CM que se propone permite las siguientes funciones:

a) Comunicación de eventos

Se comunican con fecha y hora en cuanto se produzcan. El módulo de control guarda un histórico para no perder los datos, por ejemplo en caso de falta de comunicación.

Se considera eventos:

- Los encendidos y apagados de la instalación, diferenciando si han sido realizados desde la sala de control o han sido mandados por el sistema de accionamiento local (ya sea reloj o célula). Estos eventos se comprueban por el software de gestión, de manera que cualquier encendido o apagado que se realice fuera de las horas predeterminadas, con una tolerancia que se puede modificar, pasan a ser alarmas. Estas horas se programan y, en principio, se toma como base el horario astronómico del municipio, realizando los ajustes en los encendidos y apagados, respecto del ORTO y OCASO, que establezca el titular de la instalación. Se pueden programar de manera manual en caso de eventos especiales (fiestas, verbenas, rodajes, etc.). También es posible realizar dicha programación por CM, grupos o la totalidad del alumbrado, con una tolerancia que se puede modificar enviando una alarma en caso de que exceda esta tolerancia.
- Fallos de comunicación
- Cualquier parámetro controlado, mediante la indicación de máximos y mínimos.

b) Comunicación de alarmas

Se almacenan con fecha y hora de la alarma. Tienen la consideración de alarmas:

- Un encendido o apagado fuera del horario predeterminado de funcionamiento (configurable).
- Consumo inusualmente menor o mayor del predeterminado (configurable).
- Alarmas definidas como tales, mediante la indicación de máximos y mínimos, en cualquier parámetro controlado.

c) Comprobación del estado de cada salida del centro de mando

Se realiza la comprobación del estado de cada salida del CM en cada descarga de datos

- Permite la conexión, en modo local, para poder modificar la programación existente o consultar datos en caso de fallo de comunicaciones con la sala de control.

- Permite encender y apagar el CM desde la sala de control, de manera manual o programada/automática (en caso de avería del reloj astronómico, por ejemplo).
- Puede controlar el regulador de flujo (si existe), para programar los horarios de los modos de alumbrado pleno y reducido.

d) Lectura de parámetros eléctricos

Mediante un analizador de redes se leen los valores de tensión, intensidad, potencia activa y reactiva y factor de potencia en las líneas generales del CM y para cada una de las salidas. Estos datos quedan almacenados y se remiten a la sala de control, en la primera comunicación que se realice.

Cada CM tiene un registro independiente de consumo diario. Se define como alarma un consumo fuera de los rangos previamente establecidos. Además, existen registros históricos de consumo y cálculos de ahorros energéticos mediante la comparación de consumos actuales con los consumos previstos de la instalación, tanto en condiciones actuales como con una simulación de consumo adoptando medidas de ahorro energético, y con los históricos del propio CM.

Se controla el consumo en horas de apagado teórico de las instalaciones consiguiendo, de esta manera, detectar enganches realizados a la red de alumbrado público.

El ahorro energético total obtenido por la implantación de un sistema de telegestión de los CM de las instalaciones de alumbrado público es de muy difícil, sino imposible, cuantificación, ya que, como se expuso anteriormente, procede de la información sobre el estado de la instalación y de los principales parámetros eléctricos de los CM, evitando consumos excesivos no deseados por averías, enganches fraudulentos o funcionamiento innecesario de la instalación y permite un mejor ajuste de los parámetros eléctricos, consiguiendo optimizar consumos. El único ahorro posible cuantificar es el que puede obtenerse por la reducción del número anual de horas de funcionamiento del alumbrado al implantar un sistema de telecontrol de CM.

10. Sustitución de las luminarias actuales por otras equipadas con tecnología led

El alumbrado exterior está experimentando importantes avances tecnológicos con la aplicación de la tecnología led ó diodo emisor de luz (light emitting diode), como nueva fuente de iluminación. Su incorporación es muy reciente y su uso todavía es muy limitado. No obstante, sus enormes ventajas le auguran un futuro muy prometedor.

Las ventajas tecnológicas de los led se traducen en beneficios para el usuario final de las instalaciones, de las cuales cabe destacar:

- Pequeñas dimensiones, que permiten una gran flexibilidad y simplicidad de diseño.
- Alta eficacia de color. Los led son fuentes de luz monocromáticas, es decir, emiten luz directamente en un solo color, lo que evita pérdidas de flujo luminoso al pasar la luz generada a través de filtros.
- Luz direccionable, dependiendo del tipo de led y la óptica incorporada. Es una fuente de luz que admite un control preciso del haz, lo que permite efectos luminosos espectaculares de forma sencilla.
- No emite radiación ultravioleta ni infrarroja, con lo que en algunas aplicaciones se evita el deterioro de los materiales o elementos iluminados.
- Vida extremadamente larga, hasta las 70.000 horas de vida útil dependiendo del sistema y de la disipación térmica de la solución led.
- Alta resistencia a golpes y vibraciones, ya que los led son fuentes de luz sólidas que carecen de filamentos o tubos de descarga, confiriendo una alta fiabilidad a las instalaciones de iluminación.
- Bajo consumo en aplicaciones. Las soluciones led necesitan menos potencia instalada en comparación con la necesaria para conseguir el mismo efecto con fuentes de luz tradicionales. Actualmente los led son fuentes de luz con una eficacia luminosa media real del orden de 110 lm por cada vatio consumido.
- Fácilmente regulables. Con las unidades de control adecuadas, los led permiten su regulación y control de forma sencilla sin verse comprometida su vida, inclusive en cuanto al número de apagados y encendidos como pasa con otras fuentes de luz tradicionales.

En las instalaciones existentes de alumbrado público es posible obtener importantes ahorros energéticos al sustituir las luminarias existentes por otras de tecnología led, ajustando los niveles de iluminación y factores de uniformidad a los exigidos por el REEIAE, garantizando la seguridad y confort de los usuarios.

Los criterios que ha de considerarse a la hora de realizar la sustitución son:

- Criterios técnicos en cuanto al nivel de iluminación, uniformidad y deslumbramiento.
- Eficiencia energética.
- Limitar el flujo emitido al hemisferio superior FHSint.
- Solución más económica.

Para realizar la sustitución es necesario disponer de una auditoría que nos informe del alumbrado existente (altura, separación e interdistancias de los puntos de luz, tipo de instalación, etc.) y haber clasificado las vías para definir los niveles lumínicos y factores de uniformidad correspondientes, según el REEIAE. Con esta información se plantea una solución basada en la sustitución punto por punto, de forma que las obras de renovación queden minimizadas, optimizando las inversiones y

evitando, en la medida de lo posible, las molestias ocasionadas a los usuarios. La solución debe estar avalada por los correspondientes cálculos lumínicos.

Los ahorros energéticos pueden aumentarse si las luminarias de led incorporan drivers electrónicos con curva de regulación de flujo y si se instala el sistema de telecontrol punto a punto y de centros de mando.

El ahorro energético se obtiene sumando los obtenidos por la bajada de potencia de las lámparas y sus equipos de encendido o drivers, por la regulación de flujo y por la incorporación de sistemas de telecontrol, que desarrollamos anteriormente

11. Implantación de programas de mantenimiento

Las prestaciones de una instalación de alumbrado público disminuyen a lo largo del tiempo, a causa del envejecimiento propio de sus componentes y de la acción de agentes externos.

Aunque las causas de esta disminución de prestaciones son bien conocidas, son difícilmente cuantificables por su propia naturaleza o por no existir un modelo para ello. Esto dificulta que se tengan en cuenta en los proyectos y durante la explotación de las instalaciones, lo que conduce, muchas veces, a un gasto innecesario de energía eléctrica y a no aprovechar la inversión realizada en la primera instalación, al no conseguirse de forma económica los objetivos básicos de calidad de la instalación de alumbrado.

El programa de conservación que se aplica a las instalaciones influye muy directamente en el factor de mantenimiento f_m , y si está por debajo del empleado al realizar los cálculos de alumbrado significa que se estará haciendo un mal uso de la energía eléctrica consumida.

En el REEIAE, apartado 1 de la ITC-EA-06, se indica las causas de degradación de las características fotométricas y, por tanto, pérdida de la eficiencia lumínica. En la Tabla 7 se establece la correspondencia entre las causas de la pérdida lumínica de una instalación de alumbrado con las operación de mantenimiento, que tienen por objeto mantener la eficiencia lumínica y, por tanto, energética.

Tabla 7. Causas de pérdida de eficiencia energética según REEIAE y operación relacionada

Causas de pérdida de eficiencia energética (según ITC-EA-06 del REEIAE)	Operación relacionada
Depreciación progresiva del flujo de las lámpara	Reposición programada de lámparas
Ensuciamiento de lámparas y sistema óptico de luminarias	Revisión y limpieza de luminarias
Envejecimiento de componentes del sistema óptico de luminarias	Revisión y limpieza de luminarias
Prematuro cese de funcionamiento de lámparas	Reposición casual de lámparas
Desperfectos mecánicos por accidentes de tráfico, vandalismo, etc.	Restauración de luminarias

En el apartado 8 se definió el factor de mantenimiento f_m de una instalación (EC.8.1.), que depende de:

1. *FDFL*: este factor depende del tipo de lámpara y del período de funcionamiento, en horas, entre dos reposiciones masivas o programadas.
2. *FSL*: este factor depende del tipo de lámpara y del período de funcionamiento en horas entre dos reposiciones masivas.
3. *FDLU*: este factor depende del grado de protección contra penetración de cuerpos sólidos del sistema óptico de la luminaria, del grado de contaminación de la zona en que se encuentre y del intervalo entre limpiezas.

Los programas de mantenimiento se elaboran teniendo en cuenta las tablas de la ITC-EA-06 del REEIAE, la vida media de las lámparas, el grado de protección de las luminarias y el grado de contaminación de la zona donde se sitúa la instalación.

La implantación de programas de conservación permite mantener los factores de mantenimiento previstos en los cálculos lumínicos. Además de las operaciones recogidas en la Tabla 7, existen otras que también inciden en la eficiencia energética, como realizar un adecuado ajuste de los encendidos y apagados evitando que la instalación funcione fuera de hora, mantener la correcta orientación de las luminarias para evitar que el haz de luz se dirija fuera de la zona a iluminar, evitar el funcionamiento innecesario de la instalación por averías, etc. Estos ahorros, al igual que los derivados de las operaciones de mantenimiento relacionadas en la Tabla 7, son de muy difícil cuantificación.

12. Conclusiones

Las instalaciones existentes de alumbrado público presentan un importante potencial de ahorro energético y de protección del medio ambiente. Para su evaluación es necesario realizar una completa auditoría de las mismas, que permite identificar los factores sobre los que actuar y realizar las distintas propuestas de ahorro energético. De cada propuesta se cuantifican los ahorros energéticos que se obtienen y la reducción de emisiones de CO₂, su coste de implantación y se calcula el de retorno de la inversión con los ahorros energéticos obtenidos. Para una mejor exposición de los resultados y ayudar en la toma de decisiones sobre las medidas de ahorro a implantar, se elabora un cuadro resumen, similar al expuesto en la Tabla 8.

Tabla 8. Resumen comparativo de las distintas propuestas de mejora de la eficiencia energética de la instalación existente de alumbrado público

Nº	Propuesta	Ahorro anual de energía consumida kWh	Ahorro anual de energía consumida %	Reducción de la emisión de CO ₂ a la atmósfera Tm	Ahorro económico anual €	Coste de implantación de la medida de ahorro	Periodo de amortización de la medida de ahorro
1							
2							

Se pueden combinar dos o más propuestas y aumentar los ahorros de la instalación. Dos soluciones muy completas comprenden:

1. Sustitución de todas las luminarias y lámparas poco eficientes, disminución de la potencia instalada en lámparas y equipos en las vías que presentan excesivos niveles de iluminación, instalación de equipos estabilizadores de tensión- reguladores de flujo, optimización de estos equipos regulando, donde sea posible, desde el momento del encendido, ajuste del número anual de horas de funcionamiento, telecontrol de los CM e implantación de un programa de mantenimiento que garantice los factores de mantenimiento previstos en proyecto.
2. Sustitución de todas las luminarias existentes por otras de tecnología led que incorporen drivers electrónicos con curva de regulación de flujo, telecontrol punto a punto y de centros de mando e implantación de un programa de mantenimiento que garantice los factores de mantenimiento previstos en proyecto.

13. Bibliografía

- [1] de La Fuente Borreguero, C., Gervós Sánchez, E., Análisis de la situación actual y perspectivas futuras de la eficiencia energética del alumbrado público en España, Tecnología@ y Desarrollo, Universidad Alfonso X el Sabio, España, 2013.
- [2] REEIAE: Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior. Real Decreto 1890/2008, de 14 de Noviembre.
- [3] Scorpio Elektro XXI, Reguladores de flujo luminosos controladores de potencia y estabilizadores, Manual de Instrucciones Técnicas, Versión 080707, 2011
- [4] Electrotransformación Industrial, S.A. (ETI. S.A.). Catálogo comercial, edición 2010.
Disponible en http://www.etisa.com/doc/catalogo_completo.pdf
Consultada en Noviembre 2012
- [5] Philips Iberica, S.A. Starsense. La telegestión más sencilla. 2011. Disponible en internet http://www.lighting.philips.es/pwc_li/es_es/connect/tools_literature/assets/pdfs/Starsense.pdf
Consultada en Noviembre 2012