

# Guía de Gestión Energética



## en el Alumbrado Público



Madrid Vive Ahorrando Energía





# Guía de Gestión Energética en el Alumbrado Público



Madrid **Ahorra** con Energía

Madrid, 2012



Fundación de la Energía de  
la Comunidad de Madrid



[www.fenercom.com](http://www.fenercom.com)



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA  
**Comunidad de Madrid**  
[www.madrid.org](http://www.madrid.org)

Esta Guía se puede descargar en formato pdf desde la sección de publicaciones de las páginas web:

**[www.madrid.org](http://www.madrid.org)**

(Consejería de Economía y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas)

**[www.fenercom.com](http://www.fenercom.com)**

Si desea recibir ejemplares de esta publicación en formato papel puede contactar con:

Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid

[dgtecnico@madrid.org](mailto:dgtecnico@madrid.org)

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

[fundacion@fenercom.com](mailto:fundacion@fenercom.com)

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, respetuosa con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan. Tanto la Comunidad de Madrid como la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, no se hacen responsables de las opiniones, imágenes, textos y trabajos de los autores ni de las posibles consecuencias que se deriven para las personas físicas o jurídicas que actúen o dejen de actuar de determinada forma como resultado de la información contenida en esta publicación.

Depósito Legal: M. 35314-2012

Imprime: Gráficas Arias Montano, S. A.  
28935 MÓSTOLES (Madrid)

# Presentación

Hace tan sólo unos años se celebró el 150 aniversario de la utilización de la luz eléctrica en la que en aquel entonces era Villa y Corte, hoy ciudad de Madrid. El 18 de febrero de 1852, y formando parte del programa de festejos organizados con motivo de la primera salida del Templo de Atocha de la Reina Isabel II, tras el nacimiento de la Infanta Isabel, tuvo lugar un ensayo de alumbrado en la Plaza de la Armería, mediante la instalación de una gran farola.

Las crónicas de los diarios de aquella época recogen lo siguiente:

«Ante anoche se hizo la prueba en Palacio del alumbrado por medio de la luz eléctrica. El aparato estaba colocado sobre el tejado de la Armería y prestaba una luz clara y hermosa, superior incluso a la del gas; en tal conformidad que se distinguían hasta los menores objetos colocados a la mayor altura. Nos alegramos que pueda generalizarse este género de alumbrado, porque no dudamos será mucho más económico y de mejor efecto».

Efectivamente, ese acontecimiento no se quedó en una mera experiencia, sino que se extendió rápidamente por todas las ciudades.

La generalización de la iluminación nocturna favoreció la idea de vivir la noche. Se acababa así con la sumisión a los ciclos que imponía la naturaleza. La vida nocturna se convirtió en sinónimo de bullicio y ocio, ya que muchas diversiones y lugares públicos de entretenimiento estuvieron asociados a la iluminación eléctrica: los quioscos de las ferias, los barracones, las atracciones, los paseos y puertas de entrada a los recintos se llenaron de luces, etc.

Hoy en día el alumbrado público juega un papel importante, no sólo para el desarrollo de la actividad económica de cualquier ciudad, sino como elemento determinante de la seguridad y el bienestar.

No obstante, este servicio fundamental requiere que sea contemplado en diversas vertientes, pues son muchas las facetas que, a nuestro juicio, pueden ser mejorables, en concreto, a todo lo relativo a la gestión energética y medioambiental del alumbrado público.

Centrándonos ya en el ámbito energético, si bien el alumbrado público representa una pequeña parte del consumo de la energía eléctrica de Madrid, en cualquier municipio éste puede llegar a representar hasta un 60 % del gasto energético total.

Esto quiere decir que anualmente cada ciudadano de un Ayuntamiento medio de Madrid aporta unos 27 €, para pagar las 0,033 tep de energía que le corresponden del gasto de las dependencias municipales y del alumbrado público de su pueblo o ciudad.

La explicación de un consumo local tan elevado debe encontrarse, en general, en el tipo de diseño del alumbrado y en la antigüedad de muchas instalaciones, lo cual conlleva que se produzca un aprovechamiento poco eficiente de la energía lumínica producida por los elementos y sistemas de iluminación y, a menudo, unos elevados niveles de contaminación luminosa.

La constatación de lo anterior y, en muchos casos, el aumento del consumo al crecer el tejido urbano y ampliarse la red de puntos de luz, hace aconsejar a las Administraciones Locales a realizar diagnósticos de sus instalaciones de alumbrado con el fin de reducir su consumo, disminuir su coste económico, facilitar su mantenimiento y dar mejor servicio a los ciudadanos.

Los instrumentos y soluciones que los Ayuntamientos tienen a su alcance para avanzar en la consecución de dichos objetivos son diversos. Por un lado, pueden actuar sobre los elementos físicos que integran las instalaciones de alumbrado -lámparas, sistemas de encendido y apagado, reguladores de flujo, balastos, luminarias, etc.-, con el fin de ir sustituyendo progresivamente los equipos más antiguos e ineficientes por equipos de nueva generación que optimicen los recursos energéticos y minimicen los efectos ambientales de la contaminación luminosa.

Por otro lado, pueden aplicar las nuevas herramientas telemáticas para llevar a cabo un control centralizado de las instalaciones de alumbrado. Los actuales Sistemas de Gestión de la Energía (SGE) permiten conocer y controlar detalladamente el consumo energético de cada línea o punto de luz desde un ordenador central, lo cual contribuye a ajustar el funcionamiento del alumbrado a las condiciones ambientales y a las necesidades lumínicas de cada lugar, así como a optimizar su mantenimiento.

Además, debe tenerse en cuenta que la gestión energética del alumbrado público, al igual que ocurre con otros servicios, requiere una atención continua para mantener la máxima eficiencia a lo largo del ciclo de vida de las instalaciones, y adaptar sus características a la evolución de las condiciones que determinan su comportamiento.

La Comunidad de Madrid, consciente de la necesidad de aumentar la eficiencia energética y preservar el medio ambiente, en el ámbito de los Ayuntamientos, ha establecido durante estos últimos años un programas de ayudas específicos para la planificación energética en los Municipios de nuestra Región, complementario

con los ya conocidos de promoción de las energías renovables y del ahorro y la eficiencia energética.

Esta guía se edita con el fin de que se configure como apoyo de los técnicos y responsables municipales, para que conozcan la tecnología actual en materia de alumbrado público y las potencialidades de ahorro energético.

**Carlos López Jimeno**

Director General de Industria, Energía y Minas  
Consejería de Economía y Hacienda



# Autores

- Capítulo 1. **Ahorro energético en las instalaciones de alumbrado**  
D. José Manuel Rodríguez  
ORBIS TECNOLOGÍA ELÉCTRICA S.A.  
[www.orbis.es](http://www.orbis.es)
- Capítulo 2. **Los Servicios Energéticos: un mecanismo de ahorro y eficienciaD<sup>a</sup>.**  
**Margarida Plana**  
EOENERGIA  
[www.eoenergia.com](http://www.eoenergia.com)
- Capítulo 3. **Ahorro de energía eléctrica en el alumbrado**  
D. Gonzalo García  
Philips División Comercial Alumbrado  
[www.philips.es](http://www.philips.es)
- Capítulo 4. **Gestión energética de instalaciones**  
D. Koldo Bustinza  
Iberdrola  
[www.iberdrola.es](http://www.iberdrola.es)
- Capítulo 5. **Condiciones técnicas y garantías de las instalaciones de alumbrado exterior**  
D. Ricardo Pomatta  
Departamento Técnico de ANFALUM (Asociación Española de  
icantes de Iluminación)  
[www.anfalum.com](http://www.anfalum.com)



# Índice

<b>Capítulo 1. Ahorro energético en las instalaciones de alumbrado</b>	17
1.1. Introducción	17
1.2. Descripción de los equipos de control	18
1.2.1. Interruptores crepusculares	18
1.2.2. Interruptores horarios astronómicos	19
1.3. Métodos de control	20
1.3.1. Reactancia de doble nivel	20
1.3.2. Estabilizadores de tensión y reductores de flujo luminoso en cabecera	22
1.4. Ejemplo de ahorros con reductores de flujo y estabilizadores de tensión	29
1.5. Telegestión	30
1.5.1. Características generales	31
1.5.2. Arquitectura del sistema	32
1.5.3. Funcionalidades	32
<b>Capítulo 2. Los Servicios Energéticos: un mecanismo de ahorro y eficiencia</b>	35
2.1. Introducción	35
2.2. Situación de los Servicios Energéticos	36
2.2.1. ¿Qué es un servicio energético?	36
2.2.1.1. Alcance de un servicio energético	38
2.2.1.2. Caso del alumbrado público	40
2.2.2. Oportunidades y desafíos para el sector	41
2.2.2.1. Principales desafíos	43
2.2.2.2. Principales oportunidades	43
2.2.3. El mercado de los servicios energéticos	45
2.2.3.1. La oferta	45
2.2.3.2. La demanda	48
2.3. Cálculo de viabilidad	49
2.3.1. Metodología del cálculo de viabilidad	49
2.3.2. Medida y verificación de los ahorros	51
2.4. Situación de los Servicios Energéticos	53
2.4.1. Marco Legal	53
2.4.2. Modelos de contrato	57
2.4.2.1. Modelo de contrato	58
2.5. Conclusiones	61

<b>Capítulo 3. Ahorro de energía eléctrica en el alumbrado</b>	63
3.1. Antecedentes	63
3.2. Directivas, Códigos, Leyes y Reglamentos sobre la Eficiencia Energética	64
3.2.1. Directiva EUP (Energy Using Products) de productos que consumen energía	66
3.2.2. Real Decreto 208/2005, relativo a la Directiva RAEE sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos	66
3.2.3. Directiva RoHS de Restricción de ciertas Sustancias Peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos	67
3.2.4. REEIAE: Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (Real Decreto 1890/2008)	68
3.3. Cómo se puede ahorrar energía en instalaciones de alumbrado	69
3.3.1. Fase de Proyecto	70
3.3.1.1. Elección de los componentes de la instalación	71
3.3.1.2. Elección de sistemas de control y regulación	78
3.3.2. Ejecución y explotación	80
3.3.2.1. Suministro de energía eléctrica	80
3.3.2.2. Cumplimiento de los niveles proyectados	81
3.3.2.3. Respeto de las soluciones y sistemas proyectados	81
3.3.2.4. Establecimiento de los encendidos y apagados	81
3.3.3. Mantenimiento	81
3.3.3.1. Previsión de operaciones programadas	82
3.3.3.2. Respeto de las frecuencias de reemplazo de los componentes	83
3.3.3.3. Reemplazo llevado a cabo con componentes correctos	83
3.3.3.4. Recogida, transporte y reciclaje de los elementos sustituidos	83
3.3.4. Proyecto (Salobre/Valdepeñas). Caso Práctico de ahorro energético	84
3.3.4.1. Antecedentes	84
3.3.4.2. El desafío	84
3.3.4.3. La solución	85
3.3.4.4. Las ventajas	87
3.3.5. Ejemplo de cálculo del Coste Total de Propiedad.	88
3.4. Bibliografía	93
<b>Capítulo 4. Gestión energética de instalaciones</b>	95
4.1. Introducción	95
4.2. Objetivos	98

4.3.	Alcance	99
4.4.	Clasificación por tamaño y potencia eléctrica contratada	99
4.4.1.	Instalaciones Pequeñas de Alumbrado Público exterior	100
4.4.2.	Instalaciones de Alumbrado Público de Exteriores Grandes	101
4.5.	Criterios de diseño utilizados	103
4.5.1.	Nivel de iluminación y uniformidad	103
4.5.2.	Distribución y altura de los puntos de luz	103
4.5.3.	Color	104
4.5.4.	Lámparas	104
4.5.5.	Luminarias	104
4.5.6.	Sistemas de gestión	105
4.6.	Sistema de gestión energética	106
4.6.1.	Diseño del sistema de gestión energética (GEN)	106
4.7.	Metodología de trabajo	108
4.8.	Características generales de un sistema de gestión	109
4.9.	Elementos que constituyen el sistema de gestión	109
4.10.	Ahorros energéticos posibles por tipo de instalación	110
4.10.1.	Instalaciones de Alumbrado Público de exteriores pequeñas	111
4.10.2.	Instalaciones de Alumbrado Público Exterior Grandes	115
4.11.	Ejecución de las soluciones aplicables	128
4.12.	Ventajas para el usuario	129
4.13.	Bibliografía	130

<b>Capítulo 5.</b>	<b>Condiciones técnicas y garantías de las instalaciones de alumbrado exterior</b>	131
5.1.	Finalidad	131
5.2.	Instalaciones afectadas	132
5.3.	Eficiencia energética	134
5.4.	Luminosidad nocturna	137
5.5.	Luz molesta	138
5.6.	Fuentes de luz	139
5.7.	Luminarias y proyectores	140
5.8.	Equipos Auxiliares	140
5.9.	Accionamiento de las instalaciones	141
5.10.	Regulación del nivel luminoso	141
5.11.	Periodos de utilización	142
5.12.	Sistemas de gestión centralizada	143
5.13.	Cuadros de alimentación	143
5.14.	Soportes	144
5.15.	Régimen de funcionamiento	145

5.16. Explotación de las instalaciones	147
5.17. Mantenimiento del alumbrado	148
ANEXO I. Eficiencia Energética	149
AI.1. Eficiencia Energética	149
AI.2. Prescripciones mínimas de eficiencia energética	151
AI.2.1. Alumbrado Vial Funcional	151
AI.2.2. Alumbrado Vial Ambiental	152
AI.2.3. Otras Instalaciones de Alumbrado	152
AI.2.4. Instalaciones de Alumbrado Festivo y Navideño	153
AI.3. Calificación Energética de las Instalaciones de Alumbrado	154
ANEXO II. Niveles de Iluminación	156
AII.1. Alumbrado Vial: Clases de Alumbrado	157
AII.1.1. Niveles de Iluminación del Alumbrado Vial	158
AII.2. Zonas Especiales de Viales.	161
AII.3. Alumbrados Específicos	164
AII.4. Iluminación Ornamental.	166
AII.5. Otras Instalaciones de Alumbrado	169
AII.6. Deslumbramientos	169
AII.7. Reducción de los niveles de Iluminación	169
AII.8. Clases de alumbrado de similar nivel de iluminación	171
ANEXO III. Resplandor luminoso nocturno y luz molesta	172
AIII.1. Resplandor luminoso nocturno	172
AIII.1.1. Limitaciones de las Emisiones Luminosas	173
AIII.1.2. Fuentes de luz	176
AIII.2. Luz molesta	176
ANEXO IV. Componentes de las instalaciones	179
AIV.1. Lámparas	179
AIV.2. Tecnología LED	180
AIV.3. Luminarias y Proyectores	184
AIV.3.1. Características de las Luminarias y Proyectores	187
AIV.3.2. Especificaciones de las Luminarias	190
AIV.3.3. Prescripciones de los Proyectores	192
AIV.4. Equipos Auxiliares	197
AIV.5. Sistemas de Accionamiento	199
AIV.6. Telegestión	201
ANEXO V. Documentación	202
AV.1. Proyecto	203
AV.2. Memoria Técnica de Diseño	205
AV.3. Ejecución y Puesta en Servicio de las Instalaciones	207
AV.3.1. Mediciones y clasificaciones de defectos	208

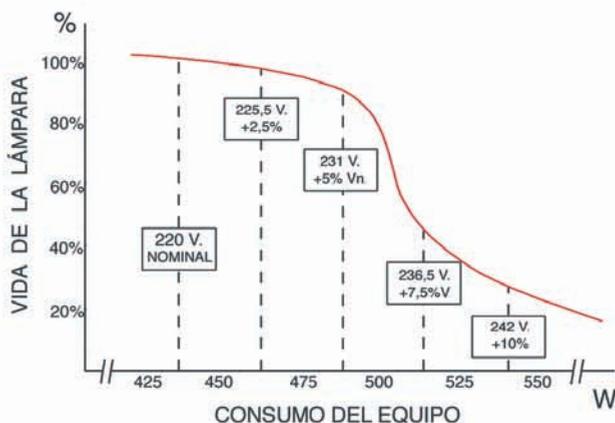
AV.4. Información a los titulares de la Instalación	211
ANEXO VI. Mantenimiento de las instalaciones	212
AVI.1. Mantenimiento de las instalaciones y Mediciones	212
AVI.1.1. Factor de Mantenimiento	212
AVI.2. Operaciones de mantenimiento	215
AVI.2.1. Clasificación de los Trabajos de Mantenimiento	216
AVI.2.2. Programación del Mantenimiento	217
AVI.2.3. Registro de las Operaciones de Mantenimiento	219
AVI.3. Mediciones	221
AVI.3.1. Mediciones de luminancias	221
AVI.3.2. Medida de Iluminancias	222
AVI.3.3. Comprobación de Mediciones	224
AVI.3.4. Método simplificado de medida de la iluminancia media	227



## 1.1. Introducción

Los sistemas para iluminación que integran lámparas de descarga asociadas a balastos tipo serie, de Vapor de Sodio Alta Presión (VSAP) o Vapor de Mercurio (VM), son muy susceptibles a las variaciones en su tensión de alimentación. Tensiones superiores al 105 % del valor nominal para el que fueron diseñadas disminuyen fuertemente la vida de las lámparas y equipos incrementando el consumo de energía eléctrica.

La Fig. 1 refleja la fuerte influencia de la tensión de alimentación en el consumo y en la vida de una lámpara VSAP. El incremento del 7 % produce una disminución en la vida de la lámpara del 50 % y un exceso de consumo del 16 %. De ahí la gran importancia de estabilizar la alimentación que llega a los receptores de alumbrado.



**Figura 1.** Ejemplo de vida y consumo de la lámpara en función de la tensión de red.

Por otro lado, la necesidad de racionalizar el consumo de energía nos lleva a reducir los niveles de iluminación de las vías públicas durante las horas en las que el número de usuarios es menor. Históricamente esto se ha conseguido mediante diferentes métodos de control.

Por último la telegestión también puede ayudar a evitar excesos de consumo no deseados, así como a facilitar las tareas de mantenimiento y también para ofrecer un mejor servicio mediante la pronta detección de las averías.

## 1.2. Descripción de los equipos de control

Se puede actuar en el funcionamiento normal del ciclo de iluminación desde varios puntos: por un lado optimizando los tiempos de encendido (en el ocaso) y de apagado (en el orto), ajustándolos exactamente a las condiciones de ahorro deseadas. Esto se realiza mediante el uso de equipos de control destinados a estas funciones, como pueden ser los interruptores crepusculares y los interruptores horarios astronómicos. Igualmente se puede actuar sobre la intensidad luminosa del alumbrado mediante la reducción del nivel luminoso.

### 1.2.1. Interruptores crepusculares

Son dispositivos electrónicos capaces de conmutar un circuito en función de la luminosidad ambiente. Para ello utilizan un componente sensible a la luz (célula fotoeléctrica) que detecta la cantidad de luz natural que existe en el lugar de instalación, comparando este valor con el ajustado previamente. En función de esta comparación, se activa o desactiva un relé que estará conectado en la instalación con los elementos de maniobra de encendido-apagado de la iluminación. Véanse ejemplos de interruptores crepusculares en la Foto 1.



Foto 1. Ejemplos de interruptores crepusculares.

Para un correcto funcionamiento de las instalaciones con interruptores crepusculares, éstos deben estar dotados de circuitos que incorporen histéresis, es decir, un retardo antes de las maniobras que permita eliminar fallos de encendidos o apagados debidos a fenómenos meteorológicos transitorios, tales como el paso de nubes, rayos, etc., o luces de automóviles.

Los inconvenientes del uso de los interruptores crepusculares son el difícil acceso a los mismos durante su mantenimiento o reparación, ya que normalmente se instalan en lugares de difícil acceso. Además, la polución provoca un paulatino oscurecimiento de las envolventes, por lo que a lo largo del tiempo las maniobras no se realizan en los momentos esperados.

### 1.2.2. Interruptores horarios astronómicos

Son interruptores horarios que incorporan un programa especial que sigue los horarios de ortos y ocasos de la zona geográfica donde esté instalado. Esta característica tiene la gran ventaja de que no es necesaria la reprogramación manual y periódica de los tiempos de encendido y apagado. Además, tienen la posibilidad de poder retrasar o adelantar de manera uniforme estos tiempos de maniobra, consiguiendo con ello un ahorro adicional.

Estos interruptores horarios deben incorporar dos circuitos independientes, uno para el encendido y apagado total del alumbrado y otro para las órdenes de reducción y recuperación de flujo luminoso, durante las horas de menos necesidad de todo el flujo. Existen modelos que permiten incorporar días especiales, en los que las maniobras son distintas debido a festividades, fines de semana, etc.

La integración de estos equipos digitales ha llegado hasta el punto de poder disponer de modelos con tamaño muy reducido, dos módulos de carril DIN, con sistemas de ayuda a la programación directamente sobre el visualizador, con textos en diversos idiomas. Cabe destacar la incorporación del ajuste automático de hora verano-invierno y sobre todo las últimas innovaciones que facilitan enormemente la programación, ya que simplemente hay que elegir la capital de provincia más próxima al lugar de instalación y la corrección en minutos de encendido y apagado sobre el valor real de ocaso y de orto calculado por el equipo. Para aumentar la precisión en el posicionamiento y sus prestaciones, existen modelos que, a través de un mando a distancia, ofrecen posibilidad de localización GPS, así como el copiado y volcado de programaciones en distintos interruptores horarios y su sincronización horaria. Se evita de esta forma tener que realizar programaciones en el centro de mando. Véase un ejemplo de estos nuevos equipos en la Foto 2.



**Foto 2.** Interruptor horario astronómico con mando a distancia GPS.

El tamaño reducido y la facilidad de manejo al que nos referíamos anteriormente, junto con el reducido coste de estos equipos, permiten también su uso en iluminación de escaparates, rótulos luminosos y pequeños alumbrados.

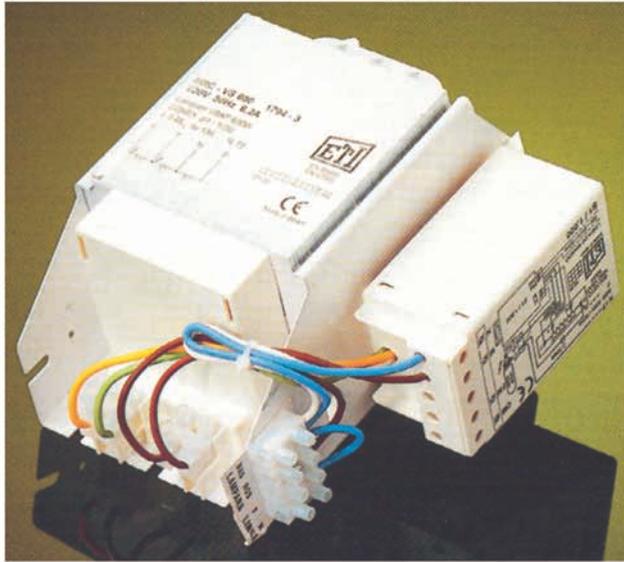
Por último, no hay que olvidar que para que el interruptor horario no derive la ejecución de las maniobras a lo largo del tiempo, debe cumplir con una buena base de tiempos y un ajuste adecuado de su precisión de marcha.

## 1.3. Métodos de control

### 1.3.1. Reactancia de doble nivel

Este sistema se basa en una reactancia, Foto 3, que permite variar la impedancia del circuito mediante un relé exterior, reduciendo la intensidad que circula

por las lámparas y consiguiendo ahorros del 40 % aproximadamente. La orden de activación viene dada por un hilo de mando o por un temporizador interno.



**Foto 3.** Ejemplo de reactancia de doble nivel.

Pese a evitar el problema de la falta de uniformidad lumínica, el cambio brusco de régimen normal a régimen reducido provoca una sensación de falta de luz en el usuario.

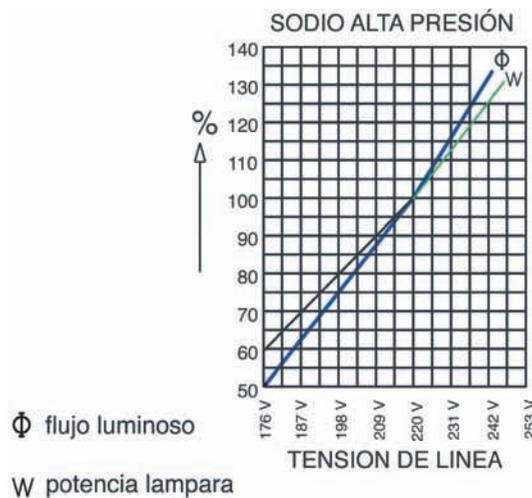
En los sistemas que incorporan un temporizador para evitar la instalación de la línea de mando, la reducción no está sincronizada y se produce a destiempo en las lámparas. En caso de un reencendido de la instalación de alumbrado cuando está en situación de nivel reducido, el temporizador inicia un nuevo retardo al volver la tensión de red, perdiéndose prácticamente el ahorro correspondiente al tiempo de régimen reducido.

Este sistema no solventa los problemas de sobretensión en la red que disminuyen fuertemente la vida de las lámparas y equipos, y que provocan un gran incremento en el consumo de energía eléctrica.

Existen también reactancias electrónicas autorregulables que incorporan función astronómica y programa de reducción de flujo.

### 1.3.2. Estabilizadores de tensión y reductores de flujo luminoso en cabecera

La ventaja principal de estos equipos frente a las reactancias de doble nivel es que solventan los problemas producidos por la inestabilidad de la red ya que durante las horas de régimen normal estabilizan la tensión de alimentación de la línea. En las horas de régimen reducido disminuyen la tensión a todas las luminarias, consiguiendo un ahorro adicional. Véase la incidencia de la tensión de alimentación en la Fig 2.



**Figura 2.** Variación de la potencia y flujo luminosos en función de la tensión en una lámpara VSAP.

El hecho de estar instalados en cabecera de línea, hace que su incorporación tanto en instalaciones de alumbrado nuevas como las ya existentes sea extremadamente sencilla (no se precisa intervención, siempre costosa, en cada uno de los puntos de luz del alumbrado) y facilita el acceso para su mantenimiento.

La instalación de un estabilizador de tensión y reductor de flujo en cabecera de línea (en adelante reductor de flujo) evita excesos de consumo en las luminarias, prolonga la vida de las lámparas y disminuye la incidencia de averías, pero para conseguir estos resultados es necesario utilizar equipos con las más altas prestaciones, ya que de lo contrario las ventajas se pueden tornar en inconvenientes.

A modo de resumen, las ventajas de los estabilizadores de tensión y reductores de flujo luminoso en cabecera de línea son:

- \* Prolonga la vida de las lámparas.
- \* Disminuye el coste de mantenimiento.
- \* Mantiene la uniformidad del alumbrado.
- \* Evita excesos de consumo (nivel nominal).
- \* Disminuye el consumo hasta el 40 % (nivel reducido).
- \* Rápida amortización.
- \* Apto para lámparas VSAP, VM y halogenuros metálicos.

### 1.3.2.1. Funcionamiento de los reductores de flujo luminoso

Los reductores de flujo están previstos para funcionar a régimen continuo, no obstante se recomienda desconectar de la red durante las horas en que la iluminación no funciona, evitando de esta forma su pequeño consumo en vacío. La conexión y desconexión de la red se realiza diariamente por un contactor controlado por un interruptor crepuscular o por un interruptor horario astronómico instalado en el cuadro de alumbrado.

Los bornes del cambio de nivel (flujo nominal a reducido) reciben la orden a la hora deseada, iniciando una suave disminución hasta situarse en la tensión de régimen reducido. La regulación de la tensión nominal de salida tiene que seguir manteniéndose en el  $\pm 1\%$  para cualquier variación de carga de 0 a 100 %, y para las variaciones de la tensión de entrada admisibles (normalmente  $\pm 7\%$ ), debiendo ser esta regulación totalmente independiente en cada una de las fases.

### 1.3.2.2. Ciclos de funcionamiento de los reductores de flujo luminoso

Para seguir las siguientes indicaciones sobre el ciclo de funcionamiento, véase la Fig. 3.

#### A. Régimen de arranque

Desde el momento de la conexión a la red, los reguladores de flujo inician su ciclo de funcionamiento consiguiendo un suave arranque de las lámparas y limitando los picos de intensidad de arranque en los balastos y líneas de alimentación.

Este valor de tensión de arranque se mantiene durante un tiempo programable (desde unos segundos hasta varios minutos), transcurrido el cual el equipo varía la tensión de salida hasta quedar estabilizada en el nivel correspondiente (normal o reducido).

### **B. Estabilización a régimen normal**

Normalmente se puede elegir un pequeño rango de tensiones de salida, dependiendo del grado de envejecimiento de las lámparas, de su tensión nominal y del ahorro adicional que se quiera conseguir en el caso de nuevas instalaciones. El proceso sería el siguiente:

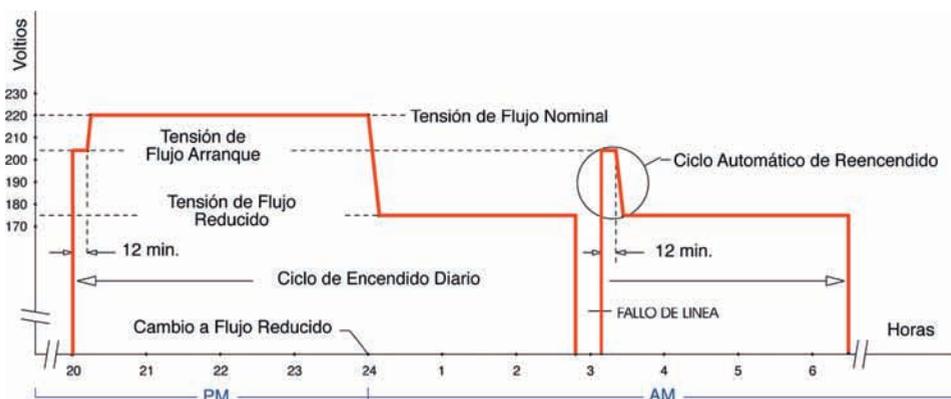
- ✱ Cuando toda la instalación tiene lámparas nuevas, se puede programar un régimen normal a 210 V.
- ✱ Pasado el primer tercio de la vida útil, se puede cambiar a 215 V.
- ✱ Pasados dos tercios de la vida útil de las lámparas se puede volver a cambiar a su tensión nominal.

De esta forma se mantiene prácticamente uniforme el flujo luminoso de la instalación durante toda la vida de las lámparas.

### **C. Estabilización a régimen reducido**

Una orden externa, generada por un elemento de control (interruptor horario o interruptor horario astronómico) fija el nivel de iluminación en función de las horas a régimen normal o régimen reducido. La velocidad de variación de la tensión de salida, cuando se cambia de régimen normal a régimen reducido o viceversa se realiza de forma suave, de manera lineal en los equipos de variación continua y con pequeños saltos en los modelos de variación escalonada. De esta forma se garantiza el perfecto comportamiento de las lámparas sin deterioro de su vida.

Las tensiones de régimen reducido oscilan entre 187 V para VSAP y 195 V para VM. El régimen reducido puede ser mantenido hasta la hora de apagado del alumbrado o retornar al régimen normal en las primeras horas de la mañana. Estas tensiones se pueden programar con un pequeño incremento a fin de corregir una iluminación escasa o caídas de tensión importantes en las instalaciones de alumbrado.



**Figura 3.** Curva de régimen de arranque, normal y reducido con corte de red en un reductor de flujo.

### 1.3.2.3. Rendimiento

El rendimiento de los reductores de flujo se determina como cociente entre la potencia activa de salida y la potencia activa de entrada, expresado en porcentaje, y en cualquier caso debe ser siempre superior al 95 %.

### 1.3.2.4. Características generales de los equipos estabilizadores de tensión y reductores de flujo luminoso

A modo de resumen, las características básicas que debe cumplir cualquier reductor de flujo son las siguientes:

- \* Rendimiento superior al 95 %.
- \* Potencias hasta 60 kVA.
- \* Reducción de consumo hasta el 40 % sobre el nominal.
- \* Fases totalmente independientes.
- \* Protección por magnetotérmico en cada fase.
- \* By-pass por fase.
- \* Carga admisible del 0 al 100 %.
- \* Mantenimiento del  $\text{Cos } \varphi$ .

- \* No introducir armónicos en la red.
- \* Estabilización  $\pm 1\%$ .
- \* Flujo nominal configurable.
- \* Flujo reducido configurable.
- \* Tiempo de arranque variable.
- \* Velocidad de cambio de nivel: 6 V/minuto aprox.



**Foto 4.** Ejemplo de reductor de flujo.

#### 1.3.2.5. Instalación de los reductores de flujo

Es muy importante que las líneas eléctricas estén bien dimensionadas (secciones adecuadas), para evitar apagados en los puntos de luz más alejados del reductor de flujo en cabecera, debidos a la caída de tensión en las líneas.

El conexionado de los reductores de flujo es muy sencillo; la instalación eléctrica se realiza en serie entre el contactor general del cuadro de alumbrado y las líneas de distribución, teniendo especial precaución en mantener conectados a la salida del contactor general todos los circuitos auxiliares del cuadro de alumbrado.

Otras precauciones a tener en cuenta son:

- ✱ comprobar que las intensidades de cada fase no sobrepasan la capacidad del reductor de flujo;
- ✱ no cambiar la línea de entrada por la de salida; y
- ✱ seleccionar el modo de funcionamiento dependiendo del tipo de lámpara (VM o VSAP).

Especial atención merece el armario donde se instale el equipo reductor. Debido a que es un sistema que genera calor por su propio funcionamiento, el armario debe estar suficientemente dimensionado, y con ventilación adecuada, recomendando una protección máxima IP44 o IP54. Si se instala en armarios totalmente herméticos sin ventilación, se pueden producir malfuncionamientos en los equipos. La protección contra impactos debe ser al menos IK08.

#### 1.3.2.6. Mantenimiento

Normalmente el mantenimiento de los reductores de flujo se limita a tareas de limpieza, comprobación del funcionamiento y verificación de que los valores de tensión se encuentran dentro de la tolerancia. Se recomienda realizar una inspección del equipo una vez al año, así como la comprobación de los correctos aprietes en las conexiones de potencia.

#### 1.3.2.7. Auxiliares de regulación

Las instalaciones de alumbrado público se componen de forma mayoritaria de equipos con lámparas de VSAP o VM. En los equipos con balasto serie y lámpara de VSAP se pueden regular y reducir su potencia con los equipos reductores de flujo en cabecera de línea hasta el 40 % sobre el valor nominal. Con equipos para lámparas VM y balastos tipo serie, se puede reducir directamente la potencia del sistema hasta el 25 % del valor nominal, equivalente a una tensión de alimentación de 195 V. Cuando se intentan reducciones por debajo de 195 V se producen

apagados e inestabilidad en la instalación de alumbrado motivados por la característica inversa de la tensión de arco de las lámparas (a menor potencia, mayor tensión de arco).

Existen instalaciones de alumbrado con lámparas de VSAP y VM en la misma instalación, caso en el que se restringe la reducción de toda la instalación a los parámetros de las lámparas de VM (25 % de reducción). Con el fin de lograr el mayor ahorro posible y un funcionamiento estable en las lámparas de VM, se desarrollan los auxiliares de regulación, Fig. 4, un novedoso componente que instalado entre el balasto y lámpara de VM, permite reducir la tensión a 175 V evitando los indeseados apagados e inestabilidades y obteniendo ahorros superiores al 35 % en VM para valores en la tensión de flujo reducido equivalentes a las lámparas de VSAP de 175 V. Con la incorporación de los auxiliares de regulación se obtienen ahorros similares en las lámparas VSAP y VM, en instalaciones que comparten los dos modelos o únicamente con lámparas de VM eliminando a su vez las molestas perturbaciones que producen estas lámparas.

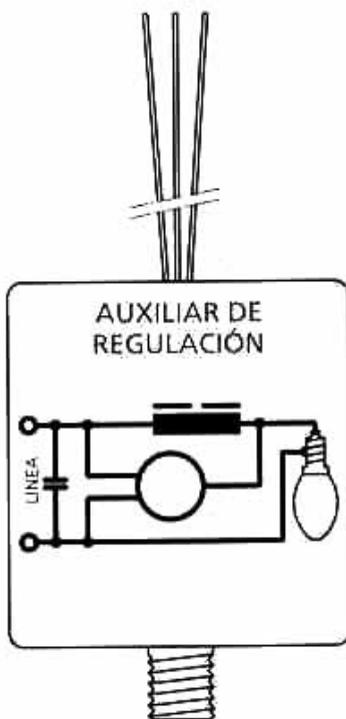


Figura 4. Auxiliar de regulación

## 1.4. Ejemplo de ahorros con reductores de flujo y estabilizadores de tensión

### \* Situación sin estabilizador-reductor

Instalación de alumbrado público equipada con 78 equipos de VSAP 250 W.

#### **Potencia instalada:**

- 250 W de lámpara + 25 W de equipo auxiliar = 275 W por luminaria.
- 275 W x 78 luminarias = 21.450 W a tensión nominal (220 V).

#### **Consumo extra por sobretensión:**

Una sobretensión media durante la noche del 6 %, provoca un incremento del consumo de 14 %.

$$21.450 \text{ W} \times 1,14 = 24.453 \text{ W} = 24,453 \text{ kW a tensión real.}$$

#### **Energía consumida en un año:**

Con una utilización anual de 4.200 horas:

$$24,453 \text{ kW} \times 4.200 \text{ horas} = 102.703 \text{ kWh consumo/año.}$$

### \* Situación con estabilizador-reductor

Consumo anual con reducción de flujo a partir de las 12 de la noche hasta el apagado de la instalación.

Horas de utilización a potencia nominal: 1.700 h.

Horas de utilización a potencia reducida: 2.500 h.

$$21,450 \times 1.700 = 36.465 \text{ kWh consumidos al año en potencia nominal.}$$

$$21,450 \times 2.500 \times 0,6 = 32.175 \text{ kWh consumidos al año en potencia reducida.}$$

$$36.465 + 32.175 = 68.640 \text{ kWh consumo/año con reductor-estabilizador.}$$

## \* Ahorro Anual

### Ahorro de energía por estabilización y reducción de flujo:

102.703 - 68.640 = 34.063 kWh/año, equivalente a un 32,9 % de energía.

Suponiendo un precio de 0,14 €/kWh

34.063 kWh/año x 0,14 €/kWh (impuestos incluidos) = 4.768 €/año.

### Ahorro por mantenimiento:

$$A = \frac{H \times P \times N}{V} \left( \frac{1}{D} - 1 \right) = 421 + 18\% IVA = 497 \text{ € / año}$$

siendo:

A: Ahorro por mantenimiento

H: Horas de utilización = 4.200

P: Precio de reposición por lámpara = 36 €

V: Vida media de la lámpara = 12.000 horas

D: Depreciación con sobretensión del 6 % = 0,7

N: Número de lámparas = 78

### Ahorro económico total en €/año con equipo reductor-estabilizador

- Por estabilización y reducción de flujo: 4.768 €/año.
- Por ahorro en gastos de mantenimiento: 497 €/año.

AHORRO TOTAL AL AÑO 4.768 + 497 = 5.265 €/año (impuestos incluidos).

## 1.5. Telegestión

El sistema de telegestión para cuadros eléctricos es un producto destinado a realizar las funciones de analizador de medida y detección de averías, así como la gestión a distancia. Su objetivo principal es conocer desde un puesto central y unidades móviles del servicio técnico los principales parámetros de los cuadros

de alumbrado así como ciertas situaciones que puedan requerir asistencia o conocimiento técnico inmediato, lo que redundaría en evitar consumos excesivos no deseados por averías. Igualmente este conocimiento on line permite un mejor reajuste de los parámetros eléctricos, consiguiendo optimizar los consumos.

Este sistema que podemos denominar de telegestión no es exclusivo de uso en cuadros de alumbrado, pudiendo ser utilizado en cualquier tipo de cuadro de protección y control.

### 1.5.1. Características generales

Los sistemas de telegestión avanzados ofrecen la posibilidad de programar varios equipos a la vez, realizar las programaciones de los equipos sin tener que usar un software y una comunicación GSM, esto se consigue mediante la utilización de sistemas compuesto por un interface Web y un servidor GPRS. Si a este sistema le unimos otros sistemas de ahorro conseguimos una telegestión mucho más eficaz.

Estos sistemas de telegestión nos deben permitir interactuar con el centro de mando programando alarmas como salto diferencial re-armable, magnetotérmico, programación astronómica, intrusismo, etc. Permitiendo la programación individual o colectiva de los distintos centros de mando.

Destacamos que estos sistemas son aplicables a todo tipo de instalaciones:

- Centro de mando sin sistema de ahorro.
- Centro de mando con doble nivel con línea de mando.
- Centros de mando que tengan Estabilizador-Reductor.



Foto 6. Ejemplo de un dispositivo de telegestión avanzada

## 1.5.2 Arquitectura del sistema

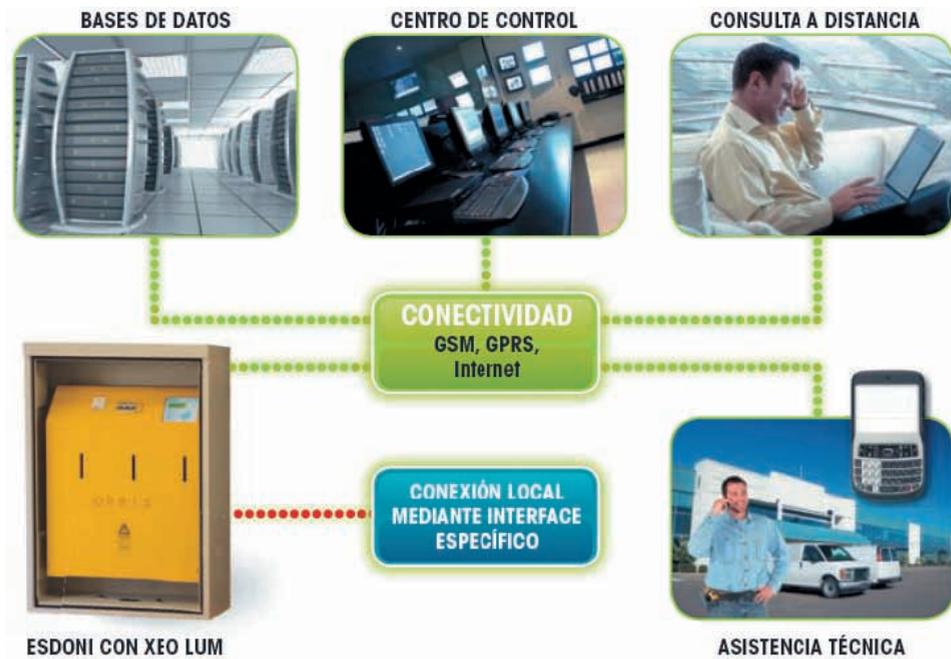


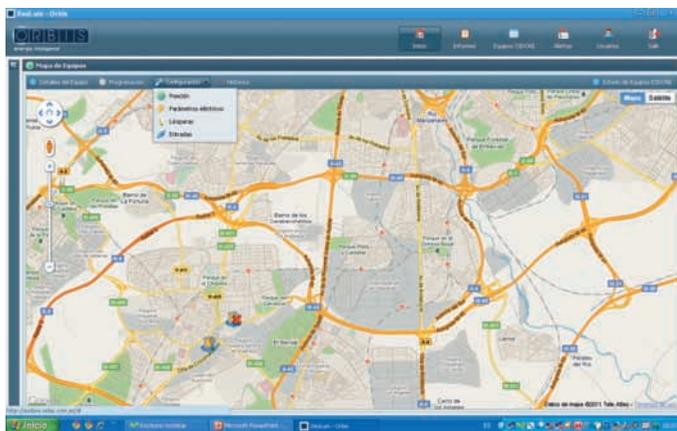
Figura 5. Arquitectura de un sistema de telegestión

## 1.5.3. Funcionalidades

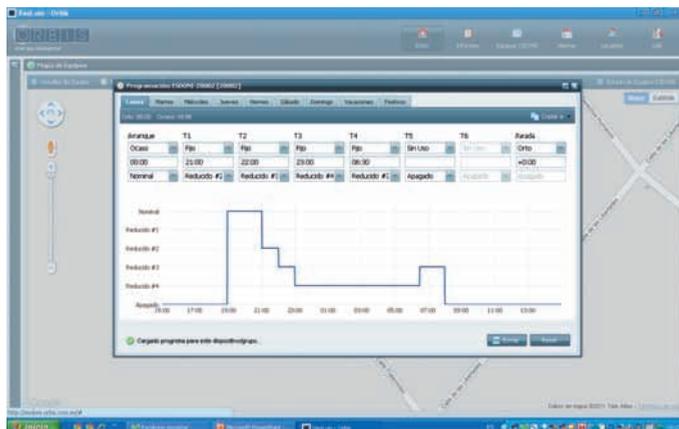
Los sistemas de telegestión ofrecen las siguientes funcionalidades:

- Posibilidad de reprogramar por grupos según las características del municipio pudiendo agrupar los distintos cuadros por ejemplo como: viales, parques, polígono, casco urbano, etc.
- Representación georeferenciada (GIS) de equipos y grupos de equipos con información en tiempo real sobre mapa, mostrando iconos de estado y texto informativo.
- Configuración remota del regulador de flujo y actuación en tiempo real a través de WEB.

- Generación automática de informes de funcionamiento de la instalación por e-mail con gráficos resumen y diagnóstico de averías.
- Gestión de alarmas en tiempo real con avisos por e-mail y SMS.
- Gestión de derechos de usuario con distintos niveles de privilegios.
- Programación a distancia del perfil de trabajo (interruptor astronómico).
- Registro de entradas y modificaciones por nombre de usuario y hora.
- Funciones de medida de consumos, tensiones, potencias, cosenos por fase, estado de entradas y salidas, etc.



**Figura 6.** Posicionamiento por grupos



**Figura 7.** Programación astronómica remota

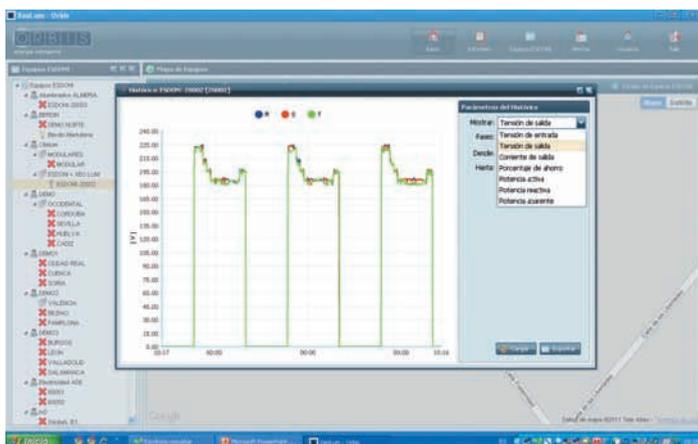


Figura 8. Gráficas de curvas de carga

# Los Servicios Energéticos: un mecanismo de ahorro y eficiencia

## 2.1. Introducción

La eficiencia energética es en la actualidad de interés global. La energía económica y limpia es la base de cualquier actividad económica.

El ahorro de consumo de combustibles fósiles y la reducción de la dependencia de importación de recursos tiene una implicación directa en la mejora del medio ambiente. Pero la eficiencia energética también persigue un beneficio económico en los diferentes sectores y un aumento de su competitividad.

Todos los sectores consumidores de energía están inmersos en un proceso de búsqueda de soluciones para mejorar su comportamiento energético, diseñando programas de mejora de sus instalaciones, implicando que el vector energía aparezca en cualquier planteamiento estratégico.

No obstante, estos planes de mejora presentan barreras para su implantación de una forma normal. Entre ellas, destacan dos aspectos:

- Implican inversiones, que en algunos casos pueden llegar a ser significativas
- Incertidumbre respecto a los ahorros conseguidos.

Los servicios energéticos aportan un servicio basado en resultados, ofreciendo una garantía de ahorro y planteando un nuevo modelo de gestión, información y comunicación que puede permitir salvar éstas dos barreras:

Acompañando al cliente en la inversión o financiación de las mejoras energéticas, reduciendo la carga económica por parte del cliente.

Asegurando el cumplimiento de los ahorros estimados puesto que supedita el pago, total o parcialmente, a las garantías de ahorro establecidas.

Figura 1. Aportación de las ESE

La administración local ha sido pionera dentro de la administración en la aplicación de servicios energéticos para la gestión de sus instalaciones. Aunque el mercado está experimentando un auge en los últimos años, los Ayuntamientos empezaron a contratar este tipo de mecanismo desde principios de los años 2000.

Existen ejemplos de contratación de ESE en edificios de la administración en todo el territorio, con independencia del tamaño del municipio. Convirtiéndose en un mecanismo con un gran potencial de ahorro para este tipo de equipamientos.

No obstante, los ayuntamientos, dada la importancia de su coste y las características de su gestión, han focalizado principalmente la contratación de este mecanismo en el alumbrado público de sus municipios.

## 2.2. Situación de los Servicios Energéticos

### 2.2.1. ¿Qué es un servicio energético?

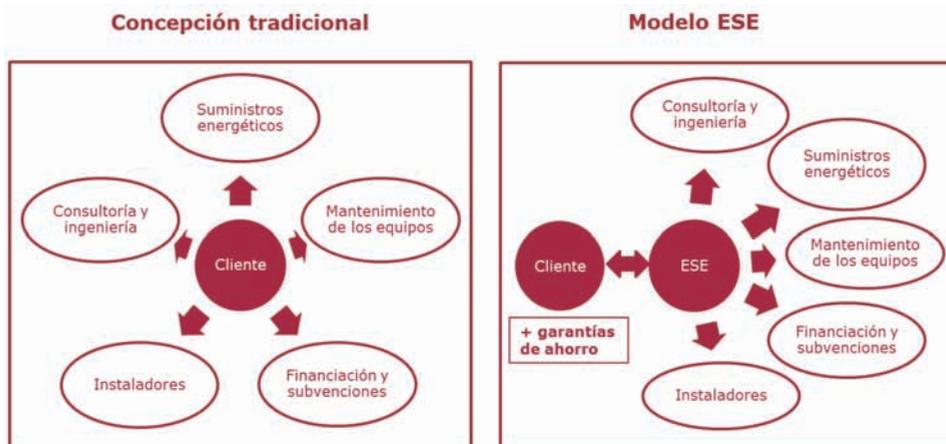
En la actualidad, existen diferentes tipos de productos y servicios asociados a la mejora energética a través de la implantación de medidas de mejora de la eficiencia energética, la incorporación de energías renovables, la mejora de los procesos de mantenimiento de las instalaciones y de la calidad de suministro.

La tendencia del sector es que el cliente confíe en un agente externo, especializado en energía, que acompañe al cliente en la evolución del esquema tradicional de suministro de energía primaria (electricidad, gas natural, gasoil,...), mantenimiento e actualización de las instalaciones obsoletas a un servicio integral que le permita externalizar las prestaciones y mejoras energéticas de sus instalaciones bajo un formato de asesoramiento continuo.

Así mismo, el sector está solicitando que estos servicios integrales contemplen garantías de ahorro energético. Garantías que deben justificarse cómo parte imprescindible de los servicios ofrecidos.

Este cambio de enfoque por parte del cliente ha generado la necesidad de crear nuevos modelos de relación entre las empresas y los clientes finales, surgiendo el modelo de Empresa de Servicios Energéticos (ESE).

El enfoque de un servicio energético se basa en las garantías de ahorro y en la centralización a un único interlocutor entre el cliente y los diferentes aspectos energéticos.



**Figura 2.** Nuevo modelo de negocio.

No queda explícitamente definido en ninguna normativa el alcance que debe tener una empresa de servicios energéticos. Aspecto que favorece la diversidad de tipos y tamaños de empresas implicadas así como la variabilidad en el alcance de los diferentes servicios prestados.

En dos de las normativas presentadas en el capítulo anterior, se presenta una definición de enfoque de qué debería ser un Servicio Energético. Definiciones completamente abiertas y no excluyentes de los agentes que pueden ofrecer un Servicio Energético:

- La Directiva 2006/32 de Eficiencia de uso final de la energía y los servicios energéticos hace una primera definición de Servicio Energético asociándolo al uso de tecnología eficiente y una acción que conduzca a un ahorro.
- El Decreto Ley 6/2010 de medidas de impulso a la recuperación económica establece que el servicio energético debe ser un conjunto de prestaciones que incluyen las inversiones que comporten optimizar la calidad y la reducción de costes energéticos. Las prestaciones, a parte de la construcción, instalación o transformación de obras, equipos y sistemas, pueden comportar otras acciones como su mantenimiento, actualización o renovación, su explotación o su gestión derivados de la incorporación de tecnologías eficientes. El servicio energético debe comportar un ahorro de energía verificable, medible o estimable.

### 2.2.1.1. Alcance de un servicio energético

El alcance de un servicio energético no está pre-establecido ni puede considerarse fijo sino que debe definirse en función de las necesidades de cada cliente y cada una de sus instalaciones así como de las prestaciones que puede y quiere ofrecer la ESE bajo este formato de garantías contractuales.

No obstante, existen una serie de prestaciones que deberían incluirse en el alcance de un Servicio Energético para garantizar el éxito de los ahorros acometidos:

- Análisis de las instalaciones que permita definir el comportamiento energético del cliente, identificar los puntos a mejorar y propuesta de las medidas de mejora energética. El alcance de este análisis es el que permitirá determinar las prestaciones a incluir en el servicio energético. Será parte del contrato como escenario de referencia a partir del cual se definirán los ahorros energéticos a alcanzar.
- Definición y evaluación de las medidas de mejora identificadas. La ESE no tiene porqué cubrir todos las instalaciones y equipos de los establecimientos. Cada empresa debe proponer las medidas de mejora de las que pueda responsabilizarse y garantizar un ahorro energético asociado. Así mismo, deben definirse proyectos amortizables a partir de los ahorros, por lo tanto, debe hacerse una propuesta considerando el ratio inversión/ahorro energético.
- La inversión o financiación de un proyecto de servicios energéticos no tiene porqué recaer en la empresa de servicios energéticos en su totalidad. En la definición de las normativas se especifica que la ESE debe tener un riesgo económico asociado a los ahorros energéticos, pero no indica que este riesgo tenga que ser a través de la inversión, sino que puede ser bajo las cláusulas contractuales de garantías de ahorro. Por ejemplo, las actuaciones para el cumplimiento de normativa de una instalación o la modificación de un sistema obsoleto, no deben ser objeto de la financiación vía servicio energético. La inversión de un Servicio Energético debería ir ligada al sobre coste que implican las mejoras energéticas. Las garantías contractuales de ahorro pueden utilizarse cómo garantías técnicas de la financiación.
- Implantación de medidas de mejora que se hayan definido en las fases iniciales del proyecto. El alcance de esta fase la define el estado inicial de las instalaciones y la capacidad de la ESE. Se recomienda a la ESE una implicación directa en este proceso dado que una mala implantación de las medidas de mejora puede suponer una variación en las garantías de ahorro que ha propuesto.

- Explotación y mantenimiento. La participación de la ESE en la explotación y mantenimiento de las medidas de mejora implantadas se hace prácticamente imprescindible si se quiere garantizar los resultados durante un periodo de contratación. Existen posibilidades de subcontratación y UTE para poder ofrecer esta prestación en caso de que la ESE no esté especializada en esta fase de los proyectos. No obstante, delante del cliente, siempre debe aparecer un único interlocutor y responsable.
- Seguimiento y verificación de los ahorros. Un servicio energético se basa en garantías contractuales de ahorro por lo que es imprescindible definir una metodología a partir de la cual se evaluarán y seguirán los ahorros energéticos. Existen metodologías internacionalmente reconocidas pero cada empresa o cliente puede desarrollar su propia metodología de verificación. Esta deberá incluirse en el contrato para definir cómo se validarán las garantías contractuales.
- Las garantías contractuales son parte de la definición de servicio energético. Deben definirse a partir de los ahorros energéticos alcanzables por las medidas de mejora implantadas y ligadas a la metodología de seguimiento y verificación de ahorros definida. Deben ser medibles y serán parte de las cláusulas contractuales.



**Figura 3.** Prestaciones de una ESE

### 2.2.1.2. Caso del alumbrado público

En el caso del alumbrado público, el modelo tradicional hasta ahora implantado implica diferentes proveedores según las prestaciones.

**Tabla 1.** Modelo tradicional

Auditoría energética	Planteadas y financiadas por el propio Ayuntamiento
Suministro eléctrico	Empresa energética – factura consumo electricidad
Mantenimiento	Empresa de mantenimiento o brigada municipal
Medidas de mejora en eficiencia energética	Habitualmente se identifican a partir del mantenimiento. La inversión va a cargo del ayuntamiento

Es decir, el modelo tradicional implica un mínimo de 4 proveedores para gestionar eficientemente el alumbrado público.

En el caso de contratar a una ESE, el objetivo es que un único proveedor aporte las diferentes prestaciones, financiando las inversiones de mejora energética con los ahorros alcanzados.

**Tabla 2.** Modelo ESE en alumbrado público

Auditoría energética	A cargo de la ESE, es la base del servicio energético
Gestión del suministro eléctrico	La ESE puede hacerse cargo de la gestión energética
Mantenimiento	Acciones de mantenimiento preventivo, correctivo y normativo
Medidas de mejora en eficiencia energética	Identificadas en la auditoría energética. La inversión debe amortizarse con los ahorros

A parte, el modelo ESE permite externalizar el riesgo técnico de las diferentes prestaciones a empresas especializadas en aspectos energéticos, con la consecuente mejora del potencial de ahorro de las instalaciones. El negocio de las ESE se basa en alcanzar los ahorros establecidos, por lo tanto, la ejecución de cualquier actuación se realizará con el objetivo de obtener dichos ahorros, garantizando el éxito de los proyectos.

## 2.2.2. Oportunidades y desafíos para el sector

Los servicios energéticos aparecen en el mercado cómo mecanismo para garantizar el alcance de los objetivos de ahorro energético fijados en los diferentes sectores consumidores.

El nuevo modelo de negocio se basa en ofrecer unas garantías de ahorro, hecho diferenciador respecto a los modelos empresariales clásicos. Es por ello que los diferentes sectores implicados, con independencia de su línea de negocio y de su público objetivo, están en un proceso de cambio y evolución hacia el nuevo modelo que el mercado ya está empezando a solicitar.

No existe un modelo único de ESE, ni a nivel de negocio, ni a nivel de alcance del servicio a ofrecer. Es el propio tejido empresarial el que definirá este proceso de cambio a través de la redefinición de sus líneas de negocio, la creación de nuevos modelos empresariales, de alianzas estratégicas y la reorientación del alcance de sus productos y servicios.

Esto genera muchas oportunidades y desafíos a todas las empresas que ya están trabajando en el sector energético o que desean entrar en él, desde la pyme a la gran empresa, desde la empresa de mantenimiento a la tecnológica, desde las ingenierías a las empresas energéticas,...

En la actualidad, la gran mayoría de empresas relacionadas con aspectos energéticos están ofreciendo sus productos y servicios según el modelo tradicional. Es decir, el cliente contrata de forma independiente las diferentes fases del proyecto, asumiendo diferentes tipos de garantías parciales que no engloban la totalidad de la mejora implantada.

Es decir, los servicios y garantías que recibe el cliente, no se relacionan entre sí, y se consideran de forma independiente, reduciendo el potencial de ahorro energético y de visión global del proyecto.

Para el caso del alumbrado público, en la Tabla 3 se muestra la actualidad del esquema tradicional en cuanto a los servicios prestados por los diferentes proveedores implicados así como las garantías que están ofreciendo cada uno de ellos.

**Tabla 3.** Esquema tradicional de servicios y garantías.

<b>El Ayuntamiento paga...</b>	<b>...recibe...</b>	<b>Las garantías que recibe son...</b>
Análisis de su situación	Proyecto de mejora	Garantía del proveedor en la acreditación de profesionales
Energía primaria	Electricidad	Garantía de suministro
Equipos	Lámparas/ luminarias/ telegestión/ ...	Garantía de fábrica del proveedor
Servicio de instalación	Instalación de los equipos	Garantía del proveedor en la acreditación de profesionales
Servicio de mantenimiento	Mantenimiento tipo	Garantía del proveedor en la acreditación de profesionales

La evolución del modelo energético actual hace necesaria la incorporación de garantías de optimización de soluciones y de ahorros acometidos por ellas.

Es por ello que el modelo está evolucionando hacia un enfoque integral en el que la ESE no sólo ofrece los servicios incluidos en el esquema tradicional bajo un único proveedor, sino que también aporta garantías de ahorro.

**Tabla 4.** Esquema ESE de servicios y garantías.

<b>El Ayuntamiento paga...</b>	<b>...recibe...</b>	<b>Las garantías que recibe son...</b>
Servicio energético	Luz	Garantía de servicio y de ahorro energético
	Optimización solución	
	Implantación de las medidas	
	Mantenimiento definido en el contrato	
	Financiación (opcional)	
	Garantías de ahorro	

### 2.2.2.1. Principales desafíos

Éste cambio de enfoque implica a los diferentes agentes a redirigir sus modelos de negocio, no sólo a nivel comercial, sino a nivel organizativo, de alcance de sus servicios y productos así como en lo que se refiere a las posibles garantías de ahorro que pueden ofrecer. Por lo que a las empresas se les presentan una serie de desafíos que se basan en la revisión estratégica para hacer frente al nuevo modelo.

En concreto, destacan:

Definición del alcance del modelo de ESE a desarrollar, tanto a corto cómo a medio-largo plazo.

Desarrollo del modelo de cálculo para definir las garantías de ahorro.  
Definición de los sistemas y metodologías de verificación y seguimiento de los ahorros.

Integración a los sistemas y a la gestión propia de la empresa.  
Revisión de los modelos contractuales, de facturación, de pólizas de seguros.  
Actualización de las alianzas estratégicas de acuerdo a la nueva estrategia.

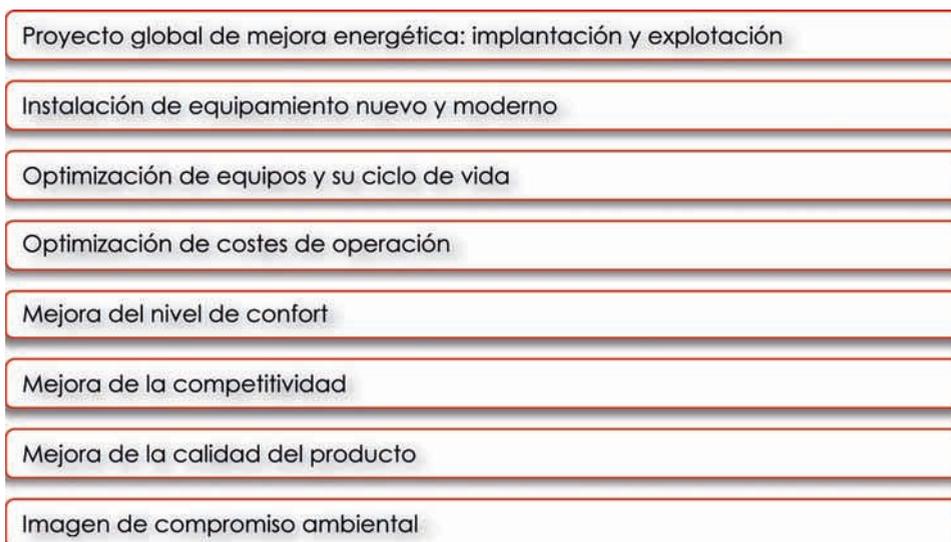
Desarrollo del plan de ventas y de las herramientas para su comercialización.  
Formación a todos los profesionales implicados en el canal de venta i explotación.

**Figura 4.** Desafíos del nuevo modelo de garantías de ahorro.

### 2.2.2.2. Principales oportunidades

Así mismo, el modelo de garantías de ahorro aporta oportunidades al mercado, no sólo al cliente, que evidentemente se ve beneficiado por el nuevo enfoque, sino también a nivel empresarial.

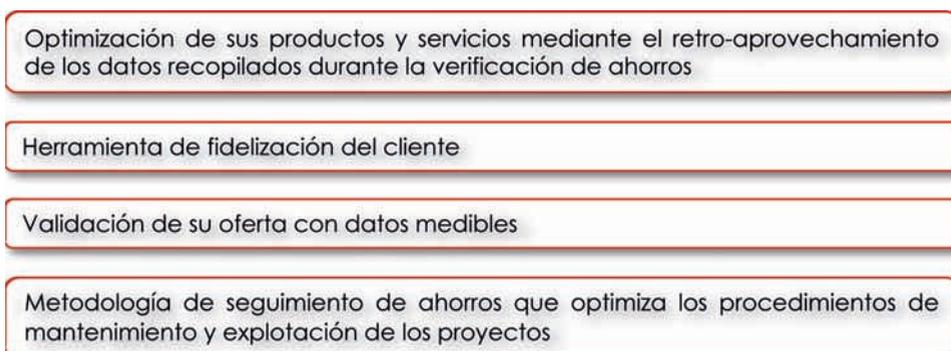
En concreto, para el cliente se podrían destacar las siguientes oportunidades del nuevo modelo:



**Figura 5.** Oportunidades, para el cliente, del nuevo modelo de garantías de ahorro.

A nivel empresarial, la propia demanda del mercado de éste nuevo modelo de negocio, es ya una gran oportunidad de negocio. Modelo que ya ha sido validado con la experiencia del mecanismo en otros países desde hace más de 30 años.

Así mismo, se podrían destacar las siguientes oportunidades para las empresas que evolucionen su modelo clásico al modelo de garantías de ahorros:



**Figura 6.** Oportunidades, a nivel empresarial, del nuevo modelo de garantías de ahorro.

### 2.2.3. El mercado de los servicios energéticos

El mercado de servicios energéticos todavía no se ha desarrollado de acuerdo al potencial del mecanismo. En este sentido, aunque en los últimos años se ha acelerado su evolución a través de políticas de promoción y la propia demanda del sector, queda todavía mucho recorrido para alcanzar los niveles de implantación de otros países.

#### 2.2.3.1. La oferta

En los últimos años han aparecido nuevos agentes que están posicionándose también en el mercado de los servicios energéticos. No obstante, existen 4 perfiles de empresa posicionadas como empresas ESE.



**Figura 7.** Principales perfiles empresariales de las ESE

Las empresas de suministro energético son empresas que en el mercado libre están ampliando su oferta de servicios.

Siguiendo la tendencia del mercado norte-americano, las empresas de suministro energético se están posicionando como un agente fuerte en el sector.

**Tabla 5.** Prestaciones empresas de suministro energético

Principal línea de negocio	Suministro energético
Principales prestaciones que ofrece en el marco de los servicios energéticos	Auditoría Suministro energético Cambios de combustible Autogeneración: cogeneración, renovables,... Cambio equipos climatización y generación ACS Mejora sistemas eléctricos Sistemas de control y gestión individuales Inversión en las medidas

Las empresas de mantenimiento son un perfil de empresas que, por extensión de su línea principal de negocio, se han introducido en el mercado de servicios energéticos de forma natural.

Es un perfil implicado, a través del AMI, en la definición de un marco legal propicio para el desarrollo del mercado, cómo puede ser su participación con el gobierno central en la definición de los primeros modelos de contrato.

**Tabla 6.** Prestaciones empresas de mantenimiento

Principal línea de negocio	Mantenimiento de instalaciones
Principales prestaciones que ofrece en el marco de los servicios energéticos	Auditoría Mantenimiento preventivo y correctivo Garantía total de las mejoras implantadas Mejora sistemas térmicos Sistemas de control y gestión individualizados

Las empresas tecnológicas engloban diferentes perfiles de empresas que se caracterizan para la especialización en tecnologías punteras.

Las primeras empresas tecnológicas a introducirse en el mercado fueron las de cogeneración. En los últimos años, están apareciendo también empresas de desarrollo de redes de calor y de implantación de energías renovables.

**Tabla 7.** Prestaciones empresas tecnológicas

Principal línea de negocio	Implantación y explotación de sistemas de generación
Principales prestaciones que ofrece en el marco de los servicios energéticos	Estudios de previsión de demanda Suministro de energía final (calor, frío, luz,...) Mejora sistemas térmicos Cogeneración Renovables Aprovechamiento de calor Redes de calor Mantenimiento preventivo y correctivo Telegestión Sistemas de control y gestión globales

Las empresas de equipos de control y gestión son empresas que se están introduciendo en los últimos años.

Actúan directamente con el cliente ofreciendo la mejora a través de la gestión o formando UTEs, ofreciendo sus productos para la gestión de las mejoras implantadas para otros perfiles de empresas.

**Tabla 8.** Prestaciones empresas de equipos de control y gestión

Principal línea de negocio	Implantación y explotación de sistemas de generación
Principales prestaciones que ofrece en el marco de los servicios energéticos	Auditoría Sistemas de control y gestión individualizados Sistemas de control y gestión globales Telegestión

En el caso del alumbrado público, también se debería recalcar otra tipología de empresas que están introduciéndose en el mercado de los Servicios Energéticos en los últimos años. Estas son los fabricantes de luminarias, que están participando de forma directa individualmente o a través de una UTE, en la implantación de estos servicios en la iluminación interior y exterior.

### 2.2.3.2. La demanda

En el sector privado, los servicios energéticos se han desarrollado básicamente en el sector terciario, principalmente en hoteles, centros comerciales y hospitales.

En el sector público, la administración local se ha convertido en la principal demandante de servicios energéticos. En concreto, principalmente, los concursos que se están publicando se centran en la mejora del alumbrado público de los municipios.

El alcance de los servicios que se están ofreciendo es muy variable dada la heterogeneidad en las características y necesidades de las instalaciones así como en su funcionamiento y gestión. Este aspecto dificulta la posible estandarización del comportamiento de este tipo de instalaciones e implica una particularización de Servicio Energético a cada realidad.

No obstante, generalmente los municipios presentan un mismo patrón de problemáticas que han llevado a los Ayuntamientos a contratar este tipo de servicio:

- Sus instalaciones conllevan un coste de energía demasiado elevado
- Los Ayuntamientos han visto como decrece sus posibilidades de inversión
- No obstante, aun con estos recursos limitados, siguen pagando mucho por la energía consumida, reduciendo aun más las posibilidades de inversión en la actualización de sus instalaciones.

Falta una figura de gestor energético que permita identificar las oportunidades del mercado.

Es un instrumento nuevo sin una definición clara de su alcance ni de quién puede ofrecerlo. Por lo que la incertidumbre de cualquier nuevo mecanismo se ve agravada por una falta de información y formación a los responsables de los Ayuntamientos.

No obstante, parece que las políticas y la realidad actual de los Ayuntamientos está fomentando una mayor implantación de los Servicios Energéticos, venciendo las barreras que hasta ahora se han tenido para su desarrollo.

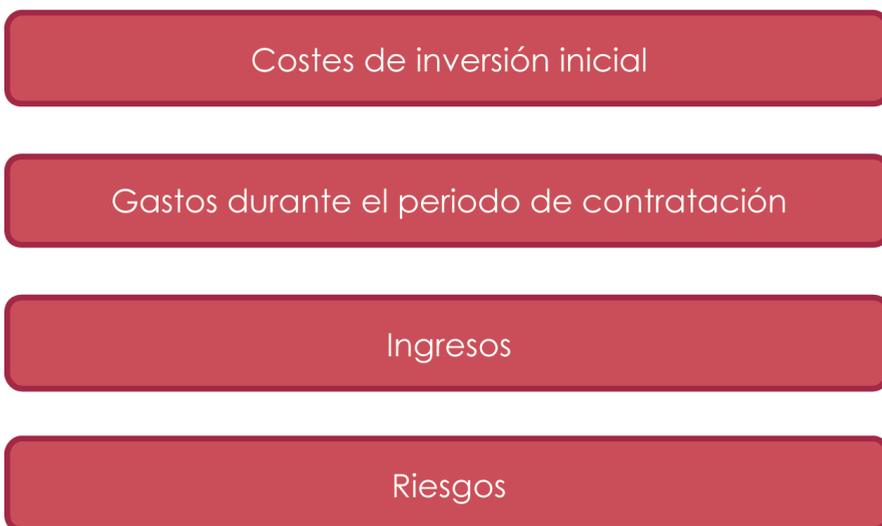
## 2.3. Cálculo de viabilidad

### 2.3.1. Metodología del cálculo de viabilidad

La viabilidad de un servicio energético, con independencia de quien acometa la inversión, viene determinada por la rentabilidad económica del proyecto, rentabilidad directamente relacionada con el ratio de costes versus ahorros energéticos (ingresos) que pueden alcanzarse.

Es por ello que, se recomienda definir una metodología para evaluar la viabilidad de los proyectos propia, de acuerdo a las características de rentabilidad (TIR) de cada empresa y los parámetros de costes e inversión que cada ESE esté dispuesta a afrontar.

En este sentido, se recomienda que toda metodología contemple:



**Figura 8.** Conceptos básicos del cálculo de viabilidad

Para definir el contenido de cada una de las partidas, es importante determinar qué tipo de contrato se utilizará (contrato mixto de suministro y servicios, contrato de las 5 P, contrato público-privado,...) así cómo quien acometerá las inversiones de cada una de las medidas de mejora a implantar.

En este sentido, y de forma general, algunos de los principales aspectos a considerar en cada una de las partidas serían:

**Tabla 9.** Principales costes de inversión de inversión y gastos durante el periodo de contratación

	Puntuales	Durante el periodo de contratación
Fase de análisis	Personal y equipos preauditoria Personal y equipos auditoria Desplazamientos	
Medidas de mejora	Definición proyecto Inversión en medidas de mejora Otros cambios asociados → equipos de soporte, cableados, ... Licencias necesarias Desinstalación equipos/sistema actual Escombros Construcción Instalación medidas de mejora Puesta en marcha Punto de conexión a red para venta de energía (si necesario)	Reposición medidas de mejora
Metodología de medida y verificación	Equipos de medida BBDD a comprar a terceros BBDD y transmisión de datos Definición del escenario base Definición de indicadores de garantías Definición metodología de medición y cálculo de los indicadores Simulaciones Sistema de seguimiento Servidor seguimiento datos Definición escenario de medición	Personal especializado en medida Personal estadista Desplazamiento del personal Informes Aprovechamiento equipos Periodicidad toma de medidas
Contrato	Redacción contrato Negociación del contrato Pólizas de seguros Riesgos adquiridos	Validación cumplimiento contrato Indemnizaciones Modificación contrato Extinción contrato

Explotación y mantenimiento	Equipos necesario para la operación y mantenimiento	Factura consumo energético por fuentes Factura consumo energético adicional por fuentes Personal de operación Personal de mantenimiento Reposición equipos de O&M Reposición equipos cliente Incidencias (caso garantía total)
Formación personal cliente	Personal de formación Desarrollo del material de formación a cada perfil Desplazamientos para realizar la formación	Personal formación continua

### 2.3.2. Medida y verificación de los ahorros

Los servicios energéticos aparecen en el mercado con el objetivo de garantizar el alcance de ahorros energéticos reales en los diferentes sectores consumidores. El hecho más diferenciador de un servicio energético respecto a los servicios ingenieriles que hasta el momento se han dado es la garantía de los ahorros por parte de la Empresa de Servicios Energéticos. Son dichas garantías contractuales las que dan sentido a esta modalidad de servicio.

Un servicio energético se define como un compromiso contractual entre empresa y cliente que se basa en la garantía de los ahorros a alcanzar mediante la implantación de medidas de mejora energética. De acuerdo a esta definición, una empresa de servicios energéticos ((ESE) aporta un servicio basado en resultados, ofreciendo una garantía de ahorro y planteando un nuevo modelo de gestión, información y comunicación que debe contribuir a la difusión de la cultura energética en los diferentes sectores.

Debe recalcar que, al contratar un servicio energético, se contrata una garantía de ahorro que la ESE debe cumplir. Es por ello que aparece la necesidad de establecer metodologías a través de las cuales puedan evaluarse y hacerse el seguimiento de dichos ahorros, demostrando el cumplimiento de las condiciones de contrato.

La evaluación y seguimiento de los ahorros permite a las partes implicadas en un proyecto de ahorro energético cuantificar y verificar, de una manera definida, disciplinada, rigurosa y transparente, el ahorro de energía resultante de la aplicación de medidas de eficiencia energética.

Dichas metodologías de evaluación y seguimiento son conocidas como protocolos de medida y verificación (M&V). En la actualidad existen protocolos internacionalmente aceptados que permiten definir una metodología adaptada a las necesidades de cada proyecto mejorando la gestión de los riesgos de la inversión. No obstante, la flexibilidad que aporta el concepto de Servicio Energético también puede aplicarse a las metodologías de evaluación y seguimiento de los ahorros permitiendo a las organizaciones diseñar y adaptar metodologías propias considerando los aspectos básicos de rigurosidad requerida.

La medición de los ahorros cobra importancia en cuanto a metodología para establecer dichos ahorros, aportando al servicio garantías, credibilidad y transparencia.

- **Garantías:** Un servicio energético basa su diferencia respecto a los modelos de negocio tradicionales en la garantía de ahorro, que se vincula contractualmente al proyecto.

Éste vínculo contractual obliga a la ESE y al cliente a desarrollar una metodología de verificación y seguimiento de ahorros que permita demostrar el cumplimiento o incumplimiento de los parámetros definidos en el contrato.

Las garantías, se definen cómo indicadores resultantes de datos recopilados antes y después de la implantación de medidas. Indicadores que permitirán comparar diferentes escenarios, ajustando las diferencias existentes entre ellos, y, por lo tanto, evaluables a lo largo de todo el período de contrato.

- **Credibilidad:** Uno de los factores clave que deben salvar los proyectos de servicios energéticos es la incredulidad frente a un nuevo modelo de negocio.

Ya se ha dicho, la garantía de ahorro es un concepto inexistente en la forma que acompaña al servicio energético, y es por ello, que cualquier herramienta que aporte credibilidad a la base del mecanismo, irá en beneficio de facilitar su implantación.

La evaluación y seguimiento de los ahorros permite a las partes implicadas en un proyecto de ahorro energético cuantificar y verificar, de una

manera definida, disciplinada, rigurosa y transparente, el ahorro de energía resultante de la aplicación de medidas de eficiencia energética. Por lo tanto, dar credibilidad a las actuaciones y al proyecto de la ESE.

- **Transparencia:** Finalmente, un plan de medida y verificación intenta resolver el concepto de transparencia en cuanto al cálculo y a la obtención de los indicadores de garantías de ahorro.

Definir una metodología así como caracterizar los condicionantes que se considerarán en el proceso de evaluación, y compartirla con el cliente, es esencial para dar transparencia a las garantías contractuales. Es importante explicar al cliente cómo van a evaluarse los resultados del proyecto contratado.

Es decir, ofrecer toda la información para que el cliente, en todo momento, pueda saber cómo se están evaluando las condiciones del contrato.

- Información acerca de
- Datos a recopilar
- Puntos de medición, frecuencia de medición,...
- Condiciones de base y de medición a considerar
- Hipótesis consideradas
- Ecuaciones a utilizar para ajustar las diferencias entre escenarios
- Cualquier dato que intervenga en los cálculos de las garantías

Esta transparencia, permite crear confianza entre las partes, así como allanar cualquier problema o duda en cuanto a las garantías evaluadas.

## 2.4. Situación de los Servicios Energéticos

### 2.4.1. Marco Legal

El uso racional de la energía y la contención del aumento del consumo es un reto a resolver en España en los próximos años. El marco legal que se está desarrollando alrededor de la eficiencia energética y de los servicios energéticos demuestra que la contención y reducción del consumo energético es una prioridad.

A continuación, os presentamos los principales representantes de este marco legal.

1. La Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos tiene cómo finalidad el fomento del uso final eficiente de la energía:

- Estableciendo los objetivos orientativos, los incentivos y las normas generales institucionales, financieras y jurídicas necesarias para eliminar los obstáculos existentes en el mercado y mejorar el uso eficiente de la energía.
- Creando las condiciones propicias para el establecimiento y el fomento de un mercado de servicios energéticos, programas de ahorro energético y otras medidas de eficiencia energética destinadas a los usuarios finales.

La Directiva exige que los Estados miembros adopten un objetivo orientativo de ahorro del 9% en el uso final de la energía para el 2016, y que definan los marcos institucionales y jurídicos necesarios para eliminar las barreras que frenan la mejora de la eficiencia en el uso final de la energía.

La Directiva ha servido de catalizador para la implantación de medidas de eficiencia energética más innovadoras y ambiciosas a todos los sectores, dinamizando el mercado de los servicios energéticos y, sobre todo, sensibilizando a los ciudadanos informándoles de los impactos de su día a día.

2. Plan de acción 2008-2012

El Plan de acción 2008-2012 fija un ahorro objetivo del 11% en 2012 con respecto al escenario tendencial marcado por esta.

Recoge la promoción de las Empresas de Servicios Energéticos como una de las medidas a implantar. Presenta la ESE como mercado potencial futuro y como elemento fundamental para obtener los objetivos de ahorro energético y de reducción de gases de efecto invernadero.

Incluye como primera medida transversal el impulso al desarrollo de ESES que optimicen la gestión e instalaciones energéticas del cliente, recuperando las inversiones a través de los ahorros conseguidos a medio-largo plazo.

Para impulsarlas, se:

- garantizará su seguridad jurídica
- facilitará financiamiento
- realizará contratación pública de servicios energéticos

### 3. 2n Foro Europeo de Eficiencia Energética

En el 2n Foro Europeo de Eficiencia Energética, que tubo lugar en octubre de 2008, quedó definido que el Gobierno pretendía asentar las bases para la creación de un mercado de servicios energéticos que proporcionase oportunidades de negocio a las ESEs, dado el potencial de futuro y su capacidad de contribuir al ahorro, el crecimiento i lugares de trabajo y mostró su apoyo decidido para las ESE.

Las líneas de apoyo se desarrollaban a través de instrumentos adecuados que permitan seguridad jurídica, la contratación jurídica, la contratación pública de estas empresas y su financiación.

### 4. Recomendaciones 42/2009 y 43/2009

La Junta Consultiva de Contratación Administrativa publicó el 23 de Julio de 2009 sus recomendaciones 42/2009 y 43/2009 que contienen dos modelos de Contrato para el Sector Público, con la finalidad de poder contratar los Servicios Energéticos con seguridad jurídica en base a dos tipologías contractuales:

Recomendación 42/09: Recoge el modelo de documento descriptivo de Contrato de Colaboración entre el sector público y el sector privado (CCPP) para la prestación de servicios energéticos en edificios públicos.

Recomendación 43/09: Recoge el modelo de pliego de cláusulas administrativas particulares para la prestación de suministro de energía y gestión energética en edificios públicos.

### 5. Real Decreto Ley 6/2010, de 9 de abril, de medidas para el impulso de la recuperación económica y los lugares de trabajo.

El capítulo V, en el ámbito del sector energético, incluye medidas que tienen como objetivo crear las condiciones para impulsar nuevas actividades, muy relevantes para la modernización del sector, como son las empresas de servicios energéticos y el vehículo eléctrico.

Considera que, por su papel dinamizador de la demanda interna i, en definitiva, de la recuperación económica, deben ser aprobadas y puestas en marcha en la mayor brevedad.

El Artículo 19 define el concepto de ESE y se dispone la aprobación de un Programa de Acuerdos Voluntarios con ESEs, que pondrá en marcha el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE.

El objetivo es impulsar el desarrollo de un sector de reciente creación al mismo momento que se avanza en la mejora de la eficiencia energética del país, mejorando las condiciones estructurales de la economía.

En el Artículo 20 se modifican algunos aspectos del marco regulador de contratos con el sector público, para agilizar los procesos de contratación de las empresas de servicios energéticos con las administraciones públicas, como fórmula especialmente efectiva de dinamización del sector y del ahorro energético.

#### 6. Plan 330ESE i 2000ESE

El Plan 330-AGE, publicado en el BOE del 14 de enero de 2010 aprobado el 11/12/09, ha supuesto la base de lanzamiento de la prestación de los servicios energéticos a nivel estatal.

El objetivo es alcanzar un ahorro del 20% en 2016 en 330 centros consumidores de energía de la administración general del estado mediante el establecimiento de contrato de servicios energéticos bajo la modalidad de ESE.

La finalidad de esta actuación es que los edificios públicos dinamicen el mercado de los servicios energéticos, de manera que se incremente la oferta y demanda de este modelo de negocio, dando como resultado una mayor eficiencia energética en el uso final de la energía y asegurando el crecimiento y viabilidad de este mercado, tal como propone la Directiva 2006/32/CE.

El Plan 2000ESE, aprobado por el Consejo de Ministros de 13 de Julio del 2010, busca la extensión del Plan 330-AGE a 2.000 edificios de la Administración del Estado, tanto General, como Autonómica y/o Local, estableciendo las bases para contratar de forma paralela a los términos señalados al Plan 330-AGE.

#### 7. Directiva 31/2010

El principal objetivo es fomentar la eficiencia energética de los edificios situados en la Unión Europea, estableciendo un objetivo ambicioso en el

sentido de que los Edificios ocupados y que sean de propiedad de la Administración (con alguna excepción) sean edificios de consumo de energía casi nulo.

Esto implica que estos edificios deberán tener un nivel de eficiencia energética muy alto, y que la energía que requieran deberá estar cubierta, en la mayor parte, por energía procedente de fuentes renovables.

Así mismo, la Directiva, que se debe de trasponer antes del 9 de julio de 2012 (9 de enero del 2013 para algunos artículos) busca generalizar la obtención de Certificados Energéticos en los Edificios, por la cual cosa, se planea a medio plazo la necesidad de abordar Proyectos Integrales de Gestión Energética en la mayoría de los Edificios de la unió Europea.

#### 8. Ley de economía sostenible 2/2011

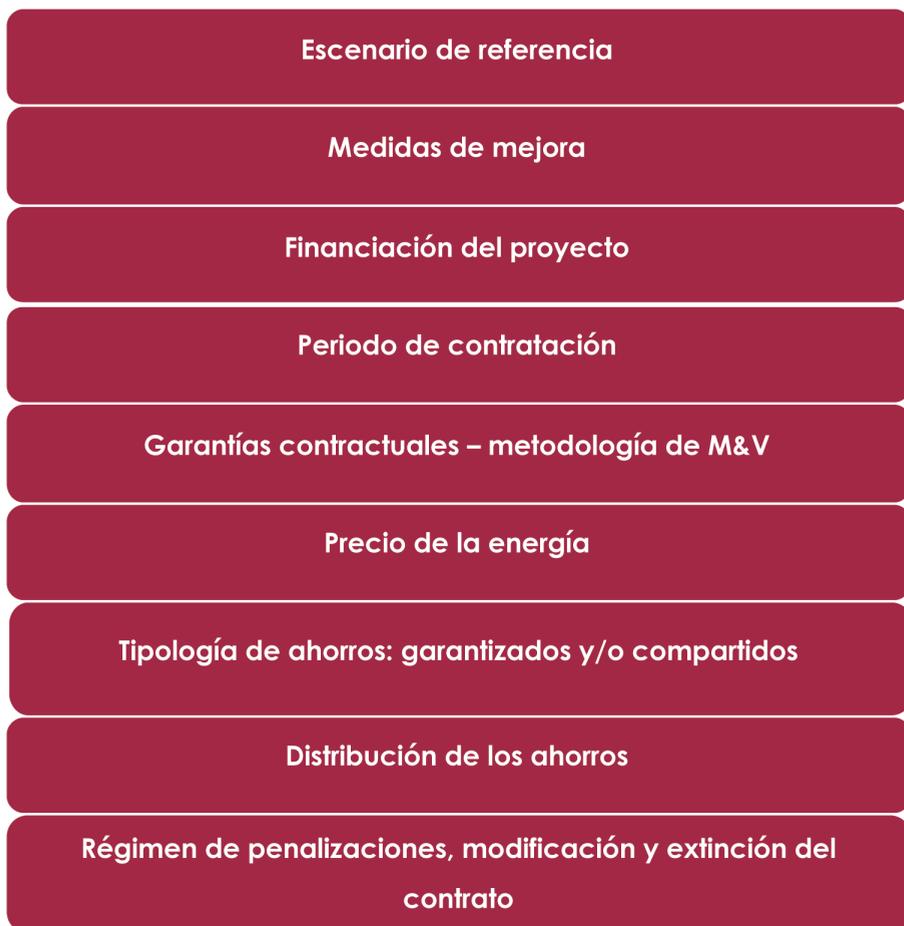
El Consejo de Ministros aprueba el mes de marzo del 2011 un Plan de Intensificación del Ahorro y la Eficiencia Energética en el que se recogen 20 medidas en tres ámbitos: transporte y movilidad, edificación e iluminación y consumo eléctrico, así como una campaña de concienciación a los ciudadanos sobre la importancia del ahorro de energía.

La primera de las medidas en el sector de la edificación es el establecimiento de una línea ICO específica para Empresas de Servicios Energéticos (ESES) para el impulso del Plan 2000ESE para proyectos de ahorro y eficiencia energética en edificios públicos.

### 2.4.2. Modelos de contrato

Un contrato de servicios energéticos no deja de ser una relación entre dos partes en la que se establecen las condiciones que regirán la relación durante el periodo de contratación.

No obstante, dadas las particularidades del mecanismo, existen aspectos que deben incluirse en la relación contractual. En este sentido, debería contemplar:



**Figura 9.** Aspectos clave del modelo de contrato

### 2.4.2.1. Modelo de contrato

No existe ningún modelo de contrato de obligado cumplimiento, pero la administración central, en colaboración con agentes del sector, ha definido modelos que permitan facilitar la implantación de este tipo de mecanismo.

- Modelo de las 5Ps

El modelo de las 4Ps o de las 5Ps ha sido ampliamente desarrollado en Francia en los últimos años. Este modelo es similar al descrito por el IDAE en el Modelo de Contrato de Servicios Energético e Edificio de las Administraciones Públicas.

El modelo se publicó como recomendación 43/09, que recoge el modelo de pliego de cláusulas administrativas particulares para la prestación de suministro de energía y gestión energética en edificios públicos.

Los servicios se basan en la realización de una auditoría previa al establecimiento de las condiciones del contrato. El modelo consiste en la prestación de diferentes prestaciones «Ps» solicitadas por el cliente.

- P1: suministro o gestión de suministro
- P2: mantenimiento
- P3: garantía total, reparación con sustitución de todos los elementos de los equipos.
- P4: obras de mejora y renovación de las instalaciones consumidoras de energía requeridas por el cliente. La ESE repercute la inversión al cliente mediante una facturación fija anual.

Adicionalmente, tal como establece el IDEA, la ESE puede realizar inversiones en mejoras adicionales que le permitan conseguir mayor ahorro económico, financiando las mismas a partir de los ahorros conseguidos. No están incluidas en la cuota anual fijada.

- P5 (adicional): inversiones en ahorro energético y energías renovables.

- **Contrato de colaboración público-privada**

El gobierno publicó en su recomendación 42/09 el modelo de documento descriptivo de Contrato de Colaboración entre el sector público y el sector privado (CCPP) para la prestación de servicios energéticos en edificios públicos.

Esta modalidad de contrato se basa en la adjudicación mediante diálogo competitivo y es la modalidad que, hasta el momento, se asocia a los contratos del Plan 330-AGE i Plan 2000ESE.

La recomendación 42/09 presenta los aspectos clave que un contrato de colaboración entre el sector público y privado debe contemplar.

Así mismo, en el mercado, existen otros modelos de contrato que se están firmando, sobre todo en el mercado privado, y que pueden ser un referente.

- Contrato de Rendimiento Energético - Energy Performance contracting (EPC)

Los servicios que puede suministrar la ESE deben ir vinculados a una mejora de la eficiencia energética cuantificable y/o a un ahorro de energía primaria. Este objetivo se puede formalizar con un Contrato de Rendimiento Energético (EPC: Energy Performance Contracting.)

Es el modelo de contratación más aplicada a nivel internacional, sobre todo en Estados Unidos, Canadá y Alemania.

Es un concepto de negocio desarrollado para reducir los costes operativos totales de las instalaciones, obteniendo un remanente para invertir en otras partidas presupuestarias. Se basa en los futuros ahorros garantizados para hacer frente a la inversión inicial.

Desde el principio del proyecto, la ESE garantiza unos ahorros de energía y, por tanto, económicos, que se utilizarán para amortizar las inversiones de los equipos necesarios para conseguir los ahorros.

El modelo ha sido implantado, mayoritariamente, a medidas de eficiencia energética en todos los usos, tanto en generación como en distribución o puntos finales. También se ha aplicado a tecnologías de gestión y control. No obstante, habitualmente no afectan a la estructura ni piel del edificio.

- Contrato de suministro energético – Energy Supply Contract (ESC)

En este modelo, el servicio energético consiste en el suministro eficiente de energía útil como el calor, el vapor o el aire comprimido y es contratado y medido de acuerdo a los kWh que se suministren.

El modelo de negocio incluye normalmente la compra de combustibles y es comparable a contratos de suministro de redes de calor o de cogeneración.

El alcance de medidas de eficiencia energética se limita, normalmente, a la parte de suministro de energía del edificio, por ejemplo, la sala de calderas. También se puede aplicar al suministro de energía desde fuentes renovables, por ejemplo, la solar.

- Energy Savings Performance Contract (ESPC)

El modelo ESPC es un modelo extendido en USA y asociado al programa de la Federal Energy Management Program (FEMP) del departamento de energía de USA (DOE), para fomentar las medidas de ahorro y eficiencia

energética en instalaciones de la Administración pública de USA → modelo de contrato entre una ESE y una administración pública.

El modelo ESPC es similar al EPC pero especializado con la casuística de la administración pública. En ambos casos, la definición, ejecución y financiación del proyecto los asume la ESE. El cliente paga periódicamente a la ESE para la inversión inicial a partir de los ahorros económicos alcanzados.

## 2.5. Conclusiones

El modelo de garantías de ahorro irrumpe en el mercado cómo respuesta a una demanda, cada vez más concienciada de la necesidad de mejorar energéticamente sus instalaciones, que persigue la externalización de la optimización de sus equipamientos a través de especialistas que le garanticen unos resultados de ahorro.

Es por ellos que, aunque comporte desafíos empresariales que deben salvarse, se presenta cómo una oportunidad para diferentes perfiles empresariales y profesionales,

- consolidando el rol de las empresas especializadas en eficiencia energética
- permitiendo la entrada en el mercado de la eficiencia energética a empresas que eran proveedores de dichos especialistas

Los servicios energéticos siguen siendo un mecanismo novedoso para la demanda que, aunque está interesada en el nuevo modelo de garantía de ahorros, se muestra todavía desconfiada en cuanto a su aplicación.

Es por ello que, el desarrollo de metodologías que aporten credibilidad y transparencia al proceso de cálculo y a la obtención de los ahorros acometidos, facilitará la implantación del nuevo mecanismo.

Finalmente destacar el factor formativo que implica explicar al cliente cómo, porqué y en qué condiciones se están evaluando los ahorros energéticos. Aportando información de qué parámetros son los importantes en cada caso para conseguir los mejores resultados, podemos implicar a los equipos del cliente y obtener un ahorro superior al previsto.



## 3.1. Antecedentes

Es un hecho evidente que la temperatura del globo está aumentando. A finales de este siglo, la Tierra podría haber experimentado un aumento de temperatura de entre 1,4 °C y 5,8 °C. Además, en Europa este aumento se está produciendo más rápidamente que en la mayoría de los países del mundo. Las causas de este preocupante calentamiento son numerosas y se desconoce su efecto total, pero todos coinciden en que las emisiones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> que produce el ser humano son uno de los factores que más contribuyen al cambio climático. Por eso es necesario reducirlas.

El consumo de energía influye, aproximadamente, en un 95 % de las emisiones de dióxido de carbono producidas por el ser humano. Muchos de los productos que utilizamos habitualmente, que consumen electricidad, son grandes productores de dióxido de carbono.

Pongamos como ejemplo el caso del alumbrado público. En la UE se gastan cada año toneladas de energía y se emiten grandes cantidades de dióxido de carbono por culpa de un alumbrado anticuado e ineficiente. Por otro lado, a medida que el nivel de vida va aumentando en Europa, aumenta también la demanda de luz, lo cual supone una gran amenaza para el clima si no se cambia a un sistema de iluminación más eficiente.

Las estadísticas indican que una buena parte de las carreteras y autopistas de Europa siguen siendo alumbradas con la ineficiente tecnología de los años '60 (lámparas de vapor de mercurio). Esta tecnología consume gran cantidad de electricidad y supone un coste enorme, tanto para las autoridades como para los contribuyentes, además de producir cantidades exageradas e innecesarias de dióxido de carbono. Las últimas alternativas energéticamente eficientes, como los LEDs, pueden reducir el consumo de energía hasta en un 80 %. Esto supondría un ahorro de millones de euros en costes de funcionamiento y ayudaría a Europa a dar un paso adelante a la hora de conseguir la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> acordadas en Kyoto.

Europa está tratando de mitigar el cambio climático dando un giro radical a su política medioambiental. Actualmente se están preparando diversas iniciativas nacionales y europeas para reducir las emisiones de dióxido de carbono y para ayudar a la UE a cumplir los objetivos fijados en el protocolo de Kyoto.

La mayor novedad de cara al futuro, es la reciente aprobación, por parte de la Comisión de Energía del Parlamento Europeo, del acuerdo sobre la propuesta de Directiva de Eficiencia Energética de la UE alcanzado por los eurodiputados y el Consejo el 13 de junio de 2012. La Directiva establece medidas comunes para garantizar que la UE avanza hacia su objetivo principal de reducir el uso de energía en un 20% en 2020. Cada Estado miembro establecerá sus propios objetivos y presentará un plan de acción nacional de eficiencia cada tres años, en 2014, 2017 y 2020. La Comisión Europea tendrá que evaluar, en junio de 2014, los progresos realizados.

Hay cada vez más proyectos que tienen como objetivo principal combatir el cambio climático, instando a los europeos a no producir emisiones innecesarias de dióxido de carbono, cambiando para ello sus productos electrónicos con alto consumo de energía - como por ejemplo las lámparas - por las alternativas con alta eficiencia energética.

Paralelamente, de cara facilitar las inversiones en eficiencia energética en España, el Estado viene potenciando en los últimos años la figura de las Empresas de Servicios Energéticos en España, tras la transposición de la Directiva Europea 32/2006 en el RD 6/2010. Prueba de ellos son los Planes 330AGE y 2000ESE. Los proyectos de reforma del alumbrado en modelo ESE se presentan como la mejor alternativa para los próximos años ante la falta de capacidad de las Administraciones Públicas para realizar grandes inversiones debido a la situación económica actual.

### **3.2. Directivas, Códigos, Leyes y Reglamentos sobre la Eficiencia Energética**

Los esfuerzos de la UE para combatir el cambio climático se están centrando, cada vez más, en una mejora de la Eficiencia Energética, que no sólo ofrece ventajas medioambientales para Europa sino también económicas. Dicho de otra manera, el ahorro de energía supone un importante ahorro económico, así como la reducción de CO<sub>2</sub> representa un gran avance para luchar contra el cambio climático. Esto significa que, si se trata de energía para uso público, como en el

caso de la iluminación de carreteras y calles, el ahorro lo notarían también los contribuyentes.

Estos esfuerzos son encauzados a través del desarrollo de una legislación que vela por el cuidado del medioambiente y la eficiencia energética de los materiales e instalaciones. A nivel general de iluminación, cabe destacar:

- \* Directiva EUP de Productos que Consumen Energía.
- \* Directiva RAEE sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos.
- \* Directiva RoHS de Restricción de ciertas Sustancias Peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.

En lo que se refiere únicamente a los proyectos de alumbrado público, hay una serie de normativa específica que es necesario tener en cuenta:

- \* Norma UNE-EN 13201 Iluminación de carreteras. Partes 1, 2, 3 y 4.
- \* Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, publicada en 1999.
- \* Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Complementarias (RD842/2002 de 2 de Agosto).
- \* Publicación CIE nº 88 sobre «Iluminación de túneles y pasos inferiores de carreteras».
- \* Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía Eléctrica.
- \* Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior según REAL DECRETO 1890/2008 publicado el 14 de Noviembre en el BOE num. 279.
- \* Leyes de protección del cielo nocturno de varias CCAA

La aparición del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE) supone sin duda la principal novedad de los últimos años.

A continuación se desarrollan algunas de las Directivas o Reglamentos más destacados de los anteriormente mencionados.

### 3.2.1. Directiva EUP (Energy Using Products) de productos que consumen energía

El alumbrado público supone el 19% de la energía eléctrica que consumimos, por eso la UE lo considera un punto importante en la nueva legislación sobre el «diseño ecológico» de los productos que utilizan energía (la directiva EUP).

El objetivo de la directiva EUP (*Energy Using Products* - Productos que consumen energía) es asegurar que los productos que consumen grandes cantidades de energía se diseñen bajo el criterio de «eficiencia energética» pero sin restarle rendimiento y sin provocar otros impactos medioambientales.

Tras un proceso progresivo de retirada de los productos de iluminación más ineficientes, esta Directiva ha supuesto que a partir del 1 de Septiembre de 2012 no se pueda fabricar ni importar ninguna lámpara incandescente en territorio de la U.E.

### 3.2.2. Real Decreto 208/2005, relativo a la Directiva RAEE sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos

La aplicación de la Directiva europea 2002/96/CE, de 27 de enero de 2003 y la Directiva 2003/108/CE de 8 de diciembre de 2003 mediante el Real Decreto 208/2005 de 25 de Febrero de 2005, tiene como objetivo reducir la cantidad de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y la peligrosidad de sus componentes, fomentar su reutilización y valorización, mejorando así el comportamiento medioambiental de todos los agentes implicados en el ciclo de vida del producto, es decir, desde el productor hasta el propio usuario final.

Los productos de lámparas que se ven afectados en esta Directiva en la categoría 5, aparatos de alumbrado, del Anexo I B son las siguientes:

- ✱ Lámparas fluorescentes rectas.
- ✱ Lámparas fluorescentes compactas.
- ✱ Lámparas de descarga de alta intensidad, incluidas las lámparas de sodio de presión y las lámparas de halogenuros metálicos.
- ✱ Lámparas de sodio de baja presión.

Los productores pueden desarrollar su propio sistema de recogida, reciclado y valorización o realizar este servicio a través de un Sistema Integrado de Gestión (S.I.G.). El coste externalizado de la recogida, reciclado y valorización del residuo histórico es responsabilidad de los fabricantes desde el 13 de agosto de 2005.

### **3.2.3. Directiva RoHS de Restricción de ciertas Sustancias Peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos**

A partir del 1 de julio de 2006 son de aplicación las medidas previstas en la Directiva 2002/95/CE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, también conocida como directiva RoHS (transpuesta a la legislación española mediante el Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero), medidas que tendrán un impacto significativo en las cantidades de sustancias peligrosas emitidas al medio ambiente. Complementa la Directiva RAEE reduciendo las cantidades de materiales potencialmente peligrosos contenidos en productos eléctricos y electrónicos.

Una de las principales consecuencias de la directiva RoHS es la restricción de aquellos productos que no cumplan con las cantidades de sustancias contaminantes que en esta directiva se especifican. Así mismo, reducir los riesgos en la manipulación de los productos en su ciclo de reciclaje.

Se prohibirán las siguientes sustancias en lámparas y equipos:

- Plomo (Pb)
- Mercurio (Hg)
- Cromo hexavalente (Cr VI)
- Cadmio (Cd)
- Bifenilos polibromados (PBB)

La directiva RoHS afecta tanto a las lámparas como a los equipos y, conjuntamente con la directiva RAEE, tendrá un impacto significativo en las cantidades de sustancias peligrosas emitidas al medio ambiente. Hay que tener en cuenta que las lámparas incandescentes y halógenas, a diferencia de la directiva RAEE, sí están incluidas en RoHS.

La normativa sobre el mercurio y el plomo contempla algunas exenciones en iluminación, basadas en los niveles que se utilizan actualmente en el sector. La

razón es que se requiere algo de mercurio para que las lámparas de descarga en gas funcionen eficientemente, así como la ausencia de alternativas técnicas industriales al plomo en determinadas categorías de producto.

### **3.2.4. REEIAE: Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (Real Decreto 1890/2008)**

El Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE), supone un nuevo enfoque en materia de iluminación y constituye una normativa pionera e innovadora en el ámbito de la Unión Europea. Es de obligatorio cumplimiento desde abril 2009, y su objetivo es establecer las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento de instalaciones de alumbrado exterior para:

- \* Mejorar la eficiencia y el ahorro energético (disminución de CO<sub>2</sub>)
- \* Limitar el resplandor luminoso nocturno y reducir la luz intrusa o molesta

El ámbito de aplicación es para todas las instalaciones de más de 1 kw de potencia instalada incluidas en las ITC – BT (09 Exterior, 31 Fuentes y 34 Festivo y Navideño). Concretamente:

- \* En las nuevas instalaciones y sus modificaciones
- \* En las existentes, a consideración de la Administración
- \* En las existentes cuando se modifiquen al menos el 50% de la potencia o 50% de las luminarias instaladas

Con las siguientes excepciones:

- \* Minas, usos militares, regulación de tráfico, balizas, faros, señales marítimas, aeropuertos y otras instalaciones con reglamento específico

*El Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de Agosto, establece las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones en BT, pero en lo que se refiere a las de alumbrado exterior, no se contemplan, entre otros aspectos, los siguientes:*

- \* Los parámetros luminotécnicos y de eficiencia energética.
- \* Las características y prestaciones de sus componentes.

- \* La explotación y mantenimiento de las instalaciones.

Por tanto, El REEIAE completa lo regulado en el REBT, con las siguientes novedades:

- \* Establece requisitos mínimos de eficiencia energética de las instalaciones en función de su aplicación: Vial, Ambiental, Seguridad,... (ITC 01).
- \* Limita los valores máximos de luminancia o iluminancia media en función de su aplicación: Vial, Ornamental, específicos de Glorietas, Parques,... (ITC 02).
- \* Limita los valores de emisiones que producen resplandor luminoso nocturno y establece cuatro zonas diferentes así como limita también la luz intrusa (ITC 03).
- \* Establece las características de los componentes de la instalación tales como la eficacia mínima de las lámparas, preferencia por los proyectores asimétricos, potencia máxima del conjunto lámpara + equipo, obligación de regulación de nivel en la instalación, sistemas de acondicionamiento,... (ITC 04).
- \* Exige una documentación técnica muy completa para los proyectos, así como su verificación posterior una vez terminada la instalación (ITC 05).
- \* Exige también una programación de mantenimiento de acuerdo a los valores adoptados en el proyecto, controlada mediante versiones periódicas (ITC 06).
- \* Establece los métodos de medición de valores luminotécnicos (ITC 07).
- \* Para las instalaciones de más de 5KW se establecerá un sistema que permita reducir el flujo de las lámparas instaladas y de este modo poder conseguir ahorros en la potencia.

### 3.3. Cómo se puede ahorrar energía en instalaciones de alumbrado

Conociendo los requisitos del usuario, es posible decir qué criterios de alumbrado deben ser satisfechos al objeto de que dichos requisitos sean cumplidos. El alumbrado viario contribuirá solamente a la seguridad del tráfico y hará que el flujo del mismo sea fácil, si asegura una fiabilidad visual buena para el usuario. Por fiabilidad visual se entiende la capacidad de un conductor para continuamente elegir y procesar, más o menos subconscientemente, qué parte de la información visual presentada ante él es necesaria para un control seguro de su vehículo.

La información visual importante para los conductores se refiere especialmente a la superficie de la calzada junto a sus inmediatos alrededores y a posibles obstáculos en la misma calzada o junto a ella. La instalación de alumbrado debe proporcionar fiabilidad y comodidad visual. Para ello se deben de considerar parámetros tales como: nivel de iluminación, uniformidad y deslumbramiento perturbador. Además, la instalación de alumbrado puede realizarse, con objeto de proporcionar una buena orientación visual, tanto de día como de noche, dedicando especial atención a la alineación/disposición de las luminarias, de tal forma que éstas indiquen claramente al conductor el trazado de la calzada.

El tipo de instalación de alumbrado que ha de resultar solución óptima en condiciones prácticas no depende sólo de los aspectos cualitativos de la iluminación, como es lógico, sino también de consideraciones económicas y energéticas. Un informe de ingeniería trata de estos dos últimos aspectos de las instalaciones exteriores. Por su parte, el informe presente intenta cubrir el diseño de la iluminación de calzadas desde el punto de vista de la ingeniería luminotécnica.

Los valores de los parámetros fotométricos que determinan la calidad del alumbrado de una calzada obtenida con una instalación particular dependen:

- ✱ del tipo de fuente luminosa utilizado,
- ✱ de la distribución de la intensidad luminosa de las luminarias utilizadas,
- ✱ de las propiedades reflectantes de las superficies de la calzada que se trate,
- ✱ de la geometría y del tipo de distribución.

### 3.3.1. Fase de Proyecto

Cuando se realiza el proyecto de iluminación normalmente se establece un nivel de iluminación inicial superior al nivel en servicio, según los ciclos de mantenimiento, que dependerá de la fuente de luz elegida, de las luminarias así como de la posibilidad de ensuciamiento. Con el tiempo el nivel de iluminación inicial va decayendo debido a la pérdida de flujo de la propia fuente de luz, así como de la suciedad acumulada en luminarias y suelos.

Los ciclos de mantenimiento y limpieza se deben realizar para mantener un nivel de iluminación adecuado y se tendrán que sustituir las lámparas justo antes de alcanzar este nivel mínimo, de este modo aseguraremos que los niveles de iluminación son los adecuados.

Por supuesto se satisfarán otros criterios cualitativos simultáneamente, tales como la reproducción de colores, el color aparente de la luz, el control del deslumbramiento, la simultaneidad con la luz natural, regulación, etc.

### 3.3.1.1. Elección de los componentes de la instalación

Otro de los elementos básicos en la fase de proyecto es el proceso de estudio y elección de los elementos componentes, tales como las fuentes de luz, los equipos eléctricos precisos para el funcionamiento de las fuentes de luz, y las luminarias, que alojan a unas y otros.

Tanto la cantidad como la calidad de la iluminación, son factores decisivos cuando se escoge un sistema de alumbrado.

Sea como sea, cuando se comparan sistemas que son equivalentes en términos luminotécnicos, el análisis de costes hace la elección más sencilla. Al realizar tal análisis se debe calcular no sólo el coste inicial sino también los costes de explotación previstos, entre otras razones, porque los costes de la energía son uno de los factores más importantes del coste global de la instalación.

Para realizar un análisis de costes, se necesitan los siguientes datos:

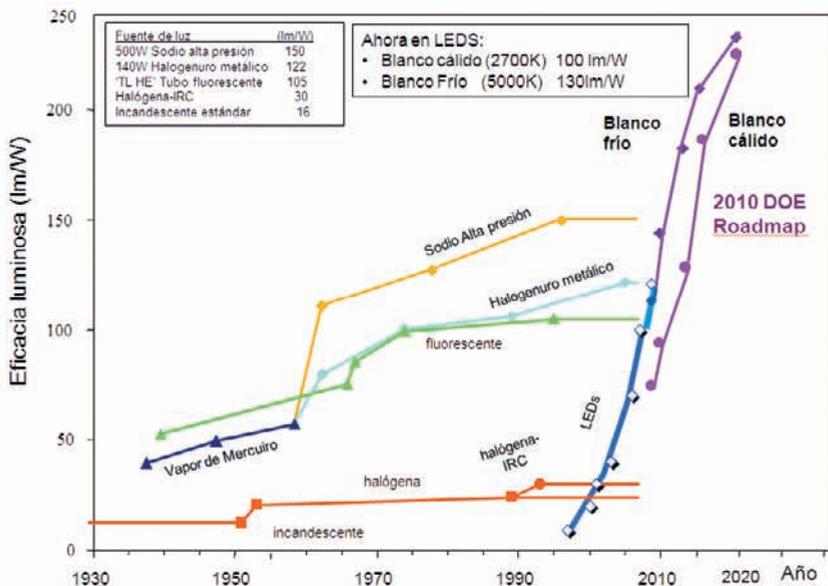
- \* Número y tipo de luminarias/proyectores necesarios.
- \* Precio de la luminaria/proyector.
- \* Número y tipo de lámparas necesarias.
- \* Precio de la lámpara y equipo auxiliar.
- \* Consumo por luminaria/proyector, incluyendo las pérdidas de los equipos.
- \* Tarifas de electricidad.
- \* Vida útil de la lámpara.
- \* Horas de funcionamiento anual de la instalación.
- \* Financiación y amortización.

## A) Fuentes de luz

Además de por sus características cromáticas, tanto de reproducción de colores, como de apariencia de su luz, las fuentes de luz se diferencian sobre todo en términos de eficiencia energética por un parámetro que la define: la **eficacia luminosa**, o cantidad de luz medida en lúmenes dividida por la potencia eléctrica consumida medida en vatios. Nada mejor que una gráfica como la de la Fig. 1 para representar de una forma simple y rápida la diferencia entre las distintas fuentes de luz artificial utilizadas habitualmente en Alumbrado Público.

Durante mucho tiempo, las lámparas de vapor de sodio de alta presión han sido la mejor opción para sustituir a las ineficientes lámparas de vapor de mercurio, debido a su mayor eficacia. . .

Sin embargo, en los últimos años, las lámparas de halogenuros metálicos, y especialmente los LED, se han convertido en las alternativas que mejor aúnan los requerimientos de eficacia lumínica y calidad de luz. Además, los LEDs tienen una ventaja añadida: su larga duración.



**Figura 1.** Cuadro comparativo de la evolución de la eficacia de las fuentes de luz

Para proporcionar una indicación objetiva de las propiedades de rendimiento en color de una fuente luminosa se ha definido el Índice de Rendimiento en Color

(Ra o I.R.C.). El Ra se obtiene como una nota de examen; esta nota es el resultado sobre la comparación de 8 ó 14 colores muestra. Un 100 significa que todos los colores se reproducen perfectamente, y conforme nos vamos alejando de 100, podemos esperar una menor definición sobre todos los colores.

Ra < 60	Pobre
60 < Ra < 80	Bueno
80 < Ra < 90	Muy Bueno
Ra > 90	Excelente

La «apariencia de color» o **Temperatura de color** de una lámpara se refiere al color aparente (cromaticidad) de la luz emitida. La luz blanca puede variar desde tonalidades cálidas a frías en función de las sensaciones psicológicas que nos producen.

Para las aplicaciones generales la Comisión Internacional de Iluminación divide las fuentes de luz en tres clases según su temperatura de color:

Blanco Cálido	Tc < 3300 K
Blanco Neutro	3300 K < Tc < 5300 K
Blanco Frío	Tc > 5300 K

La elección de apariencia de color es una cuestión psicológica, estética y de lo que se considera como natural. En climas cálidos generalmente se prefiere apariencia de color de la luz más fría, mientras que en climas fríos se prefiere una apariencia de color de la luz más cálida.



**Figura 2.** Ejemplos de calles con distintas temperaturas de color

Tecnologías como las lámparas COSMÓPOLIS o los LED, ofrecen soluciones eficientes y ecológicas por su mayor eficiencia energética y sus menores costes de mantenimiento, además de aportar una serie de ventajas relacionadas con la luz blanca:

- ✳ *La luz blanca ofrece mayor seguridad.* Mejora la visibilidad de los objetos y personas situadas en los límites del campo visual. Contribuye así a evitar posibles delitos amparados en la oscuridad.
- ✳ El ojo percibe la luz blanca con más intensidad. Sobre todo en niveles de iluminación bajos. Aumenta además el contraste de colores.
- ✳ La luz blanca anima la vida social. Permite distinguir más claramente objetos y personas, con lo que anima a permanecer en la calle.

La luz blanca sirve como elemento disuasorio contra la violencia callejera y ofrece a los habitantes de las ciudades una sensación de seguridad y bienestar. Como puede verificarse en la Fig. 3, en las fotos las flechas o círculos marcan objetos o lugares claramente visibles en el caso de la CosmoPolis (foto superior) y que se pierden a la visión en el caso del sodio (foto inferior), como puede observarse también en las fotos la potencia por punto de luz se ha reducido de 250W iniciales con Sodio a 140W con CosmoPolis.



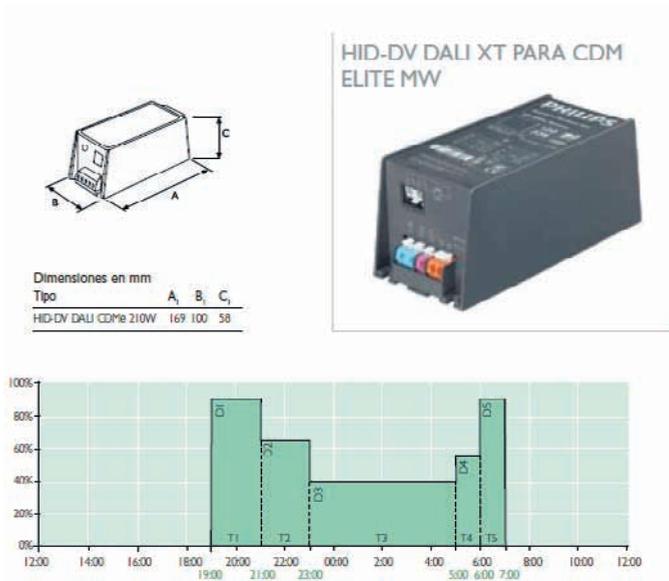
**Figura 3.** Prueba de mayor visibilidad con luz blanca

## B) Balastos

Las lámparas de descarga se utilizan en combinación con diferentes tipos de balastos. Éstos pueden ser *Electrónicos* o *Electromagnéticos*. Bajo la categoría de balastos electromagnéticos se encuentran los de cobre-hierro tradicionales. Estos balastos deben combinarse con arrancadores y habitualmente con condensadores de corrección del factor de potencia.

Los *balastos electrónicos ofrecen numerosas e importantes ventajas* en comparación con los balastos electromagnéticos tradicionales:

- \* En los sistemas equipados con lámparas de sodio de alta presión, se estiman unos ahorros del 13 al 15 % de la potencia a lo largo de toda la vida, puesto que con los equipos electrónicos compensamos el incremento del voltaje de arco de la lámpara.
- \* Ahorros de coste: reducción del consumo de energía en aproximadamente un 25 %, duración de la lámpara considerablemente mayor y reducción notable de los costes de mantenimiento. Especialmente en aquellas instalaciones con mayores fluctuaciones en la tensión de red.
- \* Al confort general de la iluminación, añaden lo siguiente: no produce parpadeos; un interruptor de seguridad automático desconecta el circuito al acabar la vida de la lámpara evitando los intentos de encendido indefinidos. El encendido de la lámpara rápido y fluido está garantizado y se evita el potencialmente peligroso efecto estroboscópico.
- \* Mayor seguridad mediante la detección de sobrecargas de voltaje, una temperatura de funcionamiento significativamente inferior y en la mayoría de los tipos, un control de protección de la tensión de red de entrada.
- \* Más flexibilidad: con los balastos de regulación, las instalaciones pueden regularse en flujo luminoso y potencia, lo que permite el ajuste de los niveles de iluminación de acuerdo a las preferencias personales, además de proporcionar un ahorro adicional de energía. Actualmente, existen también equipos electrónicos compatibles con los reguladores en cabecera.
- \* Las unidades de balastos electrónicos son más ligeras y relativamente sencillas de instalar comparadas con los balastos electromagnéticos y requieren menos cableado y componentes de circuito (no hay ni arrancador ni condensador).



**Figura 4.** Equipo electrónico con curva de regulación de 5 escalones

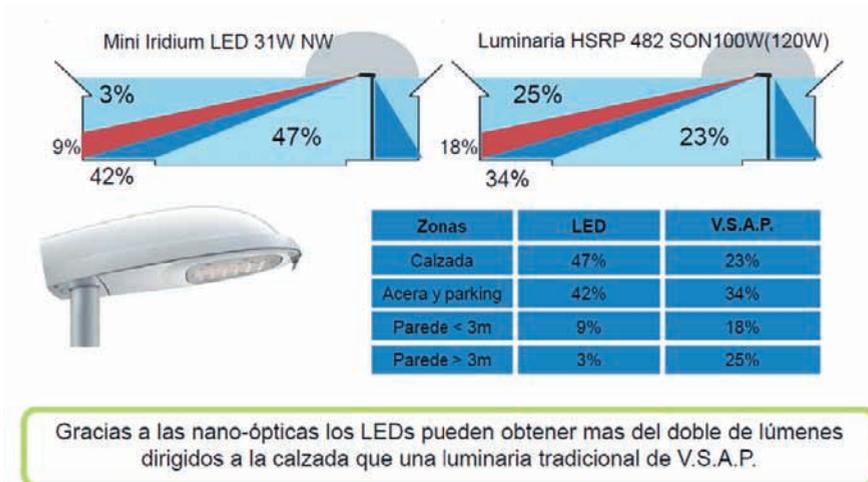
- \* En el caso de los balastos electrónicos para lámparas fluorescentes, el funcionamiento de los balastos electrónicos a alta frecuencia, por encima de 16 kHz, que hace aumentar la eficacia de las lámparas.

Para las fuentes de luz LED, los equipos que realizan estas funciones son dispositivos electrónicos conocidos como *drivers*.

### C) Luminarias

La eficiencia energética de las luminarias está basada en el máximo aprovechamiento del flujo luminoso emitido por la fuente de luz, con un tope del 100 %, pero que en casos muy especiales se aproxima al 90 % como máximo. A esta eficiencia contribuyen de modo muy importante el tamaño físico de la lámpara (cuanto más se aproxima a un foco luminoso puntual mayor será su eficiencia dentro de un sistema óptico).

Las luminarias LED diseñadas con una buena óptica pueden convertirse en las que mejor dirigen la luz hacia la zona que interesa, evitando la contaminación lumínica. Comparemos la forma de dirigir la luz de una luminaria equipada con lámpara de vapor de sodio de alta presión de 100 W con una luminaria Mini Iridium LED de 31W.



**Figura 5.** Luminarias LED: mejor forma de dirigir la luz

Veamos a continuación el resultado real de sustituir la luminaria de VSAP por la Miniiridium LED. Como se puede observar en la Fig. 6, la visibilidad es mucho mejor, a pesar de tener menos iluminancia en calzada, gracias a las ventajas de la luz blanca y a una mayor uniformidad en el reparto de luz.



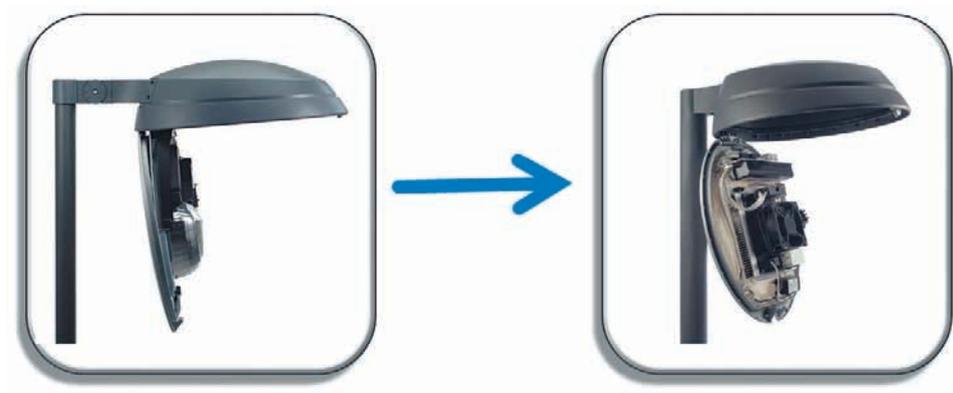
**Figura 6.** Ejemplo de sustitución de luminarias de VSAP por luminarias LED de menor potencia

No obstante, no hay que olvidar que además de estas prestaciones, las luminarias tienen como exigencia la conservación de sus prestaciones el mayor tiempo posible,

ya sea evitando el ensuciamiento interno del sistema óptico, o evitando la degradación de las superficies reflectoras o de las superficies transmisoras o refractoras.

A la hora de elegir una luminaria se deben de considerar factores tales como, la resistencia de la luminaria al paso del tiempo, características antivandálicas, respetuosa con el medio ambiente que al final de su vida se puedan reciclar y reutilizar el máximo número de piezas.

Los costes de mantenimiento se deben tener en cuenta ya que a la hora de elegir luminarias, se pueden elegir luminarias que no requieran ninguna herramienta para instalar o sustituir las lámparas. En la actualidad, existen luminarias duraderas fácilmente actualizables desde sistemas con lámpara de descarga a sistemas con bloques ópticos LED.



**Figura 7.** Luminaria actualizable sin herramientas

### 3.3.1.2. Elección de sistemas de control y regulación

Las soluciones de telegestión constituyen un importante avance en tecnología de iluminación, ya que brindan considerables ventajas y sustanciales ahorros de energía. Cada punto de luz puede conmutarse o regularse individualmente a conveniencia, y la motorización automática facilita información continua sobre el estado de cada lámpara. La racionalización y la drástica simplificación de los procedimientos de mantenimiento reducen los costes operativos globales del sistema.

Hoy los ayuntamientos se enfrentan a una reducción de sus presupuestos, a grandes inversiones en mantenimientos, a una creciente presión para incrementar

la sostenibilidad y a unas tendencias en rápida transformación, como puede ser la implantación de redes inteligentes

Sistemas de telegestión del tipo *Starsense*, permite el encendido y apagado individual de cada punto de luz en cualquier momento, o la regulación a cualquier nivel que la lámpara permita, asegurando la máxima flexibilidad en la instalación de alumbrado. Por ejemplo, una zona puede encontrarse apagada, otra regulada al 90 % e incluso otra al 40 % sin que se requiera ningún tipo de conexión eléctrica especial. Además, es posible programar la instalación para modificar el flujo en función de la hora o de las lecturas recogidas por los sensores climáticos y medidores de tráfico.



**Figura 8.** Sistema de telegestión punto a punto Starsense

Estos sistemas son idóneos para cualquier instalación de alumbrado, exterior, por ejemplo, autopistas, carreteras de circunvalación, autovías, vías urbanas, túneles y sistemas de alumbrado dinámico. Estos sistemas de telegestión son una herramienta muy poderosa que ofrece múltiples posibilidades para ahorrar energía y optimizar el mantenimiento. CityTouch es la primera plataforma de gestión del alumbrado exterior que integra todo el conjunto de estas posibilidades en una interfaz de fácil uso

El avanza de los sistemas de control del alumbrado es tal, que ya existen sistemas de regulación de luz por detección de presencia para alumbrado exterior. Este es el caso de Lumimotion, una solución única que reduce la contaminación lumínica proporcionando luz bajo demanda. Dado que las luminarias solo se encienden cuando es necesario, los ayuntamientos pueden maximizar el ahorro de energía y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> sin comprometer el nivel de seguridad de las calles.



**Figura 9.** Lumimotion: regulación en función de la presencia de personas

### 3.3.2. Ejecución y explotación

Esta fase de la instalación posee una importancia decisiva a la hora de respetar todos aquellos principios que han justificado la decisión de una solución en la fase de proyecto. Para ello, se requiere prestar una atención especial a una serie de circunstancias y datos que se enumeran a continuación.

#### 3.3.2.1. Suministro de energía eléctrica

La comprobación y revisión de la existencia de subtensiones o sobretensiones justifica la toma de medidas eléctricas de la red de suministro, tanto durante la fase de ejecución inicial, como durante la explotación de la instalación, pues

aunque el Reglamento de Verificación admite tolerancias de un más, menos 7 % en las tensiones nominales de alimentación, una sobretensión de un 10 % puede provocar un exceso de consumo energético de hasta un 20 % además del acortamiento muy significativo de la vida de la lámpara y del balasto.

### **3.3.2.2. Cumplimiento de los niveles proyectados**

No deberán tolerarse las deficiencias de los niveles de iluminación proyectados, ni los excesos. Las primeras pueden dar origen a la realización defectuosa de la tarea visual. Los segundos pueden representar consumos excesivos innecesarios, directamente proporcionales a la eficacia luminosa de las lámparas empleadas en la instalación, incumpliendo lo establecido en el REEIAE.

### **3.3.2.3. Respeto de las soluciones y sistemas proyectados**

Hay que respetar al máximo las soluciones de Proyecto, pues aunque la tendencia a equiparar componentes y soluciones esté muy extendida en función de las diferencias de precios de adquisición, que a veces son muy importantes, las consecuencias de una falta de respeto del Proyecto puede dar lugar a pérdidas energéticas como consecuencia de los incumplimientos de los parámetros de calidad, que a veces pueden involucrar incluso la renovación de la instalación en un plazo de tiempo inferior al de su amortización.

### **3.3.2.4. Establecimiento de los encendidos y apagados**

Barajando las posibilidades que se han mencionado en la fase de Proyecto, se trata de comprobar que dichos supuestos se cumplen en la realidad, es decir, que los cálculos de iluminación que fueron así proyectadas soportan una actividad similar a aquella para la que se diseñaron. De acuerdo con ello, utilizando alguno o varios de los sistemas enunciados, se pueden llegar a ahorros energéticos de consumo del orden de hasta un 50 %.

## **3.3.3. Mantenimiento**

No por ser la última fase es la menos importante. El capítulo de mantenimiento es el conjunto de todos aquellos trabajos, programados u ocasionales que sirven para conservar el funcionamiento de la instalación y las prestaciones de la misma dentro de los límites que se consideraron como convenientes en la fase de Proyecto, y que se han tratado de respetar en la fase de Ejecución y Explotación. Así pues, habrá que prestar una exquisita atención a los siguientes métodos operativos.

### 3.3.3.1. Previsión de operaciones programadas

Las tareas de mantenimiento, tales como reposición de lámparas, limpieza de luminarias, revisión de los equipos eléctricos, y resto de componentes de la instalación requiere una organización que, dependiendo de las condiciones de suciedad o limpieza de la zona a iluminar, de la duración de vida de las lámparas y de las solicitudes a que estén sometidas éstas y los equipos, suponga la adopción de una frecuencia de mantenimiento. Cuando estas tareas se realizan de forma general o por zonas, con un *planning* establecido, se denominan operaciones programadas.

Con estas operaciones programadas se pueden llegar a ahorros equivalentes a lo que supondría el coste del 50 % de las operaciones casuales u ocasionales, es decir, cuando se tiene que acudir de prisa y corriendo para reemplazar una lámpara o componente que ha fallado. La forma más eficaz de realizar esta programación, es a través de un sistema de telegestión del alumbrado.

El mantenimiento comprende el reemplazo regular de lámparas y otros componentes con duración limitada, así como el reemplazo temporal de elementos deteriorados o estropeados. Contribuye además a un consumo eficaz de la energía y evita costes innecesarios. Las lámparas deben reemplazarse individualmente o todas al mismo tiempo (reemplazo en grupo).

Aparte de las lámparas que fallen prematuramente, es mucho mejor cambiar la totalidad al mismo tiempo; con ello se evitan grandes diferencias de flujo luminoso entre lámparas nuevas y antiguas.

El reemplazo individual se hace necesario si la contribución del punto de luz en cuestión es indispensable. Se emplea en instalaciones al exterior con pequeña cantidad de lámparas o para alumbrados de emergencia y seguridad.

El mantenimiento de la instalación de alumbrado debe tenerse en cuenta, ya en la etapa de diseño de la misma, debiéndose prevenir con certeza que los proyectores sean fácil y económicamente accesibles para el mantenimiento y cambio de lámparas.

En el exterior es a menudo difícil aproximarse a los postes de alumbrado con equipo móvil, puesto que a veces están cerrados por vallas, o rodeados por árboles y/o arbustos. En consecuencia, es recomendable que los mismos postes dispongan de medios, por ejemplo peldaños, para que los proyectores sean fácilmente accesibles y poder efectuar el necesario mantenimiento.

Cuando se cambian las lámparas, hay que tener cuidado en que los proyectores vayan equipados con el tipo correcto. La instalación eléctrica deberá comprobarse y cualquier elemento desaparecido o estropeado será repuesto de nuevo. Debe verificarse también la correcta alineación de los proyectores.

### **3.3.3.2. Respeto de las frecuencias de reemplazo de los componentes**

Una de las normas más estrictas en el mantenimiento de una instalación es que se respeten las frecuencias marcadas para las operaciones programadas, pues en caso de no cumplirse, pueden llegar a cometerse errores tales como el de que las lámparas se vayan apagando y haya que recurrir a las operaciones de recambio casuales, o que el consumo se mantenga en un máximo para conseguir resultados inferiores a los necesarios.

### **3.3.3.3. Reemplazo llevado a cabo con componentes correctos**

Uno de los problemas más frecuentes que se observa en el mantenimiento es que al realizarse las tareas de reposición, ya sea casual o programada, se sustituyen elementos de un tipo por otros similares pero de diferentes prestaciones. Esto que es tan evidente en el color de luz de las lámparas, y que se aprecia a simple vista, no es tan visible en los componentes del equipo eléctrico, pudiendo reemplazarse elementos por otros que no sean los correctos y den origen a fallos en la instalación. Está claro que el cuidado que se exige en todas estas acciones tiene un rendimiento muy favorable, pues la instalación se comporta adecuadamente a lo largo de toda su vida, consiguiéndose los ahorros para los que fue proyectada.

### **3.3.3.4. Recogida, transporte y reciclaje de los elementos sustituidos**

Las tareas encaminadas a cumplir con la Directiva Europea RAEE permitirán conseguir resultados muy convenientes para la conservación del Medio Ambiente, al tiempo que obligará a los fabricantes a sustituir componentes considerados como peligrosos por otros alternativos.

Como conclusiones de este apartado, se ha pretendido recoger de una forma breve, pero completa, el abanico de posibilidades que pueden barajarse en las instalaciones de alumbrado exterior para conseguir la mayor eficiencia energética.

tica y ahorro de consumo posibles, que evidentemente se traducirá en una menor producción de dióxido de carbono y de otros contaminantes a la atmósfera como consecuencia de la reducción de la producción de energía que se habrá ahorrado.

Por último, resaltar el enorme interés de todos los expertos en iluminación en este país y en el mundo por desarrollar instalaciones cada vez más eficientes energéticamente.

### **3.3.4. Proyecto (Salobre/Valdepeñas). Caso Práctico de ahorro energético**

#### **3.3.4.1. Antecedentes**

Tras ganar un concurso público, Gas Natural Fenosa puso en marcha un programa pionero en España para el ahorro energético del alumbrado exterior en la localidad de Salobre.

El análisis de partida realizado por dicha empresa, indicaba que el 75% de las luminarias del municipio eran ineficientes y utilizaban equipos auxiliares electromagnéticos. Las lámparas (halogenuros metálicos y vapor de sodio de alta presión de 70 y 100 W) y los proyectores existentes en los puentes, consumían una gran cantidad de electricidad sin obtener unos resultados óptimos ya que los niveles de iluminación eran muy bajos. Por otro lado, el mecanismo de regulación aplicado era la supresión de circuitos, lo que provocaba que algunas áreas no dispusieran de alumbrado público a partir de las 00:00h.

#### **3.3.4.2. El desafío**

Lo principal era optimizar los niveles de iluminación obteniendo el alumbrado adecuado en las calles residenciales y una iluminación más representativa en las vías de acceso y plazas del municipio.

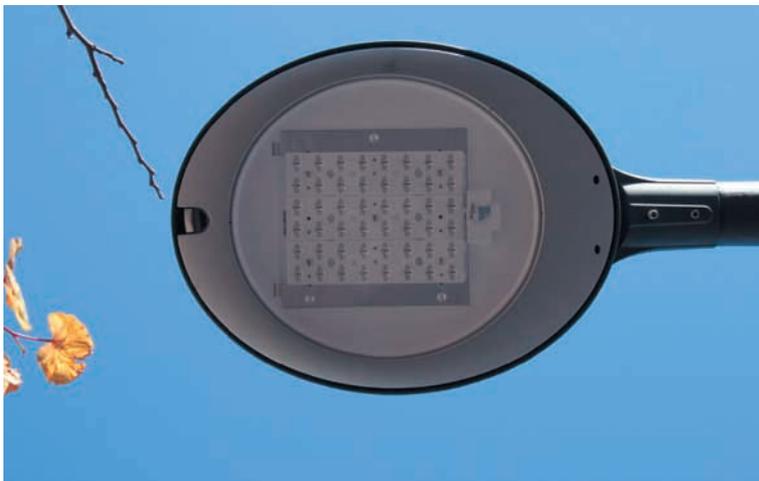
Gas Natural Fenosa propuso un plan en la localidad que mejoraba la intensidad lumínica y la eficiencia energética. Para ello, contó con Philips como partner tecnológico, cuya misión consistía en utilizar lámparas más eficientes y en instalar un sistema de telegestión para maximizar los ahorros de energía y la eficiencia en el mantenimiento.



**Figura 10.** Situación inicial

### 3.3.4.3. La solución

Para desarrollar la solución más adecuada en el municipio, Philips partió del desarrollo de un Plan Director realizado de forma conjunta con Gas Natural Fenosa. En base a éste, la solución que se adoptó fue la renovación y sustitución de todas las luminarias por otras más eficientes. En concreto, se sustituyeron más de 350 puntos de luz por Faroles Villa y Mini Iridium con LEDs de 29 y 41 W para la iluminación de las calles y CitySoul con LEDs de 49 W para el alumbrado viario.



**Figura 11.** Luminaria CitySoul LED

Adicionalmente, para la correcta iluminación de Salobre, fue necesaria necesaria la instalación de nuevos puntos de luz así como la reordenación de algunos de los existentes.

Con el fin de poder controlar punto a punto cada una de las luminarias, se instaló el sistema de telegestión CityTouch, el cual permite la obtención de ahorros adicionales mediante la interacción con el sistema de alumbrado así como de la generación de informes.



**Figura 12.** Situación final

Philips se encargó también de la reforma del sistema de iluminación existente en los puentes del río Salobre. Los antiguos proyectores eran una gran fuente de consumo eléctrico, demandando en conjunto más de 5 kW de potencia. Éstos se sustituyeron por una nueva iluminación formada por nuevos bolardos y proyectores LED que reducían la demanda a 1,2 kW y permitían iluminar la senda del río y crear diferentes escenas de iluminación en los puentes que cruzan el río Salobre.



**Figura 13.** Nueva iluminación en los puentes

#### **3.3.4.4. Las ventajas**

El Sistema de Telegestión City Touch ha permitido analizar y comprobar los ahorros implícitos de la tecnología LED, así como mejorar el control y gestión del alumbrado. Los informes de Gas Natural Fenosa indican que este proyecto ha supuesto un ahorro de al menos un 72% del consumo de energía eléctrica con respecto a la situación previa.

Más allá de las ventajas inmediatas de ahorro que ofrece esta solución al Ayuntamiento de Salobre, Philips ha desarrollado el proyecto completo de alumbrado desde el inicio, proporcionando productos de calidad y asegurando el correcto funcionamiento del conjunto luminaria y sistema de control a través del diseño lumínico y puesta en marcha del mismo.

La función de la Empresa de Servicios Energéticos (ESE) Gas Natural Fenosa, es proporcionar servicios de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones de sus clientes, haciéndose cargo de las inversiones iniciales y basando el cobro de sus servicios en la obtención de ahorros energéticos y de mantenimiento. Por ese motivo, Philips ha ofrecido la extensión de la garantía durante los

diez primeros años que dura el contrato con la ESE, así como la implantación del sistema LEDGINE para una futura sustitución de las placas LED de las luminarias, lo que supondrá un ahorro adicional al utilizar placas de menos consumo y mejores prestaciones.

### 3.3.5. Ejemplo de cálculo del Coste Total de Propiedad.

Se entiende por Coste Total de Propiedad (Total Cost of Ownership – TCO, en inglés), la suma de todos los costes asociados a una instalación: coste de materiales, coste de electricidad y coste de mantenimiento.

El periodo de cálculo que utilizaremos será de 10 años. Es decir, se tiene en cuenta el consumo total de la instalación actual durante 10 años y su gasto energético, así como el gasto en mantenimiento, dividido en material y mano de obra durante estos 10 años y lo comparamos con una propuesta en donde se cambian tanto lámparas como luminarias y se incorporan sistemas de control autónomos que realicen una regulación del alumbrado al 50% de su valor nominal durante las horas nocturnas de menor flujo personas.

En este supuesto partimos de un caso base consistente en una instalación de 60 luminarias tipo Farol Fernandino equipadas con lámparas de Vapor de Mercurio de 250W y equipo convencional.

Ante esta situación, se presentan dos alternativas de renovación del alumbrado que ofrecen mejoras tanto a nivel medioambiental como económico.

#### \* Alternativa 1:

- Incorporar a los faroles existentes una placa de LEDs de 41W
- Se dota a todas las luminarias con sistema de regulación Starsense en las que se aplica la siguiente curva de regulación:
  - 2 primeras horas encendido 100%.
  - 1 hora siguiente regulación al 50% del nivel de luz.
  - 6 horas siguientes regulación al 40% del nivel de luz.
  - 1 hora siguiente regulación al 50% del nivel de luz.
  - 1 h última regulación al 70% del nivel de luz.

✳ **Alternativa 2:**

- Incorporar una óptica y lámpara Cosmopolis de 45W a los faroles existentes.
- Todas las luminarias dotadas con sistema de regulación Starsense en las que se aplica la siguiente curva de regulación:
  - 2 primeras horas encendido al 100% del nivel de luz
  - Las siguientes horas regulada al 60% del nivel de luz

Los datos considerados en el estudio se resumen a continuación:

Horas de encendido al año: 4015

Coste actual del KWh: 0,14€

Inflación general anual de los próximos años: 3%

Inflación anual de la energía en los próximos años: 10%

Precio mano de obra de cambio de lámpara: 9,4€

Precio de mano de obra de instalación luminaria: 18,75€

Tiempo de cálculo: 10 años

A raíz de esto, se puede observar en la siguiente tabla que si no se realiza ningún cambio el coste total para la propiedad durante los 10 años del alumbrado público del municipio supondrá un total de 148.716,99€ teniendo en cuenta la energía consumida, y el gasto en mantenimiento.

Caso Base			
Inversión inicial:	€ 0,00	Nivel de precio 2012	
Potencia total instalada:	16,20	kW	
Potencia instalada/km:	0,00	Watt/km	
Coste Anual de Energía:	€ 9106,02	Nivel de precio 2012	Coste Total de Propiedad para el periodo propuesto: 100 %
Coste Anual de Mantenimiento:	€ 313,20	Nivel de precio 2012	

**Figura 14.** Resultados del caso base

Si se realizara el cambio de instalación según la propuesta de la alternativa 1 adjunta el coste total de propiedad durante los mismos 10 años sería de 61.679,52€, teniendo en cuenta la inversión inicial necesaria para el cambio de instalación, el consumo energético y el gasto en mantenimiento durante los 10 años de estudio. Este cambio supondrá un ahorro económico del 59% en este periodo de tiempo.

El ahorro energético en potencia nominal es de un 85% sobre la potencia total instalada, sin tener en cuenta el ahorro por regulación.

Alternativa 1			
Inversión inicial:	€ 47355,00	<i>Nivel de precio 2012</i>	
Potencia total instalada:	2,48	<i>kW</i>	
Potencia instalada/km:	0,00	<i>Watt/km</i>	
Coste Anual de Energía:	€ 898,79	<i>Nivel de precio 2012</i>	Coste Total de Propiedad para el periodo propuesto:: 41 %
Coste Anual de Mantenimiento:	€ 0,00	<i>Nivel de precio 2012</i>	
Retorno de la inversión:	4,6	años	€ 61679,52

Figura 15. Resultados de la Alternativa 1 (LED)

Si se realizara el cambio de instalación según la propuesta de la alternativa 2 adjunta el coste total de propiedad durante los mismos 10 años sería de 77.551,96€, teniendo en cuenta la inversión inicial necesaria para el cambio de instalación, el consumo energético y el gasto en mantenimiento durante los 10 años de estudio. Este cambio supondrá un ahorro económico del 48% en este periodo de tiempo.

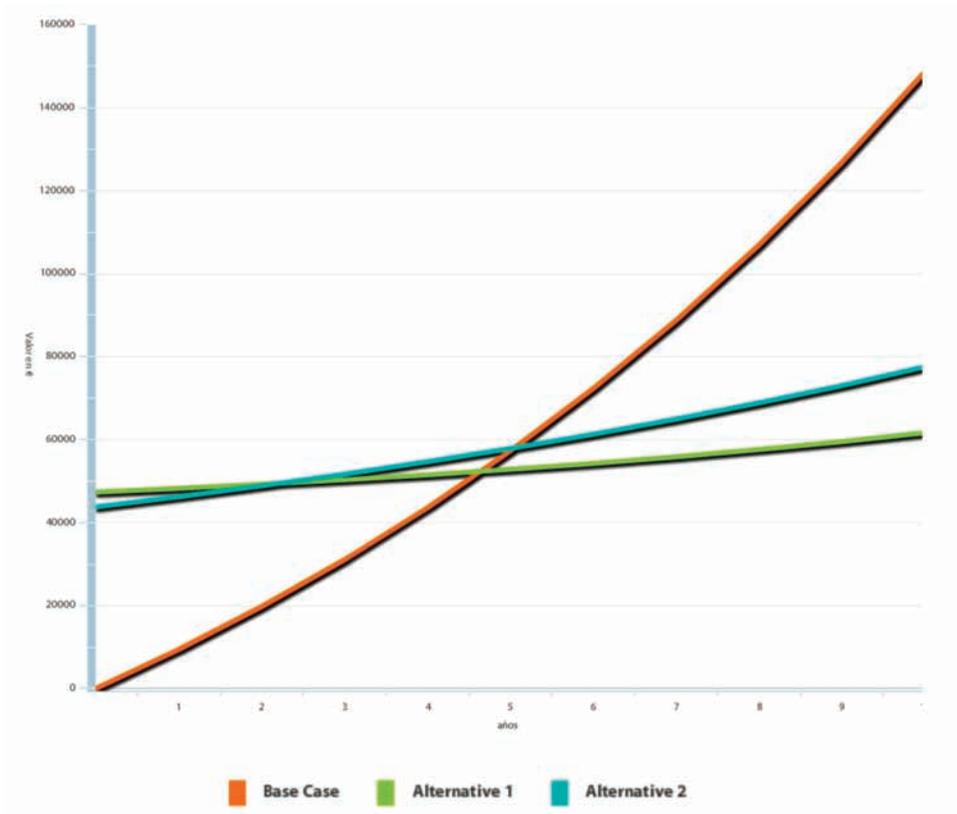
El ahorro energético en potencia nominal es de un 81% sobre la potencia total instalada, sin tener en cuenta el ahorro por regulación.

Alternativa 2			
Inversión inicial:	€ 43815,00	<i>Nivel de precio 2012</i>	
Potencia total instalada:	3,09	<i>kW</i>	
Potencia instalada/km:	0,00	<i>Watt/km</i>	
Coste Anual de Energía:	€ 1215,82	<i>Nivel de precio 2012</i>	Coste Total de Propiedad para el periodo propuesto:: 52 %
Coste Anual de Mantenimiento:	€ 1252,62	<i>Nivel de precio 2012</i>	
Retorno de la inversión:	5,1	años	€ 77551,96

Figura 16. Resultados de la Alternativa 2 (Cosmpolis)

El siguiente gráfico indica los gastos acumulados, por uso de la instalación, durante los 10 años de estudio tanto de la instalación actual (gráfica naranja – caso base) como de la alternativas propuestas (gráfica verde - alternativa 1 y gráfica azul - alternativa 2), teniendo en cuenta en cada uno de los casos la inflación del 10% en el precio de la energía y una inflación general del 3% en la mano de obra de instalación y precio de los productos a reponer.

Del siguiente gráfico podemos extraer que el retorno de la inversión de los 47.355,00€ de la alternativa 1 o los 43.815,00€ de la alternativa 2 se recuperarían en 4,5 y 5 años respectivamente. Es decir, a pesar de suponer una inversión inicial superior, la alternativa LED se amortiza antes y genera unos ahorros totales en los 10 años son mayores que la alternativa Cosmpolis.



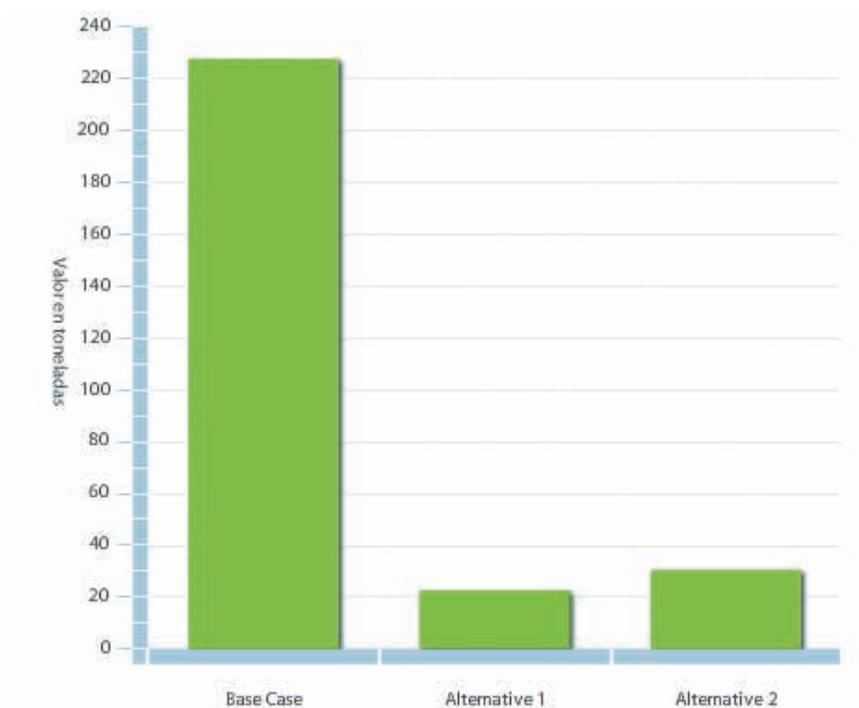
**Figura 17.** Comparación de costes acumulativos

La figura 14 nos proporciona información del reparto del gasto en energía (zona verde), en mantenimiento (zona azul) e inversión inicial (parte naranja de la gráfica) tanto del caso base (instalación actual) como de las alternativas propuestas, destacando el hecho que en caso de la alternativa 1 no tendríamos gastos de mantenimiento durante estos 10 años, debido a la larga vida de los LED.



**Figura 18.** Comparación de costes totales de propiedad

Por último, se muestra el ahorro que se produciría en las emisiones de CO<sub>2</sub> en caso de realizar el cambio a una de las alternativas propuestas.



**Figura 19.** Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>

### 3.4. Bibliografía

- Norma UNE-EN 13201 de «Iluminación de carreteras».
- «Introducción al alumbrado». Philips Ibérica.
- «Manual de Iluminación». Philips Ibérica.
- «Guía de buena práctica para la iluminación de glorietas y travesías. Philips Ibérica.



## 4.1. Introducción

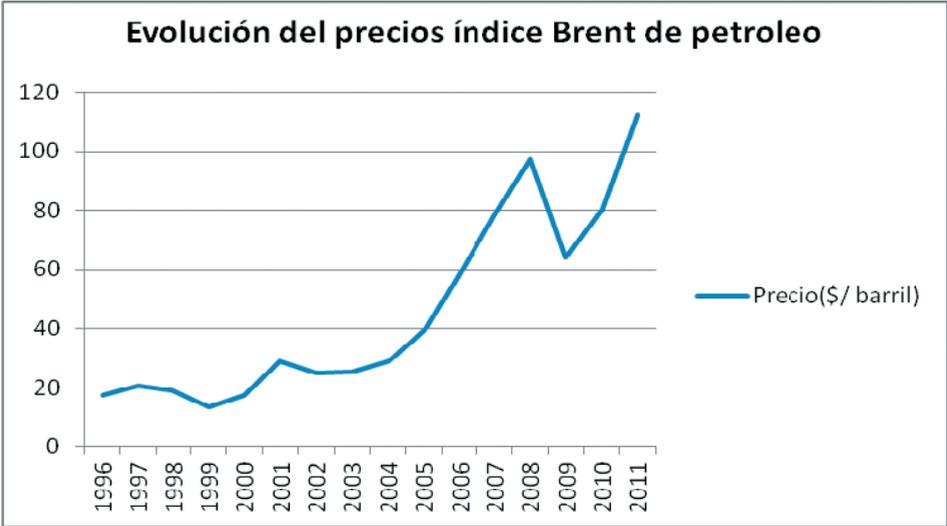
Resulta un tanto paradójico, que en los países desarrollados, se experimente un continuo y descontrolado crecimiento de sus consumos energéticos, aunque todos ellos, tengan presente que la Energía, es un bien escaso y costoso (especialmente la procedente de fuentes limpias y renovables).

Entre los cuatro mayores sectores por su utilización final de la energía: Industria, Terciario, Transporte y Residencial, los sectores Transporte y Terciario son los de mayor desarrollo. En nuestro país, es este último sector el protagonista, especialmente en lo referente a los incrementos de consumos de energía eléctrica, puesto que en las dos últimas décadas, es el que está aportando los mayores índices de crecimiento.

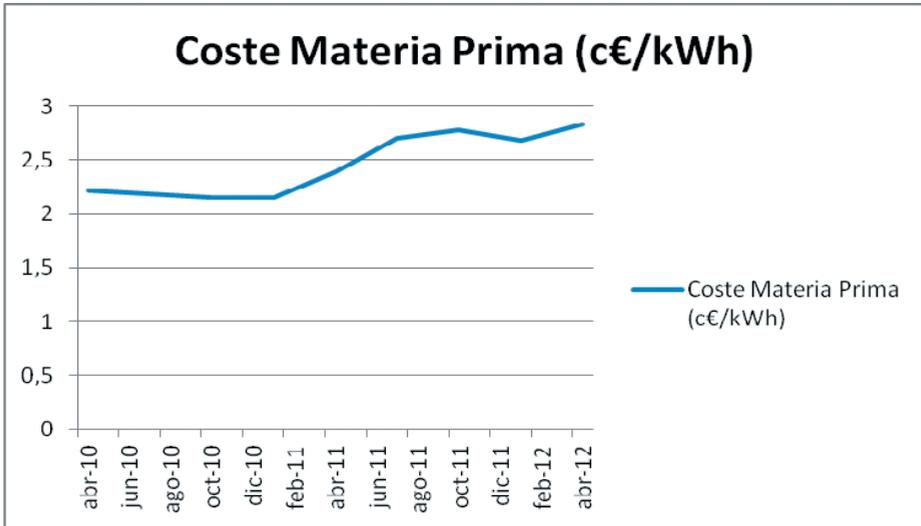
Este rápido desarrollo, viene favorecido por la terciarización de la economía e impulsado por la evolución de los de servicios a las empresas y a los sectores socio-turísticos. Es por ello, que nuestra actual estructura social, motivada por las exigencias de este escenario, está experimentando una relativa expansión hacia el Sector Terciario, que probablemente deberá de continuar potenciándose, en nuestro futuro inmediato.

Estratégicamente, en un periodo de tiempo como el actual, en el que estamos inmersos en un escenario de alarma de crisis energética y económica, es importante que desarrollemos los estudios de adecuados Sistemas de Gestión Energética (GEN), diseñados para implantarse como solución de mejora de eficiencia y ahorro, capaz de minimizar todos estos consumos y sus futuros crecimientos.

La consiguiente presión/acción inversora, motivada por el sumatorio de las diferentes crisis geopolíticas actualmente existentes (Irak, Irán, Nigeria, etc.) nos está conduciendo a un escenario de crisis económica



\* Como referencia podemos observar a evolución del coste de la Materia Prima en el Mercado español de del TUR GAS: el coste de lo materia prima estuvo estable durante el 2010, para luego crecer durante todo el 2011, experimentar un ligero descenso en el primer trimestre del 2012 y luego volver a remontar en el segundo trimestre 2012.



Evolución del TUR GAS

A nivel Microeconómico, los distintos Usuarios, necesitan sensibilizarse lo antes posible con el problema, y deben de prepararse para ser más competitivos y rentables, mejorando la Eficiencia de sus equipamientos y/o consiguiendo Ahorros de Energía.

La Solución Técnica, que deben adoptar para conseguir mejorar sus procesos y costes, implica una adecuada acción de gestión, mejora de procesos, adecuación de las tecnologías empleadas, mejora de los aislamientos y la adecuada determinación del tipo y cantidad de energía.

## POOL ELÉCTRICO ESPAÑOL

✱ Año 2010:

Mercado Diario Total: 37,05 €/MWh

Compras totales en mercado diario: 198.060.549 MWh.

✱ Año 2011

Mercado Diario Total: 49,99€/MWh

Compras totales en mercado diario: 186.823.5486 MWh

✱ Año 2012:

Mercado Diario Total: 48,37 €/MWh

Compras totales en mercado diario (4 primeros meses): 64.200.265 MWh

Como reflexión final, deseo resaltar que:

- Estamos en un momento ideal para apostar por:
- El I+ D + i
- Por Nuevos Desarrollos Energéticos
- El Medio Ambiente y
- La mejora del Bienestar

En estos momentos de fuerte recesión económica y de elevadísimo paro, el País, nuestra Industria y el sector energético en particular necesita, decidido impulso institucional y económico, y programa de trabajo que persiga con persistencia los siguientes objetivos:

- ↓ Reducir la Intensidad Energética de nuestra industria
- ↓ Disminuir la Factura Energética y su dependencia de exterior, mediante:
  - Fomento de energías renovables autóctonas (Biomasa, eólica y solar)
  - Programas Gestión de la Demanda
  - Programas de Ahorro Energético
  - Introducción VE y reducir dependencia combustibles fósiles en el transporte
- ↓ Emisiones de CO2 mediante:
  - Programas de Ahorro Energético
  - ↑△ Generación con energía Eólica y Solar
  - Introducción del VE
- ↑ Apoyo a la Generación Distribuida, con energías renovables
- ↑ Potenciación de las Ingenierías y empresas energéticas del sector Renovables

## 4.2. Objetivos

Esta guía pretende ofrecer una asesoría técnica actualizada, breve y sencilla, relacionada con los Sistemas de Gestión Energética, mejora de la Eficiencia y obtención de Ahorros energéticos y económicos, en las instalaciones destinadas al servicio de Alumbrado Público Exterior. Así como informar sobre las posibles ventajas y beneficios que se pueden conseguir, tanto para el Usuario, como para la Administración, las Empresas suministradoras de energía, el Sistema de regulación y, en general, para la Comunidad.

Como objetivo general de todo Alumbrado Público Exterior es que debemos de dar un servicio de calidad e indispensable por la incidencia que supone la adecuada iluminación en la seguridad de las personas, instalaciones, equipamientos, edificios y vehículos.

Como objetivos directos podemos destacar:

- ✱ Mejora del confort.

- \* Aumento de eficiencia en sistemas y equipos.
- \* Control de puntas de potencia demandada.
- \* Reducción de potencia eléctrica contratada.
- \* Ahorros energéticos (aluminado,  $\cos \phi$ , y reducción de pérdidas).
- \* Menor impacto ambiental (en función de reducir el consumo de energía primaria).
- \* Mayor seguridad de personas y bienes (alarmas de intrusión, contra incendios, inundación y médica).
- \* Control y medida de consumos energéticos totales, por procesos, por zonas y por servicios.
- \* Mejora de la información disponible.
- \* Reducción de costes económicos.

### 4.3. Alcance

El campo de actuación considerado para la designación de Alumbrado Público de exteriores, serán todas las instalaciones de suministro, distribución, cableado y conexionado eléctrico, dispositivos de medida, protección soportes, luminarias, lámparas, accesorios, equipos de control, gestión y regulación, destinados a prestar servicios en el campo del alumbrado de calles, carreteras y túneles de carácter público.

### 4.4. Clasificación por tamaño y potencia eléctrica contratada

Se parte de los datos obtenidos en un estudio de afinidad y características realizado sobre un colectivo de 4.885 instalaciones de Alumbrado Público, situadas todas ellas en la Comunidad Autónoma de Madrid, con un consumo anual total de 184,47 GWh, e inscritas con el código de actividades CNAE número L 75115.

El conjunto de los citados contratos de energía eléctrica, registró una facturación total para el año 2011 de 28.530.090 € (IVA Incluido). Equivalente a alcanzar una facturación media por contrato, por un valor de 5.840 €/año (IVA incluido), lo

cual supone un precio medio de 0,15 c€/kWh (IVA incluido). Sin IVA, nos resultará una facturación media por contrato de 4.949 €/año, lo que supone un precio medio de 0,13 c€/kWh (IVA no incluido). El término de potencia medio del grupo representa el 7,5 % respecto al término de energía.

Por su Tamaño y Potencia eléctrica contratada, se ha procedido a clasificar y agrupar a este sector en los dos siguientes grupos de características afines.

#### 4.4.1. Instalaciones Pequeñas de Alumbrado Público exterior

Se agrupan aquí, un total de 4.016 Instalaciones, cuyos contratos eléctricos son de Potencias menores o iguales a 15 kW.

En este colectivo están el 82,2 % de los contratos de Alumbrado Públicos totales considerados.

El tamaño tipificado de estas instalaciones, corresponde a alumbrados urbanos callejeros, con alimentación en B.T. con salida trifásica a 400 V + Neutro (N) ó con monofásica a 230 V, con contratos en las tarifas de último recurso (TUR) ó de mercado libre según los siguientes porcentajes: 49 % en la 2.0 DHA ( $P_c < 10$  kW); un 27 % en la tarifa 2.1 DHA ( $10 \text{ kW} < P_c < 15$  kW) ; un 15 % en la 2.0A ( $P_c < 10$  kW) y el 9 % en la tarifa 2.1A ( $10 \text{ kW} < P_c < 15$  kW)

Las características y equipamiento típico eléctrico, que suponemos al modelo elegido para realizar el estudio es: Instalación de alumbrado público exterior tamaño pequeña, destinada a iluminación urbana, mediante el empleo de luminarias dotadas lámparas de vapor de sodio de alta presión, dotada de 120 lámparas de 70 W  $\rightarrow P_{IN} = 8.400$  W, con dos salidas, circuitos 3F+N, equipados con protecciones magnetotérmicas + diferenciales unipolares. Si su factor de sobrecarga en el arranque es  $\rightarrow \delta_A = 1,3$ , se precisará contar con una potencia de contrato eléctrico de  $P_{CE} = 11,2$  kW,

No olvidemos que en este grupo, todas las instalaciones tienen contratos eléctricos, en mercado libre o en la tarifa último recurso (TUR), con tarifas en B.T.

El Consumo total de energía eléctrica registrado en este grupo durante el año 2011, fue de 131.592,6 MWh, con una Potencia Eléctrica Contratada media de 11,2 kW y un Consumo medio por instalación de 36.848 kWh/año, equivalente a

un tiempo de utilización de 3.276 h. Esto supone una utilización media diaria de la potencia contratada de  $3.276 \text{ h}/365 \text{ d} = 8 \text{ h } 59 \text{ m}/\text{día}$ .

Registrándose una facturación media, en energía eléctrica por contrato, de un valor de 4,885 €/año (IVA incluido), equivalente a 4.114 €/año (IVA no incluido), lo que supone un precio medio de 0,148 c€/kWh (IVA incluido), equivalente a 0,125 c€/kWh (IVA no incluido). El término de potencia medio del grupo representa el 5,93 % respecto al término de energía.

Por su modo de utilización, curvas de carga, equipamientos y consumo, este grupo se pueden dividir en dos segmentos:

- a) **Pequeñas instalaciones de Alumbrado Público de Exteriores, destinadas a la iluminación de vías urbanas (secundarias) y rurales (terciarias)**, con un horario de funcionamiento medio de 8 h 40' diario, que suponen 3.160 h/año. Abarcan el 99 % del total de usuarios de este grupo, de los cuales, el 63 % se acogen a la tarifa de último recurso, en baja tensión ( $3 \times 400 \text{ V}$  y  $2 \times 230 \text{ V}$ ) contratando tarifas tipo 2.0 DHA y 2.0A ambas con potencias de contrato menores de 10 kW; el 37% de los contratos restantes en mercado liberalizado, en las tarifas tipo: 2.1A y 2.1 DHA, con potencias de contrato en el intervalo  $10 \text{ kW} < P_c < 15 \text{ kW}$ .
- b) **Pequeñas Instalaciones de Alumbrado Público correspondientes a túneles** con horario de funcionamiento las 24 horas, durante los 365 días al año, con excepción de los periodos de mantenimiento. Esto supone, que su carga de trabajo será de 8.760 horas.

Para este tipo de aplicaciones, debido a su alta eficacia luminosa, el diseño de solución más utilizada son instalaciones con lámparas de vapor de sodio de baja presión.

Este tipo de instalaciones, suponen aproximadamente un 0,5 % del total del grupo, normalmente utilizan tarifas de mercado regulado, en baja tensión ( $3 \times 400 \text{ V}$ ) tipo 3.1A, con tarifa con de discriminación de tres periodos.

## 4.4.2. Instalaciones de Alumbrado Público de Exteriores Grandes

En este grupo se encuentran clasificadas todas las instalaciones de alumbrado Público Exterior, cuyas Potencias de Contrato Eléctrico son mayores de 15 kW.

En este colectivo se encuentran agrupadas 869 instalaciones, cifra que abarca el 17,8 % restante del total del colectivo considerado.

El tamaño tipificado de estas instalaciones, corresponde a:

- Alumbrados urbanos de calles anchas y largas y
- Alumbrados de carreteras.

El 8 % de estos contratos están alimentados en A.T., en tensiones de 15 ó 20 kV, en las tarifas del mercado libre en 6.1 y 3.1A y con el 92 % en B.T. alimentados con salidas trifásicas a 400 V + N, con contratos en las tarifas de mercado regulado 3.0A

Las características y equipamientos típicos eléctricos, que suponemos a los modelos elegidos para realizar el estudio son:

- I. Instalación de alumbrado público exterior grande, destinada a iluminación urbana de calles, mediante el empleo de luminarias con lámparas de vapor de sodio de alta presión, dotada de 140 lámparas de 250 W  $\rightarrow P_{IN} = 35.000$  W, con tres salidas, circuitos 3F+N, equipados con protecciones magnetotérmicas + diferenciales unipolares. Si se ha considerado un factor de sobrecarga en el arranque  $\rightarrow \delta_A = 1,3$ , se precisará contar con una potencia de contrato eléctrico de  $\rightarrow P_{CE} = 45$  kW,
- II. Instalación de alumbrado público exterior grande, destinada a iluminación urbana de carreteras, mediante el empleo de lámparas de vapor de sodio de alta presión, dotada de 125 lámparas de 400 W  $\rightarrow P_{IN} = 60.000$  W, con cuatro salidas, circuitos 3F+N, equipados con protecciones magnetotérmicas + diferenciales unipolares. Si se ha considerado un factor de sobrecarga en el arranque  $\rightarrow \delta_A = 1,3$ , se precisará contar con una potencia de contrato eléctrico de  $\rightarrow P_{CE} = 80$  kW,

El Consumo total de energía eléctrica registrado en este grupo durante el año 2011, fue de 52.886 MWh, con una Potencia Eléctrica Contratada media de 45 kW y un Consumo medio por instalación de 60.858 kWh/año, equivalente a un tiempo de utilización de **1.352 h/año**.

Registrándose una facturación media, en energía eléctrica por contrato, de un valor de 10.392 €/año (IVA incluido), equivalente a 8.807,2 c €/kWh (IVA no incluido), lo que supone un precio medio 0,17 c€/kWh (IVA incluido), equivalente a 0,145 c€/kWh (IVA no incluido).

## 4.5. Criterios de diseño utilizados

Para efectuar los diferentes cálculos de los sistemas eléctricos de las diferentes instalaciones modelo, es necesario establecer unos criterios de diseño para el equipamiento energético básico. Para la realización del diseño, se utilizarán los datos de dimensiones, equipamiento y ocupación ya definidos en los apartados 4.4.1 y 4.4.2 para cada tipo de instalación.

En los diseños de aplicaciones para túneles, lo más significativo es que los requisitos visuales del conductor, cambian totalmente en función del periodo considerado (utilización diurna o nocturna), planteando problemas de adaptación al cambio brusco de luminancia.

### 4.5.1. Nivel de iluminación y uniformidad

En caso del alumbrado público de exteriores, se trabaja con bajos niveles de iluminación, numerosas superficies de reflectancias diversas y contrastes negativos de luminancias (el objeto es más oscuro que el fondo). La información visual que recibe un observador se percibe en forma de diferencias de luminancia, por lo que una información de carácter general, cobra especial importancia en este caso particular del alumbrado público. Sin embargo, la complejidad existente en el cálculo de luminancias, ha generalizado como magnitud de referencia el nivel de iluminación.

A título informativo indicaremos los valores del nivel de iluminación y uniformidad extrema (relación entre el nivel mínimo y el máximo) utilizados en la práctica.

Tipo de vía	Nivel de iluminación (lx)	Uniformidad extrema
Primaria (carreteras)	30 ÷ 40	0,4
Secundaria (urbano)	20 ÷ 30	0,3
Terciaria (rural)	10 ÷ 20	0,25

### 4.5.2. Distribución y altura de los puntos de luz

La disposición de los distintos puntos de luz puede ser: axial, biaxial al tresbolillo, biaxial pareada, unilateral, bilateral al tresbolillo, bilateral pareada y doble central.

Si utilizamos como criterio de selección de la disposición de puntos de luz, la relación entre la altura del punto de luz (H) y la anchura de la calzada (A), en función de este valor de H/A, se recomiendan las disposiciones siguientes:

**Relación H/A**

Tipo de disposición	Mínimo	Recomendado
Unilateral	0,85	1
Bilateral al tresbolillo	1/2	2/3
Bilateral pareada	1/3	1/2

La relación de la altura del punto de luz (H) con el flujo luminoso será:

Flujo luminoso(lm)	Altura del punto de luz(m)
3.000 ÷ 9.000	6,5 ÷ 7,5
9.000 ÷ 19.000	7,5 ÷ 9
> 19.000	> 9

### 4.5.3. Color

En el alumbrado de calles y carreteras no existe ningún requisito especial sobre la apariencia de color y el rendimiento de color de la fuentes de luz a utilizar.

### 4.5.4. Lámparas

En consecuencia con el requisito anterior, se pueden utilizar todo tipo de lámparas. Sin embargo, mayoritariamente las nuevas instalaciones se diseñan en un 80 % con lámparas de vapor de sodio de alta presión y el resto principalmente con vapor de mercurio de alta presión. En túneles, por causa de su alta eficacia luminosa, se utilizan frecuentemente las lámparas de vapor de sodio de baja presión.

### 4.5.5. Luminarias

De acuerdo con su distribución fotométrica se emplean mayoritariamente las luminarias de haz recortado.

En cuanto a su construcción, las luminarias más recomendables para calles y carreteras, con presencia importante de tráfico, suelen incorporar:

- ✱ Cuerpo de fundición inyectada de Aluminio.
- ✱ Reflector de Aluminio anodizado.
- ✱ Cierre refractor, con junta de unión resistente a los aumentos de temperatura y estable ante la radiación.
- ✱ Alojamiento del equipo auxiliar, separado del sistema óptico.
- ✱ Índice de protección mínimo IP 54.

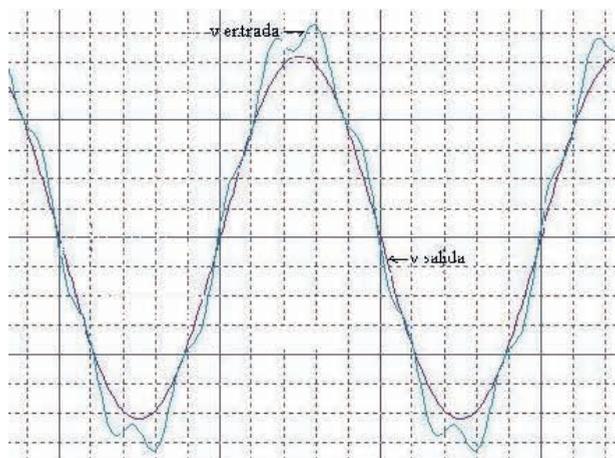
#### 4.5.6. Sistemas de gestión

La adecuación de los niveles de iluminación a las exigencias de la actividad que se desarrolla, se puede gestionar, mediante actuación sobre un sistema de regulación del flujo luminoso o a través del control de encendido de un sistema de circuitos separados, para las distintas situaciones previstas. La regulación del flujo luminoso, para compensar la falta de aportación de luz natural y la flexibilidad del uso de los sistemas existentes, permitirá conseguir importantes ahorros en el consumo de energía eléctrica.

En todos los casos, la gestión es por el GEN (siempre con posibilidad de modo manual), apoyado según los casos por células fotoeléctricas, por interruptores horarios con cuadrante astronómico o por un programador astronómico.

El sistema de Gestión debe permite monitorizar y telegestionar todas las variables eléctricas del sistema de alumbrado, permitiéndonos actuar sobre los controles de los reguladores de flujo, para poder parametrizar los valores de la tensiones de entrada por fase, controlando de forma suave los arranques de encendido regulándole de forma progresiva el nivel de tensión y el flujo luminoso.

El sistema de software particularizado e implementado para cada aplicación y para un equipo master de gestión, deberá permitir gestionar y visualizar centralizadamente toda la operación, desde un punto de mando seleccionado, así como actuar y modificar parámetros de control como el horario de funcionamiento, la intensidad luminosa, el nº de puntos de luz , etc.



## 4.6. Sistema de gestión energética

Las diferentes opciones existentes en el mercado de sistemas de Gestión Energética, aplicables al sector Alumbrado Público, se han diseñado para ordenar, planificar, regular y controlar el modo de operación de los distintos sistemas, procesos y equipos, con el objeto de conseguir aumentar su Eficiencia, lograr una utilización más racional de la energía consumida y disminuir su coste energético. Todo ello, mediante la gestión planificada y optimizada del uso de equipos, procesos y sistemas, así como una programación personalizada a cada instalación, que consiga una adaptación idónea y racionalizada del modo de trabajo del usuario y de su curva de carga, a la tarifa eléctrica contratada. De este modo, podremos reducir las puntas de potencia, permitiéndonos contratar un término de potencia más bajo, minimizando los costes de los consumos finales de energía eléctrica, mejorando la rentabilidad de sus instalaciones y reduciendo su impacto ambiental.

Los sistemas de Gestión Energética están especialmente diseñados para gobernar sistemas periféricos auxiliares, gestionar los sistemas de regulación y de ahorro implantados (reguladores de flujo luminoso, balastos electrónicos, reguladores de factor de potencia, etc.), que nos permiten optimizar el funcionamiento y consumo de los diferentes equipos de las instalaciones de alumbrado del usuario, manteniendo el mismo nivel de servicio.

### 4.6.1. Diseño del sistema de gestión energética (GEN)

Para diseñar correctamente un sistema de Gestión Energética de una instalación, es necesario efectuar un estudio previo, para conocer el lugar de implanta-

ción, tipo y tamaño de instalaciones, equipamientos adoptados, conocer sus procesos, el modo de operación, consumos realizados, tarifas contratadas, facturas energéticas, sistemas de regulación y/o, ahorros ya existentes, etc.

Tras recoger y analizar todos estos datos y valorar la viabilidad de introducir un sistema de Gestión, será preciso, definir y elegir:

- a) Tipo de control a diseñar: centralizado o distribuido.
- b) Nivel jerárquico de actuación: Planta, Sistema, Proceso o Control Directo del subproceso.
- c) Por su función e interacción con el proceso: toma de datos, vigilancia del valor de un parámetro, mando o regulación.

El número de funciones e interacciones con el proceso/sistema, determinará la comunicación y relación con el proceso, que a través del número de señales entradas, nos permitirá conocer el estado del proceso, con las señales de salida podremos actuar sobre él o sobre otros. El número y tipo de actuaciones, nos permitirá conocer las entradas y salidas necesarias, dimensionar el tamaño del control, sus componentes, las características del hardware a utilizar, y definir los sistemas de conexión, periféricos y resto de accesorios necesarios.

Seguidamente, como parte principal del diseño, se debe realizar un proyecto personalizado a cada instalación de la programación del sistema. El sistema de mando y regulación, se apoya en un controlador lógico programable (PLC), constituido fundamentalmente por una unidad de procesos central, una unidad de memorias, bus de conexiones, tarjetas de entrada y salida, consola de programación y fuente de alimentación. La definición de la estrategia de control y gestión de una instalación en particular, se realiza mediante la creación de un fichero de unidades de control, este fichero es un almacén de registros, que contiene la información relativa a su unidad. Cada unidad de control programable cumplirá una misión determinada, específica y diferenciada, pudiéndose interconectar con otras, para formar lazos de control o de información globales.

Entradas señales interconexión →	Nº Unidad de control	→ salidas a otras unidades
Entrada de medidas de sensores →	Tipo de unidad seleccionado	→ salidas a actuadores

El software de Gestión Energética necesario para ejecutar las funciones de planificación, racionalización, control y regulación de los distintos procesos de la

instalación, obligatoriamente debe de ajustarse a la instalación estudiada y al sistema tarifario vigente, teniendo especialmente en cuenta, los condicionantes y particularidades de las diferentes tarifas de energía eléctrica.

Debemos de recordar, que en el Sistema Integrado de Facturación de Energía Eléctricas Español (SIFE), las tarifas son de estructura binomia y están compuestas por un término de facturación de potencia, un término de facturación de energía, el impuesto sobre la electricidad y además en función de la tarifa contratada, se aplicarán los complementos tarifarios. En función de las características del equipamiento del usuario y las condiciones / modo de operación, se procederá a efectuar recargos o descuentos como consecuencia de la discriminación horaria, del factor de potencia, estacionalidad y/o de los incumplimientos cometidos (excesos de potencia).

Una vez que se han definido los objetivos de Gestión de cada proyecto particularizado de una instalación determinada, y cuando sepamos cuáles son las variables que podemos medir, y aquellas que son susceptibles de manipular, podemos diseñar la estructura de regulación y definir cuáles serán los lazos de regulación que deberemos utilizar.

En función del proceso, de la de variable controlada, del tipo de señal de consigna, de la señal de error y de las posibles perturbaciones que actúan sobre el proceso, hay que establecer el tipo más conveniente de lazo de control, que normalmente suelen ser control de cascada, control selectivo, control de realimentación o control override.

## 4.7. Metodología de trabajo

- \* Selección de la Instalación de Alumbrado por tamaño y tipo.
- \* Realización del estudio y asesoría eléctrica.
- \* Propuesta de recomendación de mejoras aplicables.
- \* Sistema de gestión de instalaciones y ahorros previsto.
- \* Implantación de medidas de mejora propuestas.
- \* Medidas de resultados de ahorros obtenidos.
- \* Determinación de la reducción del impacto medioambiental.

## 4.8. Características generales de un sistema de gestión

Sencillez de uso, facilitada por un programa informático adaptado a cada usuario, que permite la gestión coordinada y conjunta de las diversas tecnologías de regulación y control.

- \* Flexible, permitiendo al usuario modificar los parámetros en función de las necesidades que surjan en el tiempo.
- \* Modular, de forma que si se desea modifica o incorpora una nueva aplicación que permite reestructurar el sistema.
- \* Posibilita la interconexión de los equipos y sistemas que realizan las diferentes funciones de los procesos a gestionar.
- \* Visualiza el estado de los elementos consumidores en tiempo real (I, V, P, Q, etc.), ofreciendo información clara, sencilla y sistematizada.
- \* Facilidad y rapidez de instalación (75 días, llave en mano).

## 4.9. Elementos que constituyen el sistema de gestión

Un sistema de gestión energética de instalaciones consta de los elementos siguientes:

- \* Unidad de control y gestión de datos.
- \* Red de conexión de componentes actuados.
- \* Receptores, transmisores y captadores.
- \* Accionadores/actuadores.
- \* Periféricos de comunicación.
- \* Ordenador visualizador.
- \* Software de gestión personalizado a cada instalación.
- \* Control de los sistemas de ahorro implantados.
- \* Reguladores de Flujo luminoso con control Sub-cíclico.



Foto 1. Sistema de gestión.

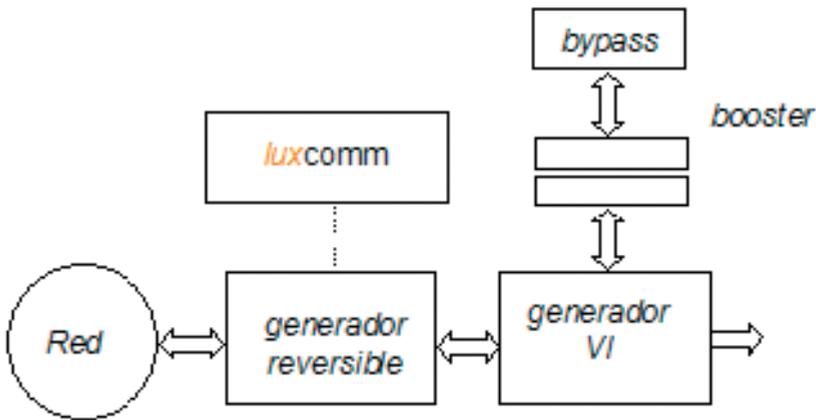


Figura 1. Arquitectura de un Regulador de Flujo Luminoso de elementos electrónicos activos, serie SET-LUX de Zigor.

## 4.10. Ahorros energéticos posibles por tipo de instalación

Vamos a analizar las recomendaciones de ahorro y eficiencia viables y cuantificar el resultado de las posibles acciones en cada tipo de instalación.

(Las tarifas eléctricas empleadas en este estudio, son las oficiales de acuerdo a la Orden de 12 de enero de 1995 y los precios utilizados según B.O.E. 31 - 12 - 04).

## 4.10.1. Instalaciones de Alumbrado Público de exteriores pequeñas

De acuerdo con el proyecto y diseño realizados, el aparellaje montado, el equipamiento y componentes empleados, el modo de trabajo, el calendario de trabajo y el horario de funcionamiento, en este tipo de instalaciones, podremos colocar un equipo Gestor de Energía (GEN), equipado con una central de gestión, de tamaño pequeño, y de un modelo que incorpore un mínimo de seis entradas y seis salidas.

Su función será disponer, ordenar y gestionar información y datos de los procesos de alumbrado vigilados, gestionar sus cargas, realizar una mejora de la eficiencia de las instalaciones, regular el flujo luminoso, optimizar el factor de potencia, controlar las puntas de carga y conseguir ahorros energéticos y económicos.

Actuará únicamente en la gestión, control y regulación de sistemas eléctricos de alumbrado, regulación de flujo, control de factor de potencia y discriminación horaria, estará capacitado para interconectarse / gestionar con los equipos de medida (maxímetro, relojes, contadores de activa y reactiva) y los equipos de regulación / control empleados en los sistemas de control de flujo luminoso.

Recordemos que la totalidad de las instalaciones de este grupo, están contratadas en la tarifas de baja tensión ; 2.0A; 2.0 DHN; 2.1A; 2.1 DHA y 3.0A , con términos de potencia  $\leq 15$  kW, y que para el modelo seleccionado de instalaciones de alumbrado público de exteriores pequeñas, se ha calculado que su Potencia Eléctrica Instalada es PEI = 8.400 W, su factor de sobrecarga en el arranque  $1,3 \div 1,5$  IN y, por tanto, la Potencia Eléctrica de contrato es PEC =  $8,4 \times 1,3 = 10,92$  kW, por lo que contratamos , la potencia eléctrica normalizada más próxima  $\Rightarrow P_{EC} = 11,5$  kW.

Si aplicamos el número medio resultante para este Grupo de horas de utilización, su consumo previsto será:  $W = 8,4 \times 3.276 = 25.518$  kWh/año.

Suponiendo que para el modelo elegido de alumbrado público exterior pequeño, durante el año 2011, se ha contratado en el mercado regulado, la tarifa de baja tensión ( $3 \times 400$  V), tipo 2.0 DHA, entonces de acuerdo con las Tarifas Eléctricas, durante el año 2011, le corresponden en función del contrato realizado los siguientes valores:

- \* Término de potencia  $\rightarrow t_p = 33,768392 \rightarrow \text{€/kW}$  al años.
- \* Término de energía  $\rightarrow t_e \Rightarrow P_1 = 0,161422 \text{ €/kW}$  y  $P_2 = 0,087625 \text{ €/kW}$ .

- \* Un impuesto sobre la electricidad de 4,864 % ( $\sum(P_c + E_w) \times 1,05113$ ), y
- \* El 18 % de IVA, aplicado al total bruto.

Con estos datos y suponiendo un 22% de consumo en horario P1 y un 78 % en P2, su facturación anual será:

- \* Potencia eléctrica contratada  $\rightarrow P_{CE} = 11,5 \text{ kW} \times 33,768392 \text{ €/kW año} = 388,33 \text{ €}$
- \* Energía cons.  $\rightarrow E_w = W_a \times t_E = 25.518 \text{ kW/año} \times (0,22 \times 0,161422 + 0,78 \times 0,087625) \text{ €/kW} = E_w = 2.650,3 \text{ €}$
- \* Impuesto electricidad  $\rightarrow I_E = (388,33 + 2.650,3) \times 4,864/100 \times 1,05113 = 155,35 \text{ €}$
- \* Total factura sin gestor =  $\sum(P_{EC} + E_w + I_E) = 388,33 + 2.650,3 + 155,35 = 3.193,98 \text{ €/año (sin IVA)}$ .

Para este modelo el objetivo del Sistema de Gestión Energético será:

- A) Minimizar el valor de la potencia de contrato eléctrico necesaria y evitar puntas de cargas que produzcan disparos del Interruptor Controlador de Potencia (ICP), cuya misión es limitar los excesos de potencia, y que en caso de sobrecarga dispara y desconectará la instalación. Por ello, será preciso realizar una programación personalizada a cada instalación efectuando una planificación controlada de la puesta en marcha y medida de puntas y consumos de las cargas eléctricas resultante. Con la utilización secuencial de las diferentes ramas y circuitos del conjunto del sistema completo, con la aplicación de los métodos de regulación, conseguimos racionalizar y optimizar, para cada modo de operación, los valores máximos necesarios de las puntas de potencia registradas y bajada de consumo energético, en los distintos procesos que actúan en la instalación de Alumbrado. Se estima, que con la aplicación del gestor energético al control, la regulación de flujo, la reducción consiguiente de pérdidas y la racionalización de la secuencia de entrada de cargas, y con la mejora de eficiencia de los sistemas, se pueda conseguir trabajar en margen de regulación del 20 % de la potencia total, y conseguir una reducción del valor de la potencia contratada, del orden del 10 %. De los estudios estadísticos realizados para este segmento, la facturación del término de potencia, representa un 6 % sobre el total de la factura, porcentaje bajo, ya que en la tarifa considerada para el Alumbrado Público de modelo  $\rightarrow 2.1.DHA \Rightarrow$  tiene un  $t_p = 33,768392 \text{ €/kW año}$ , luego en el caso particular del modelo, existe un ahorro previsto por esta acción  $= 10/100 \times P_c \times 33,768398 = (3,3768398 \times P_c) \text{ €/año}$ , sobre el total del término de potencia. Ahora bien, el correcto funcionamiento del

GEN, nos asegurará de que no tengamos aperturas del pequeño interruptor automático limitador de sobrecargas (PIAS), que en caso se dispare por sobrecarga, dejará la instalación sin alimentación, hasta su reposición.

- B) *Ahorrar energía en el consumo de las lámparas y alargar su periodo de la vida, mediante la gestión y optimización del sistema de alumbrado, regulando el nivel de flujo luminoso en cada zona y controlando los periodos de encendido en función del nivel de iluminación necesario; de acuerdo con el modelo considerado se dispone de una potencia instalada en alumbrado de 8,4 kW, de acuerdo con el tiempo de funcionamiento y los coeficientes de utilización, su consumo estimado total será de 25.518 kWh/año. Se estima, que con la aplicación del gestor energético y la optimización del sistema de iluminación se pueden conseguir reducciones del consumo en alumbrado, del orden del 20 %, sobre el consumo total.*
- C) *Resultados y Viabilidad de la implantación del sistema gestor. De acuerdo con los cálculos y suposiciones realizadas para el modelo, las previsiones de ahorro total son:*

C1) Reducir la potencia del contrato eléctrico ( $\downarrow P_c$ ):

En el caso del modelo, que hemos supuesto, que está contratado en la tarifa de B.T. tipo 2.1 DHA, con  $t_p = 33,768392$  €/kW año; mediante la adecuada utilización del sistema GEN, se podemos conseguir minimizar el valor de la potencia de contrato eléctrico necesaria y evitar puntas de cargas que produzcan disparos del Interruptor Controlador de Potencia (ICP) con lo cual lograremos una tasa de Ahorro, por reducción de Potencia contratada ( $P_c$ ) estimada, que como se ha indicado en el apartado A) de este punto 6.10.1, se deberá trabajar en un margen de regulación del 20 % de la potencia contrata total, y con ello conseguir una reducción del valor de la potencia contratada, del orden del 10 %, luego el ahorro en termino de potencia será  $\Rightarrow$

$$\Delta P_{Ec} = 10/100 \times P_c \times 33,768398 = 3,3768398 \times 11,5 = 38,83 \text{ €/año.}$$

C2) Reducir el consumo total de energía eléctrica en un 20 %  $\rightarrow$

$$\Delta_w = 20/100 \times 25.518 = 5.103 \text{ kWh.}$$

Luego, bajaremos el consumo de Alumbrado a:

$E_w = 25.518 - 5.103 = 20.415$  kWh/año, consiguiendo un ahorro económico en término de energía  $= 5.103 \text{ kWh} \times (0,22 \times 0,161422 + 0,78 \times 0,087625)$  €/kW = 530 €/año; Aplicándole el impuesto eléctrico  $\Rightarrow I_E = (530 + 38,83) \times 4,864/100 \times 1.05113 = 29,08$  €/año

Luego, el Ahorro Económico total será

$$\Delta_w = 38,83 + 530 + 29,08 = 597,91 \text{ €/año.}$$

Con estos datos su nueva facturación eléctrica anual será:

- \* Pot. Contratada  $\Rightarrow P_{EC} = 90/100 \times 11,5 \text{ kW} \times 33,768398 \text{ €/kW año} = 349,50 \text{ €/año}$
- \* Energía  $\Rightarrow E_w = W_a \times t_E = 20.415 \text{ kW/año} \times (0,22 \times 0,161422 + 0,78 \times 0,087625) \text{ €/kW} = E_w = 2.120,2 \text{ €/año}$
- \* Impuesto electricidad  $I_E = (349,5 + 2.120,2) \times 4,864/100 \times 1,05113 = 126,26 \text{ €/año}$
- \* Total factura con gestorador  $= \sum (P_{EC} + E_w + I_E) = 349,5 + 2.120,2 + 126,26 = T_{FG} = 2.595,96 \text{ €/año (sin IVA).}$

Luego el ahorro total conseguido será  $\Rightarrow$  Ahorro total con Gestorador  $\Rightarrow$  Factura total sin Gestorador – factura total con Gestorador =  $3.193,98 - 2.595,96 = 598,02 \text{ €/año (sin IVA)}$ , lo que supone un Ahorro del 18,72 %.

Ahora bien, la instalación de un sistema gestorador requiere efectuar una inversión, realizar una auditoría previa, obtener un listado de recomendaciones con posibles cambios, realizar el proyecto y ejecutar el cambio, que dará lugar a la instalación del equipamiento de gestión, programación, instalación, cableado, puesta en marcha y pruebas. Para el caso, del modelo estudiado de pequeños alumbrados públicos de exteriores, podemos estimar que se precisa de una inversión total de 2.750 € (IVA no incluido).

#### D) Conclusión para Pequeñas Instalaciones

- \* Resumen técnico-económico de la operación:

Optimización Prevista	Ahorro anual	Inversión
18,72 %	598,02 €/año (IVA no incluido)	2.750 € (IVA no incluido)

Luego el periodo de tiempo estimado de amortización será de 4,60 años  $\Rightarrow$  Lo que equivale a 55,2 meses < 5 años).

- \* Para pequeñas instalaciones de alumbrado público existentes, desde el punto de vista de rentabilidad, el proyecto esta en el límite de su viabilidad,

(se rechazan inversiones con periodos de retorno superiores a 5 años), aunque es importante resaltar que la aplicación de un sistema gestor es atractiva por los ahorros conseguidos, y además mejora la información disponible y facilita notablemente la operación y control de las instalaciones.

- \* Ahora bien, en nuevas instalaciones o en proyectos de remodelación, será muy importante tener en cuenta estas medidas de ahorro energético, mejora de la eficiencia y ahorro económico.

## 4.10.2. Instalaciones de Alumbrado Público Exterior Grandes

De acuerdo con el proyecto y diseño realizados, el aparellaje montado, el equipamiento y componentes empleados, el modo de trabajo, el calendario de trabajo y el horario funcionamiento, en este tipo de instalaciones, podremos colocar un equipo Gestor de Energía (GEN), equipado con una central de gestión, de tamaño mediano, y de un modelo que incorpore un mínimo de 12 entradas y 12 salidas (analógicas y digitales).

Su función será disponer, ordenar y gestionar información y datos de los procesos de alumbrado vigilados, gestionar sus cargas, realizar una mejora de la eficiencia de las instalaciones, regular el flujo luminoso, optimizar el factor de potencia, controlar las puntas de carga y conseguir ahorros energéticos y económicos.

Actuará únicamente en la gestión, control y regulación de sistemas eléctricos de alumbrado, regulación de flujo, control de factor de potencia y discriminación horaria, estará capacitado para interconectarse / gestionar con los equipos de medida (maxímetro, relojes, contadores de activa y reactiva) y los equipos de regulación / control empleados en los sistemas de control de flujo luminoso.

Recordemos que todas las instalaciones de este grupo, están contratadas con tarifas de baja tensión B.T. (3 x 400 V), 3.0A, y de alta tensión A.T. (en 15 kV ó 20 kV) en tarifas tipos; 3.1A y 6.1, que sus términos de potencia, deberán ser mayores de 15 kW, y que el Alumbrado Modelo I de este segmento tiene de potencia instalada  $P_{IN} = 37,5$  kW, está contratado en B.T. con una potencia de contrato de  $\Rightarrow P_{CE} = 45$  kW, un factor de potencia de 0,85, y que el Modelo II tiene de potencia instalada  $P_{IN} = 60$  kW, está contratado en A.T. con una potencia de contrato  $\rightarrow P_{CE} = 80$  kW, y su factor de potencia es 0,9.

Si aplicamos el número medio de horas de utilización resultante para este segmento, el consumo previsto para el modelo I será:

$$W_I = P_{CE} \times n^\circ h_{ut} = 45 \text{ kW} \times 1.352 \text{ h/año} = 60.840 \text{ kWh/año.}$$

Y para el modelo II

$$W_{II} = 80 \text{ kW} \times 1.352 \text{ h/año} = 108.160 \text{ kWh/año.}$$

Suponiendo que el Modelo I se contrata en el mercado regulado, en la tarifa de B.T. (3 × 400 V), de aplicación General 3.0A, con DH de tres periodos, durante el año 2011 le corresponderá ser facturado según:

- ★ Su potencia eléctrica contratada ( $P_{CE}$ ) y en función del término de potencia  $\rightarrow t_p$  que corresponde a la tarifa 3.0A, con tres periodos:

$$\text{En periodo P1} \rightarrow t_{p_{P1}} = 13,171455 \text{ €/kW año}$$

$$\text{En periodo P2} \rightarrow t_{p_{P2}} = 7,902873 \text{ €/kW año}$$

$$\text{En periodo P3} \rightarrow t_{p_{P3}} = 5,268582 \text{ €/kW año}$$

- ★ La energía activa consumida (W) y en función del término de energía  $\rightarrow t_E$ :

$$\text{En periodo P1} \rightarrow t_{p_{P1}} = 17,60 \text{ c€/kWh.}$$

$$\text{En periodo P2} \text{ g } t_{p_{P2}} = 13,20 \text{ c€/kWh}$$

$$\text{En periodo P3} \text{ g } t_{p_{P3}} = 7,10 \text{ c€/kWh}$$

El porcentaje de horas de utilización en cada periodo, se ha supuesto del 80 % en P3, el 15% en P2 y un 5% en P1.

- ★ Un complemento de energía reactiva = tr (Qr- 0,33 W), función del factor de corrección kr correspondiente en función del cos  $\varphi$  medido. Para tarifas de BT el factor de energía reactiva «tr» aplicable se determinara de acuerdo con la tabla, para los periodos tarifarios P1 y P2:

Colectivo aplicación	tr en BT (€/kVArh)
$0,90 \leq \cos \varphi < 0,95$	0.041554
$0,85 \leq \cos \varphi < 0,90$	0.041554
$0,80 \leq \cos \varphi < 0,85$	0.041554
$\cos \varphi < 0,80$	0,062332

- \* El impuesto sobre la electricidad  $\rightarrow I_E = 4,864 \% s / \Sigma(PC+EW+tr EQ) \times 1,05113$
- \* El 18 % de IVA, sobre la facturación bruta.

Con estos datos su facturación anual será:

$$P_{CE} = 45 \text{ kW} \times (13,171455 + 7,902873 + 5,268582) \text{ €/kW mes} = 1.185,43 \text{ €/año}$$

$$E_W = W_Q \times t_E = 60.840 \text{ kW/año} \times (0,1760 \times 0,05 + 0,132 \times 0,15 + 0,071 \times 0,8) \text{ €/kW} =$$

$$EW = 5.195,73 \text{ €/año}$$

- \* Complemento de Reactiva =  $\Delta Q_r$

Solo se aplicará a los excesos en los periodos P1 Y P2, que para el modelo hemos supuesto un consumo del 20 % del total. De acuerdo con la tabla anterior, para un  $\cos \varphi = 0,9$  le corresponde un factor de energía reactiva  $\rightarrow tr = 0.041554$  y un  $\sin \varphi = 0,43$

$$\text{Luego} \Rightarrow S = 60.480 / 0,9 = 67.200 \text{ KVA} \rightarrow Q = 67.200 \times 0,43 = 28.896 \text{ kVArh}$$

$$\Delta Q_r = (Q - W \times 0,33) \times T_r (\text{€}) = 20/100 \times (28.896 - 60.840 \times 0,33) \times 0.041554 = 73,30 \text{ €}$$

- \* El Impuesto Eléctrico  $\rightarrow I_E = 4,864 \% s / \Sigma(P_C + E_W + \Delta E_Q) \times 1,05113 = 4,864/100 \times (1.185,43 + 5.195,73 + 73,30) \times 1,05113 = 329,99 \text{ €/año}$
- \* Total Factura sin gestorador =  $\Sigma (P_C + E_W + \Delta E_Q + IE) = 1.185,43 + 5.195,73 + 73,30 + 329,99 = 6.784,45 \text{ €/año (sin IVA)}$ .

Para este Modelo I, el objetivo del sistema de Gestión energético será:

- A) Minimizar el valor de la potencia de contrato eléctrico necesaria y evitar puntas de cargas que produzcan excesos de potencia; para ello, será preciso realizar una programación personalizada de la instalación, efectuando una planificación controlada de la puesta en marcha y medida de puntas y consumos de las cargas eléctricos resultantes. Con la utilización secuencial de las diferentes ramas y circuitos del conjunto del sistema completo, con la aplicación de los métodos de regulación, conseguimos racionalizar y optimizar, para cada modo de operación, los valores máximos necesarios de las puntas de potencia registradas y bajada de consumo energético, en los distintos procesos que actúan en la instalación de Alumbrado.

Se estima, que con la aplicación del gestorador energético al control, la regulación de flujo, la reducción consiguiente de pérdidas y la racionalización

de las secuencia de entrada de cargas, y con la mejora de eficiencia de los sistemas, se pueda conseguir trabajar en margen de regulación del 30 % de la potencia total, y conseguir una reducción del valor de la potencia contratada, del orden del 8 %. En el estudio realizado para el Modelo I de este segmento, la facturación del término de potencia, representa un 17,5 % sobre el total de la factura sin IVA, luego el ahorro previsto por esta acción, en término de valor absoluto, será pequeño, pudiendo el 1,4 % de la factura final, y además, su correcto funcionamiento, nos permitirá no tener excesos de potencia.

- B) Ahorrar energía y alargar la vida de las lámparas, mediante la gestión y optimización del sistema de alumbrado, regulando el nivel de flujo luminoso en cada zona y controlando los periodos de encendido en función del nivel de iluminación necesario, mediante interruptores horarios con cuadrante astronómico o por un programador astronómico. De acuerdo con el Modelo I considerado, se dispone de una potencia instalada en alumbrado de 37,5 kW, de acuerdo con el tiempo de funcionamiento y los coeficientes de utilización, su consumo estimado total será de 60.840 kWh/año. Se estima, que con la aplicación del gestor energético y la optimización del sistema de iluminación se puedan conseguir reducciones del consumo en alumbrado, del orden del 15 %, sobre el consumo total.

- C) Control y mejora del factor de potencia

Para minimizar la factura eléctrica, es importante medir, registrar y controlar el valor del factor de potencia. En el caso del Modelo I estudiado, el factor de potencia de la instalación es  $\cos \varphi = W_a / (W_a^2 + Q_r^2)^{1/2} = 0,9$ , siendo  $W_a$  la cantidad registrada por el contador de energía activa, expresada en kWh y  $Q_r$  la cantidad registrada por el contador de energía reactiva, expresada en kVArh, valor que como hemos calculado representa un factor  $\text{tr} = 0.041554$ , que implica un recargo en la factura eléctrica del 1,1 %, a aplicar sobre la facturación en exceso de energía reactiva de los periodos P1 y P2

En el caso del modelo estudiado, el complemento de energía reactiva será  $\Delta Q_r = 20/100 \times (28.896 - 60.840 \times 0,33) \times 0.041554 = 73,30 \text{ €/año}$ , siendo su correspondiente impuesto eléctrico  $I_e = 73,30 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 3,74 \text{ €}$ ; luego el recargo total por factor de potencia será  $\Delta E_Q = 73,3 + 3,74 = 77,04 \text{ €}$ . Ahora bien, para corregir este bajo valor del  $\cos \varphi$ , es necesario colocar una batería de condensadores (normalmente con control automático), que compense en cada momento la energía reactiva del sistema, pudiendo dimensionarla para que se mejore el valor del  $\cos \varphi$ , hasta alcanzar la zona de bonificación en la tarifa.

En el caso del modelo el valor de  $\sin \varphi = 0,43$  y su consumo total de de reactiva en las horas correspondientes a los de periodos P1 y P2 (20 % del total de

utilización =  $0,2 \times 1.392 = 278,4$  h/año e acuerdo con los cálculos anteriores el consumo de reactiva en estos periodos →

$$Q = S_{P1-P2} \times \text{sen } \varphi = 5.780 \text{ kVArh/año.}$$

Vamos a dimensionar la potencia reactiva (Q) de la batería de condensadores, en función del consumo de reactiva y del periodo de tiempo de funcionamiento → luego  $Q = 5.780/278,4 = 20,76$  kVAR.

Será suficiente con colocar una batería de condensadores en B.T. dotada de 12 botes de 2 kVAR montando una batería de condensadores trifásica, con potencia máxima de 24 kVAR, repartidos en tres ramas de 8 kVAR, con 4 botes en serie por fase.

El equipo se conectará con el gestor GEN para registro de medidas, control y alarma. Con la mejora del factor de potencia de la instalación, además, de optimizar la capacidad de la instalación, se reducen la intensidad máxima y las pérdidas por efecto Joule.

Se estima que con la mejora del factor de potencia, podemos obtener ahorros energéticos del 1% por reducción de pérdidas joule y eliminar el 1,1 % de recargo en facturación existente lo cual representará un ahorro económico directo del 2,1%.

#### D) Gestión de la discriminación horaria (DH)

El gestor energético GEN, en tarifa 3.0A se puede programar para hacerse cargo del control del complemento tarifario por DH, ya que el GEN es un sistema especializado en racionalización de cargas, control de curvas de carga y gestión de la demanda.

El complemento por DH constituirá un recargo o un descuento, en función del periodo tarifario en que se consuma. Mediante un estudio previo y una programación apropiada a cada cliente, a sus necesidades, forma de operar y a los periodos de la tarifa, sí es posible desplazar la curva de carga, desde el periodo punta (con recargo) a los periodos llano (sin recargo) o valle (con descuento), logrando mejorar la curva de demanda carga y obteniendo notables ahorros económicos.

En cada caso particular habrá que realizar un estudio personalizado a cada instalación, modo de operación y posibles horarios de utilización.

#### E) Resultados y Viabilidad de la implantación del sistema gestor (GEN)

E.1. De acuerdo con los cálculos y suposiciones realizadas para el Modelo I, las previsiones de ahorro total son:

a) Reducir la potencia del contrato eléctrico en un 8 %  $\rightarrow 8/100 \times 45 = 4$  kW. Luego, bajaremos la potencia contratada a  $\downarrow P_C = 41$  kW, consiguiendo un ahorro económico del 8 % con la nueva Potencia contratada ( $P_{CE}$ )  $\Rightarrow \downarrow P'_{CE} = 41$  kW  $\times (13,171455+7,902873+5,268582)$  €/kW mes = 1.080,05 €/año. Luego el ahorro obtenido  $\rightarrow \Delta P_{CE} = P_{CE} - P'_{CE} = 1.185,43 - 1.080,05 = 105,38$  €/año. Aplicándole el Impuesto eléctrico,  $I_E = 105,38 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 5,38$  €/año. Luego, el Ahorro resultante en término de potencia será de  $105,38 + 5,38 = \Delta P_{CE} = 110,76$  €/año.

b) Reducir el consumo total anual de energía eléctrica en  $(20 + 1) = 21$  %  $\rightarrow \Delta W = 0,21/100 \times 60.840$  kWh/año = 12.776 kWh/año. Luego, bajaremos el consumo del Alumbrado hasta  $\downarrow W_G = 60.840 - 12.776 = 48.064$  kWh/año, y el ahorro económico en término de energía  $\Rightarrow \Delta E_W = 12.776 \times t_E = 12.776$  kWh/año  $\times (0,1760 \times 0,05 + 0,132 \times 0,15 + 0,071 \times 0,8)$  €/kW = 1.091,10 €/año; aplicándole el impuesto eléctrico se tendrá  $I_E = 1.091,10 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 55,78$  €/año, y el Ahorro económico total en energía será  $\Rightarrow \Delta E_W = 1.091,88 + 55,78 = 1.146,88$  €/año.

c) Ahorro económico por mejora del factor de potencia

Con la instalación y gestión de la batería de condensadores, conseguiremos fácilmente mejorar el  $\cos \phi$  hasta un valor  $> 0,95$ . Esta acción nos permitirá eliminar totalmente el recargo económico del 1,1 %, sobre la facturación básica, causada por el complemento:  $\Delta Q_r = 73,3$  €/año + su impuesto eléctrico

$$I_E = 4,864/100 \times 1,05113 \times 73,30 = 3,74 \text{ €/año};$$

$$\text{Luego } \Rightarrow \Delta Q_r = 73,30 + 3,74 = 77,04 \text{ €/año}$$

Además mejorar un factor de potencia con  $\cos \phi = 0,9$  a un valor al menos de  $\cos \phi = 0,96$ , equivale a disminuir las pérdidas por efecto joule ~ un 13 %,

Con estos datos su nueva facturación eléctrica anual será:

\* Cuota Pot. contratada  $\Rightarrow P'_{CE} = 41$  kW  $\times (13,171455+7,902873+5,268582)$  €/kW mes =  $P'_{CE} = 1.080,05$  €/año

- \* Cuota de energía =  $48.064 \text{ kW/año} \times (0,1760 \times 0,05 + 0,132 \times 0,15 + 0,071 \times 0,8) \text{ €/kW} = W' = 4.104,66 \text{ €}$
- \* Complemento de reactiva  $\Rightarrow \Delta Q_r = 0\text{€}$
- \* El Impuesto Eléctrico  $\Rightarrow I_E = 4,864 \% \text{ s/} \sum (P_c + E_w + \Delta E_Q) \times 1,05113 = 4,864/100 \times (1.080,05 + 4.104,66) \times 1,05113 = 265,07 \text{ €/año}$
- \* Total Factura con Gestorador =  $\sum (P_c + E_w + \Delta E_Q + I_E) = 1.080,05 + 4.104,66 + 265,07 = 5.449,78 \text{ €/año (sin IVA)}$ .

Luego el Ahorro total conseguido con el Gestorador será  $\Rightarrow 6.784,45 - 5.449,78 = \downarrow \Delta_{TG} = 1.334,67 \text{ €/año (sin IVA)}$ , lo que supone un ahorro del 19,67 %.

Ahora bien, la instalación de un sistema gestorador requiere efectuar una inversión, realizar una auditoría previa, obtener un listado de recomendaciones con posible cambios, realizar el proyecto y ejecutar el cambio, que dará lugar a la instalación del equipamiento de gestión, programación, instalación, cableado, puesta en marcha y pruebas. Para el caso, del Modelo I estudiado para los Alumbrados Públicos de Exteriores grandes, podemos estimar que se precisa de una inversión de 545 € (IVA no incluido) para la batería de condensadores y de 4.860 € (IVA no incluido) para el sistema gestorador.

## F) Conclusión para Instalaciones de Alumbrado grandes

Resumen técnico-económico de la operación:

Optimización Prevista	Ahorro anual	Inversión
19,67 %	1.334,67 € (IVA no incluido)	5.335 € (IVA no incluido)

Luego el tiempo estimado de amortización es de 47,9 meses (< 4 años).

La operación es viable, desde el punto de vista de resultados energéticos y de rentabilidad, además es importante resaltar que la introducción de un sistema gestorador es atractiva respecto a los ahorros energéticos conseguidos, la reducción del impacto ambiental y la mejora notable de la operación y control de las instalaciones.

E.2. De acuerdo con los cálculos y suposiciones realizadas para el Modelo II, las previsiones de gestión y ahorro son:

El Modelo II de alumbrado público, se ha supuesto que se ha contratado en el mercado liberalizado, en la tarifa de A.T. (3 × 15 kV) tipo 3.1ª, con tres periodos de DH, y que el factor de potencia registrado es 0,9.

Durante el año 2011, le ha correspondido ser facturado según:

- \* Su potencia contratada ( $P_c$ ) y en función del término de potencia  $\rightarrow tp$ , que corresponde a la tarifa 3.1A, con DH de tres periodos:

En periodo P1  $\rightarrow tp_{p1} = 23,541922 \text{ €/kW año}$

En periodo P2  $\rightarrow tp_{p2} = 14,517671 \text{ €/kW año}$

En periodo P3  $\rightarrow tp_{p3} = 3,329068 \text{ €/kW año}$

- \* La energía activa consumida (W) y en función del término de energía  $\rightarrow tE$  :

En periodo P1  $\rightarrow te_{p1} = 14,15 \text{ c€/kWh.}$

En periodo P2  $\rightarrow te_{p2} = 12,30 \text{ c€/kWh}$

En periodo P3  $\rightarrow te_{p3} = 8,25 \text{ c€/kWh}$

El porcentaje de horas de utilización en cada uno de periodos, suponemos que fue: el 80 % en P3, el 15% en P2 y el 5% restante en P1.

- \* Un complemento de energía reactiva =  $tr (Qr- 0,33 W)$ , función del factor de corrección  $kr$  correspondiente en función del  $\cos \varphi$  medido. Para tarifas de BT el factor de energía reactiva ( $\langle tr \rangle$ ) aplicable se determinara de acuerdo con la tabla, para los periodos tarifarios P1 y P2:

Colectivo aplicación	tr en BT (€/kVArh)
$0,90 \leq \cos \varphi < 0,95$	0.041554
$0,85 \leq \cos \varphi < 0,90$	0.041554
$0,80 \leq \cos \varphi < 0,85$	0.041554
$\cos \varphi < 0,80$	0,062332

- \* El impuesto sobre la electricidad  $\rightarrow I_E = 4,864 \% s / \sum (P_c + E_w + tr_{EQ}) \times 1,05113$
- \* El 18 % de IVA, sobre la facturación bruta.

Con estos datos, corresponde una a facturación anual de:

$$\ast P_{ce} = 80 \text{ kW} \times (23,541922 + 14,517671 + 3,329068) \text{ €/kW mes} = 3.311,09 \text{ €/año}$$

$$\ast E_w = W_a \times t_E = 108.160 \text{ kW/año} \times (0,1415 \times 0,05 + 0,123 \times 0,15 + 0,0825 \times 0,8) \text{ €/kW} = E_w = 9.899,34 \text{ €/año}$$

$$\ast \text{Complemento de Reactiva} = \Delta Q_r$$

Solo se aplicará a los excesos en los periodos P1 Y P2, que para el modelo II hemos supuesto un consumo del 20 % del total. De acuerdo con la tabla anterior, para un  $\cos \varphi = 0,9 \rightarrow$  le corresponde un factor de energía reactiva  $\rightarrow tr = 0.041554$  y un  $\sin \varphi = 0,43$

$$\text{Luego} \Rightarrow S = 108.160/0,9 = 120.177,8 \text{ KVA} \rightarrow Q = 120.177,8 \times 0,43 = 51.676,4 \text{ kVArh}$$

$$\Delta Q_r = (Q - W \times 0,33) \times T_r (\text{€}) = 20/100 \times (51.676,4 - 120.177,8 \times 0,33) \times 0.041554 = 149,75 \text{ €}$$

$$\ast \text{El Impuesto Elect.} \rightarrow I_E = 4,864 \% s / \sum (P_c + E_w + \Delta E_Q) \times 1,05113 = 4,864/100 \times (3.311,09 + 9.899,34 + 149,75) \times 1,05113 = 683,06 \text{ €/año.}$$

$$\ast \text{Total Facturada sin Gestor Energético (GEN)} = \sum (P_{ec} + E_w + \Delta E_Q + I_E) = (3.311,09 + 9.899,34 + 149,75 + 683,06) = 14.043,24 \text{ €/año (sin IVA).}$$

(Observamos, que al haber realizado una selección de tarifa, más adecuada para servicio de alumbrado público exterior, que en el caso del Modelo I, hemos reducido notablemente la facturación por kWh).

Para este Modelo II, correspondiente a grandes instalaciones, el objetivo del sistema de Gestión Energético será:

- A) Minimizar el valor de la potencia de contrato eléctrico necesaria y evitar puntas de cargas que produzcan excesos de potencia, para ello, será preciso realizar una programación personalizada de la instalación, efectuando una planificación controlada de la puesta en marcha y medida de puntas y consumos de las cargas eléctricas resultantes. Con la utilización secuencial de las diferentes ramas y circuitos del conjunto del siste-

ma completo, con la aplicación de los métodos de regulación, conseguimos racionalizar y optimizar, para cada modo de operación, los valores máximos necesarios de las puntas de potencia registradas y bajada de consumo energético, en los distintos procesos que actúan en la instalación de Alumbrado.

Se estima, que con la aplicación del gestor energético al control, la regulación de flujo, la reducción consiguiente de pérdidas y la racionalización de la secuencia de entrada de cargas, y con la mejora de eficiencia de los sistemas, se pueda conseguir trabajar en margen de regulación del 30 % de la potencia total, y conseguir una reducción del valor de la potencia contratada, del orden del 7 %. En el estudio realizado para el Modelo II de este segmento, la facturación del término de potencia, representa un 25 % sobre el total de la factura sin IVA, luego el ahorro previsto por esta acción, puede alcanzar el 1,75 % de la factura final, y además, su correcto funcionamiento, nos permitirá no tener excesos de potencia.

B) Ahorrar energía y alargar la vida de las lámparas, mediante la gestión y optimización del sistema de alumbrado, regulando el nivel de flujo luminoso en cada zona y controlando los periodos de encendido en función del nivel de iluminación necesario, mediante interruptores horarios con cuadrante astronómico o por un programador astronómico. De acuerdo con el Modelo II considerado, se dispone de una potencia instalada en alumbrado de 60 kW, de acuerdo con el tiempo de funcionamiento y los coeficientes de utilización, su consumo estimado total será de 108.160 kWh/año. Se estima, que con la aplicación del gestor energético y la optimización del sistema de iluminación se puedan conseguir reducciones del consumo en alumbrado, del orden del 20 %, sobre el consumo total.

C) Control y mejora del factor de potencia

Para minimizar la factura eléctrica, es importante medir, registrar y controlar el valor del factor de potencia. En el caso del Modelo II estudiado, el factor de potencia de la instalación es  $\cos \varphi = W_a / (W_a^2 + Q_r^2)^{1/2} = 0,9$ , siendo  $W_a$  la cantidad registrada por el contador de energía activa, expresada en kWh y  $Q_r$  la cantidad registrada por el contador de energía reactiva, expresada en kVArh.

Ahora bien, para corregir este valor del factor de potencia y conseguir alcanzar valores no penalizados, con  $\cos \varphi > 0,95$ , es necesario colocar una

adecuada batería de condensadores, que compense en cada momento la energía reactiva del sistema, pudiendo dimensionarla para que se mejore el valor del  $\cos \varphi$ , hasta alcanzar la zona exenta de penalización.

En el caso del modelo II  $\rightarrow \cos \varphi = 0,9$ , luego  $\sin \varphi = 0,43$ ; el consumo de energía activa es  $W_a = 108.160 \text{ kWh/año}$ ; luego el consumo de potencia aparente será  $\rightarrow S = W_a / \cos \varphi = 108.160 / 0,9 = 120.177 \text{ kVAh}$ , luego el consumo de reactiva  $\rightarrow Q_r = S \times \sin \varphi = 120.177 \times 0,43 = 51.676 \text{ kVArh/año}$ .

Esta energía reactiva, se consume mayoritariamente a lo largo de las  $365 \times 10 = 3.650 \text{ h/año}$  de funcionamiento en servicio de la instalación.

Vamos a tratar de dimensionar la potencia reactiva (Q), que deberá de disponer la batería de condensadores, en función de este periodo de funcionamiento  $\Rightarrow Q = 51.676/3.650 = 14,15 \text{ kVAr}$ .

Será suficiente con colocar una batería de condensadores en B.T. dotada de 15 botes de 1 kVAr montando una batería de condensadores trifásica, con potencia máxima de 15 kVAr, repartidos en tres ramas de 5 kVAr, con 5 botes en serie por fase.

El equipo se conectará con el gestor GEN, para registro de medidas, control y alarmas. Con la mejora del factor de potencia de la instalación, además, de optimizar la capacidad de la instalación, se reducirán la intensidad máxima y las pérdidas por efecto Joule.

Se estima que con la mejora del factor de potencia, podemos obtener ahorros energéticos del 1 % por reducción de pérdidas.

#### D) Gestión de la discriminación horaria (DH)

El Gestor energético GEN, se puede programar para desplazar cargas y servicios no esenciales del periodo tarifario P1 de mayor coste y al periodo P2 de coste intermedio y/o especialmente al periodo P3 de bajo coste, ya que el GEN es un sistema especializado en racionalización de cargas, control de curvas de carga y gestión de la demanda. En caso de Gestión de alumbrados públicos exteriores, las cargas deben de producirse en función del grado luminosidad exterior, luego no hay posibilidad de desplazar cargas a un horario más económico.

Otra posibilidad, de conseguir ahorros importantes con la DH, es contratar tarifas con DH en seis periodos (Interesante en servicios de alumbrado de zonas de túneles, con 8.760 horas de funcionamiento al año), pero pre-

viamente se deben de unificar contratos, ya que se precisaría alcanzar al menos los 451 kW de potencia contratada en el periodo P6, para cumplir las normas administrativas que permiten contratar este tipo de DH.

#### E) Resultados y Viabilidad de implantar el sistema Gestionador (GEN)

De acuerdo con los cálculos y suposiciones realizadas para el Modelo II, las previsiones de ahorro total son:

Reducir la potencia de contrato eléctrico en un 7 % →

↓  $\Delta P_{CE} = 7/100 \times 80 = 5,6$  kW. Luego, adoptamos bajar, 5 kW la potencia contratada existente, en los tres periodos tarifarios, dejándola en  $\rightarrow P_{EC} = 75$  kW, consiguiendo un ahorro económico de  $\rightarrow \Delta e_c = 5 \text{ kW} \times (23,541922 + 14,517671 + 3,329068) \text{ €/kW año} = 206,94 \text{ €/año}$ .

Aplicándole el Impuesto eléctrico  $I_e = 206,94 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 10,58 \text{ €/año}$ ; Luego, el Ahorro resultante en término de potencia será →

↓  $\Delta ec = 206,94 + 10,58 = 217,52 \text{ €/año}$ .

Reducir el consumo total anual de energía eléctrica en  $20 + 1 = 21 \%$  ⇒ ↓  
 $\Delta W = 21/100 \times 108.160 \text{ kWh/año} = 22.713,66 \text{ kWh/año}$ .

Luego, bajaremos el consumo del Alumbrado, hasta:

$W_o (G) = 108.160 - 22.125,6 = 83.234,4 \text{ kWh/año}$ , y ↓ el ahorro económico en energía  $= 22.125,6 \times (0,1415 \times 0,05 + 0,123 \times 0,15 + 0,0825 \times 0,8) \text{ €/kW} = 2.025,04 \text{ €/año}$ , aplicándole el impuesto  $\rightarrow I_e = 2025,04 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 103,53 \text{ €/año}$ , y el Ahorro económico total en energía será  $= 2025,04 + 103,04 = 2.128,57 \text{ €/año}$ .

Ahorro económico por mejora del factor de potencia.

Con la instalación y gestión de la batería de condensadores (BB.CC), con módulos con regulación automática, conseguiremos fácilmente mejorar el  $\cos \varphi = 0,9$  hasta un valor  $> 0,95$ . Esta acción nos permite conseguir eliminar la penalización aplicable por complemento de potencia debido a bajo valor del factor de potencia.

El nuevo cálculo será con el GEN y la BB.CC en servicio, asegurándonos de que durante los periodos tarifarios P1 y P2, trabajamos con consumos

de energía reactiva inferiores al límite, lo cual conseguirá se logrará con la adecuada actuación del control del automatismo de la BB.CC, que nos permitirá alcanzar valores del  $\cos \varphi > 0,95$ . De esta forma se conseguirá disminuir el factor  $\rightarrow tr$  a cero, con lo cual el valor de la facturación por el complemento de energía reactiva se anulara  $\Rightarrow \Delta \downarrow tr \times Q_r = 0 \text{ €}$

Luego, el Ahorro total conseguido en mejorar el  $\cos \varphi$  será de de 149,75 €/año; si incluimos el impuesto eléctrico  $\rightarrow I_E = 149,75 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 7,65 \text{ €/año}$ ; Luego el Ahorro total por eliminación del complemento de reactiva, será:

$$\Delta_T Q_r = 149,75 + 7,65 = 157,40 \text{ €/año}$$

Con estos datos su nueva facturación eléctrica anual será:

\* Pot. Eléctrica contratada  $P'_{CE} = 75 \text{ kW} \times (23,541922 + 14,517671 + 3,329068) \text{ €/kW año} = P'_{CE} = 3.104,14 \text{ €/año}$ .

\* Energía consumida:

$$W_Q = 83.234,4 \text{ kW/año} \times (0,1415 \times 0,05 + 0,123 \times 0,15 + 0,0825 \times 0,8) \text{ €/kW} = 7.618,02 \text{ €/año}$$

\* El complemento por consumo de reactiva energía reactiva, será  $\rightarrow \Delta_T Q_r = 0 \text{ €}$

\* El Impuesto Elect.  $I_E = 4,864 \% s / \sum (P_c + E_w + c E_Q) \times 1,05113 = I_E = 4,864/100 \times (3.104,14 + 7.618,02 + 0) \times 1,05113 = 548,18 \text{ €/año}$ .

\* Total Factura con Gestorador Energético (GEN)  $= \sum (P_c + E_w + c E_Q + I_E) = (3.104,14 + 7.618,02 + 548,18) = 11.270,34 \text{ €/año (sin IVA)}$ .

El Ahorro total conseguido por instalar el GEN será:  $14.043,24 - 11.270,34 = \rightarrow$

El Ahorro total con Gestorador = 2.772,90 €/año (sin IVA), supone un 19,75 %.

Ahora bien, la instalación de un sistema Gestorador Energético (GEN), requiere efectuar una inversión, realizar una auditoría previa, obtener un listado de recomendaciones con posible cambios, realizar el proyecto y ejecutar el cambio, que dará lugar a la instalación del equipamiento de gestión, programación, instalación, cableado, puesta en marcha y pruebas. Para el caso, del Modelo II estudiado para los Alumbrados Públicos de Exteriores grandes, podemos estimar que se precisa de

una inversión 660 € (IVA no incluido) para colocar la batería de condensadores (BB. CC) y de 4.850 € (IVA no incluido) para instalar el sistema Gestor (GEN).

F) Conclusión para Instalaciones modelo II (carreteras) de Alumbrado Público de exteriores grandes:

\* Resumen técnico-económico de la operación:

Optimización Prevista	Ahorro anual	Inversión
19,75%	2.772,9 € (IVA no incluido)	5.510 € (IVA no incluido)

Luego, el tiempo estimado de amortización es de 23,8 meses (< 2 años).

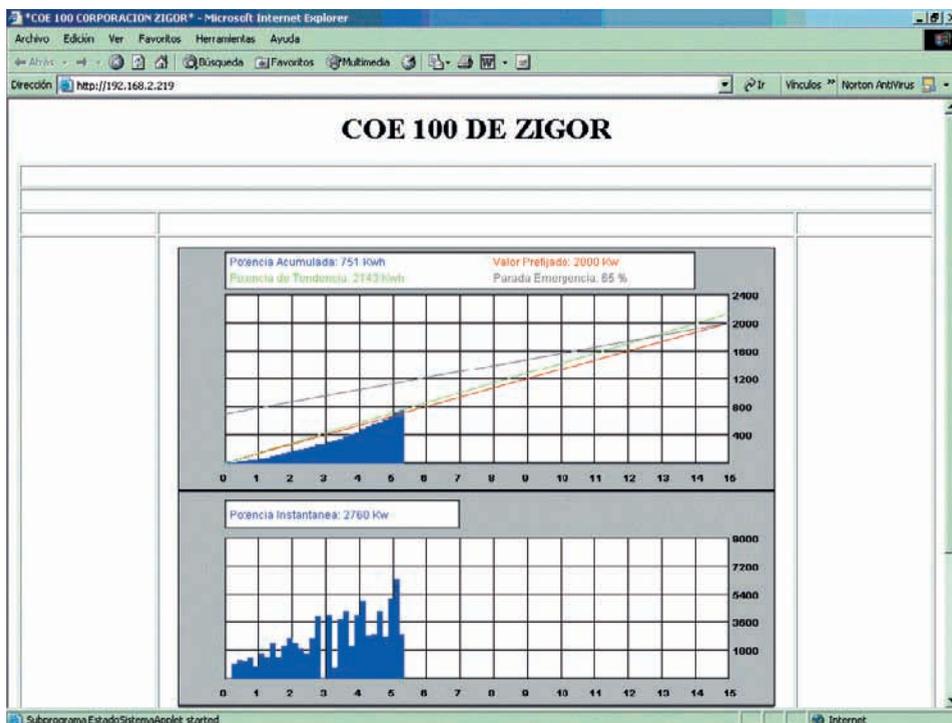
\* La operación es claramente viable, desde el punto de vista de resultados energéticos y de rentabilidad; además es importante resaltar que la introducción de un sistema Gestor Energético (GEN), es atractiva respecto a los ahorros energéticos conseguidos, la reducción del impacto ambiental y la mejora notable de la operación y control de las instalaciones.

## 4.11. Ejecución de las soluciones aplicables

Constituye la fase de implantación de las instalaciones eficientes y de las medidas de ahorro recomendadas, y en ella se realizan trabajos de:

- \* Ingeniería para la elaboración de cada proyecto y la supervisión de su adecuado montaje.
- \* Contratación del suministro de equipos, componentes y servicios.
- \* Solicitud de permisos de obra y de eventuales ayudas externas.
- \* Construcción, puesta en marcha y apoyo inicial para su operación y manejo.
- \* Control del funcionamiento, seguimiento de resultados y, cuando se solicite, soporte en su mantenimiento. El gestor facilita la visualización de gráficos que permiten realizar labores de control, seguimiento y recogida de datos, que facilitan la gestión del mantenimiento preventivo, como son

el diagrama de tendencias, el diagrama de barras, el protocolo diario, el gráfico indicador de seguimiento y el resumen mensual de actuaciones; como ejemplo podemos ver las gráfica siguiente donde se visualiza el diagrama de tendencia en forma de diagrama de barras y la Curva de grupos de carga, con grupos de carga conectados.



## 4.12. Ventajas para el usuario

La implantación de una Solución de Gestión y mejora de Eficiencia, con control de flujo luminoso para ahorro energético, aportan al usuario las siguientes importantes ventajas, que justifican su implantación:

- ✳ Aumento de la productividad por garantía, flexibilidad y seguridad de suministro, y actualización de equipos y sistemas de gestión.
- ✳ Máximo cuidado y vida de las lámparas y de la instalación.
- ✳ Mejora de la distorsión armónica y del factor de potencia.

- \* Eliminación de armónicos del neutro.
- \* Protección activa de sobretensiones.
- \* Telegestión y control total de las instalaciones.
- \* Reducción de la componente de energía eléctrica en los costes operativos.
- \* Superior calidad del producto o servicio.
- \* Optimización de resultados en los procesos productivos.
- \* Mejora ambiental derivada del aprovechamiento e idoneidad de la energía utilizada, y cuyos beneficios aparecen como una imagen más atractiva y mayor aceptación social.

### 4.13. Bibliografía

- Fuentes de Luz – ADAE Centro.
- Guía sobre iluminación de exteriores – ADAE Centro.
- Iluminación – MARKE IBERDROLA.
- Eficiencia Energética Eléctrica. CADEM -IBERDROLA. Editorial URMO.
- Manual de Eficiencia Energética Eléctrica. – CADEM.
- Técnicas y aplicaciones de Iluminación. -Serie electrotecnologías de EVE e IBERDROLA. Editorial Mc. Graw Hill.
- Proyecto Zerbiztuak – Instituto Vasco de Estudios Prospectivos.
- Catálogo Gestor Energético (GEN) de GOVAL, s.a.
- Especificaciones controlador energético modelo COE - ZIGOR s.a.
- Manual de Alumbrado Phillips.
- Tarifas Eléctricas – Manual de IBERDROLA.

# Condiciones técnicas y garantías de las instalaciones de alumbrado exterior

## 5.1. Finalidad

El presente capítulo tiene por objeto establecer las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior, con la finalidad de:

- a) Mejorar la eficiencia y ahorro energético con la determinación de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, al tiempo de limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa y reducir la luz molesta o intrusa.
- b) Proporcionar las condiciones necesarias de visibilidad a los conductores de vehículos y peatones para garantizar su seguridad y la de los bienes del entorno, además de dotar de un ambiente visual nocturno agradable a la vida ciudadana.



## 5.2. Instalaciones afectadas

1. Se aplicará a las instalaciones de alumbrado exterior de más de un 1Kw de potencia instalada, definidas en el artículo 9 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, así como en las Instrucciones Técnicas complementarias ITC-BT 09, ITC-BT-31 e ITC-BT-34, y reguladas también por el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado exterior aprobado por Real Decreto 1890/2008, de 14 de Noviembre. La potencia instalada en Kw será el resultado de la suma de la potencia nominal de todas las fuentes de luz y sus equipos correspondientes.

2.. Asimismo, resultara de aplicación:

a) A las nuevas instalaciones, a sus modificaciones y ampliaciones.

b) A las instalaciones existentes cuando mediante un estudio de eficiencia energética, al órgano competente de la Comunidad de Madrid lo considere necesario.

En aquellas instalaciones sobredimensionadas con niveles de iluminación muy superiores del orden de un 70 a un 100%, a los valores máximos establecidos en el Anexo II, no se precisara un estudio de eficiencia energética para la aplicación de estas condiciones técnicas

c) A las instalaciones existentes que sean objeto de modificaciones de importancia, reparaciones de envergadura y a sus ampliaciones, entendiéndose por modificación de importancia aquella que afecte a más del 50 % de la potencia o luminarias y/o sus componentes ( fuente de luz y equipos auxiliares) instaladas.

A las modificaciones de menos del 50 % también se le aplicarán las condiciones técnicas dispuestas en este capítulo, cuando se prevea que mediante actuaciones sucesivas o dilatadas en el tiempo se pretende modificar o renovar más del 50 % de la potencia o luminarias y/o componentes en las instalaciones de alumbrado existentes.

3. Igualmente, se aplicará a las instalaciones existentes, cuando su estado, situación o características impliquen un riesgo grave para las personas o los bienes, o se produzcan perturbaciones importantes en el normal funcionamiento de otras instalaciones, a juicio del Órgano Competente de la Comunidad Autónoma.

4. Se excluyen de la aplicación las instalaciones y equipos de uso exclusivo en minas, material de tracción, automóviles, navíos, aeronaves, sistemas de comunicación, y los usos militares y demás instalaciones y equipos que estuvieran sujetos a reglamentación específica.

También se excluyen:

- Las instalaciones de semáforos y sus balizas cuando sean totalmente autónomas, es decir, cuya alimentación no tenga su origen en el cuadro de alumbrado de la red de alumbrado exterior.
- Las instalaciones de alumbrado exterior de viviendas unifamiliares, cuando tengan menos de 5 puntos de luz exteriores, sin contabilizar los puntos de luz instalados en fachadas.

5. Las instalaciones de alumbrado que se regulan son las siguientes:

- 1.- Alumbrado Vial

- Funcional
- Ambiental

- 2.- Zonas Especiales de viales

- Intersecciones y enlaces
- Glorietas y rotondas
- Zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada
- Curvas y viales sinuosos en pendiente
- Zonas de incorporación de nuevos carriles

- 3.- Alumbrados específicos

- Pasarelas peatonales, escaleras y rampas
- Pasos subterráneos peatonales
- Adicional de pasos de peatones
- Parques y jardines
- Pasos a nivel de ferrocarril
- Fondos de saco

- Túneles y pasos inferiores
- Aparcamientos de vehículos al aire libre
- Áreas de trabajo exteriores
- Deportivo
- Carriles para bicicletas
- Puestos de peaje de autopistas

#### 4.- Iluminación Ornamental

- Fachadas de edificios y monumentos
- Estatuas y murallas
- Fuentes.. etc
- Paisajista de ríos, riberas, frondosidades, equipamientos acuáticos.. etc

#### 5.- Alumbrado de vigilancia y seguridad nocturna

#### 6.- Señales y Anuncios luminosos

#### 7.- Festivo y Navideño

### 5.3. Eficiencia energética

1. La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior se 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.

$$\epsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} \quad \frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}}$$

siendo:

$\epsilon$ = eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior ( $\text{m}^2 \cdot \text{lux/W}$ )

$P$  = potencia activa total instalada (fuentes de luz y equipos auxiliares) (W);

$S$  = superficie iluminada ( $m^2$ );

$E_m$  = iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto (lux);



La superficie iluminada a considerar ( $S$ ) será la definida por la dimensión de la sección transversal, y longitudinalmente por una dimensión representativa de la implantación de los puntos de luz proyectados.

La iluminancia media ( $E_m$ ) será la obtenida en el cálculo de la superficie anteriormente citada ( $S$ ).

La potencia ( $P$ ) será la correspondiente a todas las luminarias comprendidas en la superficie de cálculo, teniendo en cuenta que la potencia de las luminarias que delimitan la superficie ( $S$ ) transversalmente se contabilizará solo al 50 %. En el caso de áreas de estudio irregulares se considerará el total de la potencia de los puntos de luz que dispongan sobre dichas áreas.

2. La eficiencia energética se puede determinar mediante la utilización de los siguientes factores:

$E_l$  = Eficiencia de las fuentes de luz y equipos auxiliares (lum/W=m<sup>2</sup>lux/W);

$f_m$  = factor de mantenimiento de la instalaciones (en valores por unidad)

$f_u$  = factor de utilización de la instalación (valores por unidad)

$$E = E_l * f_m * f_u \text{ (m2. lux/w)}$$

Donde:

Eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares ( $E_l$ ); Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia total consumida por las fuentes de luz más su equipo auxiliar.

Factor de Mantenimiento ( $f_m$ ); Es la relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales

Factor de utilización ( $f_u$ ); Es la relación entre el flujo útil procedentes de las luminarias que llega a la calzada o superficies a iluminar y el flujo emitido por las fuentes de luz instaladas en las luminarias.

El factor de utilización de la instalación es función del flujo 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 de las luminarias en la instalación de alumbrado exterior (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre los puntos de luz).

La eficiencia de las fuentes de luz y equipos es equivalente a la eficiencia o eficacia de las fuentes de luz, que comprenden tanto las fuentes de luz como los LED'S y sus equipos.

3. 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 fuentes de luz y equipos auxiliares y factores de mantenimiento y utilización de la instalación sea máximo.
4. Los niveles de iluminación no superarán los valores máximos establecidos en el Anexo II de este capítulo salvo casos excepcionales, que requerirán autorización previa del Órgano competente de la Comunidad de Madrid.

5. Para el alumbrado vial se cumplirán los requisitos mínimos de eficiencia energética dispuestos en el Anexo I de este capítulo.
6. Para el resto de las instalaciones de alumbrado (zonas especiales de viales, alumbrados específicos, iluminación ornamental, alumbrado de vigilancia y seguridad nocturna, así como señales y anuncios luminosos), se tendrán en cuenta los siguientes requisitos.
  - Se iluminarán únicamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado
  - Se instalarán fuentes de luz (lámparas y LED) de elevada eficacia luminosa, compatibles con los requisitos cromáticos de la instalación y con valores no inferiores a los determinados en el Anexo IV de este capítulo.
  - La utilización de luminarias y proyectores de rendimiento luminoso elevado según el Anexo IV
  - Los equipos auxiliares serán de pérdidas mínimas, y cumplirán lo dispuesto en el Anexo IV de este capítulo.
  - El factor de utilización de la instalación será el más elevado posible.
  - El factor de mantenimiento de la instalación será el mayor alcanzable.
7. Las instalaciones de alumbrado vial se calificarán energéticamente en función de un índice de eficiencia energética, mediante un etiqueta de calificación energética, de acuerdo con lo dispuesto en el Anexo I de este capítulo.
8. Para las instalaciones de alumbrado festivo y navideño se aplicará lo dispuesto en el epígrafe AI.2.4 del Anexo I de este capítulo.

## 5.4. Luminosidad nocturna

1. Con la finalidad de limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa se adoptarán los siguientes requerimientos:
  - Los valores del flujo hemisférico superior instalado no superarán los establecidos en la Tabla 3 del Anexo III de este capítulo, para cada una de las zonas E1, E2, E3 y E4 que dispone la Tabla 1 del referido Anexo.

- Se cumplirán el resto de requisitos técnicos que determina el citado Anexo III, así como lo preceptuado por el mismo en lo referente al tipo de fuentes de luz a instalar.
- Respecto a las características de las luminarias y proyectores, se ajustarán lo dispuesto en el Anexo IV.



## 5.5. Luz molesta

1. La luz molesta o intrusa es la luz procedente de las instalaciones de alumbrado exterior que da lugar a incomodidad, distracción o reducción en la capacidad para detectar una información esencial y, por tanto, produce efectos potencialmente adversos en los residentes, ciudadanos que circulan y usuarios de sistemas de transportes.
2. Al objeto de reducir la luz molesta o intrusa, las instalaciones de alumbrado exterior se ajustarán a los siguientes extremos:

- Cumplirán los valores máximos establecidos para cada zona E1, E2, E3 y E4 en la Tabla 4 del Anexo III de este capítulo.
- En relación a las luminarias y proyectores se cumplirán lo dispuesto en el Anexo IV del presente capítulo.

## 5.6. Fuentes de luz

1. A excepción de las iluminaciones navideñas y festivas, las lámparas y LED tendrán como mínimo una eficacia luminosa superior a 50 lm/W para el alumbrado de vigilancia y seguridad nocturna, así como de señales y anuncios luminosos y de 65 lm/w para el alumbrado vial, zonas especiales, alumbrados específicos e iluminación ornamental, y cumplirán lo determinado en los Anexos III y IV de este capítulo. En la Zona E1 se utilizarán preferentemente lámparas de vapor de sodio a baja presión, así como las lámparas de vapor de sodio a alta presión.
2. En el resto de Zonas E2, E3 y E4, al objeto de mejorar la eficiencia energética, se implantarán fuentes de luz de la mayor eficacia luminosa (lm/W) que se pueda conseguir para los requerimientos cromáticos demandados por la instalación que, en todo caso, se ajustarán a lo dispuesto en el Anexo IV del presente capítulo.



## 5.7. Luminarias y proyectores

1. Las luminarias se ajustarán a la norma UNE-EN 60598-2-3, y los proyectores cumplirán la UNE-EN 60598-2-5, respondiendo a las características detalladas en la Tabla 1 y 2, así como a los condicionamientos técnicos establecidos en el Anexo IV de este capítulo.
2. En función del tipo de lámpara y LED, las luminarias cumplirán las estipulaciones respecto a su rendimiento, factores de utilización y de mantenimiento mínimos, así como al flujo hemisférico superior instalado y relación luminancia /iluminancia máximas, fijadas en el referido Anexo IV.
3. Los proyectores se ajustarán en cuanto a rendimiento y factor de utilización mínimos, especificaciones técnicas, ángulos de inclinación e intensidades, a los requerimientos determinados en el Anexo IV del presente capítulo.

## 5.8. Equipos Auxiliares

1. Cuando el balasto sea electromagnético, asociado al mismo deberán instalarse los condensadores precisos para la corrección del factor de potencia. Además, algunas fuentes de luz de descarga necesitarán incorporar un arrancador que proporcionará en el instante del encendido, la alta tensión necesaria para el cebado de la corriente de arco de la lámpara.
2. Los balastos electrónicos cumplirán la misión de limitar la intensidad de corriente, al tiempo que realizarán las funciones de los arrancadores y condensadores de compensación del factor de potencia.
3. Existirá compatibilidad entre las características técnicas del equipo auxiliar y la lámpara.
4. Las pérdidas del conjunto equipo auxiliar y la lámpara se ajustarán a lo dispuesto en el Anexo IV de este capítulo, debiendo cumplir el resto de requisitos determinados en el epígrafe AV. 4 de dicho Anexo IV.
5. Los equipos auxiliares para LED (drivers) cumplirán lo establecido en el Anexo IV de este capítulo.

## 5.9. Accionamiento de las instalaciones

1. Los sistemas de accionamiento deberán garantizar que las instalaciones de alumbrado exterior se enciendan y apaguen con precisión a las horas previstas, cuando la luminosidad ambiente lo requiera.
2. El accionamiento de las instalaciones de alumbrado exterior se llevará a cabo mediante fotocélulas, relojes astronómicos y sistemas de encendido centralizado (Telegestión)
  - Fotocélulas cuando la potencia sea igual o inferior a 5 kW.
  - Relojes astronómicos cuando la potencia sea superior a 5 kW.
  - Telegestión cuando la potencia resulte mayor de 5 kW.

## 5.10. Regulación del nivel luminoso

1. En el alumbrado vial, alumbrados específicos, iluminación ornamental y de señales y anuncios luminosos con potencia instalada superior a 5 kW se reducirán los niveles a ciertas horas de la noche, siempre que se garantice la seguridad de los usuarios, y dicha reducción no descenderá por debajo del nivel de iluminación recomendable para avalar la seguridad del tráfico de vehículos y movimiento peatonal.

Todo ello salvo, que por razones de seguridad a justificar en la documentación (proyecto o memoria técnica de diseño), que se ajustará a lo establecido en el Anexo V de este capítulo, no resultara recomendable efectuar la reducción de los niveles de iluminación.

2. En sectores específicos con altos porcentajes de accidentalidad nocturna, zonas peatonales con riesgo significativo de criminalidad, etc., por razones de seguridad no resultará recomendable efectuar variaciones temporales o reducción de los niveles de iluminación.
3. Se instalarán dispositivos o sistemas para regular el nivel luminoso mediante balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia, reguladores-estabilizadores en cabecera de línea o balastos electrónicos de potencia regulable.



4. Para la adopción del sistema idóneo de regulación del nivel luminoso, se considerarán las variaciones de tensión de la red, sus características, tipos de fuentes de luz a implantar, etc., y, en el caso de instalaciones existentes, el estado de las líneas eléctricas de alimentación de los puntos de luz, secciones, caídas de tensión, equilibrio de fases, armónicos, etc.

## 5.11. Periodos de utilización

Para obtener ahorro energético en instalaciones de alumbrado ornamental, anuncios luminosos, espacios deportivos y áreas de trabajo exteriores, etc., se establecerán los correspondientes ciclos de funcionamiento (encendido y apagado) de dichas instalaciones, para lo que se dispondrá de relojes capaces de ser programados por ciclos diarios, semanales, mensuales o anuales.

## 5.12. Sistemas de gestión centralizada

1. Comprenderán en general el nivel intermedio o unidad del cuadro de alumbrado y el nivel superior o unidad de control remoto centralizado. También, en su caso, podrá instalarse el nivel inferior o unidad de punto de luz.
2. En el nivel intermedio se controlará en cada cuadro de alumbrado las magnitudes eléctricas -tensiones de suministro, intensidades, potencia activa, energía consumida diariamente y acumulada, así como energía reactiva, factor de potencia, etc.- y se llevará a cabo el accionamiento del encendido y apagado de la instalación.
3. La unidad de control remoto centralizado recogerá la información procedente de los cuadros de alumbrado, para una vez procesada y validada, se pueda adoptar la programación más conveniente para la explotación y mantenimiento de las instalaciones de alumbrado exterior.
4. En el supuesto de implantación del sistema a nivel de punto de luz, se recogerá la información del funcionamiento de la lámpara, equipo auxiliar y fusible, que permitirá mejorar el mantenimiento de la instalación y reducir considerablemente las rondas de inspección nocturnas.
5. Los sistemas de telegestión o gestión centralizada se ajustarán a lo determinado en el Anexo IV de este capítulo.

## 5.13. Cuadros de alimentación

1. Cumplirán lo establecido en el apartado 4 de la Instrucción Técnica complementaria ITC-BT-09 del vigente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y Guía Técnica de Aplicación de la misma.
2. Además de los dispositivos de protección eléctrica, módulo de la Compañía Suministradora de energía eléctrica, tipo de accionamiento de la instalación, los cuadros de alumbrado dispondrán del sistema de medida de consumos de energía eléctrica.
3. En su caso, los cuadros podrán ir dotados de alojamientos específicos para dispositivos especiales tales como la unidad intermedia del sistema de gestión centralizada, el regulador-estabilizador para reducir el flujo luminoso y regular el nivel de iluminación, etc.

4. Los grados IP 55 e IK 10 del cuadro podrán obtenerse mediante la utilización de envolventes múltiples, proporcionando el grado de protección requerido el conjunto de envolventes completamente montadas. En este caso, en la documentación del fabricante del cuadro deberá estar perfectamente definido el método para la obtención de los diferentes grados de protección IP e IK.

## 5.14. Soportes

Se ajustarán a lo dispuesto en las normas de la serie UNE-EN 40 "Columnas y báculos de alumbrado". Estas normas se aplican a columnas que no sobrepasen los 20 m de altura y a báculos que no sobrepasen los 18 m de altura. En lo que respecta a las columnas y báculos fabricados en acero o aluminio que sobrepasen dichos límites, cumplirán las prescripciones establecidas en el Real Decreto 2642/85, Real Decreto 401/89 y Orden Ministerial de 16/05/89.

Las definiciones, terminología, requisitos generales y dimensiones se establecen en las normas UNE-EN 40-1 y UNE-EN 40-2.

En cuanto al proceso de diseño y verificación se ajustará a las normas UNE-EN 40-3-1, UNE-EN 40-3-2 y UNE-EN 40-3-3.

Los soportes de hormigón armado y de hormigón pretensado cumplirán lo dispuesto en la norma UNE-EN 40-4.

Los soportes de acero cumplirán lo establecido en la norma UNE-EN 40-5.

Los soportes de aluminio cumplirán lo determinado en la norma UNE-EN 40-6.

Los soportes de mezcla de polímeros compuestos reforzados con fibra cumplirán lo dispuesto en la norma UNE-EN 40-7.

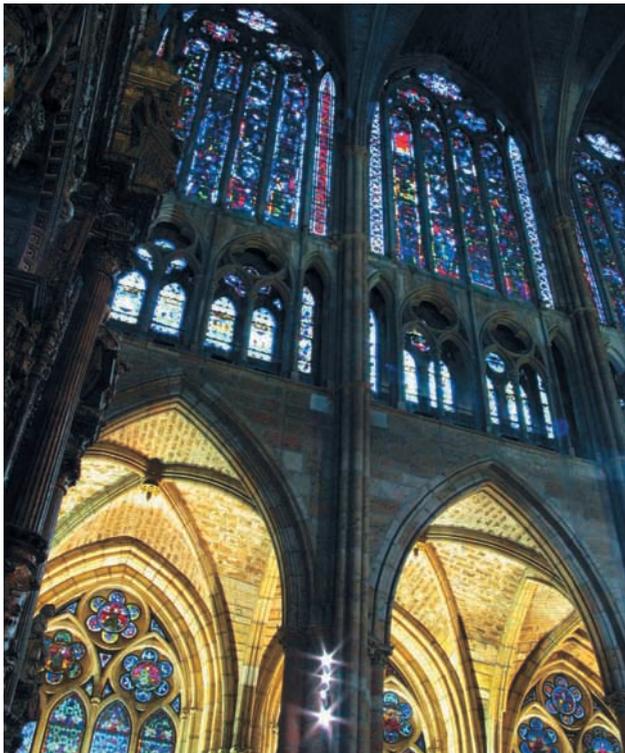
De acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, el grado de protección que se deberá proporcionar al equipo eléctrico alojado en el interior del soporte, será de IP 44 e IK 10, que podrá obtenerse bien por la propia construcción de la portezuela del soporte, o mediante la utilización de una caja u otra envolvente que esté alojada en el interior del soporte de forma que, el conjunto del soporte y la envolvente complementaria montada, proporcionen el grado de protección exigido.

En este último caso, en la documentación del fabricante del soporte deberán estar definidas las características de la caja para la obtención de los grados de protección pedidos. Será responsabilidad del instalador la adecuada instalación

de la caja correspondiente para garantizar el cumplimiento de la normativa de soportes del conjunto completo.

## 5.15. Régimen de funcionamiento

1. Las instalaciones de alumbrado exterior estarán en funcionamiento como máximo durante el periodo comprendido entre la puesta de sol y su salida o cuando la luminosidad ambiente lo requiera.
- 2.. Los alumbrados exteriores deberán ser programados y en aquellos casos del periodo nocturno en los que disminuya la intensidad o características de utilización, se pasará del régimen de plena potencia a otro con nivel de iluminación reducido, manteniendo la uniformidad, de acuerdo con lo dispuesto en los puntos 5.10 y 5.11 de este capítulo.
3. En cuanto a los alumbrados ornamentales y festivos, se podrá variar su régimen de funcionamiento, estableciéndose condiciones especiales, en épocas como: periodo navideño, festividades, temporada alta de afluencia turística, etc.



4. Se podrá regular un régimen propio de alumbrado para los acontecimientos nocturnos singulares, festivos, feriales, deportivos o culturales, que compatibilicen el ahorro energético con las necesidades derivadas de los acontecimientos mencionados.
5. El alumbrado de las instalaciones deportivas y áreas de trabajo exteriores, iluminación ornamental, alumbrado de carteles y anuncios luminosos, estarán en funcionamiento como máximo hasta la entrada del régimen reducido en el alumbrado vial.



6. A partir de la entrada de dicho régimen reducido, el funcionamiento del alumbrado en áreas de trabajo exteriores requerirá de la correspondiente autorización, concedida previas las pertinentes justificaciones técnicas y de toda índole.
7. En el caso de alumbrado de carteles y anuncios luminosos, a partir de la entrada del régimen reducido en el alumbrado vial, únicamente se permitirá el funcionamiento de aquellos rótulos luminosos que cumplan una función informativa necesaria, tales como farmacias, transporte público, hoteles, gasolineras, etc., y solamente mientras dichos establecimientos estén en servicio.

8. En el periodo posterior a la entrada del régimen reducido en el alumbrado vial, no se permitirá el funcionamiento de los rótulos de carácter comercial y publicitario.
9. El alumbrado festivo y navideño cuando su funcionamiento sea superior a diez días precisará de la pertinente autorización en la que, entre otros extremos, se fijará el horario y periodo máximo de funcionamiento.

## 5.16. Explotación de las instalaciones

1. Cada cuadro de alumbrado dispondrá de un equipo de medida de los consumos de energía eléctrica, que permitirá cuantificar los citados consumos e incidencias ocurridas a lo largo del funcionamiento de la instalación. Dichos consumos e incidencias podrán obtenerse de forma manual, mediante una secuencial toma de datos o mediante sistemas de gestión centralizada.
2. Se seleccionará la tarifa de contratación más adecuada a cada instalación y durante la explotación de la instalación de alumbrado exterior, se controlará el consumo de energía eléctrica, analizando las situaciones o desviaciones anómalas que permitirán aplicar las medidas necesarias para su corrección.
3. Al objeto de disminuir los consumos de energía eléctrica en los alumbrados exteriores, se llevará a cabo como mínimo un análisis anual de los consumos y de su evolución, que permitirá observar las desviaciones y corregir las causas que las han motivado.
4. Para realizar una correcta gestión energética de las instalaciones de alumbrado exterior será necesario disponer de un inventario fiable de las mismas, que deberá contener al menos los tipos de fuentes de luz, luminarias, equipos auxiliares, dispositivos de regulación del nivel luminoso, sistemas de accionamiento y gestión centralizada, cuadros de alumbrado, etc.
5. Se prepararán las agrupaciones de puntos de luz por equipo de medida de los consumos de energía eléctrica, dispositivos de maniobra principal y secundario, así como, en su caso, sistemas de gestión centralizada.
6. Se determinarán los ciclos de funcionamiento y se fijará no solamente cuantas horas estará en servicio la instalación de alumbrado exterior,

sino cuáles serán esas horas, que se ajustarán al régimen de utilización del alumbrado exterior establecido en el punto 5.15 del presente capítulo.

7. La selección del sistema de control de los ciclos de funcionamiento, de acuerdo con los puntos 5.10, 5.11 y 5.12 de este capítulo, dependerá de la magnitud, complejidad y flexibilidad de la instalación. Se tenderá hacia un control continuo y exacto de los ciclos de funcionamiento mediante sistemas electrónicos e informáticos -sistemas de gestión centralizada-.

## 5.17. Mantenimiento del alumbrado

1. El mantenimiento de las instalaciones de alumbrado exterior, a los efectos de eficiencia energética de las mismas, resultará de primordial importancia por los condicionantes generales de degradación de la instalación.

A tales efectos el proyecto o memoria técnica de diseño, deberá establecerse con plan de mantenimiento que deberá contemplar la programación de los trabajos y su frecuencia, que se corresponde con el factor de mantenimiento calculado.

2. Se considerarán en el transcurso del tiempo de funcionamiento la depreciación del flujo luminoso, mortalidad de las fuentes de luz y la depreciación por suciedad de las luminarias. En el caso de túneles y pasos inferiores, además se tendrá en cuenta el factor de depreciación de las superficies del recinto.
3. De conformidad con lo establecido en las Publicaciones CIE 88, 97 y 154, así como en el Anexo VI de este capítulo, se procederá a calcular el factor de mantenimiento de la instalación.
4. Para efectuar un mantenimiento adecuado, se llevarán a cabo visitas o rondas de inspección periódicas a las instalaciones, con el fin de detectar las fuentes de luz que fallen o las anomalías de funcionamiento a nivel de punto de luz.
5. Cuando se haya implantado un sistema de gestión centralizada dotada de los tres niveles: inferior correspondiente al punto de luz, intermedio o de

- cuadro de alumbrado y superior, podrá obtenerse una información fiable en tiempo real, que permitirá reducir sustancialmente las rondas de inspección nocturnas.
6. La programación del mantenimiento preventivo que comprenderá fundamentalmente las reposiciones masivas de fuentes de luz, las operaciones de limpieza de luminarias y los trabajos de inspección y mediciones eléctricas, en cuanto a la programación de los trabajos y periodicidad de ejecución, se ajustará a lo establecido en el Anexo IV de este capítulo.
  7. Los trabajos de mantenimiento correctivo comprenderán la renovación, modificación o mejoras de las instalaciones de alumbrado exterior, las reparaciones que sea necesario o conveniente realizar, así como la sustitución puntual de fuentes de luz fundidas y elementos de la instalación fuera de uso.
  8. En la gestión del mantenimiento correctivo se dispondrá de un sistema de detección de averías y de un operativo para la reparación de las mismas.
  9. Los titulares de las instalaciones deberán mantener en buen estado de funcionamiento sus instalaciones, utilizándolas de acuerdo con sus características y absteniéndose de intervenir en las mismas para modificarlas. Si son necesarias modificaciones, éstas deberán ser efectuadas por un instalador autorizado en baja tensión.
  10. La gestión del mantenimiento de las instalaciones exigirá el establecimiento de un registro de las operaciones llevadas a cabo, que se ajustará a lo dispuesto en el epígrafe 2.3 del Anexo VI de este capítulo.

## ANEXO I. Eficiencia Energética

### AI.1. Eficiencia Energética

De acuerdo con lo dispuesto en el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior aprobado por Real Decreto 1890/2008, de 14 de Noviembre, y en la Instrucción Técnica Complementaria de dicho Reglamento ITC-EA-01 la eficiencia energética se evaluará mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} \quad \frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}}$$

siendo:

$\varepsilon$  = eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior ( $\text{m}^2 \cdot \text{lux}/\text{W}$ )

P = potencia activa total instalada (fuentes de luz y equipos auxiliares) (W);

S = superficie iluminada ( $\text{m}^2$ );

$E_m$  = iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto (lux);

También se puede evaluar la eficiencia energética de la siguiente forma:

$$\varepsilon = \varepsilon_l * f_m * f_u \quad (\text{m}^2 \cdot \text{lux}/\text{W})$$

Donde:

$\varepsilon_l$  = eficiencia de las fuentes de luz y equipos auxiliares

$f_m$  = factor de mantenimiento de la instalación

$f_u$  = factor de utilización de la instalación

Considerando que la potencia unitaria instalada ( $P_u$ ) se puede evaluar mediante la relación entre la potencia instalada (P) y la superficie iluminada (S) se verifica: Potencia unitaria  $P_u = P/S = E_m / (\varepsilon_l * f_m * f_u)$  en  $\text{W}/\text{m}^2$

La densidad (D) de potencia unitaria instalada, definida como la relación entre la potencia unitaria ( $P_u$ ) y el nivel de iluminancia (E) es la siguiente:

$$D = \frac{P_u}{E} = \frac{P}{S * E_m} = \frac{1}{\varepsilon_l * f_m * f_u} \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{lux}}$$

En consecuencia se cumple que la eficiencia energética ( $\varepsilon$ ) de una instalación de alumbrado exterior, expresada en ( $\text{m}^2 \text{lux}/\text{W}$ ) o su equivalente ( $\text{lm}/\text{W}$ ), es la inversa de la densidad (D) de potencia unitaria ( $P_u$ ) concretada en ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{lux}$ ) o su similar ( $\text{W}/\text{lm}$ ).

Es decir se verifica

$$\varepsilon = 1/D$$

## AI.2. Prescripciones mínimas de eficiencia energética

En las tablas siguientes se incluyen, tanto para el alumbrado funcional (tabla 1) como ambiental (tabla 2) además de los valores de eficiencia energética mínimos ( $\epsilon$ ) los correspondientes de potencia unitaria instalada máxima (Pu) y densidad de potencia unitaria (D), asimismo máxima.

### AI.2.1. Alumbrado Vial Funcional

Se definen como tales las instalaciones de alumbrado vial de autopistas, auto-vías, carreteras y vías urbanas, que en el Anexo II de este capítulo se consideran como situaciones de proyecto A y B.

Las instalaciones de alumbrado vial funcional, en independencia del tipo de fuente de luz, pavimento y de las características o geometría de la instalación, deberán cumplir las prescripciones mínimas de eficiencia energética ( $\epsilon$ ) y, por tanto, no superar los valores máximos equivalentes de potencia unitaria (Pu) y densidad de potencia unitaria (D) que se establecen en la tabla 1

**TABLA 1**

Iluminancia media en servicio $E_m$ (lux)	Eficiencia energética mínima ( $\epsilon$ ) $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$	Potencia unitaria instalada máxima (Pu)	Densidad de potencia unitaria instalada máxima (D)
		(W/m <sup>2</sup> )	$\left(\frac{W}{m^2 \cdot lux}\right)$
≥ 30	22	1,36	0,045
25	20	1,25	0,050
20	17,5	1,14	0,057
15	15	1,00	0,067
10	12	0,82	0,083
≤ 7,5	9,5	0,79	0,105

*Nota.* Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre valores indicados en la tabla, la eficiencia, la potencia unitaria y la densidad de potencia unitaria instalada de referencia se obtendrán por interpolación lineal.

Para las instalaciones en zonas especiales de viales (intersecciones y enlaces, glorietas y rotondas, zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada, curvas y viales sinuosos en pendiente y zonas de incorpo-

ración de nuevos carriles) se aplicaran las especificaciones mínimas de eficiencia energética establecidas en el epígrafe AI.2.3

### AI.2.2. Alumbrado Vial Ambiental

El alumbrado vial ambiental es el que corresponda a las instalaciones de alumbrado exterior que se ejecutan generalmente sobre soportes de baja altura (3-5m) en áreas urbanas para la iluminación de vías peatonales, comerciales, aceras, parques y jardines, centros turísticos, vías de velocidad limitada, etc que en el Anexo II de este capítulo se consideran situaciones de proyecto C, D y E.

Las instalaciones de alumbrado vial funcional, independientemente del tipo de fuente de luz y de las características o geometría de la instalación –dimensiones de la superficie a iluminar (longitud y anchura), así como la disposición de las luminarias (tipo de implantación, altura y separación entre puntos de luz), deberán cumplir con las prescripciones mínimas de eficiencia energética ( $\epsilon$ ) y consecuentemente no superar los valores máximos equivalentes de potencia unitaria (Pu) y densidad de potencia unitaria (D) que se determinan en la tabla 2.

**TABLA 2**

Iluminancia media en servicio	Eficiencia energética mínima ( $\epsilon$ )	Potencia unitaria instalada máxima (Pu)	Densidad de potencia unitaria instalada máxima (D)
$E_m$ (lux)	$\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$	(W/m <sup>2</sup> )	$\left(\frac{W}{m^2 \cdot lux}\right)$
≥ 20	9	2,22	0,111
15	7,5	2,00	0,133
10	6	1,67	0,167
7,5	5	1,50	0,200
≤ 5	3,5	1,43	0,286

*Nota. Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre valores indicados en la tabla, la eficiencia, la potencia unitaria y la densidad de potencia unitaria instalada de referencia se obtendrán por interpolación lineal.*

### AI.2.3. Otras Instalaciones de Alumbrado

En las zonas especiales de viales, alumbrados específicos, iluminación ornamental, alumbrado de vigilancia y seguridad nocturna, señales y anuncios luminosos, se tendrán en cuenta los requisitos siguientes:

1. Se iluminara únicamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado
- 2.. Se instalaran las fuentes de luz (lámpara y LED) de elevada eficacia luminosa, compatibles con los requisitos cromáticos de la instalación con los valores no inferiores a los determinados en el Anexo IV de este capitulo.
3. Se utilizaran luminarias y proyectores de rendimiento luminoso según el Anexo IV
4. Los equipos auxiliares serán de perdidas mínimas, y cumplirán lo dispuesto en el Anexo IV de este capitulo
5. El factor de utilización de la instalación será el más elevado posible
6. El factor de mantenimiento de la instalación será el mayor alcanzable.

#### AI.2.4. Instalaciones de Alumbrado Festivo y Navideño

La potencia asignada de las fuentes de luz incandescentes utilizadas será de igual o inferior a 15 W y la potencia máxima instalada por unidad de superficie (w/m<sup>2</sup>), en función de la anchura de la calle y del número de horas de funcionamiento por año de alumbrado festivo o navideño, no sobrepasaran los valores establecidos en la tabla 3

**TABLA 3**

Anchura de la calle entre fachadas	Potencia máxima instalada por unidad de superficie W/m <sup>2</sup>	
	Nº de horas al año de funcionamiento mayor de 200 horas	Nº de horas al año de funcionamiento entre 100 y 200 horas
Hasta 10 m	10	15
Entre 10 m y 20 m	8	12
Más de 20 m	6	9

No se establece límite de potencia instalada por unidad de superficie para alumbrados festivos y navideños cuya duración de funcionamiento será inferior a 100 horas anuales.

En el alumbrado festivo y navideño se potenciará el uso de microfuentes de luz, hilo luminoso, fibra óptica, halografías u otros sistemas de ahorro energético.

En el proyecto o memoria técnica del diseño, además de las características de las calles donde se va a instalar, se incluirá la potencia de las fuentes de luz incandescentes convencionales utilizadas, así como la potencia máxima instalada por unidad de superficie de calle.

### AI.3. Calificación Energética de las Instalaciones de Alumbrado

Se realizara la calificación energética de todas las instalaciones de alumbrado vial, tanto funcional como ambiental.

El cociente entre la eficiencia energética de la instalación ( $\epsilon$ ) y el valor de eficiencia energética de referencia ( $\epsilon_R$ ) es el índice de eficiencia energética ( $I \epsilon$ )

$$I\epsilon = \frac{\epsilon}{\epsilon_R}$$

En la tabla 4 se incluyen los valores de eficiencia energética de referencia.

**TABLA 4**

Alumbrado vial funcional		Alumbrado vial ambiental y otras instalaciones de alumbrado	
Iluminancia media en servicio proyectada Em (lux)	Eficiencia energética mínima ( $\epsilon$ ) $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$	Iluminancia media en servicio proyectada Em (lux)	Eficiencia energética de referencia ( $\epsilon_R$ ) $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$
≥ 30	32	--	--
25	29	--	--
20	26	≥ 20	13
15	23	15	11
10	18	10	9
≤ 7,5	14	7,5	7
--	--	≤ 5	5

*Nota. Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal*

Con objeto de facilitar la interpretación de la calificación energética de la instalación de alumbrado y en consonancia con lo establecido en otras regla-

mentaciones, se define una etiqueta de caracteriza el consumo de energía de la instalación mediante una escala de siete letras que va desde la letra A (instalación más eficiente y con menos consumo de energía) a la letra G (instalación menos eficiente y con mas consumo de energía) El índice utilizado para la escala de letras será el índice de consumo energético (ICE) que es igual a la inversa del índice de eficiencia energética

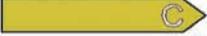
$$ICE = \frac{1}{I_e}$$

La tabla 5 determina los valores definidos por las respectivas letras de consumo energético, en función de los índices de eficiencia energética declarados.

**TABLA 5.** Calificación energética de una instalación de alumbrado

Calificación Energética	Índice de consumo energético	Índice de Eficiencia Energética
A	$ICE < 0,91$	$I_e > 1,1$
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,1 \geq I_e > 0,92$
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq I_e > 0,74$
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq I_e > 0,56$
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq I_e > 0,38$
F	$2,63 \leq ICE < 5,00$	$0,38 \geq I_e > 0,20$
G	$ICE \geq 5,00$	$I_e \leq 0,20$

Entre la información que se debe entregar a los usuarios figurará la eficiencia energética ( $\epsilon$ ), su calificación mediante el índice de eficiencia energética ( $I_e$ ), medido, y la etiqueta que mide el consumo energético de la instalación, de acuerdo al modelo que se indica a continuación:

Calificación Energética de las Instalaciones de Alumbrado	
Más eficiente	
	A
	B
	C
	D
	E
	F
	G
Menos eficiente	
Instalación:	
Localidad / calle:	
Horario de funcionamiento:	
Consumo de energía anual (kWh/año):	
Emissiones de CO <sub>2</sub> anual (kgCO <sub>2</sub> /año):	
Índice de eficiencia energética (I <sub>E</sub> ):	
Iluminancia media en servicio E <sub>m</sub> (lux):	
Uniformidad (%):	

Colores que deberán usarse en la etiqueta:

CMYK: cian, magenta, amarillo, negro.

- Ejemplo: 07X0: 0 % cian, 70 % magenta, 100 % amarillo, 0 % negro.
- Flechas:
  - A: X0X0; B: 70X0; C: 30X0; D: 00X0; E: 03X0; F: 07X0; G: 0XX0
- Color del contenido: X070
- Todo el texto en negro. El fondo es blanco

## ANEXO II. Niveles de Iluminación

Son el conjunto de parámetros luminotécnicos (luminancia, iluminancia, uniformidad, deslumbramiento, relación entorno, etc) exigibles a las instalaciones de alumbrado exterior como criterios de calidad.

Los parámetros luminotécnicos incorporados en este Anexo II están basados en las normas de la serie UNE-EN 13201 "Iluminación de carreteras" que ha adoptado la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE)

A excepción del caso del alumbrado festivo y navideño para el que se establecen valores máximos de potencia instalada, para el resto de alumbrados especificados en el epígrafe 7.2 del presente capítulo, los niveles de luminancia e iluminancia medias consignados en este Anexo II son valores de referencia.

Los niveles máximos de luminancia o de iluminancia media de las instalaciones de alumbrado exterior no podrán superar en más de un 20% los valores de referencia establecidos en el Anexo II de este capítulo.

Los niveles de uniformidad incluidos en este Anexo II son valores mínimos, cuyo cumplimiento deberá garantizarse.

Aun cuando el resto de parámetros luminotécnicos, tales como el deslumbramiento, la relación entorno, está incorporado al Anexo II de este capítulo son valores de referencia, alcanza unos valores mínimos de la relación entorno (SR), así como no superar los niveles máximos de deslumbramiento (TI), resulta necesario para garantizar la seguridad de los usuarios de las vías de tráfico, por lo que no se recomienda ajustarse a los niveles determinados al respecto en este Anexo II

## All.1. Alumbrado Vial: Clases de Alumbrado

El nivel de iluminación requerido por una vía depende de múltiples factores como son el tipo de vía, la complejidad de sus trazados, la intensidad y sistema de control del tráfico y la separación entre carriles destinados a distintos tipos de usuarios.

En función de estos criterios, las vías de circulación se clasifican en varios grupos o situaciones de proyecto, asignándose a cada uno de ellos unos requisitos fotométricos específicos que tienen en cuenta las necesidades visuales de los usuarios así como aspectos medio ambientales de las vías.

El criterio principal de clasificación de las vías es la velocidad de circulación, según se establece en la tabla 1.

**TABLA 1.** Clasificación de vías.

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado (km/h)
A	de alta velocidad	$v > 60$
B	de moderada velocidad	$30 < v \leq 60$
C	carriles bici	--
D	de baja velocidad	$5 < v \leq 30$
E	vías peatonales	$v \leq 5$

Mediante otros criterios, tales como el tipo de vía, intensidad media diaria de tráfico (IMD), complejidad del trazado de la vía, etc, se establecen subgrupos dentro de la clarificación de la tabla 1.

En la Instrucción técnica Complementaria ITC-EA-02 del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE), en la tabla 2 se definen las clases de alumbrado para vías tipo A y diferentes situaciones de proyecto (A1, A2, A3). En la tabla 3 ello se lleva a cabo para las vías tipo B, mientras que en la tabla 4 se definen las clases del alumbrado para las vías tipos C y D, y por último en la tabla 5 se concretas las clases de alumbrado para vías tipo E.

### **All.1.1. Niveles de Iluminación del Alumbrado Vial**

En las tablas 2,3,4 y 5 se concretan los parámetros luminotécnicos exigibles a las vías correspondientes a las diferentes clases de alumbrado definidas anteriormente.

**TABLA 2.** Series ME de clase de alumbrado para viales secos tipos A y B

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia <sup>(4)</sup> Media Lm (cd/m <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	Uniformidad Global Uo [mínima]	Uniformidad Longitudinal Ul [mínima]	Incremento Umbral TI (%) <sup>(2)</sup> [máximo]	Relación Entorno SR <sup>(3)</sup> [mínima]
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,0	0,40	0,70	15	0,50
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
M 4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos

- (1) Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de (TI), que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento (*fm*) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.
- (2) Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (fuentes de luz fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento de 5% del incremento umbral (TI).
- (3) La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan otras áreas contiguas a la calzada que tengan sus propios requisitos. La anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR será igual como mínimo a la de un carril de tráfico, recomendándose a ser posible 5 m de anchura.
- (4) Los valores de luminancia dados pueden convertirse en valores de iluminancia, multiplicando los primeros por el coeficiente R (según C.I.E.) del pavimento utilizado, tomando un valor de 15 cuando éste no se conozca.

En la tabla 3 se concretan los niveles de iluminación de las series MEW de clases de alumbrado a aplicar en aquellas zonas geográficas en las que la intensidad y persistencia de la lluvia provoque que, durante una parte significativa de las horas nocturnas a lo largo del año, la superficie de la calzada permanezca mojada (aproximadamente 120 días de lluvia anuales). En ella se incluye un requisito adicional de uniformidad global con calzada húmeda para evitar la degradación de las prestaciones durante los periodos húmedos.

En el caso de calzadas mojadas, la superficie refleja la luz de forma mucho más específicas (dirigida) que difusa (misma luminancia en todas las direcciones

del espacio), y la uniformidad de las luminancias de la calzada queda depreada afectando negativamente a la visibilidad de los obstáculos de la carretera.

En estos supuestos, el cálculo de la uniformidad global de luminarias se establecen de acuerdo con el método que dispone la Publicación CIE nº 47, teniendo en cuenta las características fotométricas de los pavimentos normalizados al respecto (Clase W).

**TABLA 3**

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas y húmedas				Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	CALZADA SECA			CALZADA HÚMEDA		
	Luminancia Media $L_m$ ( $cd/m^2$ ) <sup>(1)</sup>	Uniformidad Global $U_o$ [mínima]	Uniformidad Longitudinal $U_l$ <sup>(2)</sup> [mínima]	Uniformidad Global $U_o$ [mínima]	Incremento Umbral TI (%) (3)	Relación Entorno SR (4) [mínima]
MEW1	2,00	0,40	0,60	0,15	10	0,50
MEW2	1,50	0,40	0,60	0,15	10	0,50
MEW3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,50
MEW4	0,75	0,40	Sin requisitos	0,15	15	0,50
MEW5	0,50	0,35	Sin requisitos	0,15	15	0,50

- (1) Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de (TI), que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento ( ) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.
- (2) Este criterio es voluntario pero puede utilizarse, por ejemplo, en autopistas, autovías y carreteras de calzada única de doble sentido de circulación y accesos limitados.
- (3) Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (fuentes de luz fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento de 5% del incremento umbral (TI)
- (4) La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan áreas contiguas a la calzada con sus propios requerimientos. La anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR será igual como mínimo a la de un carril de tráfico recomendándose a ser posible 5 m de anchura.
- (5) Los valores de luminancia dados pueden convertirse en valores de iluminancia, multiplicando los primeros por el coeficiente R (según C.I.E.) del pavimento utilizado, tomando un valor de 15 cuando éste no se conozca.

Tal y como puede comprobarse en la tabla 3 desciende considerablemente la uniformidad global ( $U_0$ ) de una instalación de alumbrados viario cuando, debido a causas materiales (lluvia), la calzada esta mojada.

De conformidad con lo determinado en la norma UNE-EN-13201-2, la tabla 4 se aplica fundamentalmente a espacios peatonales, aceras carriles bici, etc. de acuerdo con lo indicado en las tablas 4 y 5 de la ITC-EA-02 del REEIAE.

**TABLA 4** Series S de clase de alumbrado para viales tipo C,D Ye

Clase de Alumbrado <sup>(1)</sup>	Iluminancia horizontal en el área de la calzada	
	Iluminancia Media $E_m$ (lux) <sup>(1)</sup>	Iluminancia mínima $E_{min}$ (lux) <sup>(1)</sup>
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1

<sup>(1)</sup> Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento ( ) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

Para la determinación de la clase de alumbrado (ME) o niveles de iluminación establecidos en la tabla 2, así como la clase de alumbrado (s) de la tabla 4, se recomienda seguir el procedimiento que dispone la publicación CIE N° 115 en la versión del año 2010

## All.2. Zonas Especiales de Viales.

Una zona de un vial se considera especial debido a los problemas específicos de visión y maniobras que tiene que realizar los vehículos que circulan por ella, tales como enlaces e intersecciones, glorietas y rotondas, zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada, curvas y viales sinuosos en pendiente así como zonas de incorporación de nuevos carriles.

En los carriles-bici o zonas peatonales (vías del tipo C o E), no se considera que existan este tipo de zonas especiales.

Para dichos espacios se tendrá en cuenta por orden de prelación, los siguientes criterios:

a) Criterio de luminancia

Si la zona especial es parte de una vía tipo A o B, se aplicaran los niveles basados en la luminancia de la superficie de la calzada de las series ME de la tabla 2, de forma que para la zona especial, la clase de alumbrado que se establezca será un grado superior al de la vía a la que corresponde dicho espacio. Si confluyen varias vías en su zona especial, tal y como puede suceder en las cruces, la clase de alumbrado será un grado superior al de la vía que tenga la clase de alumbrado más elevada.

b) Criterio de Iluminancia

Si la zona especial es parte de un vía de tipo D, o cuando no sea posible aplicar el criterio de luminancia, debido a que la distancia de visión, resulte inferior a 60 m (valor mínimo utilizado en el cálculo de la luminancia) y cuando no se puede situar adecuadamente al observador, dada la sinuosidad y complejidad de la zona especial de vial, se aplicará el criterio de iluminancia en unos niveles de iluminación correspondientes a la serie CE de clases de alumbrado de la tabla 5. Entre las clases de alumbrado CE1 y CE0, podrá adoptarse un nivel de iluminación intermedio.

No solamente pueden adoptarse niveles intermedios de iluminación entre la clase de alumbrado CE1 y CE0, sino también entre el resto de distintas clases de la tabla 5.

Igualmente, si confluyen varias vías la clase del alumbrado de la zona especial de vial será un grado superior al de la vía de tráfico que tengo la clase de alumbrado más elevada.

**TABLA 5** Series CE de clase de alumbrado para viales tipos D y E

Clase de Alumbrado <sup>(1)</sup>	Iluminancia horizontal	
	Iluminancia Media <i>Em (lux)</i> <sup>(1)</sup> [mínima mantenida <sup>(1)</sup> ]	Uniformidad Media <i>Um</i> [mínima]
CE0	50	0,40
CE1	30	0,40
CE1A	25	0,40
CE2	20	0,40
CE3	15	0,40
CE4	10	0,40
CE5	7,5	0,40

<sup>(1)</sup> Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento ( ) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

<sup>(2)</sup> También se aplican es espacios utilizados por peatones y ciclistas.

Para el establecimiento de la clase de alumbrado (CE) o nivel de iluminación especificado en la tabla 5, se recomienda seguir el procedimiento que dispone la publicación CIE nº 115 en la versión del año 2010

Cuando se utiliza el criterio de Iluminación, no es posible calcular el deslumbramientos perturbador o incremento de umbral TI fijado en las tablas 2 y 3, dado que se precisa determinar la luminancia media de la calzada. En este caso, la evaluación de dicho deslumbramiento se llevará a cabo mediante la utilización de los niveles de referencia de la intensidad luminosa de las luminarias, establecida en la tabla 6.

**TABLA 6** Clase G de intensidad luminosos de las luminarias

Clase de Intensidad	Intensidad Máxima ( cd/klm ) <sup>(1)</sup>			Otros requisitos
	$70^\circ \leq g < 80^\circ$	$80^\circ \leq g < 90^\circ$	$g \geq 90^\circ$	
G1	-	200	50	Ninguno
G2	-	150	30	Ninguno
G3	-	100	20	Ninguno
G4	500	100	10	Intensidades por encima de $95^\circ$ deben ser cero
G5	350	100	10	
G6	350	100	0	Ninguno

<sup>(1)</sup> Todas las intensidades son proporcionales al flujo de la lámpara para 1.000 lm.

NOTA. Las clases de intensidad G1, G2 y G3 corresponden a distribuciones fotométricas "semi cut-off" y "cut-off", de uso tradicional. Las clases de intensidad G4, G5 y G6 se asignan a luminarias con distribución "cut-off" total, como las luminarias de cierre de vidrio plano en la posición horizontal.

La nota 1 de las tablas 2, 3, 4 y 5 corresponde a los valores de luminancia o iluminancia media que son niveles de referencia, mientras que las uniformidades y la relación entorno (SR) son valores mínimos y, finalmente, el deslumbramiento perturbador (TI) en un nivel máximo.

### AlI.3. Alumbrados Específicos

Los alumbrados específicos definidos en el epígrafe 7.2 de este capítulo se ajustarán a lo dispuesto en el apartado 3 de la ITC-EA-02 del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior.

#### Alumbrado Deportivo

En el alumbrado deportivo se considera deben adoptarse como valores de referencia los niveles de iluminación consignados en la norma UNE-EN 12193.

Asimismo, se recomienda tener en cuenta la Publicación CIE nº 169.

#### Carriles Bici

Las exigencias fundamentales de seguridad de los carriles bici son que el ciclista pueda identificar con facilidad:

- El límite del carril bici y su entorno, así como los cruces con calles o carreteras.
- Los objetos (piedras, ramas, barro, etc.) sobre la superficie, grietas, baches, así como badenes, obstáculos y curvas.
- La velocidad y situación de otros usuarios del carril bici.

Los niveles de referencia serán S1/S2 para un elevado tráfico de ciclistas y S3/S4 para un tráfico de ciclistas bajo.

Se recomienda considerar la Publicación CIE nº 136.

### Puestos de Peaje de Autopistas

El área de peaje de una autopista está compuesta por las cinco zonas siguientes:

- Zona I: Divergencia de entrada

El nivel de iluminación a mantener será el de la vía de tráfico en el supuesto que esté iluminada.

En cualquier caso, se recomienda establecer como nivel de referencia una iluminancia media horizontal en servicio con mantenimiento de la instalación de 15 lux y una uniformidad media del 50%.

- Zona II: Plataforma de acceso

En esta zona el nivel medio de referencia de iluminancia horizontal aconsejable, será de 30 lux sobre la totalidad de los aproximadamente 40 m. de longitud de la misma.

- Zona III: Peaje

Además de las luces de señalización antiniebla situadas en las cabeceras de las isletas, se considera conveniente asegurar:

- Un nivel de referencia de iluminancia horizontal de 75 lux.
- Un nivel de referencia de iluminancia vertical media de 40 lux sobre el plano frontal de la barrera (lugar de transacción del ticket, de pago).

- Zona IV: Plataforma de salida

Se establecerán los mismos niveles que los de la plataforma de acceso (Zona II).

- Zona V: Convergencia de salida

Se ajustará a lo establecido en la Zona I, manteniendo el mismo nivel de iluminancia horizontal y de uniformidad media incluso en las áreas de estacionamiento de vehículos situadas a la salida del peaje.

### Sistemas de Iluminación

Resulta aconsejable cuidar la correcta limitación del deslumbramiento. El cálculo del índice GR deberá efectuarse para el usuario (conductor del vehículo) que se presenta a la entrada divergente del peaje y mira a la barrera.

Se recomienda un valor máximo de GR de 45, teniendo en cuenta el movimiento de vehículos y su seguridad.

A nivel de la barrera de peaje, una iluminación indirecta contribuye a reforzar el aspecto de barrera mediante un excelente nivel de iluminancia vertical.

## All.4. Iluminación Ornamental.

Se consideran alumbrados ornamentales los que corresponden a la iluminación de fachadas de edificios y monumentos, así como estatuas, murallas, fuentes, etc. y paisajista de ríos, riberas, frondosidades, equipamientos acuáticos, etc.

Los valores de referencia de los niveles de iluminancia media en servicio, con mantenimiento de la Instalación del alumbrado ornamental serán los establecidos en la tabla 7.

**Tabla 7** Niveles Mínimos de iluminancia media en servicio del alumbrado Ornamental

Naturaleza de los Materiales de la superficie iluminada	Niveles de Iluminancia Media (Lux) <sup>(1)</sup>			Coeficientes multiplicadores de corrección <sup>(2)</sup>			
	Iluminación de los alrededores			Corrección para el tipo de lámpara		Corrección para el estado de la superficie iluminada	
	Baja	Media	Elevada	H.M. V.M.	S.A.P. S.B.P.	Sucia	Muy Sucia
Piedra clara, mármol claro	20	30	60	1,0	0,9	3,0	5,0
Piedra media, cemento, mármol coloreado claro	40	60	120	1,1	1,0	2,5	5,0
Piedra oscura, granito gris, mármol oscuro	100	150	300	1,0	1,1	2,0	3,0
Ladrillo amarillo claro	35	50	100	1,2	0,9	2,5	5,0
Ladrillo marrón claro	40	60	120	1,2	0,9	2,0	4,0
Ladrillo marrón oscuro, granito rosa	55	80	160	1,3	1,0	2,0	4,0
Ladrillo rojo	100	150	300	1,3	1,0	2,0	3,0
Ladrillo oscuro	120	180	360	1,3	1,2	1,5	2,0
Hormigón arquitectónico	60	100	200	1,3	1,2	1,5	2,0
<b>REVESTIMIENTO DE ALUMINIO:</b>							
– Terminación natural	200	300	600	1,2	1,1	1,5	2,0
– Termolacado muy coloreado (10%) rojo, marrón, amarillo	120	180	360	1,3	1,0	1,5	2,0
– Termolacado muy coloreado (10%) azul – verdoso	120	180	360	1,0	1,3	1,5	2,0
– Termolacado colores medios (30 – 40%) rojo, marrón, amarillo	40	60	120	1,2	1,0	2,0	4,0

Naturaleza de los Materiales de la superficie iluminada	Niveles de Iluminancia Media (Lux) <sup>(1)</sup>			Coeficientes multiplicadores de corrección <sup>(2)</sup>			
	Iluminación de los alrededores			Corrección para el tipo de lámpara		Corrección para el estado de la superficie iluminada	
	Baja	Media	Elevada	H.M. V.M.	S.A.P. S.B.P.	Sucia	Muy Sucia
- Termolacado colores medios (30 – 40%) azul – verdoso	40	60	120	1,0	1,2	2,0	4,0
- Termolacado colores pastel (60 – 70%) rojo, marrón, amarillo	20	30	60	1,1	1,0	3,0	5,0
- Termolacado colores pastel (60 – 70%) azul - verdoso	20	30	60	1,0	1,1	3,0	5,0

(1) Valores mínimos de iluminancia media en servicio con mantenimiento de la instalación sobre la superficie limpia iluminada con fuentes de luz de incandescencia.

(2) Coeficientes multiplicadores de corrección para fuentes de luz de halogenuros metálicos (H.M.), vapor de mercurio (V.M.), de vapor de sodio a alta presión (S.A.P.) y a baja presión (S.B.P.), así como para el estado de limpieza de la superficie iluminada

En todo caso se deberán cumplir los valores máximos de luminancia media, establecidas para cada zona E1, E2, E3 y E4 en la tabla 4 del Anexo III de este capítulo

Los niveles de iluminación media de la tabla 7 de este Anexo II corresponden a niveles de referencia de la iluminación ornamental por inundación. Lo mismo sucede para cada zona E1, E2, E3 y E4 de la tabla 4 del Anexo III de este capítulo.

No se fijan valores de referencia para la iluminación ornamental por acento efectuados con cualquier tipo de fuente de luz y aparato de alumbrado.

La realización de instalaciones de iluminación ornamental requerirá efectuar un control estricto del flujo luminoso emitido fuera de la superficie iluminada, adaptando a tales efectos el apantallamiento que se considere necesario

En este tipo de instalaciones se recomienda controlar el periodo del funcionamiento, mediante una adecuada programación de los ciclos en los que estará en servicio la iluminación ornamental

## All.5. Otras Instalaciones de Alumbrado

El alumbrado para vigilancia y seguridad nocturna, de señales luminosas, así como el festivo y navideño, cumplirán lo dispuesto en los apartados 5, 6 y 7 de la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE)

## All.6. Deslumbramientos

Se aplicará lo dispuesto en el apartado 8 de la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE)

## All.7. Reducción de los niveles de Iluminación

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 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.

Cuando se reduzca el nivel de iluminación, es decir, se varíe la clase de alumbrado a una hora determinada, deberán mantenerse los niveles mínimos de uniformidad de luminancia / iluminancia y no superar los valores máximo de deslumbramiento establecidos en este Anexo II

La reducción del nivel de iluminación implica el descenso de la potencia y los sistemas de regulación del nivel luminoso permitirán la disminución del flujo emitido hasta el valor de servicio mínimo que admite la fuente de luz.

La exigencia de mantener los niveles mínimos de uniformidad obliga a que se actúe sobre todos los puntos de luz, disminuyendo el mismo porcentaje de flujo luminoso emitido, es decir, no se permite el apagado de puntos del luz al tresbolillo, el apagado de dos puntos de luz de cada tres ó cualquier otro sistema de apagado de determinados puntos de luz

La "probabilidad de visión" RP se define como el porcentaje de objetos con una reflectancia similar a la de la ropa de los peatones, situados en diversos pun-

tos entre 60 y 160 metros delante del observador (campo de visión de un conductor de vehículo), de una calzada dotada de alumbrado viario con distintos niveles de iluminación (luminancia e iluminancia media y uniformidades mínimas, así como valores máximos de deslumbramiento perturbador) , que pueden ser vistos o percibidos por una serie de observadores

La "probabilidad de visión" o "poder revelador" RP es función de tres parámetros luminotécnicos: la luminancia media de la superficie de la calzada ( $L_m$ ), la uniformidad global ( $U_0$ ) de dicha luminancia y el deslumbramiento perturbador (TI) o incremento umbral.

Es importante tener presente que la influencia del nivel de luminancia media de la calzada sobre la "probabilidad de visión" no es lineal.

Las instalaciones de alumbrado recogidas se proyectarán con dispositivos o sistemas para regular el nivel luminoso mediante alguno de los sistemas siguientes:

- a) Balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia;
- b) Reguladores - estabilizadores en cabecera de línea;
- c) Balastos electrónicos de potencia regulable.

Los sistemas de regulación del nivel luminoso deberán permitir la disminución del flujo emitido hasta un 50% del valor en servicio normal, manteniendo la uniformidad de los niveles de iluminación, durante las horas con funcionamiento reducido.

Al objeto de que La "probabilidad de visión" no resulte muy baja en detrimento de la seguridad vial, manteniendo siempre los valores mínimos de uniformidad, como máximo los niveles de luminancia e iluminancia media podrán disminuirse como máximo hasta un 50 % de los valores de referencia consignados en el Anexo II de este capítulo.

También podrán utilizarse sistemas de telegestión o gestión centralizada como sistema regulador del nivel luminoso.

Para el establecimiento del porcentaje de ahorro energético y la elección, en cada supuesto, del sistema idóneo deberán considerarse las variaciones de tensión de la red, sus características, tipos de fuentes de luz a implantar, etc. y

en el caso de instalaciones existentes, el estado de las líneas eléctricas de alimentación de los puntos de luz, secciones, caídas de tensión, equilibrio de fases, armónicos, etc.

Con la finalidad de lograr ahorro energético en instalaciones de alumbrado ornamental de fachadas de edificios y monumentos, anuncios luminosos, espacios deportivos o culturales, áreas de trabajo exteriores, etc., se establecerán los correspondientes ciclos de funcionamiento (encendido y apagado) de dichas instalaciones, disponiendo de relojes capaces de ser programados por ciclos diarios, semanales, mensuales y anuales.

En sectores específicos con altos porcentajes de accidentalidad nocturna, zonas peatonales con riesgo significativo de criminalidad, etc., por razones de seguridad no resultara recomendable efectuar variaciones temporales o reducción de los niveles de iluminación. El proyectista verificará que el sistema de regulación del nivel luminoso adoptado es perfectamente compatible con el tipo de fuente de luz proyectado exigiendo, en su caso, las garantías precisas a los fabricantes tanto del sistema de regulación como de la fuente de luz.

## AII.8. Clases de alumbrado de similar nivel de iluminación

En la Tabla 8 se indican en la misma columna las diferentes clases de alumbrado que se consideran equivalentes por tener un nivel de iluminación similar.

**TABLA 8.** Clases de alumbrado de similar nivel de iluminación.

	ME 1 MEW 1	ME 2 MEW 2	ME 3 MEW 3	ME 4 MEW 4	ME 5 MEW 5	ME 6
CEO	CE 1	CE 2	CE 3	CE 4	CE 5	
			S 1	S 2	S 3	S 4

Los valores correspondientes a las clases de alumbrado son equivalentes debido, entre otras razones, a que las clases de las series ME y MEW son niveles de luminancia, mientras que las de las series CE y S se refieren a niveles de iluminancia, no resultando exacta la relación entre la iluminancia y la luminancia ( $R = E / L$ )

No obstante, la Publicación CIE nº 115 en su versión del año 2010, a título informativo incluye una tabla de equivalencias entre los niveles de la serie ME (tabla 2) en luminancias y los de la serie CE (tabla 5) en iluminancia, en función del coeficiente de luminancia medio (Q0) del pavimento. Es decir, establece la correspon-

dencia entre luminancia e iluminancia medias que depende del valor ( $Q_0$ ) de la superficie iluminada.

Adopta los tres valores característicos siguientes:

$$Q_0 = 0,0. \quad Q_0 = 0,07 \text{ y.} \quad Q_0 = 0,09$$

Es de señalar que en la Publicación CIE nº 115 no se hace referencia a los valores de los factores especulares  $S_1$  y  $S_2$ .

La tabla orientativa recomendada por dicha publicación es la siguiente:

Clase de alumbrado ME			ME1	ME2	ME3	ME4	ME5	ME6
Luminancia media en $cd/m^2$			2	1,5	1	0,75	0,5	0,3
Clase de alumbrado CE para $Q_0 = 0,05$			CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5
Iluminancia media en lux			50	30	20	15	10	7,5
Clase de alumbrado CE para $Q_0 = 0,07$		CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	
Iluminancia media en lux		50	30	20	15	10	7,5	
Clase de alumbrado CE para $Q_0 = 0,09$	CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5		
Iluminancia media en lux	50	30	20	15	10	7,5		

## ANEXO III. Resplandor luminoso nocturno y luz molesta

### AIII.1. Resplandor luminoso nocturno

La Publicación CIE 126, cuya finalidad es reducir el resplandor luminoso nocturno, adopta una zonificación, recogida en las Tablas 1 y 2, basadas fundamentalmente en la importancia de la actividad de las observaciones astronómicas a desarrollar en cada una de las zonas.

**TABLA 1.** Descripción del sistema de zonificación.

Clasificación de zonas	Descripción
<b>E1</b>	<b>ÁREAS CON ENTORNOS O PAISAJES OSCUROS:</b> 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.
<b>E2</b>	<b>ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD BAJA:</b> 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.
<b>E3</b>	<b>ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD MEDIA:</b> Zonas urbanas residenciales, donde las calzadas (vías de tráfico rodado y aceras) están iluminadas.
<b>E4</b>	<b>ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD ALTA:</b> Centros urbanos, zonas residenciales, sectores comerciales y de ocio, con elevada actividad durante la franja horaria nocturna.

Las actividades astronómicas a desarrollar en cada zona serán las establecidas por la Publicación CIE 126, que se detallan en la Tabla 2.

**TABLA 2.** Actividades astronómicas en cada zona.

Clasificación de zonas	Observatorios astronómicos
<b>E1</b>	De categoría internacional y nacional
<b>E2</b>	De estudios académicos y postgrados
<b>E3</b>	De aficionados
<b>E4</b>	De observaciones esporádicas

### AIII.1.1. Limitaciones de las Emisiones Luminosas

El flujo hemisférico superior instalado FHSinst o emisión directa hacia el cielo de las luminarias a implantar en cada zona E1, E2, E3 y E4, de conformidad con la Publicación CIE 126, no superará los límites establecidos en la Tabla 3.

**TABLA 3.** Valores límite del flujo hemisférico superior instalado.

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO FHS <sub>inst</sub> (%)
E1	0 - 1
E2	0 - 5
E3	0 - 15
E4	0 - 25

Cuando el flujo hemisférico superior FHS = 0, no existe ningún medio de apreciar las contribuciones relativas al resplandor luminoso de las diferentes soluciones luminotécnicas, contribuciones que, por otra parte, no son nulas, por lo que resulta necesario establecer la expresión del flujo potencial máximo perdido emitido hacia el cielo (F<sub>p</sub>), que es máximo porque no se tiene en cuenta la parte de flujo reflejado que sería absorbido total o parcialmente por los obstáculos que se interponen tales como la vegetación, las edificaciones, los desniveles, etc.

Los distintos flujos luminosos que intervienen en la luminosidad del cielo son los siguientes:

1. Flujo emitido directamente por la luminaria hacia el cielo.

$$F \cdot (\text{FHS})$$

2. Flujo emitido hacia el suelo y reflejado por la superficie iluminada.

$$F \cdot \rho_1 \cdot K$$

Flujo emitido hacia el suelo y reflejado por los alrededores de la superficie iluminada.

$$F \cdot \rho_2 \cdot (\text{FHI} - K)$$

donde  $\rho_1$  y  $\rho_2$  son los factores de reflexión de la superficie iluminada y de los alrededores de la misma respectivamente, mientras que la suma de los flujos hemisféricos superior (FHS) e inferior (FHI), constituye el rendimiento ( $\eta$ ) de la luminaria, es decir:  $\eta = \text{FHS} + \text{FHI}$ .

Asimismo, se cumple que:

$$\text{FHS}_{\text{inst}} = \frac{\text{FHS}}{\eta}$$

El flujo potencial máximo perdido y emitido hacia el cielo  $F_p$ , será la suma de los 3 flujos anteriores.

$$F_p = F \cdot (FHS) + F \cdot \rho_1 \cdot K + F \cdot \rho_2 \cdot (FHI - K)$$

$$F_p = F \cdot [FHS + \rho_1 \cdot K + \rho_2 \cdot (FHI - K)]$$

Pero

$$F = \frac{E \cdot S}{K \cdot f_m}$$

y, por tanto:

$$F_p = \frac{E \cdot S}{K \cdot f_m} \cdot [FHS + \rho_1 \cdot K + \rho_2 \cdot (FHI - K)]$$

Finalmente, operando se obtiene:

$$F_p = \frac{E \cdot S}{f_m} \cdot \left[ \frac{FHS}{K} + \rho_2 \cdot \frac{FHI}{K} + \rho_1 - \rho_2 \right]$$

Se cumple que el flujo potencial máximo perdido y emitido hacia el cielo  $F_p$  es:

- \* Directamente proporcional a la superficie iluminada ( $S$ ) y su nivel de iluminancia ( $E$ ). Es decir  $F_p \downarrow$  cuando  $E \downarrow$  y  $S \downarrow$ .
- \* Función de la relación  $FHS / K$ , que es menor cuando  $FHS \downarrow$  y  $K \uparrow$ .
- \* Función de la relación  $FHI / K$ , que resulta menor cuando  $K \uparrow$ , con independencia de  $r_2$ .
- \* Inversamente proporcional al factor de mantenimiento ( $f_m$ ), de forma que  $F_p \downarrow$  cuando  $f_m \uparrow$ .
- \* Influenciado por el factor de reflexión de las superficies iluminada y alrededores de la misma ( $\rho_1$  y  $\rho_2$ ), que dependen de los materiales existentes utilizados en su construcción.

La luminosidad del cielo producida por las instalaciones de alumbrado exterior depende del flujo hemisférico superior instalado y es directamente proporcional a la superficie iluminada y a su nivel de iluminancia, e inversamente proporcional a los factores de utilización y mantenimiento de la instalación.

Por tanto, además de ajustarse a los valores de la Tabla 3, para reducir las emisiones directas y las reflejadas por las superficies iluminadas o lo que es lo mismo, limitar la contaminación luminosa, se deberán cumplir los siguientes requerimientos:

- \* Iluminar solamente la superficie (s) que se quiere dotar de alumbrado.
- \* Los niveles de iluminación no deberán superar los valores establecidos en el documento TR – EN 13210-1 del CEN y en la Norma EN – 13201-2.
- \* El factor de utilización (K) de la instalación deberá ser lo más elevado posible, ajustándose a los valores mínimos establecidos en el Anexo III de este capítulo.
- \* El factor de mantenimiento (fm) de la instalación será el mayor alcanzable, de acuerdo con lo señalado en dicho Anexo III.

### AIII.1.2. Fuentes de luz

Al objeto de evitar interferencias a los Observatorios Astronómicos de categoría internacional y nacional, en la Zona E1 se utilizarán preferentemente fuentes de luz prácticamente monocromáticas como las lámparas de vapor de sodio a baja presión y, en su caso, lámparas de vapor de sodio a alta presión. De conformidad con la Publicación CIE 126, cuando no resulte posible utilizar dichas fuentes de luz, filtrar la radiación próxima al final del espectro visible reducirá las interferencias a los Observatorios Astronómicos.

En el resto de Zonas E2, E3 y E4 se implantarán fuentes de luz de la mayor eficacia luminosa (lm/W) que se pueda conseguir para los requerimientos cromáticos demandados por la instalación.

### AIII.2. Luz molesta

La luz molesta o intrusa que da lugar a incomodidad, distracción o reducción en la capacidad para detectar una información esencial, procedente de las instalaciones de alumbrado exterior produce efectos potencialmente adversos en los residentes (viviendas, hoteles, hospitales, etc.), ciudadanos que circulan (conductores, peatones, ciclistas, etc.), visitantes o turistas y usuarios de sistemas de transporte.

De conformidad con la Publicación CIE 150, se considerarán 3 tipos de efectos específicos ocasionados por la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior, que a continuación se concretan:

## Efectos sobre los residentes

Los parámetros luminotécnicos a considerar serán:

- \* Iluminancia vertical ( $E_v$ ) en superficies de paramentos, específicamente en ventanas de dormitorios.
- \* Luminancia ( $L$ ) de las luminarias, dado que su visión directa puede provocar molestias. Debido a la dificultad de predeterminar dicha luminancia, se substituye este parámetro por la intensidad luminosa ( $I$ ) de la fuente de luz en la dirección potencial de la molestia.

## Efectos sobre los ciudadanos

Como consecuencia de la iluminación excesiva en fachadas de edificios, rótulos y anuncios luminosos, los parámetros luminotécnicos a tener en cuenta en los efectos sobre los ciudadanos en general (transeúntes, turistas, etc.) serán:

- \* Luminancia media ( $L_m$ ) de las superficies de los paramentos verticales en los edificios, que como consecuencia a veces de una iluminación excesiva pueden producir molestias en lugar de realzar aspectos decorativos u ornamentales.
- \* Luminancia máxima ( $L_{m\acute{a}x}$ ) de rótulos y anuncios luminosos e iluminados.

## Efectos sobre los usuarios de sistemas de transportes

Los parámetros luminotécnicos significativos serán:

- \* Incremento umbral de contraste ( $TI$ ) que expresa la limitación del deslumbramiento perturbador o incapacitivo en el alumbrado de las vías de tráfico rodado, y constituye la medida por la que se cuantifica la pérdida de visión causada por dicho deslumbramiento.
- \* En casos de sistemas de transporte que operen próximos a instalaciones de alumbrado, como en el caso de transporte marítimo, aviación, etc., las Autoridades deberán establecer sus propias reglas.

En función de la clasificación de zonas (E1, E2, E3 y E4) determinada en la Publicación CIE 126, las limitaciones de la luz molesta procedente de las instalaciones

de alumbrado exterior establecidas por la Publicación CIE 150, serán las determinadas en la Tabla 4:

**TABLA 4.** Limitaciones de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior

Parámetros luminotécnicos	Valores máximos			
	Observatorios astronómicos y parques naturales E1	Zonas periurbanas y áreas rurales E2	Zonas urbanas residenciales E3	Centros urbanos y áreas comerciales E4
Iluminancia vertical ( $E_v$ )	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
Intensidad luminosa emitida por las luminarias (I)	2.500 cd	7.500 cd	10.000 cd	25.000 cd
Luminancia media de las fachadas ( $L_m$ )	5 cd/m <sup>2</sup>	5 cd/m <sup>2</sup>	10 cd/m <sup>2</sup>	25 cd/m <sup>2</sup>
Luminancia máxima de las fachadas ( $L_{max}$ )	10 cd/m <sup>2</sup>	10 cd/m <sup>2</sup>	60 cd/m <sup>2</sup>	150 cd/m <sup>2</sup>
Luminancia máxima de señales y anuncios luminosos ( $L_{máx}$ )	50 cd/m <sup>2</sup>	400 cd/m <sup>2</sup>	800 cd/m <sup>2</sup>	1.000 cd/m <sup>2</sup>
Incremento de umbral de contraste (TI)	Clase de Alumbrado			
	Sin iluminación	ME 5	ME3 / ME4	ME1 / ME2
	TI = 15% para adaptación a $L = 0,1$ cd/m <sup>2</sup>	TI = 15% para adaptación a $L = 1$ cd/m <sup>2</sup>	TI = 15% para adaptación a $L = 2$ cd/m <sup>2</sup>	TI = 15% para adaptación a $L = 5$ cd/m <sup>2</sup>

Para una adecuada aplicación de la tabla 4 se estima deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los valores de iluminancia vertical en ventanas y de luminancia en fachadas se aplicarán a partir de 4 metros de altura sobre el suelo, teniendo en cuenta que dichos 4 m se destinan, generalmente a locales comerciales y su iluminación es necesaria para una correcta visibilidad. Esta excepción no se tendrá en cuenta en aquellas zonas donde exista un riesgo potencialmente elevado de luz intrusa y el tráfico peatonal sea mínimo (viales de urbanizaciones residenciales, etc.)
- Los valores consignados en esta tabla 4 no serán aplicables cuando se trate de un alumbrado ornamental específico sobre la propia fachada.

## ANEXO IV. Componentes de las instalaciones

### AIV.1. Lámparas

La elección de las fuentes de luz utilizadas en instalaciones de alumbrado exterior estará condicionada por los factores económicos iniciales y de explotación —eficacia luminosa y vida económica—, así como por las necesidades requeridas en cuanto a temperatura y rendimiento de color, fundamentalmente en las instalaciones de alumbrado ornamental, siendo en todo caso preponderante la eficacia luminosa y la vida económica de las fuentes de luz.

De acuerdo con la Publicación CIE 154, a efectos de eficiencia y ahorro energético, se procurará que, tanto el factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara (FDL), como el factor de supervivencia de la lámpara (FSL), resulten lo más elevados posibles, tal y como se determina en el Anexo VI de este capítulo.

Las variaciones de tensión de la red podrán modificar de modo significativo las prestaciones de las fuentes de luz. Un aumento de la tensión de la red ocasionará un incremento de potencia en lámpara, al tiempo que se producirá una importante reducción de la vida de la misma, todo lo cual supondrá ineficiencia energética por desmesurado exceso de consumo de energía eléctrica y considerable acortamiento de la vida de la lámpara.

Para una óptima explotación de las fuentes de luz deberán respetarse las siguientes condiciones:

- ✱ Existirá compatibilidad entre las características técnicas del equipo auxiliar y la lámpara.
- ✱ Se mantendrá estabilizada la tensión de la red eléctrica de alimentación a los valores más próximos al nominal.
- ✱ Se tomarán las precauciones necesarias para lograr una correcta posición de funcionamiento de la lámpara.
- ✱ No se superarán los límites de resistencia mecánica de la lámpara —limitación a los choques y vibraciones—, y los térmicos —adecuación de las dimensiones del bloque o sistema óptico de la luminaria al tamaño y potencia de la lámpara—.

## A.IV.2. Tecnología LED

Cuando se modifiquen las instalaciones con Iluminación excesiva, se adapten las poco eficientes, o se implantan nuevas instalaciones utilizando tecnología LED, se recomienda que la normativa a considerar, las prescripciones de las luminarias y los requerimientos de los equipos auxiliares para LED, deben cumplir lo que se especifica a continuación.

### Normativa Aplicable a los led

Además de ajustarse las luminarias para LED a la misma normativa de aplicación a las luminarias para fuentes de luz de descarga de alta intensidad, los LED cumplirán las siguientes estipulaciones específicas:

- UNE-EN 62031. Seguridad de los módulos LED
- UNE-EN 62384. Requisitos de funcionamiento para dispositivos de control electrónicos alimentados en corriente continua o corriente alterna para módulos LED
- UNE-EN 62560. Seguridad en fuentes de luz LED
- IEC-62612. Fuentes de luz LED para iluminación general. Requisitos de rendimiento

- IEC-62717. Módulos LED para iluminación general. Requisitos de rendimiento
- IEC-62722. Luminarias LED para iluminación general. Requisitos de rendimiento
- UNE-EN 62031. Seguridad de los módulos LED

## Prescripciones de las luminarias para LED

- \* Se dispondrá de la fotometría (matriz de intensidades luminosas y curvas fotométricas) referenciada a 1000 lm, determinándose el flujo total emitido por la luminaria y el flujo hemisférico superior instalada FHSInst
- \* Se detallará el sistema óptico adoptado (óptica plana, 3D, óptica basada en reflectores, módulos, etc.) de la luminaria para LED y se concretará su alcance y dispersión
- \* Respecto al rendimiento y vida de la luminaria, se cumplirá que para una duración de 50.000 horas el flujo luminoso no descienda por debajo del 85 % del flujo inicial, con una tasa máxima de fallo de LED de un 10% a la temperatura ambiente de funcionamiento de 25 ° C, es decir, L85 B10 50.000 Horas  $t_a = 25^{\circ}\text{C}$
- \* Se concretará la potencia nominal y el consumo total del sistema de la luminaria para LED, incluido el equipo auxiliar (driver)
- \* La eficacia luminosa del conjunto de la luminaria para LED, deberá ser en todos los casos superior a 70 lm/w
- \* La temperatura de color del sistema de LED en la luminaria oscilará entre 2700 k y 5800 K. Deberán justificarse temperaturas de color fuera de dicho intervalo.
- \* El índice de reproducción cromática IRC será como mínimo  $R_a > 70$
- \* Cada luminaria para LED dispondrá de un sistema capaz de gestionar de forma independiente el flujo luminoso emitido, reduciéndolo como mínimo un 20 % del valor nominal.
- \* En lo referente a la estanqueidad de la luminaria para LED se recomienda sea un IP 66 exigiéndose como mínimo un IP 65. No obstante, como criterio de referencia a título indicativo, el grado de hermeticidad de la luminaria será el establecido en el epígrafe 3.1 del Anexo VII del Reglamento CE nº 245/2009 de 18 de Marzo.

- \* En los cálculos luminotécnicos a realizar en el dimensionamiento de las instalaciones de alumbrado, podrá considerarse como máximo un factor de mantenimiento de 0,85. Cualquier valor del mencionado factor superior a 0,85 deberá justificarse adecuadamente. Dichos cálculos se efectuarán de acuerdo con la Publicación CIE nº 88 de 2004, para el caso de túneles y de conformidad con la norma UNE-EN 13.201-3 y Publicación CIE Nº 140 de 2000, para el alumbrado vial.
- \* Se aportaran los datos correspondientes sobre la depreciación del flujo luminoso en el transcurso de la vida de la luminaria.

Los ensayos y certificados que correspondan, deberán emitirse por Laboratorio acreditado por ENAC o entidad internacional equivalente.

## **Adaptación de luminarias convencionales a luminarias para LED**

Siendo posible la adaptación o modificación de luminarias fabricadas para fuentes de luz de descarga de alta intensidad a luminarias para LED, al tratarse de tecnologías diferentes, se recomienda que las luminarias para LED sean de nuevo diseño específico para dicha fuente de luz, aun cuando si se cumplen las correspondientes prescripciones, resultará admisible la referida modificación o adaptación de luminarias.

No obstante, el autor de dicha adaptación o modificación, que estará en posesión de las certificaciones de las normas ISO 9001 e ISO 14001, deberá realizar de nuevo el marcado CE, con la correspondiente declaración de conformidad según las normas UNE-EN 66514-91 y EN 45104 a las Directivas de Compatibilidad Electromagnética 2004/108/CE y de Baja Tensión 2006/95/CE, cumplimentando así mismo la legislación y normativa que se deriva de dichas Directivas y del Real Decreto 208/2005, de 25 de Febrero (adhesión al sistema de gestión de luminarias de su vida útil)

En todo caso, el fabricante original de la luminaria diseñada para lámpara de descarga de alta intensidad y después adaptada o modificada para LED por un tercero, quedará eximido de cualquier responsabilidad.

## **Requerimientos de los Equipos Auxiliares (Drivers) Para LED**

Considerando que los LED se alimentan con una fuente de corriente continua y que tienen un comportamiento no óhmico, no aumentando la tensión al aumen-

tar la corriente, para la alimentación eléctrica de los LED se incorpora una fuente de alimentación denominada "driver" y dos métodos fundamentales de gestión para variar el flujo de los LED:

- Regulación continua
- Regulación pulsada PWM (Pulse With Modulation)

Las técnicas de modulación de la anchura de impulso (PWM) con un sistema de mando por bus de control permiten una gestión total de la graduación o regulación del flujo luminoso emitido por el LED, teniendo en cuenta que se comporta de forma no lineal en función de la corriente de alimentación.

La alimentación eléctrica de los LED se realice mediante dispositivos ("Drivers") del tipo corriente constante para garantizar la estabilización de la potencia, tanto por la temperatura de los módulos como por el transcurso del tiempo, dado que un aumento de potencia puede provocar la destrucción de los LED.

Se recomienda utilizar la adecuada intensidad de corriente que asegure un nivel de iluminación idóneo y se recomienda utilizar la mínima posible, el objeto de preservar la vida de los LED.

Para asegurar o impedir que se supere la temperatura máxima de funcionamiento, los "drivers" deberán estar dotados de un control remoto de la temperatura de los módulos, mediante una sonda y de forma que el equipo permanezca encendido a potencia reducida en lugar de apagarse, lo cual se recomienda llevar a cabo mediante la técnica PWM, para evitar que varíe el color de la luz emitida.

Los alimentadores de LED ("Drivers") deberán estar dotados de aislamiento galvánico entre la entrada de red y la salida a los LED, recomendándose 3750 vac. Equivalentes a 5300vdc. De rigidez dieléctrica, de forma que constituyan transformadores de aislamiento y se puedan marcar SELV (equivalente a muy baja tensión de seguridad MBTS) , si son de 50 V en corriente alterna y 75 V en corriente continua o menos.

Asimismo, será necesario establecer un aislamiento entre los circuitos de los LED y las partes metálicas accesibles.

En todo caso, deberán ajustarse a lo dispuesto en la Directiva de Baja Tensión 2006/95/CE de modo que, en lo relativo a la seguridad eléctrica, cumplan la nor-

ma UNE-EN 61347-2-13 y, en lo que respecta al funcionamiento, la norma UNE-EN 62384

Además, en lo que concierne a la compatibilidad electromagnética, estarán conformes a la Directiva 2004/108/CE y Real Decreto 1580/2006, cumpliendo las normas UNE-EN 55015, UNE-EN 61000-3-2 y UNE-EN 61547.

Igualmente, se recomienda proteger los "drivers" adecuadamente frente a los agentes atmosféricos y tormentas meteorológicas, principalmente entre nubes y tierra con sobrecargas eléctricas (rayos)

Será necesario garantizar la vida media de los sistemas de alimentación y regulación de los LED, es decir, las horas a partir de las cuales pueden aparecer fallos superiores a un determinado porcentaje, que en principio, se estima de un 20%

En todo caso, la vida útil de los equipos auxiliares (drivers) se ajustará a la vida útil del sistema de LED en la luminaria.

El factor de potencia se ajustará a lo dispuesto en la ITC-BT-09 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tension.

### **AIV.3. Luminarias y Proyectores**

En cuanto a medición y presentación de las características fotométricas las luminarias cumplimentarán las normas UNE-EN 13032-1 y UNE-EN 13032-2, así como lo señalado en la Publicación CIE 121. Asimismo se ajustaran a la norma UNE-EN 60598-2-3.

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

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

## **Hermeticidad del sistema óptico**

En función del cierre del sistema óptico se considerarán las de luminarias: las abiertas y, por tanto, sin cierre, las equipadas con cierre abatible del sistema óptico y, por último, las luminarias con cierre del sistema óptico no abatible.

Las luminarias abiertas deberán tener como mínimo un grado de protección IP 23, mientras que en las luminarias con cierre abatible dicho grado irá de IP 44 a IP 55 ambos inclusive. En las luminarias con cierre no abatible del sistema óptico su grado de protección será IP 65 o IP 66.

De acuerdo con lo señalado en la Publicación CIE 154 y en el Anexo VI de este capítulo, el factor más favorable de depreciación de las luminarias (FDLU) para el mantenimiento de la instalación, en función del nivel de contaminación atmosférica de la zona donde se implanten, corresponderá a las luminarias con cierre del sistema óptico no abatible con un grado de hermeticidad IP 66, por lo que se promoverá su implantación en aras a la mejora de la eficiencia energética.

En lo que concierne a la naturaleza del cierre de las luminarias, existirán los de metacrilato de metilo, policarbonato y de vidrio.

Respecto a la naturaleza del cierre del sistema óptico: metacrilato, policarbonato y vidrio, se instalarán preferentemente aquellas luminarias cuyos cierres conserven mejor el factor de transmisión de la luz a lo largo del tiempo, y envejezcan menos, como es el caso del vidrio.

## **Alojamiento del equipo auxiliar**

En lo que atañe al alojamiento para los equipos auxiliares (balasto, arrancador y condensador), su grado de protección mínimo será IP 44, y sus dimensiones serán las suficientes para instalar holgadamente el equipo auxiliar y facilitar la disipación del calor generado.

## **Resistencia mecánica**

En lo que incumbe a la resistencia mecánica en el caso de luminarias de alumbrado exterior, la norma UNE - EN 60.598 - 2 - 3 establece como mínimo los siguientes valores:

- \* IK 04 (0'5 julios) para las partes frágiles (cierres de vidrio, metacrilato, etc.).
- \* IK 05 (0'7 julios) para el resto de las partes (cuerpo o carcasa).

La protección contra los choques metálicos deberá ser apropiada al emplazamiento donde las luminarias estén instaladas, cuyo grado mínimo será IK 08 (5 julios), si están situadas a menos de 1'5 m del suelo.

## **Seguridad eléctrica**

Las luminarias Clase I tendrán un aislamiento principal y las partes metálicas accesibles estarán interconectadas y unidas a un borne de tierra. La protección en el caso de defecto de aislamiento estará asegurada por la asociación de la toma de tierra y un dispositivo de corte automático -interruptor diferencial- en las condiciones definidas, siguiendo el esquema de toma de tierra (TT o TN).

Las luminarias tendrán la condición de Clase II cuando su construcción sea tal que todo defecto entre las partes bajo tensión y las partes accesibles resulte improbable. La realización más común será la del doble aislamiento, es decir, un segundo aislamiento —denominado suplementario— rodeando o envolviendo al aislamiento principal.

El material Clase II poseerá así su propia seguridad y no conllevará un borne de tierra y en ningún caso deberá conectarse a un conductor de protección o a la propia tierra.

A efectos de seguridad eléctrica las luminarias serán de Clase II, salvo las que tengan el sistema óptico abierto que serán de Clase I, y en este caso deberán estar conectadas al punto de puesta a tierra del soporte mediante cable unipolar aislado de tensión 450/750 V con recubrimiento de color verde-amarillo y sección mínima de 2,5 mm<sup>2</sup> en cobre.

## **Características fotométricas**

En cuanto a la distribución de la intensidad luminosa, las luminarias se clasificarán en función del alcance longitudinal, dispersión transversal y control del deslumbramiento.

Para evitar fundamentalmente deslumbramientos, no se instalarán luminarias "non cut-off", pero a efectos de eficiencia energética se adoptarán las

luminarias de mayor eficacia fotométrica cuyos alcances y dispersiones permitan la máxima interdistancia entre puntos de luz, es decir, luminarias "cut-off" y "semi cut-off", siempre y cuando el deslumbramiento, flujo hemisférico superior instalado y luz intrusa o molesta se ajusten a los valores establecidos en el documento TR – EN 13201-1 del CEN, norma EN-13201-2 y Anexo III de este capítulo.

### A IV.3.1. Características de las Luminarias y Proyectores

#### Luminarias funcionales

Serán las utilizadas en las vías de tráfico rodado de alta velocidad -situaciones de proyecto A- y en vías de tráfico rodado de moderada velocidad -situaciones de proyecto B-, tal y como se definen en el documento TR – EN 13201-1 del CEN y en la norma EN-13201-2.

Para la elección de las luminarias funcionales se tendrán en cuenta los siguientes parámetros:

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

## Luminarias de ambiente

Serán las utilizadas en las vías de tráfico rodado de baja y muy baja velocidad, carriles bici y vías peatonales -situaciones de proyecto C, D y E- establecidas en el documento TR – EN 13201-1 del CEN y en la norma EN-13201-2.

En general serán luminarias dotadas de una envolvente decorativa destinada a dotarlas de un determinado estilo o diseño apropiado, que armonice con la estética del emplazamiento y su entorno.

Estas luminarias se podrán englobar en los tipos siguientes: Tipo Peatonal, Tipo Artístico y Tipo Proyector, cuyas características principales se han concretado en la Tabla 1.

Para la elección de las luminarias de ambiente se considerarán prioritariamente los criterios siguientes:

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

## Proyectores

Serán luminarias intensivas en las cuales la luz se concentrará en un ángulo sólido determinado, mediante un específico sistema óptico, al objeto de obtener una intensidad luminosa elevada. Por tanto, los proyectores estarán diseñados comúnmente para la iluminación direccional y proyectarán la luz a distancia.

Se utilizarán para la iluminación de aparcamientos, grandes espacios, alumbrado ornamental de edificios y monumentos, instalaciones deportivas y recreativas, áreas de trabajo exteriores, etc.

La clasificación de los proyectores de acuerdo con la apertura de su haz, definida por el ángulo formado por las dos intensidades que superan e igualan al

50 % de su intensidad máxima ( $I_{m\acute{a}x}$ ), situado en el plano que contiene el eje del haz y dicha intensidad máxima, será la siguiente:

**TABLA 2.**

Tipo de haz	Apertura del haz (al 50 % $I_{m\acute{a}x}$ )
Estrecho	< 20°
Medio	20° a 40°
Ancho	> 40°

Las luminarias incluyendo los proyectores, que se instalen en las instalaciones de alumbrado excepto las de alumbrado festivo y navideño, deberán cumplir con los requisitos de la tabla 1 respecto a los valores de rendimiento de la luminaria (h) y factor de utilización (fu).

En lo referente al factor de mantenimiento ( ) y al flujo hemisférico superior instalado (FHSinst), cumplirán lo dispuesto en los Anexos VI y III de este capítulo, respectivamente.

Además, las luminarias deberán elegirse de forma que se cumplan los valores de eficiencia energética mínima, para instalaciones de alumbrado vial y el resto de requisitos para otras instalaciones de alumbrado, según lo establecido en el Anexo I de este capítulo.

**Tabla 1.** Características de las luminarias y proyectores.

Parámetros	Alumbrado vial		Resto alumbrados (1)	
	Funcional	Ambiental	Proyectores	Luminarias
Rendimiento	≥ 65%	≥ 55%	≥ 55%	≥ 60%
Factor de utilización	(2)	(2)	≥ 0,25	≥ 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.

Respecto a la nota (1) de la tabla 1 se considera conveniente exceptuar también el alumbrado ornamental

Las luminarias se ajustarán a lo establecido en el Reglamento (CE) n°. 245/2009, de 18 de Marzo, así como en el Reglamento (UE) n°. 347/2010, de 21 de Abril, que

modifica los anexos I,II,III y IV del Reglamento (CE) n°. 245/2009 y posteriores actualizaciones.

Cuando como mejora de la eficiencia energética de una instalación existente, se proceda al cambio de luminarias o modificación de las mismas que afecte a sus características luminotécnicas, se verificará si las alturas y/o ubicaciones de los puntos de luz existentes son las adecuadas para obtener el mejor factor de utilización. Cuando no resulte así, será recomendable sustituir los soportes y/o su ubicación para optimizar dicha instalación.

### AIV.3.2. Especificaciones de las Luminarias

En relación a la distribución de la intensidad luminosa, las luminarias se clasificarán en función del alcance longitudinal, dispersión transversal y control del deslumbramiento

El alcance es la distancia longitudinal a la que la luz emitida por la luminaria queda distribuida a lo largo de la calzada, y queda definida por la distancia (A) en metros en función de la altura (h) de montaje de la luminaria, así como por el ángulo de elevación del centro del haz ( $\gamma_{max}$ )

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

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

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

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

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

### Diseño de Alumbrado Vial:

A la hora de diseñar un alumbrado vial eficiente se tendrán en cuenta las siguientes relaciones:

Para las implantaciones unilateral y central, la altura del punto de luz (h) se sugiere será igual o superior a la anchura de la calzada (a), es decir:

$$h \geq a$$

Para la implantación bilateral en oposición, dicha altura (h) se estima deberá ser superior a la mitad de la anchura de la calzada en consecuencia:

$$h \geq a/2$$

- En caso de implantación bilateral al tresbolillo la altura del punto de luz (h), en función de la anchura de la calzada (a) se aconseja sea la siguiente:

$$0.7 a < h \leq a$$

En función del sistema de implantación y tipo de luminaria, dotada con lámpara ovoide, de sodio baja presión (S.B.P) o tubular clara, las relaciones separación entre puntos de luz y altura de los mismos (s/h) recomendadas son las siguientes:

Tipos de fuentes de luz	Implantacion	
	Unilateral, Central y bilateral en Oposición	Bilateral al tresbolillo
Ovoide y S.B.P	$s/h=3$	$s/h \leq 2.7$
Tubular Clara	$3.5 \leq s/h \leq 4$	$s/h \leq 3.2$

Las características de las luminarias (alcance y dispersión) a adoptar en función del tipo de implantación y anchura de la calzada, que se recomiendan son las siguientes:

Tipo de implantación	Anchuras calzadas	Alcance	Dispersión
UNILATERAL	Anchura < Altura Montaje	Intermedio $\geq 1.73$ h	Estrecha < 1h
UNILATERAL	Anchura = Altura Montaje	Corto < 1.73 h	Media $\geq 1$ h
TREBOLILLO	Anchura > Altura Montaje	Intermedio $\geq 1.73$ h	Estrecha < 1h
PAREADA	Anchura > Altura Montaje	Intermedio $\geq 1.73$ h	Estrecha < 1h

Para calzadas intermedias entre los nº 1 y nº 2, se puede optar por el mismo alcance y dispersión que en supuesto nº 3.

En el caso del nº 2, si se aumenta la potencia de la lámpara puede elegirse un alcance intermedio ( $A \geq 1.73$  h), manteniendo idéntica dispersión. ( $D \geq 1$ h)

En el supuesto nº 3, si se incrementa la potencia de la lámpara se puede adoptar una dispersión media ( $D \geq 1$ h), manteniendo el mismo alcance intermedio ( $A \geq 1.73$  h).

### AIV.3.3. Prescripciones de los Proyectoros

1. Los proyectoros son luminarias cuya distribución fotométrica, conseguida mediante un sistema óptico especialmente diseñado, permite la iluminación a cierta distancia de la ubicación del proyector.
2. A fin de conseguir una elevada eficiencia energética, cuando se utilicen proyectoros para la iluminación de superficies horizontales, deberán cumplirse los siguientes aspectos:
  - a. Se emplearán preferentemente proyectoros del tipo asimétrico con objeto de controlar la luz emitida hacia el hemisferio superior.
  - b. El ángulo de inclinación en el emplazamiento, que corresponde al valor de  $Imáx/2$  situado por encima de la intensidad máxima ( $Imáx$ ) emitida por el proyector, será inferior a  $70^\circ$  respecto a la vertical. Es decir, que la inclinación de la intensidad máxima ( $Imáx$ ) debe ser inferior a:
    - b.1.  $60^\circ$  para un proyector cuyo semiángulo de apertura por encima de la  $Imáx$  sea de  $10^\circ$ .

- b.2.  $65^\circ$  para un proyector cuyo semiángulo de apertura por encima de la  $I_{máx}$  sea de  $5^\circ$ .

No obstante, en todo caso, el ángulo de inclinación correspondiente a la intensidad máxima ( $I_{máx}$ ) será inferior a  $70^\circ$  respecto a la vertical.

- c. La intensidad en ángulos superiores a  $85^\circ$  emitida por el proyector, se limitará a 50 cd/klm como máximo.
3. En la iluminación de superficies verticales, como por ejemplo, la ornamental de fachadas y monumentos, siempre que resulte factible, deberán cumplirse los siguientes aspectos:
    - a. Con objeto de controlar la luz, se emplearán preferentemente proyectores del tipo asimétrico o que dispongan del apantallamiento preciso.
    - b. La iluminación deberá realizarse preferentemente en sentido descendente, es decir, de arriba hacia abajo.
    - c. Cuando esto resulte imposible, deberá tratarse que la línea de intensidad máxima del proyector no sobrepase la horizontal en más de  $30^\circ$ .
    - d. El flujo luminoso emitido por el proyector se ajustará a la superficie a iluminar y, en todo caso, no se proyectará fuera de la referida superficie una intensidad luminosa superior a 50 cd/klm.

Cuando no sea factible el cumplimiento del apartado c) de la 3 deberá justificarse la solución adoptada.

Los proyectores cumplirán lo dispuesto en la norma UNE-EN 60598-2-5 y se tendrá en cuenta lo indicado en las Publicaciones CIE nº 94 y 150.

En lo que se refiere al punto 2, no solamente se pretende conseguir una elevada eficiencia energética, sino también reducir el deslumbramiento, así como limitar el resplandor luminoso nocturno y la luz intrusa o molesta, debiendo cumplirse siempre que resulte posible los apartados a), b) y c) de dicho punto 2.

Asimismo, de conformidad con la apertura del haz luminoso se distinguirán los siguientes tipos de proyectores:

- **Intensivos:** apertura del haz inferior a  $10^\circ$

- **Semi-Intensivos:** apertura del haz entre 10° y 20°
- **Semi-Extensivos:** apertura de haz entre 20° y 40°
- **Extensivos:** apertura del haz superior a 40°

En función de la distribución fotométrica de la intensidad luminosa, los proyectores se podrán clasificar también en: simétricos en relación a un eje de rotación, simétricos respecto a 1 y 2 planos y, finalmente, asimétricos

En la práctica habitual los diversos tipos de proyectores se denominan en función del poder concentrante o dispersivo de su distribución fotométrica

- **Concentrantes** con una apertura transversal inferior a 5 ° y una intensidad punta superior a 1000 cd
- **Semi-Dispersos:** con una apertura transversal comprendida entre 10° y 30° y una intensidad punta entre 500 y 1000 cd
- **Dispersos:** con una apertura transversal superior a 30° y una intensidad punta inferior a 500 cd

En lo que atañe a las prescripciones exigibles a los proyectores se recomiendan cumplir las siguientes:

1. Estarán constituidos por el sistema óptico con un grado de hermeticidad recomendable IP 66, con cierre de vidrio, cuerpo de fundición inyectada, de perfiles extruidos soldados o estampación de aluminio, así como de acero inoxidable y fotometría acorde con la iluminación proyectada
2. Se recomienda en lo posible instalar proyectores con distribución fotométrica asimétrica instalados con el cierre de vidrio paralelo al plano iluminado.
3. Para el resto de distribuciones luminosas se aconseja que cuanto más concentrante resulte la distribución luminosa, mayor será el control de la luz y, por tanto, resultará más sencillo limitar el resplandor luminoso nocturno.
4. El flujo hemisférico superior (FHS), rendimiento ( $\eta$ ), factor de utilización (fu), grado de protección IP y demás características para cada tipo de proyector a instalar deberán ser garantizados por el fabricante, mediante una

autocertificación o certificación de un laboratorio acreditado por ENAC u organismo internacional competente

5. El flujo hemisférico superior instalado (FHS inst), factor de utilización ( $f_u$ ), y el factor de mantenimiento ( ) deberán estar justificados en el proyecto para la solución luminotécnica adoptada.

### Condiciones para el uso eficiente de proyectores:

Una vez que se disponga de la representación gráfica (diagrama polar o cartesiano) o de la matriz de intensidades de una serie de proyectores, para una idónea eficiencia energética con limitación del resplandor luminoso nocturno y reducción de la luz intrusa, el responsable del proyecto deberá efectuar la elección del tipo de proyector a utilizar, en función de una serie de parámetros que en la práctica podrán resumirse en los siguientes:

- La distancia entre la superficie a iluminar y los proyectores
- La posición de los proyectores en relación a la superficie a iluminar (desplazados lateralmente, en las esquinas, etc.)
- Las dimensiones y forma de la superficie a iluminar.
- Otras condiciones

### Distancia entre la superficie a iluminar y los proyectores

La distancia podrá estar representada, bien como la separación entre el proyector que ilumina la fachada de un edificio y la fachada propiamente dicha, o como la altura de montaje de los proyectores para iluminar una superficie como, por ejemplo, un aparcamiento.

Cuando la distancia sea pequeña – del orden de 1 a 12 m- es decir, el proyector esté situado próximo a la fachada o instalado a baja altura sobre la superficie a iluminar, se recomienda utilizar proyectores Dispersivos, al objeto de repartir la iluminación sobre la mayor superficie posible con la uniformidad más elevada.

En el caso de que la distancia sea media – del orden de 10 a 16 m- se aconseja implantar proyectores Semi-Dispersivos, o si se quieren obtener niveles de ilumina-

ción elevados, se podrá asimismo combinar proyectores del tipo Concentrantes con proyectores Semi- Dispersivos

En el supuesto de una distancia elevada o considerable (superior a 16 metros), se sugiere instalar proyectores Concentrantes que tendrán un valor de intensidad punta muy alto si la distancia es grande (50 m), o si la superficie a iluminar es muy pequeña en relación a la distancia que se encuentra el proyector (2m<sup>2</sup> a 25 m de distancia)

### **Posición de los proyectores en relación a la superficie a iluminar**

Cuando los proyectores se tengan obligatoriamente que situar en diferentes posiciones en relación a la superficie a iluminar, se recomienda utilizar distribuciones fotométricas diversas.

Si los proyectores están posicionados enfrente del edificio o de la superficie a iluminar, a una distancia mayor de 2 metros, se estima deberán implantarse proyectores con distribuciones luminosas Simétricas, bien respecto a un eje (proyectores circulares), o en relación a uno o dos planos.

Por el contrario, si los proyectores están situados muy próximos a la fachada, y además se encuentran enfrente y no descentrados respecto a la misma, se considera conveniente instalar proyectores Asimétricos, de forma que se desplace la punta de intensidad máxima lejos de la perpendicular del cierre de vidrio del proyector.

Si los proyectores están desplazados lateralmente en relación a la fachada del edificio o la superficie a iluminar, se evalúa pertinente utilizar proyectores Concentrantes con una distribución fotométrica Simétrica en relación a un eje de rotación (proyectores circulares)

### **Dimensiones y forma de superficie a iluminar**

Si la superficie a iluminar tiene forma rectangular, con una longitud mayor que la altura de instalación, se recomienda utilizar proyectores con distribución fotométrica de tipo simétrico en relación a uno o dos planos.

Si la superficie es circular o rectangular con una altura de instalación mayor que la longitud, puede resultar idóneo instalar proyectores con una distribución fotométrica simétrica según un eje de rotación (proyectores circulares); el éxito consistirá en adaptar el haz luminoso adecuadamente a la superficie a iluminar.

Para superficies de forma irregular, se deberán combinar proyectores con diferentes distribuciones fotométricas, es decir, para las zonas próximas al emplazamiento de los proyectores, se aconseja utilizar proyectores simétricos en relación a uno o dos planos, y para las zonas alejadas se sugiere implantar proyectores simétricos según un eje de rotación. (proyectores circulares).

### Otras condiciones

El resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa así como la luz intrusa o molesta están muy relacionados con la utilización de los proyectores. El control de dicha contaminación y luz molesta, así como los métodos eficaces para reducir ambas, se corresponderá con el tipo de fotometría utilizado y con la localización y orientación de los proyectores.

En lo que incumbe al resto del tipo de distribuciones fotométricas de los proyectores, cuanto más concentrante sea la distribución luminosa, es decir, con una apertura transversal débil, mayor será el control de la luz y, en consecuencia, más sencillo de evitar o reducir el resplandor luminoso nocturno y luz intrusa debido al flujo disperso y, a mayor abundamiento, más fácil será desenfilarse o desviar los rayos luminosos mediante paralúmenes.

## A IV.4. Equipos Auxiliares

Se deberá cumplir lo dispuesto en el Reglamento (CE) nº 245/2009 por lo que se aplica la Directiva 2005/32/CE, así como Reglamento (UE) nº 347/2010 que modifica los anexos I, II, III y IV del Reglamento 245/2009 y posteriores actualizaciones

La potencia eléctrica máxima consumida del conjunto equipo auxiliar y lámpara fluorescente se ajustarán a los valores admitidos por el Real Decreto 838/2002, de 2 de agosto, por el que se establecen los requisitos de eficiencia energética de los balastos de fuentes de luz fluorescentes.

Las lámparas de descarga tienen en común una impedancia negativa, lo que supone que la intensidad de corriente suministrada para una tensión constante se incremente hasta la destrucción de la lámpara.

Por esta causa, deberá instalarse un balasto para limitar la intensidad de la corriente que fluye por la lámpara y suministrar a la misma los parámetros necesarios

Cuando el balasto sea electromagnético, asociado al mismo se instalarán los condensadores precisos para la corrección del factor de potencia. Además algunas fuentes de luz de descarga, necesitarán incorporar un arrancador que proporcionará en el instante del encendido, la alta tensión necesaria para el cebado de la corriente de arco de la lámpara.

Los arrancadores podrán ser del tipo en serie con la lámpara (de impulsos independientes), en semi-paralelo (de impulsos de pendientes del balasto al que va asociado) y, finalmente, en paralelo ( independiente de dos hilos).

Los balastos electrónicos cumplirán la misión de limitar la intensidad de corriente, al tiempo que realizarán las funciones de los arrancadores y condensadores de compensación del factor de potencia.

Deberán ser compatibles las características técnicas del equipo auxiliar y la lámpara.

El balasto electromagnético serie de tipo inductivo proporciona una baja regulación de corriente y de potencia frente a las oscilaciones de tensión de la red de alimentación, por lo que su uso será adecuado siempre que dicha tensión no fluctúe más de un  $\pm 5\%$ .

Cuando exista sobretensión en la red, en el caso de las lámparas de vapor de sodio alta presión, que utilizan balastos electromagnéticos serie tipo inductivo, debido a su limitada capacidad de regulación, un 10% de incremento en la tensión de la red eléctrica ocasionará un aumento de potencia y de consumo entre el 20 y el 25%, pudiéndose alcanzar incluso un 30%, lo cual resultará altamente perjudicial para la vida de la lámpara que podrá reducirse en más de un 50%, para paliar el problema se optará por instalar:

- Balastos electromagnéticos serie de tipo inductivo con dos tomas de corriente y conexión a la toma más próxima a la tensión de la red, así como balastos autorreguladores y/o autotransformadores
- Balastos electrónicos
- Estabilizadores de tensión en cabecera de línea

Para la instalación del equipo auxiliar se considerarán las dos tipologías existentes para fuentes de luz de descarga, es decir, los equipos eléctricos de tipo exterior utilizados generalmente en instalaciones de alumbrado con puntos de luz

implantados en fachadas o apoyos, alimentados mediante redes aéreas posadas sobre muros o tensadas sobre apoyos. En este supuesto, se cumplirán los grados de protección IP54 e IK08 y se establecerá que dichos equipos eléctricos de tipo exterior irán instalados a una altura mínima sobre el nivel del suelo de 2,5 m.

En el caso de los equipos eléctricos de tipo interior, al estar instalados en el alojamiento de auxiliares de las propias luminarias, o en el interior del soporte, no precisarán se exija grado de protección IP e IK, ya que las envolventes donde están ubicados ya lo poseen.

En relación a la situación de los equipos auxiliares respecto a la lámpara hay que tener en cuenta que, aún cuando la tensión de pico suministrada por el arrancador puede ser muy elevada, hasta 5 Kv e incluso valores más altos, la energía propia de los impulsos es de valor muy reducido.

Por otra parte, la capacidad a que dan lugar el cableado, desde el arrancador o el balasto hasta la lámpara y la formada entre dicho cableado y las paredes metálicas del conducto en el que van alojados los cables, o el soporte del punto de luz, suponen una carga parásita no deseable, que puede atenuar el valor de pico del impulso de tensión del arrancador hasta valores inadmisibles para el encendido de la lámpara.

Por tanto, se recomienda instalar el equipo auxiliar próximo a la lámpara, a una distancia de la misma no superior a 2 metros, realizando las conexiones entre el equipo auxiliar y la lámpara mediante conductores eléctricos unifilares de una rigidez dieléctrica no menor de 3.000 v., de forma que presenten una capacidad lo más baja posible, sin utilizar tubos de conducción metálicos.

## A IV.5. Sistemas de Accionamiento

Los sistemas de accionamiento deberán garantizar que las instalaciones de alumbrado exterior se enciendan y apaguen con precisión a las horas previstas cuando la luminosidad ambiente lo requiera, al objeto de ahorrar energía.

El accionamiento de las instalaciones de alumbrado exterior podrá llevarse a cabo mediante diversos dispositivos, como por ejemplo, fotocélulas, relojes astronómicos y sistemas de encendido centralizado.

Toda instalación de alumbrado exterior con una potencia de fuentes de luz y equipos auxiliares superiores a 5 kW, deberá incorporar un sistema de accio-

namiento por reloj astronómico o sistema de encendido centralizado, mientras que en aquellas con una potencia en fuentes de luz y equipos auxiliares inferior o igual a 5 kW también podrá incorporarse un sistema de accionamiento mediante fotocélula.

En lo relativo a los sistemas de control, el accionamiento de los cuadros de alumbrado será automático incluido el alumbrado reducido, teniendo asimismo la posibilidad de ser manual. El programa, en principio, podrá ser el encendido total, apagado parcial o reducción del flujo luminoso de los puntos de luz a determinadas horas de la noche y el apagado total. A tal efecto, el cuadro de alumbrado irá dotado, bien de célula fotoeléctrica y reloj con corrección astronómica de doble esfera montados en paralelo, actuando el reloj retardado respecto a la célula para el caso de avería, o bien con reloj horario digital astronómico para encendido/apagado del circuito de alumbrado público con circuito voluntario.

Para el accionamiento de seguridad se necesitarán uno o varios interruptores manuales, que podrán instalarse en el circuito de potencia, puenteando los contactores, o en el de maniobra accionando directamente las bobinas de éstos.

Los sistemas de encendido en el cuadro de alumbrado utilizarán fotocélulas de precisión, relojes astronómicos o relojes astronómicos digitales. Las fotocélulas presentan la ventaja de ajustar los órdenes de encendido y apagado a la luminosidad ambiental, pero normalmente en el transcurso del tiempo pierden precisión y su mantenimiento es bastante difícil, mientras que los relojes astronómicos digitales, aun cuando tienen una gran precisión en el cálculo del orto y el ocaso y resultan de fácil mantenimiento, tienen el inconveniente de los problemas que se presentan los días de poca luminosidad, ya que no es posible corregir los horarios programados.

Cuando resulte viable, serán recomendables los sistemas de encendido centralizado que accionarán el alumbrado de una ciudad desde un puesto central –sistema de gestión centralizada-, enviando una orden de encendido y apagado a los cuadros de alumbrado de una manera sincronizada, atendiendo a un reloj central o una fotocélula patrón. Tienen la ventaja que pueden controlarse las órdenes con precisión y sincronismo, y el inconveniente que se presentan problemas cuando, por cualquier circunstancia, falla la orden de mando y no existen elementos de seguridad adicionales

Con la finalidad de mejorar la eficiencia y ahorro energético, los sistemas de accionamiento deberán actuar con exactitud, de modo que las instalaciones de

alumbrado exterior funcionen cuando les corresponda, encendiéndose o apagándose cuando la programación lo prevea.

Las normas de aplicación a los sistemas de accionamiento serán las siguientes:

- Interruptor Astronómico. UNE-EN 60730-2-7
- Interruptor Crepuscular (célula fotoeléctrica. UNE-EN 60669-2-1

## A IV.6. Telegestión

Además de su uso para el encendido, apagado y la regulación del nivel luminoso, se podrá utilizar para la gestión del alumbrado exterior un sistema de telegestión punto a punto o de cuadro de alumbrado.

Siempre que resulte viable se implantará un sistema de gestión centralizada o telegestión que facilite el mantenimiento preventivo permitiendo obtener una información fiable, completa y continua del estado de los diferentes elementos de las instalaciones de alumbrado exterior, Una vez tratada adecuadamente dicha información, previa validación de la misma, será esencial para efectuar las acciones y operaciones de mantenimiento que se estimen procedentes.

Hoy en día existen dos tipos de telegestión referentes al alumbrado exterior, una más orientada a la instalación eléctrica, también llamada Telegestión por cuadro de alumbrado y otra más enfocada en la luminaria conocida por Telegestión punto a punto.

La telegestión por cuadro de alumbrado centraliza todos sus recursos en el cuadro, por lo que se pueden gestionar todos los circuitos de un cuadro remotamente, y además el usuario puede recibir información de dichos cuadros via internet gracias a unos servidores sobre los que se descarga dicha información.

La telegestión punto a punto es algo más avanzada, y centra sus objetivos en la luminaria, de tal manera, que todas las luminarias disponen de un elemento que las gestiona. Dicho elemento, comunica con un controlador de grupo al que pertenecen un número limitado de luminarias, y éste, manda la información vía internet a unos servidores, donde se aloja toda la información del sistema, a la cual el usuario accede a través de un interfaz software.

Con este tipo de telegestión, no sólo se envían datos en un sentido, sino que además es bidireccional, ya que se puede conocer el estado de cada

punto de luz en todo momento, así como enviar órdenes a dichos puntos de luz, tales como apagado, encendido, reducción de flujo, consumo en tiempo real...etc.

Es la herramienta más avanzada para la gestión de un alumbrado público existente hoy en día.

## ANEXO V. Documentación

Con la finalidad de justificar el cumplimiento de las exigencias establecidas en este capítulo, toda instalación de alumbrado exterior deberá incluir la documentación, en forma de proyecto o memoria técnica de diseño, según se establece en la ITC-EA-05.

Las instalaciones de potencia superior a 5 Kw requieren proyecto, redactado y suscrito por técnico titulado competente, mientras que aquellas de potencia igual o inferior a 5 Kw precisan memoria técnica de diseño, que podrá ser redactada por instalador autorizado.

En ambos casos, entre otros datos, se deberán incluir los factores de utilización y mantenimiento de la instalación, la eficacia de las fuentes de luz, rendimiento y flujo hemisférico superior instalado de las luminarias, etc.

Asimismo, en dichos documentos se incorporará el cálculo de la eficiencia energética de la instalación y su calificación energética, así como el plan de mantenimiento.

Se concretarán las características de todos y cada uno de los componentes de la instalación de alumbrado exterior y de las obras a ejecutar con especial referencia al cumplimiento del Reglamento y a la mejora de la eficiencia y ahorro energético.

En el caso de instalaciones de alumbrado festivo y navideño solo será necesario incluir los siguientes datos:

- Los referentes al titular de la instalación, uso y su emplazamiento.
- Relación de luminarias, fuentes de luz y equipos auxiliares a instalar y su potencia.

- Porcentaje de la potencia instalada correspondiente a fuentes de luz incandescentes convencionales.
- Anchura de la calle.
- Potencia de las fuentes de luz incandescentes convencionales utilizadas.
- Potencia máxima instalada por unidad de superficie de calle.

## AV.1. Proyecto

La redacción del proyecto deberá ser tal que permita la ejecución de las obras e instalaciones previstas por otro técnico distinto al autor del mismo.

En la memoria del proyecto se concretarán las características de todos y cada uno de los componentes y de las obras proyectadas, con especial referencia al cumplimiento del reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y a la mejora de la eficiencia y ahorro energético. Entre otros datos, se deberán incluir:

- a) Los referentes al titular de la instalación.
- b) Emplazamiento de la instalación.
- c) Uso al que se destina.
- d) Relación de luminarias, fuentes de luz y equipos auxiliares que se prevea instalar y su potencia.
- e) Factor de utilización ( $f_u$ ) y de mantenimiento ( $f_m$ ) de la instalación de alumbrado exterior, eficiencia de las fuentes de luz y equipos auxiliares a utilizar ( $e_L$ ), rendimiento de la luminaria ( $h$ ), flujo hemisférico superior instalado ( $FHS_{inst}$ ), disposición espacial adoptada para las luminarias y, cuando proceda, la relación luminancia/iluminancia ( $L/E$ ) de la instalación.
- f) Régimen de funcionamiento previsto y descripción de los sistemas de accionamiento y de regulación del nivel luminoso.
- g) Medidas adoptadas para la mejora de la eficiencia y ahorro energético, así como para la limitación del resplandor luminoso nocturno y reducción de la luz intrusa o molesta.

Teniendo en cuenta que la relación luminancia / iluminancia (L/E) depende inicialmente de la distribución de la intensidad luminosa de las luminarias – eficacia fotométrica del sistema óptico -, además de la geometría de la instalación, propiedades reflectantes de los pavimentos y de la posición del observador, a efectos comparativos se recomienda evaluar los valores de (L/E) de las distintas soluciones luminotécnicas, para una misma posición del observador e idénticos pavimentos.

En el transcurso del tiempo, dicha relación (L/E) también es función del factor de mantenimiento y será recomendable incluir entre los datos a aportar, los diagramas de distribución de la intensidad luminosa de la luminaria, la matriz de intensidades y las curvas del factor de utilización

Asimismo, de acuerdo con lo dispuesto en el Anexo 1 de este capítulo, en las instalaciones de alumbrado vial (funcional y ambiental), deberá incorporarse:

- h) Cálculo de la eficiencia energética de la instalación  $\epsilon$ , para cada una de las soluciones adoptadas.
- i) Calificación energética de la instalación en función del índice de eficiencia energética ( $I\epsilon$ ).

La memoria del proyecto se complementará con los anexos relativos a los cálculos luminotécnicos —iluminancias, luminancias con sus uniformidades y deslumbramientos, relación de entorno—, el plan de mantenimiento a llevar a cabo y los correspondientes a la determinación de los costes de explotación y mantenimiento.

Los planos del proyecto se considera deberán ser lo suficientemente descriptivos para que puedan deducirse de ellos las mediciones que sirvan de base para las valoraciones pertinentes, y se aconseja se ajusten al tamaño normalizado.

En el pliego de condiciones del proyecto se hará la descripción de las obras y se regulará su ejecución, a cuyos efectos se recomienda consignar, expresamente o por referencia a los pliegos de prescripciones técnicas generales que resulten de aplicación, las características que hayan de reunir los materiales a emplear y ensayos a que deban someterse para la comprobación de las condiciones que han de cumplir, las normas para la elaboración de las distintas unidades de obra, las precauciones a adoptar durante la construcción y las medidas de seguridad.

Igualmente el pliego de condiciones se sugiere detalle las formas de medición y valoración de las distintas unidades de obra y las de abono de las partidas alzadas, establecerá el plazo de garantía y especificará las normas y pruebas previstas para las recepciones.

El presupuesto del proyecto contendrá los capítulos de mediciones, cuadro de precios, presupuestos parciales y generales.

Los precios de los materiales y de las unidades de obra serán el resultante de la suma de su costo real de adquisición, de forma que se pueda obtener una valoración real de la instalación en cualquier fase de la misma.

## AV.2. Memoria Técnica de Diseño

En la memoria se concretarán las características de todos y cada uno de los componentes y de las obras proyectadas, con especial referencia al cumplimiento del reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y a la mejora de la eficiencia y ahorro energético. Entre otros datos, se deberán incluir:

- a) Los referentes al titular de la instalación.
- b) Emplazamiento de la instalación.
- c) Uso al que se destina.
- d) Relación de luminarias, fuentes de luz y equipos auxiliares que se prevea instalar y su potencia.
- e) Factor de utilización ( $f_u$ ) y de mantenimiento ( $f_m$ ) de la instalación de alumbrado exterior, eficiencia de las fuentes de luz y equipos auxiliares a utilizar ( $e_L$ ), rendimiento de la luminaria ( $\eta$ ), flujo hemisférico superior instalado ( $FHS_{inst}$ ) y disposición espacial adoptada para las luminarias.
- f) Régimen de funcionamiento previsto y descripción de los sistemas de accionamiento de la instalación.
- g) Medidas adoptadas para la mejora de la eficiencia y ahorro energético, así como para la limitación del resplandor luminoso nocturno y reducción de la luz intrusa o molesta.

Asimismo, de acuerdo con lo dispuesto en la ITC-EA-01, en las instalaciones de alumbrado vial (funcional y ambiental), deberá incorporarse:

- h) Cálculo de la eficiencia energética de la instalación  $\epsilon$ , para cada una de las soluciones adoptadas.
- i) Calificación energética de la instalación en función del índice de eficiencia energética ( $I\epsilon$ ).

La memoria técnica de diseño se complementará con los anexos relativos a los cálculos luminotécnicos de iluminancia con sus uniformidades.

Lo recomendado en el desarrollo del epígrafe AV. 1 de este Anexo, en lo referente a la memoria, los planos, pliego de condiciones y presupuesto, así como los criterios para la redacción del proyecto de alumbrado, tanto urbano, como entradas y travesías de ciudades, carreteras e iluminación ornamental, resulta igualmente de aplicación en la memoria técnica de diseño.

También se destaca que a diferencia del proyecto, en la memoria técnica de diseño los cálculos luminotécnicos se limitan a la iluminancia con sus uniformidades.

En la memoria técnica de diseño deberá incluirse asimismo el plan de mantenimiento de la instalación, siendo recomendable incorporar los costes de explotación y mantenimiento.

Para las instalaciones de alumbrado festivo y navideño, solo será necesario incluir la información correspondiente a los apartados a), b), c) y d) anteriores, así como:

- a) Porcentaje de la potencia instalada correspondiente a fuentes de luz incandescentes convencionales.
- b) Anchura de la calle.
- c) Potencia de las fuentes de luz incandescentes convencionales utilizadas.
- d) Potencia máxima instalada, por unidad de superficie de la calle.

Dada la peculiaridad de éste tipo de instalaciones temporales, resulta suficiente con la información reseñada que, en todo caso, se ajustará a lo dispuesto en el epígrafe AI.2.4 del Anexo I de este capítulo.

### AV.3. Ejecución y Puesta en Servicio de las Instalaciones

Las instalaciones de alumbrado exterior están sometidas al procedimiento general de ejecución y puesta en servicio que determina el artículo 18 del Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto. La documentación de las instalaciones y el manual de instrucciones para el usuario, así como la revisión y, cuando proceda, la inspección inicial, deberán complementarse con lo dispuesto en el presente capítulo, en particular siguiendo lo indicado en este Anexo V.

Todas las instalaciones de alumbrado exterior deberán ser ejecutadas por instaladores autorizados en baja tensión, a los que se refiere la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-03 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT)

Las instalaciones que requieran proyecto debido a que su potencia es superior a 5 Kw, su ejecución contará en la Dirección Facultativa de un técnico titulado competente, tal y como dispone la ITC-BT-04 del REBT

Una vez finalizada la instalación de alumbrado exterior, al objeto de comprobar los cálculos de proyecto o de la memoria técnica de diseño, se procederá a realizar las mediciones pertinentes.

Efectuadas la verificación y, en su caso, la inspección inicial, el instalador autorizado emitirá Certificado de Instalación al que se acompañará la siguiente documentación:

#### **Instalación con potencia superior a 5 Kw:**

- Proyecto
- Certificado de Dirección de Obra
- Certificado de Verificación emitido por el instalador autorizado
- Certificado de Inspección emitido por el organismo de control

#### **Instalación con potencia igual ó inferior a 5 Kw:**

- Memoria Técnica de Diseño
- Certificado de Verificación emitido por el instalador autorizado

### AV.3.1. Mediciones y clasificaciones de defectos

Una vez finalizada la instalación del alumbrado exterior se procederá a efectuar las mediciones eléctricas y luminotécnicas, con objeto de comprobar los cálculos del proyecto.

En su caso, es decir cuando se detecten defectos y deficiencias de funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior, se procederá a su clasificación de acuerdo con lo dispuesto en el epígrafe.

En la práctica, disponer de tensión de alimentación en las instalaciones eléctricas antes de la legalización de dicha instalación resulta muy difícil, aún más cuando se exige que no tenga variaciones de tensión que afecten al flujo luminoso emitido por las fuentes de luz. No obstante, si no existe tensión de suministro podrá utilizarse un grupo electrógeno a pesar de que el mencionado dispositivo no garantiza una tensión de alimentación que cumpla dichos requisitos.

Por todo lo anterior y con la finalidad de poder realizar adecuadamente las mediciones luminotécnicas, se podrá solicitar una autorización provisional de suministro de energía eléctrica, o realizar las mediciones una vez legalizada la instalación en lo referente exclusivamente a las prescripciones del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

La verificación de la instalación de alumbrado, tanto inicial como periódica, a realizar por el instalador autorizado, comprenderá las siguientes mediciones:

- a) Potencia eléctrica consumida por la instalación. Dicha potencia se medirá mediante un analizador de potencia trifásico con una exactitud mejor que el 5%. Durante la medida de la potencia consumida, se registrará la tensión de alimentación y se tendrá en cuenta su desviación respecto a la tensión nominal, para el cálculo de la potencia de referencia utilizada en el proyecto.
- b) Iluminancia media de la instalación. El valor de dicha iluminancia será el valor medio de las iluminancias medidas en los puntos de la retícula de cálculo, de acuerdo con lo establecido en la ITC-EA-07. Podrá aplicarse el método simplificado de medida de la iluminancia media, denominado de los "nueve puntos".
- c) Uniformidad de la instalación. Para el cálculo de los valores de uniformidad media se tendrán en cuenta las medidas individuales realizadas para el cálculo de la iluminancia media.

La inspección de las instalaciones, tanto inicial como periódica, a realizar por el organismo de control, incluirá, además de las medidas descritas anteriormente, las siguientes:

- d) Luminancia media de la instalación. Esta medida se realizará cuando la situación de proyecto incluya clases de alumbrado con valores de referencia para dicha magnitud.

Cuando exista dificultad en la realización de mediciones de luminancia, bien por el instrumental, trazado de la calzada (superficies libres y rectas), tipo, desgaste, grado de ensuciamiento, estado del pavimento, etc., las medidas de luminancia ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) podrán sustituirse por las medidas de iluminancia (lux), siempre que el estudio lumínico aporte también el resultado de iluminancias y su distribución.

Por tanto, de conformidad con las aclaraciones de la Subdirección General de Calidad y Seguridad Industrial del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de 9 de Diciembre de 2009, las medidas de luminancia ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) se pueden sustituir por las medidas de iluminancia (lux), utilizando el coeficiente R (según CIE) del pavimento utilizado como elemento de conversión entre ambas magnitudes, tomando un valor de 15 cuando no se conozca el tipo de pavimento, tal y como se establece en las tablas 2 y 3 (notas 4 y 5 respectivamente) del Anexo II de este capítulo.

- e) Deslumbramiento perturbador y relación entorno SR

La medida de estos parámetros no será necesaria si se ha verificado durante la inspección que se cumplen otros valores prescritos (luminancia, iluminancia y uniformidades), que se han determinado por cálculo en la fase de proyecto.

A partir de las medidas anteriores, se determinarán la eficiencia energética ( $\epsilon$ ) y el índice de eficiencia energética ( $I\epsilon$ ) reales de la instalación de alumbrado exterior. El valor de la eficiencia energética ( $\epsilon$ ) no deberá ser inferior en más de un 10% al del valor ( $\epsilon$ ) proyectado y la calificación energética de la instalación ( $I\epsilon$ ) deberá coincidir con la proyectada.

Una vez llevadas a cabo las mediciones, en resumen se deberá cumplir lo siguiente:

- \* El valor de la eficiencia energética ( $\epsilon$ ) no deberá ser inferior en más de un 10% al del valor ( $\epsilon$ ) proyectado.

- ✱ La calificación energética de la instalación (I€) deberá coincidir con la proyectada.
- ✱ Los niveles máximos de luminancia o iluminancia media no podrán superar en más de un 20% los niveles medios de referencia establecidos en el Anexo II de este capítulo.
- ✱ Los niveles de uniformidad deberán alcanzar los valores de uniformidad mínima que dispone el Anexo II de este capítulo

Como resultado de la verificación el instalador autorizado emitirá Certificado de Verificación en el que figurarán las mediciones realizadas y, en su caso, la relación de defectos con su clasificación (muy grave, grave, leve), así como la calificación (favorable, condicionada y negativa) de la instalación.

Como consecuencia de la inspección el organismo de control extenderá un Certificado de Inspección en el que constará además de las mediciones, en su caso, de luminancias, el mismo contenido con idéntica sistemática que el establecido en el Certificado de Verificación.

Una vez terminada la ejecución de la instalación de alumbrado exterior y efectuada la verificación inicial y, en su caso, la inspección inicial, el instalador autorizado emitirá Certificado de Instalación al que se acompañará la memoria técnica de diseño y el Certificado de Verificación y, en su caso, el proyecto y los Certificados de Dirección de Obra y de Inspección.

El Órgano competente de la Comunidad Autónoma procederá a la inscripción del Certificado de la Instalación en el registro pertinente, procediendo a diligenciar las copias correspondientes, de modo que se quede una copia y devuelva cuatro al instalador autorizado que ha ejecutado las instalaciones y que, a su vez, entrega dos copias al titular de la instalación, una de las cuales el titular la proporciona a la Compañía Distribuidora de Energía Eléctrica, requisito sin el cual dicha Compañía no podrá suministrar energía eléctrica a la instalación de alumbrado exterior.

La referida Compañía podrá realizar las comprobaciones y mediciones que considere oportunas en lo relativo al cumplimiento de las prescripciones del Reglamento Electrónico para Baja Tensión (REBT). Cuando los valores obtenidos sean inferiores o superiores a los establecidos respectivamente para el aislamiento y corrientes de fuga en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-19 del REBT,

la Compañía Distribuidora de Energía Eléctrica no podrá conectar a sus redes la instalación de alumbrado exterior.

En este último caso, la Compañía Distribuidora deberá extender un Acta, suscrita también por el titular de la instalación, donde constará el resultado de las comprobaciones efectuadas. Dicha Acta se pondrá en conocimiento del Órgano Competente de la Comunidad de Madrid que determinará lo que proceda

En lo que respecta al procedimiento de evaluación, clasificación de defectos y deficiencia de funcionamiento, se cumplirá lo dispuesto en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-05 del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior.

## **AV.4. Información a los titulares de la Instalación**

Como anexo al certificado de instalación que se entregue al titular de la instalación, la empresa instaladora deberá confeccionar unas instrucciones para el correcto uso, así como para el mantenimiento de la misma.

Asimismo, la empresa instaladora deberá aportar la etiqueta energética de la instalación según lo especificado en el Anexo I de este capítulo. Dicha etiqueta se adjuntará en la documentación del proyecto, junto con la relación de receptores y fuentes de luz.

Cualquier modificación o ampliación requerirá la elaboración de un complemento a lo anterior, en la medida que sea necesario

El Certificado de Instalación deberá, al menos, incluir los datos referentes a las principales características de la instalación, la identificación del instalador autorizado y la declaración expresa de que la instalación ha sido ejecutada conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior y en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Junto al Certificado de Instalación se acompañará un anexo de documentación complementaria que comprenderá el manual de instrucciones para el usuario, las prescripciones para el mantenimiento, la relación de receptores y

fuentes de luz, la etiqueta energética de la instalación, así como la documentación técnica que corresponda, bien el proyecto o la memoria técnica de diseño.

## ANEXO VI. Mantenimiento de las instalaciones

### AVI.1. Mantenimiento de las instalaciones y Mediciones

Las características fotométricas y mecánicas de una instalación de alumbrado exterior se degradarán a lo largo del tiempo debido a numerosas causas, siendo las más importantes las siguientes:

- \* La baja progresiva del flujo emitido por las fuentes de luz.
- \* El ensuciamiento de las fuentes de luz y del sistema óptico de la luminaria.
- \* El envejecimiento de los diferentes componentes del sistema óptico de las luminarias (reflector, refractor, cierre, etc.).
- \* El cese prematuro del funcionamiento de las fuentes de luz.
- \* Los desperfectos mecánicos debidos a accidentes de tráfico, actos de vandalismo, etc.

La peculiar implantación de las instalaciones de alumbrado exterior a la intemperie, sometidas a los agentes atmosféricos, el riesgo que supone que parte de sus elementos sean fácilmente accesibles, así como la primordial función que dichas instalaciones desempeñan en materia de seguridad vial, así como de las personas y los bienes, obligan a establecer un correcto mantenimiento de las mismas.

#### AVI.1.1. Factor de Mantenimiento

Es la relación entre la iluminancia media en la calzada después de un determinado período de funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior, y la iluminancia media obtenida al inicio de su funcionamiento como instalación nueva.

Por tanto, el factor de mantenimiento ( $f_m$ ) es la relación entre la iluminancia media en servicio ( $E_{servicio}$ ) con mantenimiento de la instalación y la iluminancia media inicial ( $E_{inicial}$ ).

$$f_m = \frac{E_{servicio}}{E_{inicial}} = \frac{E}{E_i}$$

Como mínimo, el factor de mantenimiento ( $f_m$ ) será superior a 0,6, es decir,  $f_m > 0,6$ , lo que supondrá una iluminancia inicial  $E_i = 1,66 E$ , es decir un 66 % superior a la iluminancia en servicio ( $E$ ) con mantenimiento de la instalación.

El factor de mantenimiento ( $f_m$ ) será función fundamentalmente de:

El tipo de fuente de luz, depreciación del flujo luminoso y su supervivencia en el transcurso del tiempo.

- ✱ La estanqueidad del sistema óptico de la luminaria mantenida a lo largo de su funcionamiento.
- ✱ La naturaleza y modalidad de cierre de la luminaria.
- ✱ La calidad y frecuencia de las operaciones de mantenimiento.
- ✱ El grado de contaminación de la zona donde se instale la luminaria.

Los grados de protección IP 65 e IP 66 permitirán evitar la limpieza del interior del sistema óptico de la luminaria, manteniendo las prestaciones fotométricas iniciales. A mayor abundamiento, podrán reducirse los costes de mantenimiento debido a la disminución del tiempo de intervención en la limpieza de cada luminaria.

Los criterios de estanqueidad o grados de hermeticidad IP garantizarán las prestaciones fotométricas de las luminarias, el buen comportamiento de los materiales a la corrosión y la obtención de un factor de mantenimiento ( $f_m$ ) elevado.

El factor de mantenimiento, de conformidad con la Publicación CIE 154, será el producto de los factores de depreciación del flujo luminoso de las fuentes de luz, de su supervivencia y de depreciación de la luminaria, de forma que se verificará:

$$f_m = \text{FDfL} \cdot \text{FSL} \cdot \text{FDLU}$$

siendo

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

FSL. = factor de supervivencia de la lámpara.

FDLU. = factor de depreciación de la luminaria.

En el caso de túneles y pasos inferiores de tráfico rodado y peatonales también se tendrá en cuenta el factor de depreciación de las superficies del recinto (FDSR), establecido en la Publicación CIE 97, de forma que se cumplirá:

$$f_m = \text{FDfL} \cdot \text{FSL} \cdot \text{FDLU} \cdot \text{FDSR}$$

La causa del mayor descenso de los niveles de iluminación será, en general, la suciedad de las fuentes de luz y luminarias, cuya pérdida dependerá de la naturaleza y concentración de la contaminación atmosférica, de las características de la luminaria en cuanto a tipo y sistema de cierre y grado de hermeticidad del bloque óptico, así como del tipo de lámpara.

Por todo ello serán recomendables las luminarias con cierre prioritariamente de vidrio no abatible -compartimento óptico sellado-, y un grado de protección IP 66.

En las instalaciones de alumbrado exterior ejecutadas mediante luminarias equipadas con LED, el factor de mantenimiento no superará el valor de 0,85. Cualquier valor de factor de mantenimiento superior a 0,85 deberá justificarse adecuadamente.

En el proyecto de alumbrado exterior, de acuerdo con los valores establecidos en las Publicaciones CIE 97 y 154, se efectuará el cálculo del factor de mantenimiento ( $f_m$ ), que servirá para determinar la iluminancia inicial ( $E_i$ ) en función de los valores de iluminancia ( $E$ ) en servicio con mantenimiento de la instalación establecidos en el documento TR – EN 13201-1 del CEN y en la norma EN-13201-2

La adopción del factor de mantenimiento implica concretar, desde el inicio de la elaboración del proyecto o memoria técnica de diseño, un plan de mantenimiento que deberá contemplar la programación de los trabajos y su frecuencia, que se corresponderá con el factor de mantenimiento.

## AVI.2. Operaciones de mantenimiento

Una depreciación importante o una deficiente eficacia luminosa de la lámpara y, congruentemente, fotométrica de la luminaria podrán ser consecuencia de disfuncionamientos tales como:

- \* Compatibilidad en características, distancia y posicionamiento, no satisfactoria en el conjunto lámpara-equipo auxiliar y luminaria.
- \* Sobretensiones o bajadas de tensión anormales en relación a la tensión nominal de los conjuntos fuentes de luz-equipos auxiliares.
- \* Caídas de tensión acentuadas al nivel del cuadro de alumbrado y especialmente en los puntos de luz más alejados del mismo.
- \* Perturbaciones aleatorias de la red eléctrica de alimentación en ciertos emplazamientos.

Una depreciación especialmente rápida se deberá generalmente a la utilización de luminarias no adaptadas a las dimensiones y potencia de la lámpara, en particular en el caso de luminarias cerradas de dimensiones insuficientes del bloque óptico para la lámpara alojada.

Al respecto se deberá tener en cuenta que la elevación o bajada de la temperatura en el sistema óptico de la luminaria influirá sobre el flujo emitido y la vida de la lámpara, en el caso que la temperatura de dicho sistema esté alejado del valor óptimo de funcionamiento.

A mayor abundamiento, valores anormalmente altos de temperatura en el bloque óptico originarán el deterioro de las juntas de cierre de la luminaria e incluso, a veces, la deformación de los cierres de plástico del sistema óptico, favoreciendo la penetración de polvos corrosivos y agua en el interior del referido sistema, con la consiguiente degradación del reflector.

### **Rondas de inspección**

Entre las diferentes actuaciones que convendrá llevar a cabo para efectuar un mantenimiento apropiado de las instalaciones de alumbrado exterior, será efectuar visitas o rondas nocturnas de inspección periódicas de dichas instalaciones, al objeto de detectar las fuentes de luz que fallan o las anomalías de funcionamiento a nivel de punto de luz.

Las rondas de comprobación se ejecutarán mediante visitas nocturnas con un vehículo ligero. Se evitará en lo posible el encendido diurno de las instalaciones de alumbrado exterior para la comprobación del funcionamiento de las fuentes de luz.

Mediante un sistema de gestión centralizada dotado de los tres niveles: inferior relativo al punto de luz, intermedio correspondiente a los cuadros de alumbrado y superior o control central, podrá obtenerse una información fiable en tiempo real, y permitirá reducir sustancialmente las rondas de inspección.

### **Control periódico de iluminancias**

Cuando la seguridad lo justifique, por ejemplo en vías de elevada intensidad de tráfico y por riesgos particulares de embotellamientos y aglomeraciones, se deberán efectuar rondas nocturnas de medición de los niveles de iluminancia, con la finalidad de comprobar el estado de depreciación de las instalaciones de alumbrado exterior, y evaluar el factor de mantenimiento (fm).

## **AVI.2.1. Clasificación de los Trabajos de Mantenimiento**

Los trabajos de mantenimiento a realizar en las instalaciones de alumbrado exterior se clasificarán en preventivos y correctivos.

Por "Trabajos de Conservación Preventiva" se entenderán los concernientes a:

- ✱ Reemplazamientos masivos de fuentes de luz con un nivel de iluminación por debajo del establecido.
- ✱ Operaciones de limpieza de luminarias, soportes y pintura de los mismos.
- ✱ Trabajos de inspección, mediciones eléctricas y luminotécnicas

Por "Trabajos de Conservación Correctiva" se definirán los de:

- ✱ Localización y reparación de averías
- ✱ Renovación, modificación o mejoras de instalaciones.

- \* Reparaciones que sea necesario o conveniente realizar.
- \* Sustitución puntual de fuentes de luz fundidas y elementos de la instalación fuera de uso.

Los trabajos de inspección y mediciones eléctricas se realizarán periódicamente y entrarán dentro de las operaciones de mantenimiento preventivo de las instalaciones.

Como mínimo anualmente, de acuerdo con la programación del mantenimiento, se controlará lo siguiente:

- \* Cuadros de alumbrado.
- \* Instalaciones eléctricas.
- \* Soportes.

## AVI.2.2. Programación del Mantenimiento

La programación del mantenimiento preventivo y su periodicidad se establecerá teniendo en cuenta la vida media y depreciación luminosa de las fuentes de luz, ensuciamiento de las luminarias en función de su hermeticidad y grado de contaminación atmosférica, pintado de soportes, verificación y revisión de cuadros de alumbrado, etc. El mantenimiento preventivo, comprenderá la siguiente programación, con la periodicidad en las operaciones, que se señala:

### a) Fuentes de luz

Reposición en instalaciones con funcionamiento permanente  
de 24 h (túneles, pasos inferiores.....) de 1 a 2 años

Reposición en instalaciones con funcionamiento nocturno ..... de 2 a 4 años

### b) Equipos Auxiliares

Verificación de sistemas de regulación del nivel luminoso  
(reguladores en cabecera de línea y balastos  
de doble nivel) ..... 1 vez cada seis meses

Reposición masiva equipos auxiliares  
(balastos, arrancadores y condensadores) ..... de 8 a 10 años

**c) Luminarias**

Limpieza del sistema óptico y cierre  
(reflector, difusor)..... de 1 a 2 años

Control de las conexiones y de la oxidación..... con cada cambio de lámpara

Control de los sistemas mecánicos de fijación..... con cada cambio de lámpara

**d) Cuadros de alumbrado**

Control del sistema de encendido y apagado  
de la instalación ..... 1 vez cada seis meses

Revisión del armario. .... 1 vez al año

Verificación de las protecciones  
(interruptores y fusibles) ..... 1 vez al año

Comprobación de la puesta a tierra..... 1 vez al año

**e) Instalaciones eléctricas**

Medida de la tensión de alimentación ..... 1 vez cada seis meses

Medida del factor de potencia..... 1 vez cada seis meses

Revisión de las tomas de tierra..... 1 vez al año

Verificación de la continuidad de la línea de enlace con tierra ..... 1 vez al año

Control del sistema global de puesta a tierra de la instalación..... 1 vez al año

Comprobación del aislamiento de los conductores ..... de 2 a 3 años

**f) Soportes**

Control de la corrosión (interna y externa..... 1 vez al año

Control de las deformaciones (viento, choques.....	1 vez al año
Soportes de acero galvanizado (pintado primera vez.....	15 años
Soportes de acero galvanizado (pintado veces sucesivas .....	cada 7 años
Soportes de acero pintad.....	cada 5 años

Quando en el transcurso del tiempo coincidan la reposición de fuentes de luz y la limpieza de luminarias, ambas operaciones se ejecutarán de forma simultánea. La reposición masiva de fuentes de luz y la limpieza de luminarias se completará efectuando el control de las conexiones y verificando el funcionamiento del equipo auxiliar.

El mantenimiento correctivo comprenderá las operaciones necesarias para la detección y reparación de averías con rapidez y buena calidad, de forma que se mejore la seguridad de este tipo de instalaciones de alumbrado exterior, pudiendo implantarse sistemas de gestión centralizada

**Medios para limitar los costes**

Los medios más importantes para limitar los costes de mantenimiento de las instalaciones de alumbrado exterior serán los siguientes:

- \* Facilitar la reposición de fuentes de luz y eventualmente de los equipos auxiliares.
- \* Simplificar las operaciones de limpieza (naturaleza o características, complejidad de las superficies a mantener, tipo de cierre abatible o no abatible y grado de protección del sistema óptico, etc.).
- \* Limitar el envejecimiento del cierre de las luminarias.
- \* Estudiar las medidas pertinentes de resistencia al vandalismo.

**AVI.2.3. Registro de las Operaciones de Mantenimiento**

El mantenedor, que será un instalador autorizado en baja tensión, deberá llevar un registro de operaciones de mantenimiento, en el que se reflejen los resultados de las tareas realizadas.

El registro podrá realizarse en un libro u hojas de trabajo o mediante un sistema informatizado. En cualquiera de los casos, se numerarán correlativamente las operaciones de mantenimiento de la instalación de alumbrado exterior, debiendo figurar, como mínimo, la siguiente información:

El titular de la instalación y la ubicación de ésta.

- \* El titular del mantenimiento.
- \* El número de orden de la operación de mantenimiento preventivo en la instalación.
- \* El número de orden de la operación de mantenimiento correctivo.
- \* La fecha de ejecución.
- \* Las operaciones realizadas y el personal que las realizó.
- \* Consumo energético anual.
- \* Tiempos exactos de encendido y apagado de los puntos de luz.
- \* Medida y valoración de la energía activa y reactiva consumida, incluso con discriminación horaria y factor de potencia.
- \* Medidas y verificación eléctrica de la red con registro de datos.
- \* Niveles de iluminación.
- \* Factores de utilización y mantenimiento de la instalación.
- \* Tipo de luminaria utilizada: rendimiento y flujo hemisférico superior instalado.
- \* Relación luminancia / iluminancia
- \* Especificaciones sobre limitación del resplandor luminoso nocturno.
- \* Acciones para la reducción de la luz intrusa o molesta.
- \* Potencia instalada. Puntos de luz y potencia por tipo de lámpara.

- ✱ Sistemas de accionamiento.
- ✱ Sistemas de regulación del nivel luminoso.
- ✱ Horario de usos.
- ✱ Equipos de protección y medida.
- ✱ Y cuantas observaciones se crean oportunas.

El registro de las operaciones de mantenimiento de cada instalación se hará por duplicado y se entregará una copia al titular de la instalación. Tales documentos deberán guardarse al menos durante tres años, contados a partir de la fecha de ejecución de la correspondiente operación de mantenimiento.

## AVI.3. Mediciones

Se considerarán las mediciones de luminancias e iluminancias que se ajustarán a lo dispuesto en la Instrucción técnica complementaria de la ITC-EA-07 del Reglamento de Eficiencia Energética en Alumbrado Exterior.

### AVI.3.1. Mediciones de luminancias

La medida de la luminancia media y las uniformidades deberán realizarse sobre el terreno, comparándose los resultados obtenidos en el cálculo incluido en el proyecto con los de la medida. La medida requiere un pavimento usado durante cierto tiempo, y un tramo recto de calzada de longitud aproximada de 250 m.

Se recomienda que el pavimento no sea de nueva implantación, es decir que se encuentre usado durante un cierto tiempo, aproximadamente seis meses desde su puesta en servicio, habiendo sido modificada la superficie por el tráfico de vehículos

Cuando exista dificultad en la realización de mediciones de luminancia, bien por el instrumental, trazado de la calzada (superficies libres y rectas) tipo, desgaste, grado de ensuciamiento, estado del pavimento, etc. las medidas de luminancia ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) podrán sustituirse por las mediciones de iluminancia (lux), siempre que el estudio lumínico aporte también el resultado de iluminancias y su distribución.

### AVI.3.2. Medida de Iluminancias

La medida se realizará con un iluminancímetro, también llamado luxómetro, que deberá cumplir las siguientes exigencias:

- a) Deberá tener un rango de medida adecuado, acorde a los niveles a medir y estar calibrado por un laboratorio acreditado.
- b) Deberá disponer de corrección del coseno hasta un ángulo de 85°.
- c) Tendrá corrección cromática, según CIE 69:1987 de acuerdo con la distribución espectral de las fuentes luminosas empleadas y su respuesta se ajustará a la curva media de sensibilidad  $V(\lambda)$ .
- d) El coeficiente de error por temperatura deberá estar especificado para margen de las temperaturas de funcionamiento previstas durante su uso
- e) La fotocélula de luxómetro estará montada sobre un sistema que permita que ésta se mantenga horizontal en cualquier punto de medida.

Las medidas se realizarán sobre la capa de rodadura de la calzada, en los puntos determinados en la retícula de cálculo del proyecto. Todas las luminarias que intervienen en la medida y forman parte de la instalación de alumbrado, deben estar libres de obstáculos y podrán verse desde la fotocélula.

Las retículas de cálculo y de medida, se ajustarán a lo dispuesto respectivamente en la Publicación CIE -140 y en las normas UNE-EN 13201-3 y UNE-EN 13201-4, pudiendo reducirse en la cuadrícula de medida el número de puntos establecidos en la retícula de cálculo.

Una reducción de la retícula de medida, con respecto a la de cálculo, será admisible cuando no modifique los valores mínimos, máximos y medios en  $\pm 5\%$ .

Salvo imposibilidad o singularidad justificada en el proyecto, el tramo de calzada sobre el que se va a efectuar la medida de iluminancias se elegirá en una sección horizontal y recta que responda a las características de la instalación, tales como anchura de calzada, tipo de implantación de las luminarias (separación entre puntos de luz, altura y reglaje de las fuentes de luz en el sistema óptico, longitud de brazo, saliente e inclinación), tipo de fuente de luz, potencia, etc.

Para garantizar durante la medida de iluminancias la seguridad de todos los operadores que intervienen en las mismas, así como de los usuarios habituales de la vía de tráfico objeto de las mediciones, se adoptarán todas las disposiciones que se estimen necesarias.

Para ello, en comunicación con las autoridades competentes, deberán preverse los correspondientes medios de protección (señalización, barreras, presencia, en su caso, de policía, etc) de conformidad con la reglamentación en vigor (por ejemplo, resolución municipal autorizando los trabajos de medición de las iluminancias).

Las mediciones sucesivas sobre cada punto de la retícula de medida se efectuarán de noche con tiempo claro, siguiendo el esquema de medida fijado. La fotocélula del luxómetro se situará horizontalmente a nivel de la calzada.

Antes de comenzar las mediciones se deberá esperar a que la emisión luminosa esté estabilizada, por lo que para asegurar dicha estabilización, será necesario esperar aproximadamente 60 minutos después de la puesta en tensión de las lámparas de descarga.

Para asegurar la fiabilidad de las mediciones, se recomienda repetir, al menos, una de ellas en idénticas condiciones, en un mismo punto.

Esta precaución permite eliminar los errores eventuales debidos a la falta de estabilidad en la alimentación eléctrica, a la carencia de funcionamiento en régimen estable de la lámpara y del propio luxómetro.

Durante la medida de iluminancias se deberán anotar, además de los resultados de las mediciones, los siguientes datos:

- El día y la hora en la que se ejecutan las mediciones.
- La identificación del tramo de calzada en el que se llevan a cabo dichas medidas, que se plasmará en el correspondiente plano.
- La referencia del luxómetro utilizado en las mediciones, especificando el rango de medida y fecha de su calibración.
- Tipo de luminaria, fuente de luz y equipo auxiliar.
- Tensión de alimentación de los puntos de luz.

Obtenidas las mediciones de iluminancia en cada punto de la retícula de medida, la iluminancia media se calculará efectuando la media aritmética de los valores medidos en dichos puntos.

### AVI.3.3. Comprobación de Mediciones

Los valores medios de las magnitudes medidas no diferirán más de un 10% respecto a los valores de cálculo de proyecto.

Las tolerancias admitidas para la medida de iluminancias tienen en cuenta:

- Las variaciones de las características de un sistema óptico a otro, inherentes a todas las fabricaciones industriales.
- Las tolerancias sobre las fuentes de luz y la dispersión de las características eléctricas de los accesorios de alimentación, admitidos en fabricación para la tensión nominal.
- Los imponderables debidos a la propia instalación, como la tolerancia sobre la implantación de las luminarias (separación entre puntos de luz, posición de las luminarias,...etc).
- La imprecisión de las mediciones realizadas sobre el terreno (aparato de medida, condiciones atmosféricas, etc).

La tolerancia del 10 % en iluminancia media no tienen en consideración lo siguiente:

- Las eventuales variaciones de tensión de la alimentación de los puntos de luz
- Las diferencias comprobadas entre el proyecto o memoria técnica de diseño y la calzada donde se han realizado las mediciones de iluminancia, en lo que respecta a las dimensiones de las superficies iluminadas y, consecuentemente, a la geometría de implantación de los puntos de luz.

En lo que respecta al alumbrado vial, las tolerancias en la nivelación y separación entre puntos de luz es la siguiente:

### **Nivelación de los puntos de luz.**

- Verticalidad: desplome máximo un 3%.
- Horizontalidad: la luminaria nunca estará por debajo del plano horizontal, siendo el valor normal de inclinación  $5^\circ$ , pudiéndose permitir una inclinación máxima de  $20^\circ$  en casos especiales debidamente justificados.

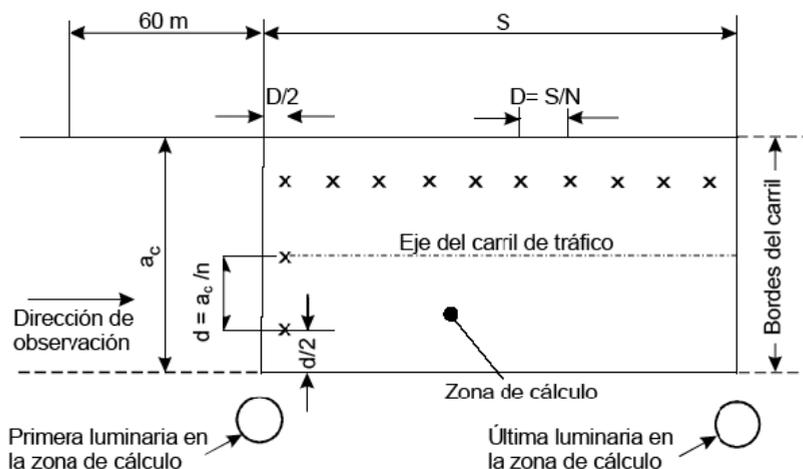
### **Separación entre puntos de luz.**

- Diferirá como máximo entre dos puntos consecutivos, en un 5% de la separación especificada en el proyecto o memoria técnica de diseño o, en su caso, en el replanteo.

Los puntos de medida se dispondrán, uniformemente separados, como muestra la figura 1, siendo su separación longitudinal  $D$ , no superior a 5 m, y su separación transversal  $d$ , no superior a 1,5 m. El número mínimo de puntos en la dirección longitudinal  $N$ , o transversal  $n$ , será de 3

En principio la retícula de medida será la misma que la de cálculo, aun cuando el elevado número de mediciones a realizar in-situ puede resultar impracticable a causa de limitaciones de tiempo u otras circunstancias, por lo que de acuerdo con la norma UNE-EN 13201-4, es conveniente efectuar menos mediciones, recomendando llevarlas a cabo en puntos alternos ( $x$ ) de la dirección longitudinal en la retícula de cálculo, es decir, a una distancia  $D \leq 6$  m, manteniendo la medición en los puntos ( $x$ ) de la retícula de cálculo en la dirección transversal a una distancia  $d \leq 1,5$  m. El número mínimo de puntos en la dirección longitudinal ( $N$ ) o transversal ( $n$ ) será de 3.

### Posición de los puntos de medida en un carril de tráfico



$S$  = separación entre dos puntos de luz, en la misma fila

$X$  = puntos de medida de la luminancia

$a_c$  = anchura del carril

$D$  = distancia en la dirección longitudinal entre dos puntos de medida contiguos

$d$  = distancia en la dirección transversal entre dos puntos de medida contiguos

De conformidad con lo dispuesto en la Publicación CIE nº 140 y en la norma UNE-EN 13201-3, para el cálculo de luminancias, se recomienda situar el observador sucesivamente en el centro de cada carril de tráfico. La luminancia media ( $L_m$ ) y la uniformidad global de luminancia ( $U_o$ ) se calcularán en la retícula de cálculo. Asimismo, la uniformidad longitudinal de luminancia ( $U_l$ ) se calculará para la línea central de cada carril de tráfico y en el sentido de circulación.

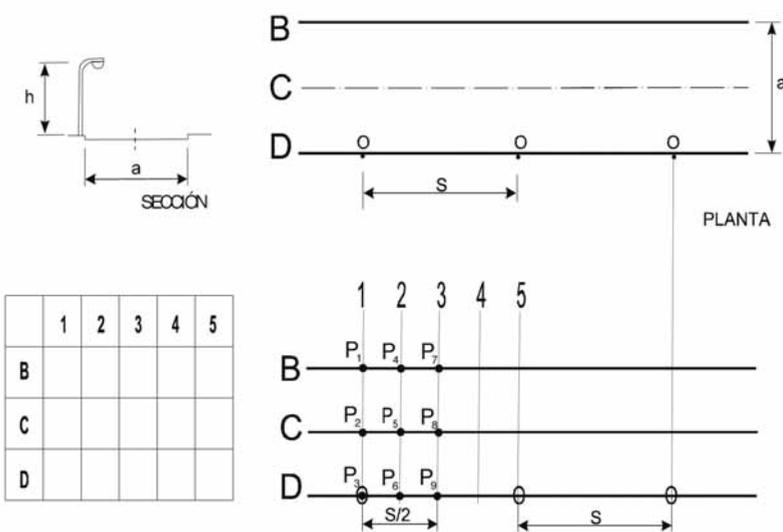
Tal y como se ha indicado anteriormente, de acuerdo con la norma UNE-EN 13201-4, resulta conveniente realizar menos mediciones, por lo que se recomienda hacerlo únicamente para el observador con valores calculados más desfavorables en cuanto a luminancias y uniformidades.

### AVI.3.4. Método simplificado de medida de la iluminancia media

El método denominado de los “nueve puntos” permite determinar de forma simplificada, la iluminancia media ( $E_m$ ), así como también las uniformidades media ( $U_m$ ) y general ( $U_g$ ).

A partir de la medición de la iluminancia en quince puntos de la calzada (véase fig. 1), se determinará la iluminancia media horizontal ( $E_m$ ) mediante una media ponderada, de acuerdo con el denominado método de los “nueve puntos”.

Mediante el luxómetro se mide la iluminancia en los quince puntos resultantes de la intersección de las abscisas B, C, D, con las ordenadas 1, 2, 3, 4 y 5, de la figura 1.



**Fig.1.** Determinación de la iluminancia media y uniformidades mediante el método de los nueve puntos.

Teniendo en cuenta una eventual inclinación de las luminarias hacia un lado u otro, se debe adoptar como medida real de la iluminancia en el punto teórico  $P_1$  la media aritmética de las medidas obtenidas en los puntos  $B_1$  y  $B_5$  y así sucesivamente, tal y como consta en la tabla que se adjunta más adelante.

La iluminancia media es la siguiente:

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

Donde:

$$E1 = (B1 + B5) / 2$$

$$E2 = (C1 + C5) / 2$$

$$E3 = (D1 + D5) / 2$$

$$E4 = (B2 + B4) / 2$$

$$E5 = (C2 + C4) / 2$$

$$E6 = (D2 + D4) / 2$$

$$E7 = B3$$

$$E8 = C3$$

$$E9 = D3$$

La uniformidad media ( $U_m$ ) de iluminancia es el cociente entre el valor mínimo de las iluminancias  $E_i$  calculadas anteriormente y la iluminancia media ( $E_m$ ).

La uniformidad general o extrema ( $U_g$ ) se calcula dividiendo el valor mínimo de de las iluminancias  $E_i$  entre el valor máximo de dichas iluminancias.

Alumbrado para Vigilancia y seguridad Nocturna:

En el alumbrado para vigilancia y seguridad nocturna, la medición de la iluminancia media horizontal en las inmediaciones del edificio, se efectuará en la superficie de un rectángulo en el suelo, cuya longitud comprenderá los puntos de luz existentes en la fachada y una anchura del mismo igual a la altura de implantación de los puntos de luz en el edificio.











Fundación de la Energía de  
la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency

Intelligent Energy  Europe

[www.fenercom.com](http://www.fenercom.com)



MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, ENERGÍA  
Y TURISMO



Medida de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España (2004/2012) puesta en marcha por la Comunidad de Madrid, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).