

Guía de Gestión Energética



Alumbrado Público



Madrid Vive Ahorrando Energía



Dirección General de Industria,
Energía y Minas
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA
E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Comunidad de Madrid

www.madrid.org



Guía de Gestión Energética en el Alumbrado Público



Madrid **Ahorra** con Energía

Madrid, 2006

Autores

Capítulo 1. **Modelo de ordenanza municipal de alumbrado exterior**
Comité Español de Iluminación
www.ceisp.com

Capítulo 2. **Medidas para la eficiencia energética en el alumbrado público**
Endesa. Dirección Empresas. Marketing Empresas.
www.endesa.es

Capítulo 3. **Ahorro energético en las instalaciones de alumbrado**
D. José Manuel Rodríguez
ORBIS TECNOLOGÍA ELÉCTRICA S.A.
www.orbis.es

Capítulo 4. **Los Servicios Energéticos: un mecanismo de ahorro y eficiencia**
Instituto Cerdá
www.icerda.es

Capítulo 5. **Ahorro de energía eléctrica en el alumbrado**
Philips División Comercial Alumbrado
www.philips.es

Capítulo 6. **Gestión energética de instalaciones**
D. Koldo Bustinza
www.iberdrola.es

Capítulo 7. **Condiciones técnicas y garantías de las instalaciones de alumbrado exterior**
Departamento Técnico de ANFALUM (Asociación Española de Fabricantes de Iluminación)
www.anfalu.com

Capítulo 8. **Tecnología led: ¿iluminación del Siglo XXI?**
D. David Calero Monteagudo
SICE (Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas S.A.)
www.sice.es

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 recogían 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

Prólogo

El consumo energético de un ayuntamiento por medio de su alumbrado público supone un gasto significativo del mismo. En paralelo, los ciudadanos demandan a sus gestores públicos un buen alumbrado para la seguridad vial, los peatones y propiedades.

El alumbrado público ha sufrido variaciones desde sus orígenes, tanto en su alcance como en sus medios y sistemas técnicos empleados. Hoy no es concebible pensar en planificar un alumbrado público si no se tiene en cuenta tres condicionantes básicos, a saber, procurar un eficaz consumo energético, conseguir un mínimo impacto ambiental y obtener una aceptable inversión.

Para conseguir este **buen alumbrado** se debe analizar y buscar un equilibrio entre estos diferentes aspectos que influyen en el diseño de las instalaciones de alumbrado combinando la **eficacia** con el **ahorro**.

En la actualidad, las Corporaciones locales trabajamos para conseguir esta **eficiencia óptima** empezando para ello, con la optimización de las instalaciones. Debemos tener en cuenta que no siempre, un mayor consumo energético equivale a un mejor servicio.

A lo largo de esta **Guía sobre Gestión en el Alumbrado Público** iremos descubriendo posibilidades para el ahorro energético, al mismo tiempo que nos aconseja sobre las condiciones que deben cumplir las instalaciones del alumbrado con el fin de mejorar la Protección del medio ambiente mediante un uso eficiente y racional de la energía que consumen, la reducción del resplandor luminoso nocturno y una mayor seguridad.

Considero que la elaboración de estas guías que publica La Consejería de Economía a través de la Dirección General de Industria, Energía y Minas se va a

convertir en una herramienta de gran utilidad para todos los municipios que trabajen en conseguir el grado de eficiencia óptima equilibrando el consumo y el confort en la proporción adecuada.

Finalizo estas palabras agradeciendo el excelente trabajo realizado con la elaboración de esta publicación y manifestando, como alcalde, mi deseo de seguir contando con documentos de esta calidad.

Luis Partida Brunete

Presidente de la Federación de Municipios de Madrid

Índice

CAPÍTULO 1. Modelo de ordenanza municipal de alumbrado exterior	21
ARTÍCULO 1. Objeto	21
ARTÍCULO 2. Finalidades	21
ARTÍCULO 3. Ámbito de Aplicación	22
ARTÍCULO 4. Diseño de las instalaciones	23
ARTÍCULO 5. Zonificación	23
ARTÍCULO 6. Limitaciones del Flujo Hemisférico Superior	24
ARTÍCULO 7. Características Fotométricas de los Pavimentos	24
ARTÍCULO 8. Protección del Medio Ambiente	25
ARTÍCULO 9. Régimen Estacional y Horario de Usos del Alumbrado Exterior	26
ARTÍCULO 10. Alumbrado Vial y Alumbrados Específicos	28
ARTÍCULO 11. Alumbrado de Túneles y Pasos inferiores	28
ARTÍCULO 12. Alumbrado de Aparcamientos al Aire Libre	29
ARTÍCULO 13. Alumbrado de Fachadas de Edificios y Monumentos	29
ARTÍCULO 14. Alumbrado de Instalaciones Deportivas y Recreativas exteriores	30
ARTÍCULO 15. Alumbrado de Áreas de Trabajo exteriores	31
ARTÍCULO 16. Alumbrado de Seguridad	32
ARTÍCULO 17. Alumbrado de Carteles y Anuncios Luminosos	32
ARTÍCULO 18. Alumbrado de Escaparates	33
ARTÍCULO 19. Alumbrado Festivo y Navideño	33
ARTÍCULO 20. Mantenimiento de las instalaciones	33
ARTÍCULO 21. Garantía del cumplimiento de esta ordenanza en instalaciones privadas	36
ARTÍCULO 22. Garantía del Cumplimiento de esta Ordenanza en Instalaciones Públicas	37
ARTÍCULO 23. Facultades de Inspección y Control	37
ARTÍCULO 24. Suspensión de Obras y Actividades	39
Disposiciones Adicionales	39
Disposiciones Transitorias	40
Disposiciones Finales	41

ARTÍCULO 25. Régimen sancionador	41
ANEXO. Requerimientos técnicos y niveles de iluminación que deben cumplir las instalaciones de alumbrado exterior	46
Requerimientos técnicos	46
1. Requisitos Técnicos de las Lámparas	46
2. Requisitos Técnicos de los Equipos Auxiliares	46
3. Requisitos Técnicos de las Luminarias y Proyectores	47
4. Requisitos Técnicos para el Encendido y Apagado de la Instalación	52
5. Requisitos Técnicos para la Regulación del Nivel Luminoso	52
6. Requisitos Técnicos de los Sistemas de Gestión Centralizada	53
7. Requisitos Técnicos de los Tipos de Materiales	53
Niveles de iluminación	53
8. Alumbrado Vial	53
8.1. Valores Luminotécnicos para las Situaciones de Proyecto A y B, con Calzadas Secas	59
8.2. Valores Luminotécnicos para las Situaciones de Proyecto C, D y E	60
8.3. Tramos singulares	61
8.4. Clases de Alumbrado de Similar Nivel de Iluminación	64
8.5. Variaciones Temporales de las Clases de Alumbrado	64
9. Alumbrados Específicos	65
9.1. Pasarelas Peatonales, Escaleras y Rampas	65
9.2. Pasos Subterráneos Peatonales	65
9.3. Alumbrado Adicional de Pasos de Peatones	65
9.4. Alumbrado de Parques y Jardines	66
9.5. Alumbrado de Pasos a Nivel de Ferrocarril	66
9.6. Alumbrado de Fondos de Saco	66
9.7. Alumbrado de Glorieta y Rotondas	66
10. Alumbrado de Túneles y Pasos Inferiores	67
11. Alumbrado de Fachadas de Edificios y Monumentos	67
12. Alumbrado de Instalaciones Deportivas y Recreativas exteriores	67
13. Alumbrado de Áreas de Trabajo Exteriores	68
14. Alumbrado de Seguridad	68
15. Alumbrado de Carteles y Anuncios Luminosos	69

16. Alumbrado Festivo y Navideño	69
Definiciones técnicas	70
CAPÍTULO 2. Medidas para la eficiencia energética en el alumbrado público	75
2.1. Introducción	75
2.2. Optimización de instalaciones	80
2.2.1. Parámetros de eficiencia energética	80
2.2.2. Estrategias y medidas de ahorro energético en Alumbrado Público	81
2.2.3. Gestión y mantenimiento energéticos	86
2.3. Conclusiones	87
CAPÍTULO 3. Ahorro energético en las instalaciones de alumbrado	91
3.1. Introducción	91
3.2. Descripción de los equipos de control	92
3.2.1. Interruptores crepusculares	92
3.2.2. Interruptores horarios astronómicos	93
3.3. Métodos de control	94
3.3.1. Apagado parcial (doble circuito)	94
3.3.2. Reactancia de doble nivel	95
3.3.3. Estabilizadores de tensión y reductores de flujo luminoso en cabecera	96
3.3.3.1. Funcionamiento de los reductores de flujo luminoso	97
3.3.3.2. Ciclos de funcionamiento de los reductores de flujo luminoso	98
3.3.3.3. Rendimiento	100
3.3.3.4. Características generales de los equipos estabilizadores de tensión y reductores de flujo luminoso y su clasificación	100
3.3.3.5. Instalación de los reductores de flujo	102
3.3.3.6. Mantenimiento	103
3.3.3.7. Auxiliares de regulación	103
3.4. Ejemplo de ahorros con reductores de flujo y estabilizadores de tensión	104
3.5. Telegestión	106
3.5.1. Características generales	107
3.5.2. Funcionamiento	107
3.5.3. Software de comunicaciones	108
3.5.4. Archivo de adquisición de datos	109

3.5.5. Parámetros eléctricos medidos en el momento	111
CAPÍTULO 4. Los Servicios Energéticos: un mecanismo de ahorro y eficiencia	113
4.1. Introducción	113
4.2. Situación de los Servicios Energéticos	115
4.2.1. Situación a nivel internacional	115
4.2.2. Definición de Servicio Energético	116
4.2.3. Situación en España de los Servicios Energéticos	119
4.2.3.1. La oferta	119
4.2.3.2. La demanda	120
4.2.3.3. Solución a corto y medio plazo	121
4.3. Cálculo de viabilidad de los servicios energéticos para alumbrado público	123
4.3.1. Metodología del cálculo de viabilidad	123
4.3.2. Contenido del servicio energético de Alumbrado Público	125
4.3.3. Resultados obtenidos	128
4.3.4. Conclusiones de los resultados	131
4.4. Marco legal	132
4.4.1. Introducción	132
4.4.2. Relación contractual	134
4.4.3. Pliego de condiciones técnicas y administrativas	134
4.5. Conclusiones	137
CAPÍTULO 5. Ahorro de energía eléctrica en el alumbrado	141
5.1. Antecedentes	141
5.2. Directivas, Códigos, Leyes y Reglamentos sobre la Eficiencia Energética	143
5.2.1. Directiva EUP (<i>Energy Using Products</i> – Productos que consumen energía)	143
5.2.2. Norma UNE 13201 relativa a "Iluminación de carreteras"	146
5.2.3. Real Decreto 208/2005, relativo a la Directiva RAEE sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos	146
5.3. Cómo se puede ahorrar energía en instalaciones de alumbrado	147
5.3.1. Fase de Proyecto	148
5.3.1.1. Elección de los componentes de la instalación	149
5.3.1.2. Elección de sistemas de control y regulación	155
5.3.2. Ejecución y explotación	155
5.3.2.1. Suministro de energía eléctrica	155

5.3.2.2. Cumplimiento de los niveles proyectados	156
5.3.2.3. Respeto de las soluciones y sistemas proyectados	156
5.3.2.4. Establecimiento de los encendidos y apagados	156
5.3.3. Mantenimiento	157
5.3.3.1. Previsión de operaciones programadas	157
5.3.3.2. Respeto de las frecuencias de reemplazo de los componentes	158
5.3.3.3. Reemplazo llevado a cabo con componentes correctos	159
5.3.3.4. Recogida, transporte y reciclaje de los elementos sustituidos	159
5.3.4. Proyecto Somosaguas. Caso Práctico de ahorro energético	160
5.3.5. Cálculos del Coste Total de Propiedad. Utilización de lámparas eficientes	163
CAPÍTULO 6. Gestión energética de instalaciones	169
6.1. Introducción	169
6.2. Objetivos	172
6.3. Alcance	173
6.4. Clasificación por tamaño y potencia eléctrica contratada	173
6.4.1. Instalaciones Pequeñas de Alumbrado Público exterior	174
6.4.2. Instalaciones de Alumbrado Público de Exteriores Grandes	175
6.5. Criterios de diseño utilizados	177
6.5.1. Nivel de iluminación y uniformidad	177
6.5.2. Distribución y altura de los puntos de luz	178
6.5.3. Color	179
6.5.4. Lámparas	179
6.5.5. Luminarias	179
6.5.6. Sistemas de gestión	179
6.6. Sistema de gestión energética	181
6.6.1. Diseño del sistema de gestión energética (GEN)	181
6.7. Metodología de trabajo	183
6.8. Características generales de un sistema de gestión	184
6.9. Elementos que constituyen el sistema de gestión	184
6.10. Ahorros energéticos posibles por tipo de instalación	185
6.10.1. Instalaciones de Alumbrado Público de exteriores Pequeñas	186
6.10.2. Instalaciones de Alumbrado Público Exterior Grande	190

6.11. Ejecución de las soluciones aplicables	205
6.12. Ventajas para el usuario	207
CAPÍTULO 7. Condiciones técnicas y garantías de las instalaciones de alumbrado exterior	209
7.1. Finalidad	209
7.2. Instalaciones afectadas	210
7.3. Eficiencia energética	211
7.4. Luminosidad nocturna	212
7.5. Luz molesta	213
7.6. Lámparas	214
7.7. Luminarias y proyectores	215
7.8. Equipos Auxiliares	215
7.9. Accionamiento de las instalaciones	216
7.10. Regulación del nivel luminoso	216
7.11. Periodos de utilización	217
7.12. Sistemas de gestión centralizada	217
7.13. Cuadros de alimentación	218
7.14. Régimen de funcionamiento	219
7.15. Explotación de las instalaciones	221
7.16. Mantenimiento del alumbrado	222
ANEXO I. Eficiencia energética	224
AI.1. Eficiencia Energética	224
ANEXO II. Resplandor luminoso nocturno y luz molesta	229
AII.1. Resplandor luminoso nocturno	229
AII.1.1. Limitaciones de las Emisiones Luminosas	230
AII.1.2. Lámparas	233
AII.2. Luz molesta	233
ANEXO III. Componentes de las instalaciones	236
AIII.1. Lámparas	236
AIII.2. Luminarias	237
AIII.2.1. Clasificación de las Luminarias	240
AIII.2.2. Prescripciones de las Luminarias	243
AIII.2.3. Prescripciones de los Proyectores	247
AIII.2.3.1. Parámetros luminotécnicos	247
AIII.2.3.2. Iluminación de superficies horizontales	248

AIII.2.3.3. Iluminación de superficies verticales	249
AIII.3. Equipos auxiliares	249
ANEXO IV. Mantenimiento de las instalaciones	251
AIV.1. Mantenimiento de las instalaciones	251
AIV.1.1. Factor de Mantenimiento	251
AIV.2. Operaciones de mantenimiento	253
AIV.2.1. Clasificación de los Trabajos de Mantenimiento	255
AIV.2.2. Programación del Mantenimiento	256
AIV.2.3. Registro de las Operaciones de Mantenimiento	259
CAPÍTULO 8. Tecnología led: ¿iluminación del Siglo XXI?	261
8.1. Introducción	261
8.2. La Tecnología LED	263
8.2.1. ¿Qué es un LED?	263
8.2.2. ¿Son todos los LED iguales?	263
8.2.3. ¿Cuáles son las características más importantes de un LED de alta luminosidad?	265
8.3. Aplicaciones	268
8.3.1. Alumbrado interior	268
8.3.2. Alumbrado exterior	269
8.4. Algunos datos energéticos de interés	270
8.5. Perspectivas futuras	271

ARTÍCULO 1. Objeto

Esta Ordenanza tiene por objeto establecer las condiciones que deben cumplir las instalaciones de alumbrado exterior, tanto públicas como privadas, situadas en el término municipal de , con el fin de mejorar la Protección del medio ambiente mediante un uso eficiente y racional de la energía que consumen y la reducción del resplandor luminoso nocturno, sin menoscabo de la seguridad vial, de los peatones y propiedades, que deben proporcionar dichas instalaciones.

ARTÍCULO 2. Finalidades

La presente Ordenanza tiene las siguientes finalidades:

- a) Promover la eficiencia energética de los alumbrados exteriores mediante el ahorro de energía, sin perjuicio de la seguridad de los usuarios.
- b) Mantener al máximo posible las condiciones naturales de las horas nocturnas, en beneficio de los ecosistemas en general.
- c) Prevenir y corregir los efectos del resplandor luminoso nocturno en la visión del cielo.
- d) Minimizar la intrusión luminosa en el entorno doméstico y, por tanto, disminuir sus molestias y perjuicios.
- e) Adecuar los requerimientos y características técnicas de las instalaciones de alumbrado exterior a las recomendaciones y normativas vigentes.

ARTÍCULO 3. Ámbito de Aplicación

1. La presente Ordenanza será de aplicación, en el ámbito del municipio de la ciudad de....., a los proyectos, memorias técnicas de diseño y obras de alumbrado exterior, tanto públicos como privados, de nuevas instalaciones, así como de los proyectos de remodelación o ampliación de las existentes.
2. A los efectos de esta Ordenanza se considera alumbrado exterior a todo tipo de iluminación al aire libre y recintos abiertos, en zonas de dominio público o privado para su utilización nocturna, realizado con instalaciones estables o esporádicas.
3. De acuerdo con esta definición, el alumbrado exterior comprenderá los siguientes tipos de instalaciones de alumbrado:
 - Alumbrado vial y alumbrados específicos.
 - Alumbrado de túneles y pasos inferiores.
 - Alumbrado de aparcamientos al aire libre.
 - Alumbrado de fachadas de edificios y monumentos.
 - Alumbrado de instalaciones deportivas y recreativas exteriores.
 - Alumbrado de áreas de trabajo exteriores.
 - Alumbrado de seguridad.
 - Alumbrado de carteles y anuncios luminosos.
 - Alumbrado de escaparates.
 - Alumbrado festivo y navideño.
4. Están excluidos del ámbito de aplicación de la presente Ordenanza:
 - Puertos, aeropuertos, líneas de ferrocarril, instalaciones militares y de seguridad ciudadana, instalaciones y dispositivos de señalización de costas y señales marítimas, teleféricos y otros medios de transporte de tracción por cable, iluminación producida por la combustión de gas u otro tipo de combustible (plantas petroquímicas, refinerías, etc.), y, en

- general, aquellas instalaciones de competencia exclusiva estatal o autonómica.
- Cualquier otra instalación que la legislación y, en su caso, planificación estatal o autonómica establezcan como excepción a los sistemas de alumbrado.
 - O cualquier instalación de alumbrado que se considere accesoria a obras de interés general, estatal o autonómico, o a una actividad de su competencia.

ARTÍCULO 4. Diseño de las instalaciones

Para el diseño de las instalaciones de alumbrado exterior se seguirán las recomendaciones de la *Commission Internationale de l'Eclairage*(CIE) relativas a los parámetros luminotécnicos, tomando los valores recomendados como niveles objetivos a conseguir y se cumplirán los Requerimientos Técnicos y Niveles de Iluminación establecidos en el Anexo de esta Ordenanza.

ARTÍCULO 5. Zonificación

1. Para la aplicación de la presente Ordenanza, se establecen las zonas en el término municipal en función del siguiente criterio de clasificación:

TABLA 1. Descripción del sistema de zonificación.

CLASIFICACIÓN DE LA ZONA	DESCRIPCIÓN
E1	Áreas con Entornos Oscuros: Parques Nacionales y áreas de notable belleza natural (donde las carreteras están sin iluminar).
E2	Áreas de Bajo Brillo: Generalmente fuera de las áreas residenciales urbanas o industriales (donde las carreteras están iluminadas).
E3	Áreas de Brillo Medio: Normalmente residenciales urbanas (donde las carreteras están iluminadas según las normas para calzadas con mucho tráfico).
E4	Áreas de Brillo Alto: Genéricamente áreas urbanas que incluyen zonas residenciales y para usos comerciales con una elevada actividad durante la franja horaria nocturna.

2. En virtud de esta clasificación, y salvo que concurran causas justificadas que autoricen su excepción en cada caso concreto, el término municipal se clasifica en las siguientes zonas:

ARTÍCULO 6. Limitaciones del Flujo Hemisférico Superior

Considerando que el flujo hemisférico superior instalado $FHS_{INST} \%$, se define como la proporción en % del flujo de una luminaria que se emite sobre el plano horizontal respecto al flujo total saliente de la luminaria, cuando la misma está montada en su posición de instalación, las luminarias a implantar en cada zona en que se ha clasificado el término municipal deberán ser tales, que el flujo hemisférico superior instalado $FHS_{INST} \%$ no supere los límites establecidos en la tabla siguiente:

TABLA 2. Valores límite del flujo hemisférico superior instalado.

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO $FHS_{INST}(\%)$
E1	0 - 1
E2	0 - 5
E3	0 - 15
E4	0 - 25

ARTÍCULO 7. Características Fotométricas de los Pavimentos

1. Siempre que las características constructivas, composición y sistema de ejecución resulten idóneas respecto a la textura, resistencia al deslizamiento, drenaje de la superficie, etc., en las calzadas de las vías de tráfico se recomienda utilizar pavimentos cuyas características y propiedades reflectantes resulten adecuadas para las instalaciones de alumbrado público.
2. En consecuencia, siempre que resulte factible, en las calzadas de las vías de tráfico se recomienda implantar pavimentos con un coeficiente de

luminancia medio o grado de luminosidad Q0 lo más elevado posible y con un factor especular S1 que sea bajo.

ARTÍCULO 8. Protección del Medio Ambiente

En orden a la protección del medio ambiente deberán cumplirse las siguientes prescripciones:

1. Los nuevos proyectos y memorias técnicas de diseño de las instalaciones de alumbrado exterior y de remodelaciones, ampliaciones o reformas de las existentes, deben iluminar únicamente la superficie que se pretende dotar de alumbrado y deben cumplir los criterios de eficiencia y ahorro energético, reducción del resplandor luminoso nocturno y adecuada gestión de los residuos generados por las mismas.
2. Los niveles de iluminación calculados en los proyectos y memorias técnicas de diseño y obtenidos en estas instalaciones, no deben superar los valores máximos establecidos en la presente Ordenanza para cada tipo de alumbrado. No obstante, podrán sobrepasarse los niveles luminosos hasta un 20 %, salvo en casos excepcionales debidamente justificados en los que sería posible rebasar dicho porcentaje.
3. La relación luminancia / iluminancia (L/E) debe contemplarse en la valoración de las prestaciones de las diferentes soluciones luminotécnicas, de forma que dicha relación sea máxima al objeto de que el flujo luminoso emitido al cielo sea mínimo.
4. Las luminarias y proyectores previstos en los proyectos y memorias técnicas de diseño, con la inclinación y reglajes recomendados por los fabricantes, una vez instaladas no deben rebasar los límites máximos del flujo hemisférico superior instalado FHS_{INST} y deben alcanzar los valores mínimos del rendimiento (η) y del factor de utilización (K) establecidos en esta Ordenanza.

5. Las nuevas instalaciones de alumbrado exterior, así como todas las existentes deben estar dotadas de los correspondientes sistemas de encendido y apagado de forma que, al evitar la prolongación innecesaria de los períodos de funcionamiento, el consumo energético sea el estrictamente necesario.
6. Las nuevas instalaciones y todas las existentes deben llevar incorporados, en las condiciones establecidas en la presente Ordenanza, sistemas de regulación del nivel luminoso que permitan la reducción del flujo luminoso y el consiguiente ahorro energético.
7. Se cuidará el posicionamiento, el apuntamiento y la orientación de los aparatos de alumbrado, impidiendo la visión directa de las fuentes de luz. Se dirigirá la luz preferentemente en sentido descendente y no ascendente, especialmente en el alumbrado de fachadas de edificios y monumentos utilizando, en su caso, sistemas ópticos adecuados, deflectores, pantallas y paralúmenes para evitar la dispersión del haz luminoso con la finalidad de paliar en lo posible la luz intrusiva.
8. Las instalaciones ejecutadas cumplirán con lo exigido en esta Ordenanza, especialmente lo establecido en el Anexo de Requerimientos Técnicos y Niveles de Iluminación, según la zona donde se encuentre la instalación de alumbrado exterior.

ARTÍCULO 9. Régimen Estacional y Horario de Usos del Alumbrado Exterior

1. Las instalaciones de alumbrado vial dispondrán de dispositivos para regular el nivel luminoso que permitan la reducción del flujo emitido aproximadamente hasta el 45 % del servicio normal, a partir de las de la noche en verano y de las de la noche en invierno, sin detrimento de los parámetros de calidad, siempre que el tipo de lámparas instaladas lo permita. Esta reducción se llevará a cabo de acuerdo con lo dispuesto en los

puntos 5 y 8.5 del Anexo de Requerimientos Técnicos y Niveles de Iluminación de la presente Ordenanza.

2. En instalaciones de alumbrado de fachadas de edificios y monumentos, anuncios luminosos, festivos, feriales, deportivos o culturales, áreas de trabajo exteriores, etc. se determinarán los ciclos de funcionamiento, debiendo disponer su instalación de relojes capaces de ser programados por ciclos diarios, semanales y mensuales.

3. Se establecen los siguientes horarios de apagado en verano:

- Calle: entre ... hora y ... hora
- Plaza: entre ... hora y ... hora
- Playa: entre ... hora y ... hora
- Iglesia: entre ... hora y ... hora
- Instalaciones deportivas y de recreo: entre ... hora y ... hora
- Alumbrado exterior de edificios y monumentos: entre...hora y ...hora
- Áreas de trabajo exteriores: entre ... hora y ... hora
- Anuncios luminosos : entre ... hora y ... hora
- Iluminación de escaparates: entre ... hora y ... hora
- Proyectores y láseres con fines publicitarios y lúdicos: entre ... hora y ... hora
- Alumbrados festivos y navideños: entre ... hora y ... hora
- Fuentes: entre ... hora y ... hora
- ...

4. Se establecen los siguientes horarios de apagado en invierno:

- Calle: entre ... hora y ... hora
- Plaza: entre ... hora y ... hora
- Playa: entre ... hora y ... hora
- Iglesia: entre ... hora y ... hora
- Instalaciones deportivas y de recreo: entre ... hora y ... hora
- Alumbrado exterior de edificios y monumentos: entre...hora y ...hora

- Áreas de trabajo exteriores: entre ... hora y ... hora
- Anuncios luminosos : entre ... hora y ... hora
- Iluminación de escaparates: entre ... hora y ... hora
- Proyectores y láseres con fines publicitarios y lúdicos: entre ... hora y ... hora
- Alumbrados festivos y navideños: entre ... hora y ... hora
- Fuentes: entre ... hora y ... hora
- ...

5. Estos límites horarios podrán variarse con la autorización expresa del Ayuntamiento. A efectos de las instalaciones a las que resulte de aplicación esta Ordenanza, que requieran iluminación en horarios de apagado, han de presentar al Ayuntamiento una memoria que justifique su necesidad.

ARTÍCULO 10. Alumbrado Vial y Alumbrados Específicos

El alumbrado vial y los alumbrados específicos, definidos en los puntos 8 y 9 del Anexo de Requerimientos Técnicos y Niveles de Iluminación, cumplirán con lo exigido en dicho Anexo de esta Ordenanza, especialmente:

1. Se ajustarán los niveles de iluminación a lo especificado en los puntos 8 y 9 del Anexo en función de los tipos de usuarios de las vías y de la velocidad de los mismos.
2. Las lámparas, equipos auxiliares, luminarias y proyectores cumplirán lo dispuesto en los puntos 1, 2, 3 y 7 del Anexo, mientras que el sistema de encendido y apagado, regulación del nivel luminoso y, en su caso, de gestión centralizada se ceñirán a lo establecido en los puntos 4, 5 y 6 del referido Anexo.

ARTÍCULO 11. Alumbrado de Túneles y Pasos inferiores

El alumbrado de túneles y pasos inferiores:

1. Se ajustará a los niveles de iluminación regulados en los capítulos 6, 7, 8 y 9 y Anexos III, IV y V de las "Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras y Túneles" del Ministerio de Fomento de 1999.
2. Las luminarias, proyectores, lámparas y equipos auxiliares cumplirán lo determinado en el capítulo 10 de las "Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras y Túneles" del Ministerio de Fomento de 1999.
3. Se prestará especial atención a la adecuación de los regímenes de iluminación a la hora natural, de forma que durante la noche no deberán permanecer en funcionamiento los regímenes de días soleados y/o nublados.

ARTÍCULO 12. Alumbrado de Aparcamientos al Aire Libre

El alumbrado de aparcamientos al aire libre cumplirá con los Requisitos Técnicos y Niveles de Iluminación establecidos en el Anexo de esta Ordenanza, especialmente:

1. Se ajustarán los niveles de iluminación a lo detallado en el punto 8 (Tabla 6) del Anexo.
2. Las lámparas, equipos auxiliares, luminarias y proyectores cumplirán lo especificado en los puntos 1, 2, 3 y 7 del Anexo, mientras que el sistema de encendido y apagado, regulación del nivel luminoso y, en su caso, de gestión centralizada se ajustarán a lo establecido en los puntos 4, 5 y 6 del citado Anexo.
3. El alumbrado se realizará con estricto control del flujo luminoso fuera de la superficie iluminada y con el apantallamiento preciso.

ARTÍCULO 13. Alumbrado de Fachadas de Edificios y Monumentos

El alumbrado de fachadas de edificios y monumentos cumplirá con los Requerimientos Técnicos y Niveles de Iluminación establecidos en el Anexo de esta Ordenanza, especialmente:

1. Se ajustarán los niveles de iluminación a lo prescrito en el punto 11 del Anexo.
2. Las lámparas, equipos auxiliares, luminarias y proyectores cumplirán con lo preceptuado en los puntos 1,2, 3 y 7 del Anexo. No obstante, cuando su horario de encendido esté regulado en el Artículo 9 de esta Ordenanza:
 - 2.1. El alumbrado podrá realizarse con cualquier tipo de luminaria y proyector, preferentemente de arriba hacia abajo, impidiéndose la visión directa de las fuentes de luz. Se podrá iluminar de abajo hacia arriba, cuando se utilicen dispositivos que eviten la emisión directa de la luz fuera del área a iluminar mediante sistemas ópticos adecuados y específicos para dicha instalación y / o apantallamiento suficiente.
 - 2.2. Este alumbrado podrá efectuarse con cualquier tipo de lámpara que, en cada supuesto, contribuya mejor a realzar el monumento.
3. El alumbrado se ejecutará con estricto control del flujo luminoso fuera de la superficie iluminada y con el apantallamiento preciso.
4. La utilización de proyectores o láseres para uso cultural será regulada mediante el Artículo 9 y dicho límite horario podrá prolongarse para actividades singulares, en los términos de la correspondiente autorización.
5. El límite horario del alumbrado de fachadas y monumentos podrá prolongarse para actividades singulares, en los términos de la correspondiente autorización.

ARTÍCULO 14. Alumbrado de Instalaciones Deportivas y Recreativas exteriores

El alumbrado de instalaciones deportivas y recreativas exteriores cumplirá con los Requerimientos Técnicos y Niveles de Iluminación establecidos en el Anexo de esta Ordenanza, especialmente:

1. Se recomienda no superar los niveles de iluminación y características establecidas para cada tipo de actividad deportiva, según la normativa específica vigente.
2. Las lámparas, equipos auxiliares, luminarias y proyectores cumplirán lo establecido en los puntos 1, 2, 3 y 7 del Anexo. No obstante, cuando su horario de encendido esté regulado en el Artículo 9 de esta Ordenanza:
 - 2.1. El alumbrado podrá realizarse con cualquier tipo de luminaria y proyector siempre que se ilumine de arriba hacia abajo, impidiéndose la visión directa de las fuentes de luz y dotados, en su caso, de apantallamiento suficiente.
 - 2.2. Este alumbrado podrá efectuarse con cualquier tipo de lámpara, siempre que se seleccione la de mayor eficiencia (lm/W), para las necesidades cromáticas requeridas por la instalación.
3. El alumbrado se realizará con estricto control del flujo luminoso fuera de la superficie iluminada y con el apantallamiento preciso.
4. El límite horario podrá prolongarse para actividades singulares, en los términos de la correspondiente autorización.

ARTÍCULO 15. Alumbrado de Áreas de Trabajo exteriores

El alumbrado de áreas de trabajo exteriores comprende las instalaciones de alumbrado al aire libre de superficies industriales y cumplirá con los Requerimientos Técnicos y Niveles de Iluminación establecidos en el Anexo de esta Ordenanza, especialmente:

1. Se ajustarán los niveles de iluminación a lo especificado en el punto 13 del Anexo.
2. Las lámparas, equipos auxiliares, luminarias y proyectores cumplirán lo dispuesto en los puntos 1, 2, 3 y 7 del Anexo, mientras que el sistema de

encendido y apagado, regulación del nivel luminoso y, en su caso, de gestión centralizada se ajustarán a lo establecido en los puntos 4, 5 y 6 del mencionado Anexo.

3. El alumbrado se ejecutará con estricto control del flujo luminoso fuera de la superficie iluminada y con el apantallamiento preciso.

ARTÍCULO 16. Alumbrado de Seguridad

Los alumbrados exteriores de edificios e industrias que formen parte de la propiedad particular de los mismos y que permanezcan encendidos toda la noche por razones de seguridad, cumplirán con los Requerimientos Técnicos y Niveles de Iluminación establecidos en el Anexo de esta Ordenanza, especialmente:

1. Se ajustarán los niveles de iluminación a lo determinado en el punto 14 del Anexo.
2. Las lámparas, equipos auxiliares, luminarias y proyectores cumplirán lo regulado en los puntos 1, 2, 3 y 7 del Anexo.

ARTÍCULO 17. Alumbrado de Carteles y Anuncios Luminosos

El alumbrado de carteles y anuncios luminosos cumplirá con los Requerimientos Técnicos y Niveles de Iluminación establecidos en el Anexo de esta Ordenanza, especialmente:

1. Se ajustarán los niveles de iluminación a lo detallado en el punto 15 del Anexo.
2. El alumbrado de los carteles iluminados se realizará con estricto control del flujo luminoso fuera de la superficie iluminada y con el apantallamiento preciso.

3. Este alumbrado podrá realizarse con cualquier tipo de lámpara de la mayor eficiencia energética posible, siempre que su horario de encendido esté regulado en el Artículo 9 de esta Ordenanza.
4. La utilización de proyectores o láseres para uso publicitario será regulada mediante el Artículo 9 y dicho límite horario podrá prolongarse para actividades singulares, en los términos de la correspondiente autorización.

ARTÍCULO 18. Alumbrado de Escaparates

En relación con el alumbrado de escaparates se han de cumplir las siguientes determinaciones:

1. Los valores luminotécnicos de estas instalaciones vendrán fijados por las necesidades de la propia actividad.
2. Estas instalaciones podrán utilizar cualquier tipo de lámpara siempre que su horario de encendido esté regulado en el Artículo 9 de esta Ordenanza.
3. La iluminación deberá realizarse de manera que se reduzca la salida de luz hacia el exterior.

ARTÍCULO 19. Alumbrado Festivo y Navideño

1. Dado el carácter provisional del alumbrado ornamental de tipo festivo y navideño, no deberá cumplir con los Requerimientos Técnicos y Niveles de Iluminación del Anexo, salvo lo especificado en el punto 16 de dicho Anexo en lo referente al uso de equipos eficientes.
2. Se establecerá un horario de encendido y apagado definido en el Artículo 9 de esta Ordenanza, así como los días de utilización.

ARTÍCULO 20. Mantenimiento de las instalaciones

1. Considerando que este tipo de instalaciones están implantadas a la intemperie, con el consiguiente riesgo que supone que parte de sus

elementos sean fácilmente accesibles, y teniendo en cuenta la función que, en materia de seguridad, de las personas y bienes, dichas instalaciones desempeñan, deberá establecerse un correcto mantenimiento, tanto preventivo como correctivo de las mismas, al objeto de conservar sus prestaciones en el transcurso del tiempo.

2. La programación del mantenimiento preventivo y su periodicidad se establecerá teniendo en cuenta la vida media y depreciación luminosa de las lámparas, 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) **Lámparas**

Reposición en instalaciones con funcionamiento permanente de 24 horas (túneles, pasos inferiores)de 1 a 2 años

Reposición en instalaciones con funcionamiento nocturnode 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 6 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) **Centros de Mando y Medida**

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) **Instalación eléctrica**

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) **Sopores**

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 pintado.....cada 5 años

Cuando en el transcurso del tiempo coincidan la reposición de lámparas y la limpieza de luminarias, ambas operaciones se ejecutarán de forma simultánea. La reposición masiva de lámparas y la limpieza de luminarias se completará efectuando el control de las conexiones y verificando el funcionamiento del equipo auxiliar.

3. 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.

ARTÍCULO 21. Garantía del cumplimiento de esta ordenanza en instalaciones privadas

1. Todas las instalaciones y aparatos de titularidad privada a los que, según el art. 3 es aplicable esta Ordenanza, quedan sometidos a la exigencia de otorgamiento de licencia de actividad y funcionamiento o licencias equivalentes.
2. En la solicitud de la licencia de actividad se deberá adjuntar el proyecto o memoria técnica de diseño donde, para la solución luminotécnica adoptada, se justificarán los niveles de iluminación, el flujo hemisférico superior instalado (FHS_{INST}), el factor de utilización (K) y la relación luminancia / iluminancia (L/E); asimismo, se presentará una autocertificación del fabricante o certificación de un laboratorio acreditado por ENAC u organismo nacional competente, donde se especifique y acredite que se

cumplen, el flujo hemisférico superior FHS %, rendimiento η %, factor de utilización (K %) y demás características para cada tipo de luminaria, lámpara y equipo, que se establecen en esta Ordenanza.

3. El otorgamiento de la licencia de funcionamiento o apertura o licencia equivalente que autorice el funcionamiento y la ocupación tras la realización de las obras, requerirá la presentación de un certificado de que la instalación realizada resulta conforme al proyecto o memoria técnica de diseño.

ARTÍCULO 22. Garantía del Cumplimiento de esta Ordenanza en Instalaciones Públicas

1. Los proyectos de alumbrado exterior en construcciones, instalaciones y viviendas, financiados con fondos públicos o bajo control público, a excepción de los enumerados en el apartado 4 del artículo 3, se han de ajustar necesariamente a los criterios de prevención del resplandor luminoso nocturno que establece esta Ordenanza.
2. Se han de incluir en los pliegos de cláusulas administrativas de los contratos de obras, servicios y suministros los requerimientos que ha de cumplir necesariamente el alumbrado exterior para ajustarse a las determinaciones de la presente Ordenanza.
3. Los instrumentos de planeamiento y proyectos de obras en los que se incluyan determinaciones relativas a la red de alumbrado público, se redactarán de tal modo que se garantice el cumplimiento de las obligaciones establecidas en esta Ordenanza.

ARTÍCULO 23. Facultades de Inspección y Control

1. El Ayuntamiento velará por el cumplimiento de esta Ordenanza, y, en especial, garantizará mediante los oportunos controles e inspecciones que:
 - a) Los proyectos o memorias técnicas de diseño de nuevas instalaciones de alumbrado, así como los de remodelación o ampliación de las existentes cumplan con los criterios de reducción del resplandor

luminoso nocturno, entre los que se encuentran medidas de ahorro energético, establecidos en esta Ordenanza.

- b) Las lámparas, equipos auxiliares, luminarias y proyectores para la solución luminotécnica seleccionada en el proyecto o memoria técnica de diseño, se ajusten a las características y valores fijados en esta Ordenanza, por lo que exigirá que se acrediten dichos valores en el proyecto, mediante la presentación de un autocertificado del fabricante o certificación de un laboratorio acreditado por ENAC u organismo nacional competente.
 - c) Los niveles de iluminación proporcionados por las instalaciones proyectadas cumplan los niveles exigidos en esta Ordenanza. No obstante, podrán sobrepasarse los niveles luminosos hasta un 20 %, salvo en casos excepcionales debidamente justificados en los que sería posible rebasar dicho porcentaje.
 - d) Las nuevas instalaciones y todas las existentes que sean remodeladas lleven incorporado sistemas de regulación y control del encendido y apagado de las mismas, de acuerdo con las condiciones establecidas en la presente Ordenanza.
 - e) Comprobar que las instalaciones ejecutadas cumplan con lo exigido en esta Ordenanza.
2. Una vez comprobada la existencia de anomalías en las instalaciones o en su mantenimiento o cualquier actuación contraria a las determinaciones de la presente Ordenanza, el órgano municipal correspondiente practicará los requerimientos que tengan lugar, y en su caso, dictará las órdenes de ejecución que correspondan para asegurar el cumplimiento de esta Ordenanza.
3. El Órgano Municipal Competente podrá acordar que la realización de inspecciones en las instalaciones para comprobar el cumplimiento de las

previsiones de esta Ordenanza, se lleve a cabo por Entidades colaboradoras debidamente autorizadas.

4. Los hechos constados en el acta de inspección levantada por el personal acreditado a tal efecto por el Ayuntamiento, tendrán valor probatorio sin perjuicio de las pruebas que puedan presentar los interesados.
5. Las entidades, personas físicas o jurídicas sometidas a inspección tendrán la obligación de facilitar al máximo el desarrollo de las actuaciones de inspección y control.

ARTÍCULO 24. Suspensión de Obras y Actividades

El Alcalde es competente para ordenar la revocación de las licencias y la suspensión de las obras de instalación que se realicen incumpliendo esta Ordenanza de acuerdo con la legislación urbanística.

Disposiciones Adicionales

Primera

Los alumbrados exteriores existentes a la entrada en vigor de la presente Ordenanza, pueden mantener invariables sus condiciones técnicas, en los términos que establece la disposición transitoria primera, pero han de ajustar el régimen de usos horarios al que se determina en el Artículo 9 de esta Ordenanza, en el plazo máximo de 6 meses desde la entrada en vigor de la misma.

Segunda

El Ayuntamiento, por medio de ayudas que habilite para tal fin o informando de las ayudas que existan a nivel autonómico, estatal o europeo, colaborará con los interesados para garantizar la adaptación de los alumbrados exteriores de su término municipal a las prescripciones de la presente Ordenanza.

Disposiciones Transitorias

Primeras

Las instalaciones de alumbrado exterior existentes a la entrada en vigor de la presente Ordenanza se adaptarán progresivamente a las prescripciones de la misma en los elementos, apartados, tipos de materiales, etc., y plazos, a contar desde dicha entrada en vigor, que a continuación se detallan:

- Implantación sistema de regulación del nivel luminoso..... 5 años
- Cumplimiento de los niveles de iluminación..... 5 años
- Adaptación alumbrados de fachadas de edificios y monumentos (fuentes de luz de los proyectores ocultas a la visión directa e instalación de deflectores, pantallas y paralúmenes)..... 3 años
- Acomodación de las acciones de mantenimiento de las instalaciones de alumbrado a las operaciones y periodicidad determinadas en la normativa y recomendaciones vigentes..... 3 años
- Acondicionamiento de las luminarias para cumplir los valores establecidos para el rendimiento, factor de utilización y flujo hemisférico superior instalado 7 años
- Cualesquiera otras actuaciones e intervenciones que coadyuven a alcanzar los objetivos previstos en esta Ordenanza 5 años

Segunda

Todas las instalaciones de alumbrado exterior que se ejecuten con posterioridad a la entrada en vigor de esta Ordenanza, cumplirán en su totalidad las disposiciones de la misma.

Disposiciones Finales

Primera

El Ayuntamiento promoverá campañas de difusión y concienciación ciudadana en relación a la problemática que conlleva el consumo de energía y el resplandor lumínoso nocturno.

Segunda

El Ayuntamiento, a la vista de los datos y resultados que suministre la experiencia en la aplicación de esta Ordenanza, impulsará con la periodicidad que se estime pertinente, las modificaciones y adaptaciones que convenga introducir.

Tercera

La presente Ordenanza entrará en vigor a losde su publicación en el Boletín o Diario Oficial.

En el caso de que el Ayuntamiento pertenezca a una Comunidad Autónoma donde exista una ley sectorial, que le permita aplicar infracciones o sanciones por incumplimiento de esta Ordenanza, podrán incorporar al modelo el siguiente artículo:

ARTÍCULO 25. Régimen sancionador

Infracciones

Las acciones u omisiones que contravengan lo dispuesto en la presente Ordenanza constituyen infracciones a la misma que se clasifican en muy graves, graves y leves.

Son infracciones leves las acciones o las omisiones siguientes:

- a) Superar en más de un 40 % los niveles de iluminación de forma injustificada.
- b) Incumplir en más de un 2 % las limitaciones del flujo hemisférico superior instalado emitido por las luminarias.
- c) Avería, no reparada en menos de 3 días, del sistema de encendido y apagado de la instalación de un cuadro de alumbrado, prolongando innecesariamente el período de funcionamiento de la misma.
- d) Avería, no reparada en menos de 3 días, del sistema de regulación del nivel luminoso de un cuadro de alumbrado público que impida la reducción del flujo luminoso y el consiguiente ahorro energético.
- e) Todas aquellas otras infracciones a la presente ordenanza no calificadas como graves o muy graves.

Son infracciones graves las acciones o las omisiones siguientes:

- a) Superar en más de un 60 % los niveles de iluminación de forma injustificada.
- b) Eludir de manera reiterada, más de 3 veces durante el último año, el cumplimiento de los horarios de funcionamiento.
- c) Incumplir en más de un 5 % las limitaciones del flujo hemisférico superior instalado emitido por las luminarias.
- d) No adaptar el alumbrado de fachadas de edificios y monumentos a lo establecido (fuentes de luz de los proyectores ocultas a la visión directa e instalación de paralúmenes).
- e) Implantar un sistema de regulación del nivel luminoso inadecuado o mantenerlo averiado de manera repetida.

- f) No adecuar las acciones de mantenimiento de las instalaciones a las operaciones preventivas con la periodicidad necesaria.
- g) Apagado de una instalación de un cuadro de alumbrado público no reparada en menos de 3 días.
- h) La reiteración en la comisión de infracciones leves.

Son infracciones muy graves las acciones o las omisiones siguientes:

- a) Funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior sin licencia o autorización municipal.
- b) Superar en más de 100 % los niveles de iluminación de forma injustificada.
- c) Eludir de manera reiterada, más de 6 veces durante el último año, el cumplimiento de los horarios de funcionamiento.
- d) Carecer injustificadamente de sistema de regulación del nivel luminoso o mantenerlo averiado prácticamente de manera continua.
- e) Incumplir en más de 10 % las limitaciones del flujo hemisférico superior instalado emitido por las luminarias.
- f) Carecer injustificadamente la instalación de alumbrado exterior de mantenimiento, sin actuaciones o trabajos de conservación preventiva.
- g) Presentar autocertificaciones o certificaciones engañosas o fraudulentas.
- h) Realizar informes y/o emitir certificaciones que no se ajusten a la realidad.
- i) La negativa de los titulares de la instalación a permitir el acceso a la inspección por los servicios técnicos municipales.

- j) La manifiesta reiteración en la comisión de infracciones graves.

Sanciones

Para la graduación de las respectivas sanciones se valorarán conjuntamente las siguientes circunstancias:

- a) Naturaleza de la infracción
- b) Grado de peligro para las personas o bienes
- c) Nivel de intencionalidad
- d) Reincidencia
- e) Gravedad del daño causado
- f) Beneficio económico obtenido de la infracción
- g) Demás circunstancias concurrentes que se estime oportuno tener en cuenta.

Será considerado reincidente la persona física o jurídica que hubiese sido sancionado en los 12 meses precedentes, por el mismo concepto, una o más veces.

Cuantía de las sanciones

Las cuantías máximas de las multas por infracción de la presente Ordenanza serán las siguientes:

- Infracciones leves: multa hasta xx0 _
- Infracciones graves: multa hasta x00 _
- Infracciones muy graves: multa hasta x.x00 _

Sin perjuicio de lo anterior, en casos de especial gravedad o trascendencia y en los supuestos contenidos en la Ley Orgánica 1/1992, de 21 de febrero, de Seguridad Ciudadana y conforme a lo dispuesto en su artículo 29.1, el Alcalde podrá sancionar, previa audiencia de la Junta Local de Seguridad, con:

- a) Suspensión de la actividad
- b) Imposición de multa hasta x.000 _

Cuando la normativa vigente no permita a los Alcaldes la imposición de la sanción adecuada a la infracción cometida, se elevará la oportuna y fundamentada propuesta de sanción a la autoridad competente.

En todo caso, con independencia de las sanciones que pudieran proceder, deberán ser objeto de adecuado resarcimiento los daños que se hubieran irrogado o, en su caso, la reposición de las instalaciones a su estado anterior. Todo ello previa evaluación efectuada por los servicios técnicos municipales, conforme a lo dispuesto en el artículo 23 de la presente Ordenanza en relación a la inspección y control.

Medidas cautelares

En el supuesto que se detecte la existencia de una actuación contraria a las determinaciones de esta Ordenanza, el Ayuntamiento requerirá al interesado, con audiencia previa, para que la corrija en el plazo más breve que, en cada caso, técnicamente sea posible de acuerdo con el informe de los servicios técnicos municipales.

En el caso de que el requerimiento sea desatendido, el Ayuntamiento acordará, por resolución motivada, y con audiencia previa del interesado, las medidas necesarias, como la ejecución subsidiaria, precintaje de la actividad, etc.

Las medidas cautelares establecidas en este artículo podrán adoptarse simultáneamente al acuerdo de incoación del procedimiento sancionador o en cualquier momento posterior de la tramitación.

ANEXO. Requerimientos técnicos y niveles de iluminación que deben cumplir las instalaciones de alumbrado exterior

Requerimientos técnicos

1. Requisitos Técnicos de las Lámparas

Se utilizarán las lámparas de mayor eficacia energética (lm/W) para los requerimientos cromáticos demandados por la instalación, salvo en la Zona E1 donde se deberán utilizar lámparas de vapor de sodio.

Su elección deberá justificarse, quedando su aceptación supeditada a los criterios municipales.

2. Requisitos Técnicos de los Equipos Auxiliares

La instalación del balasto serie de tipo inductivo será adecuada siempre que la tensión de la red de alimentación no fluctúe más del $\pm 5\%$. Cuando se prevean variaciones constantes o permanentes a lo largo del tiempo superiores en la tensión de la red, resultará idónea la instalación de balastos serie de tipo inductivo con dos tomas de tensión, aplicando la más conveniente. Si dichas oscilaciones de tensión son variables en el tiempo, será adecuado utilizar balastos autorreguladores, electrónicos o un sistema de estabilización de tensión en cabecera de línea.

Se instalarán arrancadores adecuados al tipo de lámpara, de forma que proporcionen a ésta los parámetros de funcionamiento establecidos por el fabricante.

Las pérdidas en el equipo auxiliar -balasto electromagnético, arrancador y condensador- deberán ser inferiores al 20 % (recomendable entre un 5 y un 15 %), mientras que en el caso de balastos electrónicos dichas pérdidas no superarán el 5 %.

3. Requisitos Técnicos de las Luminarias y Proyectores

Las luminarias a instalar cumplirán los siguientes puntos:

3.1. De conformidad con las situaciones de proyecto definidas en el punto 8 del Anexo de Requerimientos Técnicos y Niveles de Iluminación, y según las características de las luminarias en cuanto a sistema óptico, fotometría, potencia de lámpara (capacidad), grado de hermeticidad y tipo de cierre, deberán ajustarse a los valores establecidos en las Tablas 1 y 2 para lámparas de vapor de sodio a alta presión (S.A.P.) y halogenuros metálicos (H.M.), en lo referente a:

- Rendimiento mínimo (η).
- Factor de utilización mínimo (K) para diferentes relaciones a/h (altura del punto de luz/anchura de calzada).
- Flujo hemisférico superior instalado máximo (FHS_{INST}), además de cumplir lo dispuesto en el artículo 6 de esta ordenanza.

Se procurará que la relación (L/E) luminancia/iluminancia sea máxima.

Para lámparas de vapor de mercurio, vapor de sodio a baja presión, descarga por inducción y fluorescencia, los valores del rendimiento (η) y factor de utilización (K) de las luminarias serán los establecidos en la Tabla 3, además de procurar que la relación (L/E) luminancia /iluminancia sea máxima y cumplir las limitaciones del flujo hemisférico superior instalado (FHS_{INST}), que disponen las Tablas 1 y 2 y el artículo 6 de la presente Ordenanza.

TABLA 1. Luminarias para el alumbrado de las vías de tráfico rodado de alta y moderada velocidad (situaciones de proyecto A y B).

Tipo de Luminaria	TIPO I - G	TIPO I	TIPO II - V	TIPO II - M	TIPO II - A	TIPO III
Sistema Óptico	Cerrado	Cerrado	Cerrado	Cerrado	Abierto	Abierto
Fotometría	Regulable	Regulable	Regulable	Regulable	Regulable	Fija
Capacidad SAP.	≤ 600 W 400 W (R)	≤ 400 W 250 W (R)	≤ 250 W 150 W (R)			
Hermeticidad sistema óptico EN 60 598	IP-66 (R) IP-65	IP-66 (R) IP-65	IP-66 (R) IP-65	IP-66 (R) IP-55	IP-23	IP-23
Cierre	Vidrio (R)	Vidrio (R)	Vidrio (R)	Metacrilato (R) Policarbonato	Sin cierre	Sin cierre
Rendimientos: Lámpara SAP y HM						
Tubular clara Ovoide opal	≥70 % ≥60 %	≥70 % ≥60 %	≥70 % ≥60 %	≥70 % ≥60 %	≥65 % ≥60 %	≥65 % ≥60 %
Factor (*) de Utilización Lámpara SAP y HM (1)						
Tubular clara a / h = 0,5 a / h = 0,5 a / h = 0,5 a / h = 0,5	≥ 20 % ≥ 38 % ≥ 45 % ≥ 50 %	≥ 20 % ≥ 38 % ≥ 45 % ≥ 50 %	≥ 20 % ≥ 38 % ≥ 45 % ≥ 50 %	≥ 18 % ≥ 35 % ≥ 40 % ≥ 45 %	≥ 18 % ≥ 30 % ≥ 35 % ≥ 40 %	≥ 18 % ≥ 30 % ≥ 35 % ≥ 40 %
Ovoide opal a / h = 0,5 a / h = 0,5 a / h = 0,5 a / h = 0,5	≥ 18 % ≥ 32 % ≥ 37 % ≥ 40 %	≥ 18 % ≥ 32 % ≥ 37 % ≥ 40 %	≥ 18 % ≥ 32 % ≥ 37 % ≥ 40 %	≥ 16 % ≥ 30 % ≥ 35 % ≥ 40 %	≥ 15 % ≥ 20 % ≥ 30 % ≥ 35 %	≥ 15 % ≥ 20 % ≥ 30 % ≥ 35 %
Flujo Hemisférico Superior Instalado (**)	≤ 3 %	≤ 3 %	≤ 3 %	≤ 5 %	≤ 5 %	≤ 5 %
Relación L/E (***)	L/E máx					

Notas:

- Todas las luminarias tienen el equipo auxiliar incorporado.

(1) Si la anchura de la calzada es la mitad de la altura de montaje de las luminarias ($a = h/2$), la luminaria y su disposición geométrica deben ser tales que al menos el 20 % del flujo de la lámpara incida sobre la calzada. Idéntica interpretación corresponde para $a/h = 1$ con 38 %, $a/h = 1,5$ con 45 % y $a/h = 2$ con 50 % para las luminarias Tipo I-G, Tipo I y Tipo II-V, para lámpara tubular clara.

(R) Significa que entre las posibilidades establecidas en la tabla, resultan recomendables las que llevan dicho símbolo.

(*) Factor de utilización K correspondiente a la calzada a iluminar. (Depende además de la geometría de la instalación, entendiendo por tal la disposición física de las luminarias en el espacio a iluminar).

(**) La instalación de las luminarias se efectuará con la inclinación y reglajes establecidos por el fabricante, de forma que el Flujo Hemisférico Superior Instalado, no supere los valores de la tabla.

(***) La relación luminancia / iluminancia (L/E) es fundamental y debe intervenir en la evaluación de las prestaciones de las diferentes soluciones propuestas en un proyecto de alumbrado. La luminaria que maximice la relación L/E para un mismo tipo de pavimento, será la de mayor eficacia fotométrica y que menos flujo emitido al cielo genere. (Depende además de la geometría de la instalación, propiedades reflectantes de los pavimentos y de la posición del observador).

TABLA 2. Luminarias para el alumbrado de las vías de tráfico rodado de baja y muy baja velocidad (situaciones de proyecto C, D y E).

TIPO DE LUMINARIA	TIPO II – P	TIPO PEATONAL	TIPO (1) ARTÍSTICO	TIPO (1) PROYECTOR	TIPO GLOBO
Sistema óptico	Cerrado	Cerrado	Cerrado	Cerrado	Cerrado
Fotometría	Regulable	Regulable (R) Fija	Regulable (R) Fija	Regulable (R) Fija	Fija
Capacidad SAP.	Hasta 250 W 150 W (R)	Hasta 250 W 100 W (R)	Hasta 150 W 100 W (R)	Hasta 250 W 150 W (R)	Hasta 150 W 100 W (R)
Hermeticidad sistema óptico EN 60 598	IP-65 (R) IP-55	IP-65 (R) IP-55	IP-66 (R) IP-33	IP-66 (R) IP-54	IP-54 (R) IP-44
Cierre	Vidrio (R) Metacrilato Policarbonato	Vidrio (R) Metacrilato Policarbonato	Vidrio (R) Metacrilato Policarbonato	Vidrio (R) Metacrilato Policarbonato	Vidrio (R) Metacrilato Policarbonato
Rendimientos: Lámpara SAP y HM			Directo	Indirecto	
<i>Tubular clara</i> <i>Ovoide opal</i>	≥ 70 % ≥ 60 %	≥ 65 % ≥ 60 %	≥ 60% ≥ 55%	≥ 40% ≥ 40%	≥ 65 % ≥ 50 %
Factor (*) de Utilización Lámpara SAP y HM					
<i>Tubular clara</i> a / h = 0,5 a / h = 1,0 a / h = 1,5 a / h = 2,0 <i>Ovoide opal</i> a / h = 0,5 ⁽²⁾ a / h = 1,0 a / h = 1,5 a / h = 2,0	≥ 18 % ≥ 35 % ≥ 40 % ≥ 45 % ≥ 16 % ≥ 30 % ≥ 35 % ≥ 40 %	≥ 18 % ≥ 30 % ≥ 38 % ≥ 42 % ≥ 15 % ≥ 27 % ≥ 32 % ≥ 35 %	≥ 15 % ≥ 28 % ≥ 33 % ≥ 38 % ≥ 10 % ≥ 25 % ≥ 30 % ≥ 35 %	≥ 8 % ≥ 15 % ≥ 22 % ≥ 25 % ≥ 8 % ≥ 15 % ≥ 22 % ≥ 25 %	≥ 15 % ≥ 25 % ≥ 30 % ≥ 35 % ≥ 10 % ≥ 25 % ≥ 30 % ≥ 35 %
Flujo Hemisférico Superior Instalado(**)	≤ 5 %	≤ 5 %	≤ 25 %	≤ 25 %	≤ 5 %
Relación L / E	L / E máx	L / E máx	L / E máx	L / E máx	L / E máx

Notas:

- Todas las luminarias tienen el equipo auxiliar incorporado.

(1) Si la anchura de la calzada es la mitad de la altura de montaje de las luminarias ($a = h/2$), la luminaria y su disposición geométrica deben ser tales que al menos el 16 % del flujo de la lámpara incida sobre la calzada. Idéntica interpretación corresponde para $a/h = 1$ con 30 %, $a/h = 1,5$ con 35 % y $a/h = 2$ con 40 % para las luminarias Tipo II-P, para lámpara ovoide opal.

(R) Significa que entre las posibilidades establecidas en la tabla, resultan recomendables las que llevan dicho símbolo.

(*) Factor de utilización K correspondiente a la calzada a iluminar. (Depende además de la geometría de la instalación, entendiendo por tal la disposición física de las luminarias en el espacio a iluminar).

(**) La instalación de las luminarias se efectuará con la inclinación y reglajes establecidos por el fabricante, de forma que el Flujo Hemisférico Superior Instalado, no supere los valores de la tabla.

(***) La relación luminancia / iluminancia (L/E) es fundamental y debe intervenir en la evaluación de las prestaciones de las diferentes soluciones propuestas en un proyecto de alumbrado. La luminaria que maximice la relación L/E para un mismo tipo de pavimento, será la de mayor eficacia fotométrica y que menos flujo emitido al cielo genere. (Depende además de la geometría de la instalación, propiedades reflectantes de los pavimentos y de la posición del observador).

TABLA 3. Valores de los rendimientos y factores de utilización de las luminarias que utilizan lámparas de vapor de mercurio, sodio baja presión, inducción y fluorescencia.

Tipo de Lámpara	Vapor de Mercurio	Sodio Baja Presión	Inducción	Fluorescencia
Rendimientos	≥ 60 %	≥ 55 %	≥ 60 %	≥ 55 %
Factor de utilización (1)				
a/h = 0,5	≥ 15 %	≥ 14 %	≥ 15 %	≥ 14 %
a/h = 1,0	≥ 25 %	≥ 22 %	≥ 25 %	≥ 22 %
a/h = 1,5	≥ 27 %	≥ 25 %	≥ 27 %	≥ 25 %
a/h = 2,0	≥ 30 %	≥ 28 %	≥ 30 %	≥ 28 %

Nota:

(1) Si la anchura de la calzada es la mitad de la altura de montaje de las luminarias ($a = h/2$), la luminaria y su disposición geométrica deben ser tales que al menos el 15 % del flujo de la lámpara incida sobre la calzada. Idéntica interpretación corresponde para $a/h = 1$ con 25 %, $a/h = 1,5$ con 27 % y $a/h = 2$ con 30 % para las luminarias dotadas de lámparas de vapor de mercurio y descarga por inducción.

3.1.1. Al objeto de alcanzar los rendimientos η % mínimos establecidos en las Tablas 2 y 3, se recomienda que las luminarias tipo artístico (faroles), tipo globo, etc., estén dotadas de sistema óptico.

3.1.2. El flujo hemisférico superior FHS %, rendimiento η %, factor de utilización K % y demás características para cada tipo de luminaria a instalar deberán ser garantizados por el fabricante, mediante una autocertificación o certificación de un laboratorio acreditado por ENAC u organismo nacional competente.

3.1.3. El flujo hemisférico superior instalado FHS_{INST} %, el factor de utilización K % y la relación luminancia / iluminancia (L/E), deberán estar justificados en el proyecto para la solución luminotécnica adoptada. A efectos comparativos se utilizará el mismo tipo de pavimento (matriz de reflexión) en todos los cálculos de luminancia.

Los proyectores a instalar para alumbrado de aparcamientos al aire libre, fachadas de edificios y monumentos, alumbrado de instalaciones deportivas y recreativas exteriores y áreas de trabajo exteriores, cumplirán los siguientes puntos:

3.2. En lo que respecta al rendimiento (η), factor de utilización (K) y flujo hemisférico superior instalado (FHS_{INST}) se ajustarán a lo siguiente:

- Rendimiento (η) mínimo: con lámpara tubular clara 60 % y con lámpara ovoide opal 55 %.
- Factor de utilización (K) mínimo: comprendido entre un 20 y un 50 %, con un valor medio del 35 %. Se procurará que el factor de utilización sea lo más elevado posible.
- Flujo hemisférico superior instalado (FHS_{INST}) máximo: adecuado a lo establecido en el artículo 6 de esta Ordenanza.

3.2.1. Estarán constituidos por sistema óptico con un grado de hermeticidad mínimo IP 55 y recomendable IP 66, con cierre de vidrio, cuerpo de inyección, extrusión o estampación de aluminio, así como de acero inoxidable y fotometría acorde con la iluminación proyectada.

3.2.2. Se instalarán en lo posible proyectores con distribución fotométrica simétrica respecto a un solo plano con cierre de vidrio horizontal, dado que el control del resplandor luminoso nocturno está relacionado con la distribución luminosa utilizada.

3.2.3. Para el resto de distribuciones luminosas se tendrá en cuenta que, cuanto más concentrante sea la distribución luminosa, es decir, con una abertura transversal débil, mayor será el control de la luz y, por tanto, resultará más sencillo limitar el resplandor luminoso nocturno.

3.2.4. En el caso de iluminación de grandes áreas, la inclinación de los proyectores no sobrepasará 70°, recomendándose que la misma sea inferior a 65°, con la finalidad de evitar el deslumbramiento y limitar el resplandor luminoso nocturno.

3.2.5. El flujo hemisférico superior FHS %, rendimiento η %, factor de utilización K % 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 nacional competente.

3.2.6. El flujo hemisférico superior instalado FHS_{INST} % y el factor de utilización K %, deberán estar justificados en el proyecto para la solución luminotécnica adoptada.

4. Requisitos Técnicos para el Encendido y Apagado de la Instalación

El encendido y apagado de las instalaciones deberá efectuarse en función del mayor ahorro energético posible, cumpliendo las necesidades propias de la instalación, sin que se adelante el encendido ni se retrase el apagado, de forma que el consumo energético sea el estrictamente necesario.

Además, en su caso, de los sistemas de gestión centralizada, el encendido y apagado de las instalaciones se llevará a cabo mediante: interruptor crepuscular o interruptor horario astronómico.

5. Requisitos Técnicos para la Regulación del Nivel Luminoso

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 8 y 9 de la presente Ordenanza, se procederá a la regulación del nivel luminoso de la instalación de alumbrado mediante alguno de los sistemas siguientes: balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia, reguladores - estabilizadores en cabecera de línea o balastos electrónicos para doble nivel de potencia.

Para el establecimiento del porcentaje de ahorro energético proporcionado por los diferentes sistemas de regulación del nivel luminoso y la elección en cada caso de sistemas idóneos deberán considerarse las variaciones de tensión de la red, el estado de las líneas eléctricas de alimentación de los puntos de luz (posibles caídas de tensión, equilibrio de fases y armónicos), tipo de lámpara, etc., que

podrán influir de forma diferente en el ahorro energético en función del sistema de regulación del nivel luminoso elegido, teniendo en cuenta que en instalaciones con lámparas de halogenuros metálicos no es posible la regulación del nivel luminoso.

6. Requisitos Técnicos de los Sistemas de Gestión Centralizada

En las instalaciones de alumbrado podrán implantarse sistemas de gestión centralizada dotados, en su caso, de los correspondientes dispositivos en los puntos de luz, que recogen la información de la lámpara, equipo auxiliar y fusible; en los cuadros de alumbrado, que controlan el funcionamiento de los mismos y miden sus magnitudes y, por último, en la unidad de control remoto que recibe la información completa de los dos niveles anteriores.

7. Requisitos Técnicos de los Tipos de Materiales

Las lámparas, equipos auxiliares, luminarias y proyectores se ajustarán a lo establecido en las respectivas normas europeas EN, española UNE y de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC.

En lo relativo al comportamiento de los componentes electrónicos de los sistemas de encendido y apagado, de los sistemas de regulación del nivel luminoso, así como de los dispositivos que constituyen los sistemas de gestión centralizada de instalaciones de alumbrado público, se deberán efectuar como mínimo ensayos de aceptación de compatibilidad electromagnética, temperaturas y sus ciclos, seguridad, funcionamiento, hermeticidad y los complementarios exigidos por el Ayuntamiento.

Niveles de iluminación

8. Alumbrado Vial

Se adecuarán los alumbrados de las vías a su correspondiente situación de proyecto, dotándola de los niveles de iluminación convenientes según se especifica a continuación.

La clasificación de las situaciones de proyecto y las clases de alumbrado en función de los tipos de usuarios de las vías de tráfico y su velocidad característica se establece en las Tablas 4, 5, 6 y 7.

TABLA 4. Clases de alumbrado para vías de tráfico rodado de alta velocidad.

SITUACIONES DE PROYECTO	TIPOS DE VÍAS	CLASE DE ALUMBRADO (*)
A1	<p>Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías).</p> <p>* Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera (Nota 1)</p> <p>Alta (IMD) ≥ 25.000</p> <p>Media (IMD) ≥ 15.000 y < 25.000</p> <p>Baja (IMD) < 15.000</p> <p>Carreteras de calzada única con doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas).</p> <p>* Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera.</p> <p>Alta (IMD) > 15.000</p> <p>Media y baja (IMD) < 15.000</p> <p>* Parámetros específicos</p>	ME 1 ME 2 ME 3a
A2	<p>Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carriles bici. Carreteras locales en zonas rurales sin vía de servicio.</p> <p>* Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera.</p> <p>IMD ≥ 7.000</p> <p>IMD < 7.000</p> <p>* Control de tráfico (Nota 3) y separación de los distintos tipos de usuario (Nota 4)</p> <p>* Parámetros específicos</p>	ME 1 ME 2 ME 3a ME 4a
A3	<p>Vías colectoras y rondas de circunvalación. Carreteras interurbanas con accesos no restringidos. Vías urbanas de tráfico importante, rápidas radiales y de distribución urbana a distritos. Vías principales de la ciudad y travesía de poblaciones.</p> <p>* Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera.</p> <p>IMD ≥ 25.000</p> <p>IMD ≥ 15.000 y < 25.000</p> <p>IMD ≥ 7.000 y < 15.000</p> <p>IMD < 7.000</p> <p>* Control de tráfico (Nota 3) y separación de los distintos tipos de usuario (Nota 4)</p> <p>* Parámetros específicos</p>	ME 1 ME 2 ME 3b ME 4a ME 4b

(*) Para todas las situaciones de proyecto (A1, A2 y A3), cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Nota 1: COMPLEJIDAD DEL TRAZADO DE LA CARRETERA

Se refiere a la propia infraestructura y entorno visual. Los factores a tener en cuenta son:

- Número de carriles.
- Pendientes.
- Señalización.

Se deben considerar la entrada y salida de rampas, incorporaciones de tráfico así como:

- Densidad de nudos (enlaces o intersecciones).
 - cada < 3 km
 - cada > 3 km

Nota 2: PARÁMETROS ESPECÍFICOS

Los parámetros específicos dominantes para el grupo de situaciones de alumbrado A1 son los siguientes:

- Intensidad media de tráfico (IMD).
- Separación de calzadas (no-sí).
- Tipo de cruces (enlaces-intersecciones).
- Distancia entre enlaces y puentes (cada ± 3 km).
- Densidad de intersecciones (cada ± 3 km).
- Tipo principal de metereología (seco-mojado).

Los parámetros específicos complementarios para dicho grupo A1 se concretan en los siguientes:

- Tramo singular (no-sí).
- Dificultad en la tarea de conducción (normal- mayor de la normal).
- Complejidad del campo visual (normal-alta).
- Niveles de luminosidad ambiental (baja-media-alta).

Para situaciones de alumbrado A2 desaparecen la separación de calzadas y la distancia entre enlaces y puentes, mientras que para situaciones A3 únicamente no figura la distancia entre enlaces y puentes y, sin embargo, se incorpora el parámetro específico complementario vehículos aparcados (no-sí).

Nota 3: CONTROL DE TRÁFICO

Existencia de señalización horizontal, vertical, marcas viales y balizamiento, así como de sistemas de regulación del tráfico:

- Semáforos.
- Regulaciones prioritarias.
- Normas de prelación.

La ausencia o escasez de control de tráfico se considerará pobre y viceversa.

Nota 4: SEPARACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE USUARIOS

Existencia de carriles específicos (carril bus), o restricciones de uso a uno o más tipos de usuarios en una vía de tráfico.

Cuando existe una buena separación de los distintos tipos de usuarios, puede ser apropiada una menor clase de alumbrado o nivel luminotécnico.

TABLA 5. Clases de alumbrado para vías de tráfico rodado de moderada velocidad.

SITUACIONES DE PROYECTO	TIPOS DE VÍAS	CLASE DE ALUMBRADO ^(*)
B1	<p><i>Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante.</i> <i>Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas.</i></p> <p>* Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera.</p> <p>IMD ≥ 7.000</p> <p>IMD < 7.000</p> <p>* Control de tráfico y separación de los distintos tipos de usuarios * Parámetros específicos</p>	<p>ME 2 ME 3c</p> <p>ME 4b ME 5 ME 6</p>
B2	<p><i>Carreteras locales en áreas rurales.</i></p> <p>* Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera.</p> <p>IMD ≥ 7.000</p> <p>IMD < 7.000</p> <p>* Control de tráfico y separación de los distintos tipos de usuarios * Parámetros específicos</p>	<p>ME 2 ME 3b</p> <p>ME 4b ME 5</p>

^(*)Para todas las situaciones de proyecto B1 y B2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Los parámetros específicos (dominantes y complementarios) para la determinación de las clases de alumbrado o niveles de iluminación a aplicar (ME 1 a ME 6) en las situaciones de proyecto B1 y B2 son las siguientes:

Situaciones de Proyecto B1 y B2

Parámetros Dominantes

- Tipo de Cruces (enlaces-intersecciones).
- Densidad de intersecciones (cada ± 3 km).
- Medidas geométricas para tráfico tranquilo.
- Dificultad en la tarea de conducción.

Parámetros Complementarios

- Flujo de tráfico de ciclistas.
- Existencia de vehículos aparcados.
- Complejidad del campo visual.
- Niveles de luminosidad ambiental.

TABLA 6. Clases de alumbrado para vías de tráfico rodado de baja, muy baja velocidad y carriles bici.

SITUACIONES DE PROYECTO	TIPOS DE VÍAS	CLASE DE ALUMBRADO ^(*)
C1	<ul style="list-style-type: none"> - Carriles bici independientes a lo largo de la calzada, entre ciudades en área abierta y de unión en zonas urbanas <p>* Parámetros específicos dominantes (Nota 1) Flujo de tráfico de ciclistas</p> <p>Alto</p> <p>Normal</p> <p>* Parámetros específicos complementarios (Nota 2) Niveles de luminosidad ambiental</p>	S 1 S 2 S 3 S 4
D1 - D2	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas de aparcamiento en autopistas y autovías. - Aparcamientos en general. - Estaciones de autobuses. <p>* Parámetros específicos dominantes Flujo de tráfico de peatones</p> <p>Alto</p> <p>Normal</p> <p>* Parámetros específicos complementarios Niveles de luminosidad ambiental</p>	CE 1A CE 2 CE 3 CE 4
D3 - D4	<ul style="list-style-type: none"> - Calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada - Zonas de velocidad muy limitada <p>* Parámetros específicos dominantes Flujo de tráfico de peatones</p> <p>Flujo de tráfico de peatones y ciclistas</p> <p>Alto</p> <p>Normal</p> <p>* Parámetros específicos complementarios (Nota 2) Complejidad del campo visual Riesgo de criminalidad Reconocimiento facial Niveles de luminosidad ambiental</p>	CE 2 S 1 S 2 S 3 S 4

* Para todas las situaciones de alumbrado (C1-D1-D2-D3 y D4), cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

TABLA 7. Clases de alumbrado para vías peatonales.

SITUACIONES DE PROYECTO	TIPOS DE VÍAS	CLASE DE ALUMBRADO ^(*)
E1	<p>- <i>Espacios peatonales de conexión, calles peatonales, y aceras a lo largo de la calzada.</i> - <i>Paradas de autobús con zonas de espera</i> - <i>Áreas comerciales peatonales.</i></p> <p>* Parámetros específicos dominantes Flujo de tráfico de peatones Alto.....</p> <p>Normal.....</p> <p>* Parámetros específicos complementarios Niveles de luminosidad ambiental</p>	CE 1A CE 2 S 1 S 2 S 3 S 4
E2	<p>- <i>Zonas comerciales con acceso restringido y uso prioritario de peatones.</i></p> <p>* Parámetros específicos dominantes Flujo de tráfico de peatones Alto.....</p> <p>Normal.....</p> <p>* Parámetros específicos complementarios Niveles de luminosidad ambiental</p>	CE 1A CE 2 S 1 S 2 S 3 S 4

* Para todas las situaciones de alumbrado E1 y E2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Nota 1: PARÁMETROS ESPECÍFICOS DOMINANTES

Los parámetros específicos dominantes para las situaciones de proyecto C1 son los siguientes:

- Medidas geométricas para el tráfico tranquilo (no-sí).
- Flujo de tráfico de ciclistas (normal-alto).
- Reconocimiento facial (innecesario-necesario).
- Riesgo de criminalidad (normal- mayor de lo normal).

Para situaciones D1 y D2, se sustituye el flujo de tráfico de ciclistas por el de peatones, y se añade la dificultad en la tarea de conducción (normal-mayor de lo normal).

Para situaciones de alumbrado D3 y D4, además de las medidas geométricas para tráfico tranquilo, la dificultad en la tarea de conducción y el flujo de peatones y ciclistas, se incorpora el parámetro específico dominante de vehículos aparcados (no-sí).

Finalmente, para situaciones E1 y E2 los parámetros se concretan en: riesgo de criminalidad, reconocimiento facial y flujo de tráfico de peatones.

Nota 2: PARÁMETROS ESPECÍFICOS COMPLEMENTARIOS

En los casos de los grupos de situaciones de proyecto C1, D1-D2 y E1-E2 el único parámetro específico complementario es:

- Niveles de luminosidad ambiental (baja-media-alta)

Para situaciones D3-D4 los parámetros específicos complementarios son:

- Reconocimiento facial (innecesario-necesario).
- Riesgo de criminalidad (normal-mayor de lo normal).
- Complejidad del campo visual (normal-alto).
- Niveles de luminosidad ambiental (baja-media-alta).

Para las situaciones de proyecto C, D y E en las Tablas 6 y 7 existen varias alternativas de elección de la clase de alumbrado o nivel de iluminación, debiendo adoptar la que proceda en cada caso, en función de los parámetros específicos dominantes que suponen exigencias y los complementarios que implican recomendaciones.

Una vez identificada la vía en cuestión con una clase de alumbrado, se pasará a definir los valores luminotécnicos que deben cumplir. Así:

8.1. Valores Luminotécnicos para las Situaciones de Proyecto A y B, con Calzadas Secas

En la Tabla 8 se detallan los niveles de iluminación que corresponden a cada clase de alumbrado de la serie ME.

TABLA 8. Clases de alumbrado serie ME (Calzadas Secas).

Clase de Alumbrado (*)	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia Media L_m (cd/m ²)	Uniformidad Global U_o	Uniformidad Longitudinal U_λ	Incremento Umbral $TI(\%)$ (**)	Relación Entorno SR (***)
ME 1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME 2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME 3	a b c	1,00	0,40	0,70	0,50
				0,60	
				0,50	
ME 4	a b	0,75	0,40	0,60	0,50
				0,50	
ME 5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME 6	0,30	0,35	0,40	15	-----

(*) 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 (f_m) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

(**) Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento del 5 % del incremento umbral (TI).

(***) La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan otras 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.

8.2. Valores Luminotécnicos para las Situaciones de Proyecto C, D y E

TABLA 9. Series S de clases de alumbrado.

Clase de Alumbrado	Iluminancia horizontal en el área de la calzada		
	Iluminancia Media E_m (lux)	Iluminancia mínima E_{min} (lux)	Uniformidad Media U_m (%)
S1	15		
S2	10		
S3	7,5		
S4	5		

Nota: 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 depreciación no mayor de 0,8, dependiendo del tipo de luminaria y grado de contaminación del aire.

8.3. Tramos singulares

Se define un tramo como singular por la complejidad de los problemas de visión y maniobras que tienen que realizar los vehículos que circulan por ella.

Tal es el caso de 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, zonas de incorporación de nuevos carriles, pasos subterráneos, etc.

a) Criterio de Luminancia

Siempre que resulte posible, en los tramos singulares se aplicarán los criterios de calidad de luminancias, uniformidades global y longitudinal, deslumbramiento perturbador y relación entorno, que han sido definidas para las clases de alumbrado serie ME.

En estos casos se tendrá en cuenta que la clase de alumbrado que se defina para el tramo singular será de un grado superior al de la vía de tráfico a la que corresponde dicho tramo singular. Si confluyen varias vías en un tramo singular, tal y como puede suceder en los 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

Sólo cuando resulte impracticable aplicar los criterios de luminancia, se utilizarán los criterios de iluminancia. Esta situación sucederá cuando la distancia de visión sea inferior a los 60 m (valor mínimo que se utiliza para el cálculo de luminancia), y cuando no se pueda situar adecuadamente al observador debido a la sinuosidad y complejidad del trazado de la carretera.

En estos casos se aplicarán los criterios de calidad de iluminación mediante la iluminancia media y su uniformidad, que corresponden a las clases de alumbrado de la serie CE (Tabla 10).

TABLA 10. Clases de alumbrado serie CE.

Clase de Alumbrado (*)	Iluminancia horizontal	
	Iluminancia Media <i>Em (lux)</i>	Uniformidad Media <i>Um</i>
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

Nota: *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 depreciación no mayor de 0,8 dependiendo del tipo de luminaria y grado de contaminación del aire.*

Considerando, de conformidad con la Tabla 12, que las clases de alumbrado ME y CE de idéntica numeración (por ejemplo CE3 y ME3) son de similar nivel de iluminación, cuando se utilice el criterio de iluminancia, la clase de alumbrado que se defina para el tramo singular será un grado superior al de la vía de tráfico al que corresponde dicho tramo singular.

En el supuesto de un tramo singular en el que incide una vía con clase de alumbrado ME1, el tramo singular continuará también como clase de alumbrado ME1 o su equivalente CE1. Cuando este tramo singular ofrezca una especial complejidad y una elevada potencialidad de riesgo de accidentes, en la más desfavorable de las situaciones y circunstancias, a dicho tramo le corresponderá una clase de alumbrado CE0 (50 lux) o su similar nivel de luminancia 3,3 cd/m². En situaciones intermedias podrán adoptarse clases de alumbrado comprendidas en el intervalo entre las clases de alumbrado CE1 y CE0, correspondientes a niveles de iluminancia de 35, 40 y 45 lux o sus valores similares 2,3-2,7 y 3 cd/m² respectivamente.

Cuando no se precise un requerimiento exhaustivo en la limitación del deslumbramiento o en el control del resplandor luminoso nocturno, podrán adoptarse las clases de intensidad G1, G2 y G3 establecidas en la Tabla 11. En el supuesto de que la tipología del tramo singular, debido a su configuración, complejidad y potencial peligrosidad, obligue a una mayor limitación del deslumbramiento o del control del resplandor luminoso nocturno, se deberán elegir las clases de intensidad G4 y G5 y, únicamente en casos extremos, se exigirá la clase de intensidad G6.

TABLA 11. Clases de intensidad serie G.

Clase de Intensidad	Intensidad Máxima (cd/klm) (**)			Otros requerimientos
	A 70° (**)	A 80° (*)	A 90° (*)	
G1	-	200	50	Ninguno
G2	-	150	30	Ninguno
G3	-	100	20	Ninguno
G4	500	100	10	Intensidades por encima de 95° deben ser cero
G5	350	100	10	
G6	350	100	0	Intensidades por encima de 90° deben ser cero

Notas:

*Cualquier dirección que forme el ángulo especificado a partir de la vertical hacia abajo, con la luminaria instalada para su funcionamiento.

**Todas las intensidades son proporcionales al flujo de la lámpara para 1.000 lm.

Las clases de intensidad G1, G2 y G3 corresponden a distribuciones fotométricas "semi cut-off" y "cut-off", conceptos utilizados tradicionalmente en los requerimientos luminosos. Las clases de intensidad G4, G5 y G6 se asignan a luminarias con distribución "cut-off" muy fuerte, como por ejemplo luminarias con cierre de vidrio plano, en cualquier posición cercana a la horizontal de la apertura o estrictamente en la posición horizontal.

8.4. Clases de Alumbrado de Similar Nivel de Iluminación

Especificados los valores luminotécnicos correspondientes a las clases de alumbrado serie ME (Tabla 8), serie S (Tabla 9) y serie CE (Tabla 10), las clases de alumbrado de similar nivel de iluminación son las que figuran en la Tabla 12.

TABLA 12. Clases de alumbrado de similar nivel de iluminación.

Comparable por columnas						
CE O	ME 1 CE 1	ME 2 CE 2	ME 3 CE 3 S 1	ME 4 CE 4 S 2	ME 5 CE 5 S 3	ME 6 S 4

8.5. Variaciones Temporales de las Clases de Alumbrado

Al objeto de ahorrar energía y reducir el resplandor luminoso nocturno, en todas las situaciones de proyecto A, B, C, D y E, siempre que quede garantizada la seguridad de los usuarios de las vías de tráfico, podrá variarse temporalmente la clase de alumbrado a otra inferior a ciertas horas de la noche en las que disminuya sustancialmente la intensidad de tráfico, llevándolo a cabo mediante el correspondiente sistema de regulación del nivel luminoso. En tramos singulares no se deberán realizar variaciones temporales de la clase de alumbrado.

Cuando se reduzca el nivel de iluminación, es decir, se varíe la clase de alumbrado a una hora determinada (apagado de media noche), los cambios serán tales que, si la luminancia media se reduce a una clase inferior, por ejemplo pasar de M2 a M3, deberán cumplirse los criterios de uniformidad de luminancia y deslumbramiento establecidos en la Tabla 8. Respecto a la uniformidad longitudinal de luminancia, dentro de la misma clase de alumbrado, siempre que sea posible se elegirá el valor más elevado.

9. Alumbrados Específicos

Comprenden los alumbrados de pasarelas peatonales, escaleras y rampas, pasos subterráneos peatonales, alumbrado adicional de pasos de peatones, alumbrado de parques y jardines, pasos a nivel de ferrocarril, fondos de saco y, finalmente, glorietas y rotundas.

9.1. Pasarelas Peatonales, Escaleras y Rampas

La clase de alumbrado o nivel luminoso será CE2 y, en caso de riesgo de inseguridad ciudadana, podrá adoptarse la clase CE1. Estos mismos niveles se aplicarán a las escaleras y rampas de acceso, en el supuesto de que las precise la pasarela, con valores superiores a 40 lux en el plano vertical, implantando adecuadamente los puntos de luz, de forma que exista una diferencia de luminancia entre los planos vertical y horizontal, que asegure una buena percepción de los peldaños. Cuando la pasarela peatonal cruce vías férreas, su alumbrado deberá responder a los requisitos de visibilidad impuestos por este condicionante.

9.2. Pasos Subterráneos Peatonales

La clase de alumbrado o nivel luminoso será CE1, con una uniformidad media de 0,5 pudiendo elevarse, en el caso de que se estime un riesgo de inseguridad alto, a CE0 y la misma uniformidad. Asimismo, en el supuesto de que la longitud del paso subterráneo peatonal así lo exija, deberá preverse un alumbrado diurno con un nivel luminoso de 100 lux y una uniformidad media de 0,5.

9.3. Alumbrado Adicional de Pasos de Peatones

En el alumbrado adicional de los pasos de peatones, cuya instalación será prioritaria en aquellos pasos no semaforizados, se recomienda una iluminancia mínima en el plano vertical de 40 lux, y una limitación en el deslumbramiento o en el control del resplandor luminoso nocturno G2 en la dirección de circulación de vehículos y G3 en la dirección opuesta, correspondientes a las clases de intensidad

serie G de la Tabla 11. La iluminancia horizontal será CE1 en áreas comerciales e industriales y CE2 en zonas residenciales.

9.4. Alumbrado de Parques y Jardines

Las zonas a contemplar serán los accesos al parque o jardín, sus paseos y andadores, áreas de estancia, escaleras, glorietas, taludes, etc., y se tendrán en cuenta fundamentalmente los criterios y niveles de iluminación del alumbrado de las vías peatonales, así como lo dispuesto en la Publicación CIE 94-1993.

9.5. Alumbrado de Pasos a Nivel de Ferrocarril

El nivel de iluminación sobre la zona de cruce, comenzando como mínimo 40 m antes de éste y finalizando 40 m después, nunca será inferior a CE2, recomendándose una clase de alumbrado CE1 ($Em = 30 \text{ lux}$ y $Um = 0,4$).

9.6. Alumbrado de Fondos de Saco

El alumbrado de una calzada en fondo de saco se ejecutará de forma que se señale con exactitud a los conductores donde se acaba la calzada. El nivel de iluminación mínimo será CE2.

9.7. Alumbrado de Glorietas y Rotondas

Además de la iluminación de la glorieta el alumbrado deberá extenderse a las vías de acceso a la misma, en una longitud adecuada de al menos de 200 m en ambos sentidos.

Los niveles de iluminación que se aconsejan para glorietas son un 50 % mayores que los niveles de los accesos o entradas, recomendándose los niveles mínimos siguientes:

- Iluminancia media horizontal: $Em \geq 40 \text{ lux}$.
- Uniformidad media: $Um \geq 0,5$

En zonas urbanas o en carreteras dotadas de alumbrado público, el nivel de iluminación de las glorietas será como mínimo un grado superior al del tramo que confluye con mayor nivel de iluminación, cumpliéndose en todo caso lo dispuesto en lo relativo a tramos singulares en el punto 8.3 del Anexo de Requerimientos Técnicos y Niveles de Iluminación.

10. Alumbrado de Túneles y Pasos Inferiores

Se ajustarán los niveles de iluminación a lo especificado en las "Recomendaciones para la iluminación de Carreteras y Túneles" del Ministerio de Fomento de 1999.

11. Alumbrado de Fachadas de Edificios y Monumentos

Para limitar el intrusismo de luz en las viviendas o espacios ocupados se deberán cumplir los máximos valores de brillo (cd/m^2) en la iluminación de fachadas de edificios o monumentos, que se indican en la siguiente tabla atendiendo a la zonificación del municipio:

Parámetro Luminotécnico	Condición de Aplicación	E1	E2	E3	E4
Luminancia o brillo de la superficie de los edificios o monumentos iluminados. (L_s) en candelas por metro cuadrado (cd/m^2)	Obtenido como múltiplo de la iluminación media y del factor de reflexión.	2 cd/m^2	5 cd/m^2	10 cd/m^2	25 cd/m^2

12. Alumbrado de Instalaciones Deportivas y Recreativas exteriores

Se recomienda no superar los niveles de iluminación y características establecidas para cada tipo de actividad deportiva según la normativa específica recogida en las Publicaciones CIE n^{os} 42, 45, 57, 67, 83 y 112.

13. Alumbrado de Áreas de Trabajo Exteriores

Comprenderán las instalaciones de alumbrado al aire libre de superficies industriales, recomendándose no superar los niveles de iluminación establecidos en la publicación CIE 129 (1998).

Podrá abordarse la realización de la instalación de alumbrado mediante soportes de gran altura, siempre y cuando se lleve a cabo un control riguroso del deslumbramiento. Todo ello, sin perjuicio de la instalación, en su caso, de sistemas ópticos adecuados, deflectores, rejillas, paralúmenes y otros dispositivos antideslumbrantes.

14. Alumbrado de Seguridad

Se cumplirán los valores de la siguiente tabla, en donde se establecen los niveles de iluminancia media vertical en fachada del edificio y horizontal en las inmediaciones del mismo, en función de la reflectancia o coeficiente de reflexión * de dicha fachada.

Alumbrado de seguridad. Niveles de Iluminación media

Reflectancia Fachada Edificio	Iluminación media Em (lux) *	
	Vertical en fachada	Horizontal en inmediaciones *
Muy clara $\rho=0,60$	1	1
Muy clara $\rho=0,60$	2	2
Muy clara $\rho=0,60$	4	2
Muy clara $\rho=0,60$	8	4

Notas:

*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 depreciación no mayor de 0,8 dependiendo del tipo de luminaria y grado de contaminación del aire.

La uniformidad media de iluminancia recomendable para este tipo de alumbrado de seguridad será de 0,3.

15. Alumbrado de Carteles y Anuncios Luminosos

La luminancia máxima de los carteles y anuncios luminosos, se limitará en función del tamaño de la superficie luminosa de acuerdo con los valores recomendados en la siguiente tabla.

Luminancia Máxima en Superficies Luminosas	
Superficie luminosa en m²	Luminancia en cd/m²
Menor de 0,5 m ²	1000
2 m ²	800
10 m ²	600
Mayor de 10 m ²	400

En consonancia con la zonificación del término municipal, la luminancia máxima de los carteles y anuncios luminosos e iluminados se ajustará a los valores recomendados en la siguiente tabla.

Parámetro Luminotécnico	Clasificación de Zonas			
	E1	E2	E3	E4
Luminancia Máxima en cd/m ²	50	400	800	1000

Nota: En zona E1 debe permanecer apagado en el horario de reducción (media noche). Estos valores no son aplicables a las señales de tráfico.

16. Alumbrado Festivo y Navideño

Se priorizará el uso de equipos eficientes como:

- Lámparas de baja potencia: se recomienda el uso de bombillas incandescentes de potencia inferior a 15 W, preferentemente de 5 W.
- Hilo luminoso con microbombillas.
- Fibra óptica.
- Hologramas.

Definiciones técnicas

Eficacia Energética o Eficacia Luminosa

Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz y la potencia consumida. Se expresa en **lm/W** (lúmenes/vatio).

Factor de Utilización

Es la relación entre el flujo útil (\emptyset_u) procedente de la luminaria que llega a la calzada o superficie de referencia a iluminar y el flujo emitido por la lámpara o lámparas (\emptyset_l) instaladas en la luminaria. Su símbolo es F_u y carece de unidades.

$$F_u = \emptyset_u / \emptyset_l = \eta \cdot U$$

donde:

η = Rendimiento de la luminaria.

U = Utilancia.

Flujo Luminoso

Potencia emitida por una fuente luminosa en forma de radiación visible y evaluada según su capacidad de producir sensación luminosa, teniendo en cuenta la variación de la sensibilidad del ojo con la longitud de onda. Su símbolo es \emptyset y su unidad el lumen (lm).

Flujo Hemisférico Superior de la Luminaria (FHS %)

También denominado ULOR, se define como la proporción en % del flujo de la o las lámparas de una luminaria que se emite sobre el plano horizontal respecto al flujo total de las mismas, cuando la luminaria está montada en su posición normal de diseño.

Flujo Hemisférico Superior Instalado de la Luminaria (FHS_{INST} %)

También denominado ULOR_{INST}, se define como la proporción en % del flujo de una luminaria que se emite sobre el plano horizontal respecto al flujo total saliente de la luminaria, cuando la misma está montada en su posición de instalación.

Flujo Hemisférico Inferior de la Luminaria (FHI %)

También denominado DLOR, se define como la diferencia en % del flujo total de la o las lámparas de una luminaria y el flujo hemisférico superior de la luminaria (FHS %), cuando la misma está montada en su posición normal de diseño.

Iluminancia Horizontal en un Punto de una Superficie

Cociente entre el flujo luminoso $d\phi$ incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto y el área dA de ese elemento ($E = d\phi/dA$). Su símbolo es E y la unidad el lux (lm/m^2).

La expresión de la iluminancia horizontal en un punto P , en función de la intensidad luminosa que recibe dicho punto, definida por las coordenadas (c, γ) en la dirección del mismo, y de la altura h de la luminaria, es la siguiente:

$$E = I(c, \gamma) \cos^3 \gamma / h^2$$

Iluminancia Media Horizontal

Valor de la iluminancia media horizontal de la superficie de la calzada. Su símbolo es E_m y se expresa en lux.

Iluminancia Mínima Horizontal

Valor de la iluminancia mínima horizontal de la superficie de la calzada. Su símbolo es $E_{m\min}$ y se expresa en lux.

Iluminancia Vertical en un Punto de una Superficie

La iluminancia vertical en un punto p en función de la intensidad luminosa que recibe dicho punto y la altura h de la luminaria es la siguiente:

$$E = I(c, \gamma) \operatorname{sen} \gamma \cos^2 \gamma / h^2$$

Intensidad Luminosa

Es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido. Esta magnitud tiene característica direccional, su símbolo representativo es I y su unidad es la candela (cd). $Cd = lm/Sr$ (lumen/estereorradián).

Luminancia o Brillo en un Punto de una Superficie

Es la intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por dicha superficie en la dirección del ojo del observador. Su símbolo es L y su unidad la candela por metro cuadrado (cd/m^2).

La expresión de la luminancia en un punto P , en función de la intensidad luminosa que recibe dicho punto, de la altura h de la luminaria y de las características fotométricas del pavimento r ($\beta, \operatorname{tg} \gamma$), expresadas mediante una matriz o tabla de doble entrada ($\beta, \operatorname{tg} \gamma$), es la siguiente:

$$L = I(c, \gamma) r(\beta, \operatorname{tg} \gamma) / h^2$$

Luminancia Media de la Superficie de la Calzada

Valor de la luminancia media de la superficie de la calzada. Su símbolo es Lm y se expresa en cd/m^2 .

Luz Perturbadora

Luz esparcida que, debido a los atributos cuantitativos, direccionales o espectrales en un contexto dado, da lugar a molestias, incomodidades, distracciones o a una reducción en la capacidad de ver información esencial.

Rendimiento de una Luminaria

Es la relación entre el flujo total (\emptyset_t) procedente de la luminaria y el flujo emitido por la lámpara o lámparas (\emptyset_l) instaladas en la luminaria. Su símbolo es η y carece de unidades.

$$\eta = \emptyset_t / \emptyset_l$$

Uniformidad Global de Luminancias

Relación entre la luminancia mínima y la media de la superficie de la calzada. Su símbolo es U_o y carece de unidades. Refleja en general la variación de luminancias en la calzada y señala bien la visibilidad de la superficie de la calzada que sirve de fondo para las marcas viales, obstáculos y otros usuarios de las vías de tráfico rodado.

Uniformidad Longitudinal de Luminancias

Relación entre la luminancia mínima y la máxima en el mismo eje longitudinal de los carriles de circulación de la calzada, adoptando el valor más desfavorable. Su símbolo es U_l y carece de unidades. Proporciona una medición de la secuencia continuamente repetida de bandas transversales en la calzada, alternativamente brillantes y oscuras. Tiene que ver con las condiciones visuales cuando se conduce a lo largo de secciones ininterrumpidas en la calzada, y con la comodidad visual del conductor.

Uniformidad Media de Iluminancias

Relación entre la iluminancia mínima y la media de la superficie de la calzada. Su símbolo es U_m y carece de unidades.

Uniformidad General de Iluminancias

Relación entre la iluminancia mínima y la máxima de la superficie de la calzada. Su símbolo es U_g y carece de unidades.

Utilancia

Es la relación entre el flujo útil (\emptyset_u) procedente de la luminaria que llega a la superficie de referencia a iluminar y el flujo total emitido por la luminaria (\emptyset_t). Su símbolo es U y carece de unidades.

$$U = \emptyset_u / \emptyset_t$$

Zona

Área donde las actividades específicas tienen lugar o están planificadas y donde se recomiendan requisitos concretos para la restricción de la luz perturbadora. Las zonas se indican por el índice de clasificación de zona (E1, ... E4).

2.1. Introducción

El alumbrado exterior, y en especial el denominado público, ha sufrido variaciones desde sus orígenes, tanto en su alcance como en sus medios y sistemas técnicos empleados.

En la actualidad se suceden, si cabe aún más velozmente, estos cambios promovidos por tendencias que condicionan los sistemas de alumbrado.

Entre los diferentes aspectos que condicionan los procesos de diseño de las instalaciones de alumbrado exterior, se pueden enumerar:

- ✿ Condicionantes de eficiencia energética.
- ✿ Necesidad de alumbrado.
- ✿ Integración del alumbrado. Equilibrio estético con el entorno.
- ✿ Condicionante geográfico, social, cultural, turístico, histórico.
- ✿ Condicionantes temporales y horarios.
- ✿ Condicionantes cualitativos.
- ✿ Condicionantes económicos.

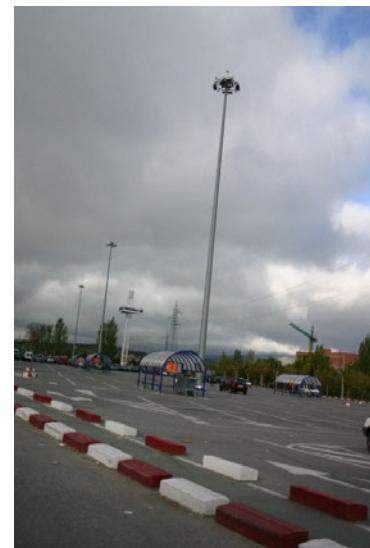
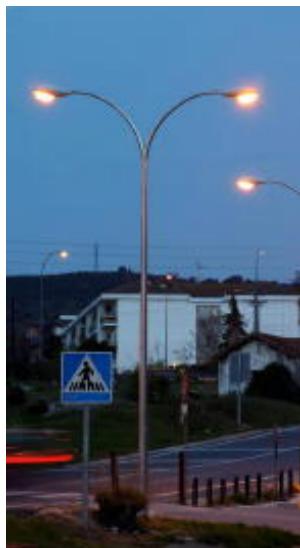


Existen, principalmente, dos tipos de alumbrado en función de los objetivos que se pretenden:

- ✿ **Alumbrado funcional**

- Ofrece seguridad al tráfico rodado: siendo vital para la prevención de accidentes y pérdidas de vidas (iluminación de carretera, paneles informativos o LEDs).

- Ofrece seguridad al tráfico peatonal: previene atropellos.
- Ofrece confianza en la actividad nocturna.
- Evita actividades delictivas.



Los diodos LED se emplean en todo tipo de indicadores de estado (ON/OFF), en dispositivos de señalización y en paneles informativos.

El uso de lámparas LED en el ámbito de la iluminación (incluyendo la señalización de tráfico) crece día a día, ya que aunque sus prestaciones son intermedias entre la lámpara incandescente y la lámpara fluorescente, presenta indudables ventajas, particularmente su larga vida útil, su menor fragilidad y la menor disipación de energía.



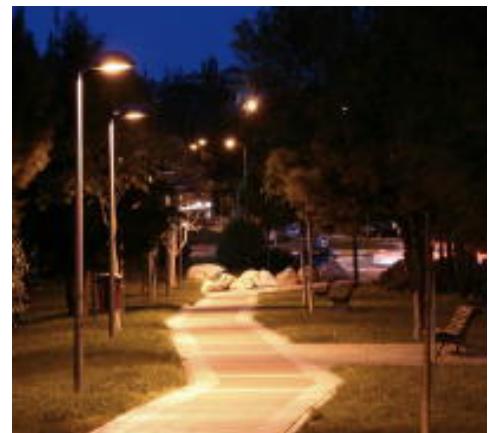
● **Alumbrado ambiental**

- Acompaña a la actividad de ocio nocturna aumentando el horario de disfrute de las áreas lúdicas.
- Aumenta la sensación de comodidad y bienestar, aportando valor a estas áreas.
- Ofrece poder de atracción hacia estas áreas.
- Aporta diseño como valor añadido al entorno nocturno y diurno.



Ante todo esto, que no parecen más que ventajas, todo ello ligado a una mejor calidad de vida, se contrapone el coste de la implantación y explotación del alumbrado público y los perjuicios, siempre a valorar, que podrían reportar. Entendiéndose como tales un excesivo consumo energético, que ha de soportar tanto el Planeta como los bolsillos de los contribuyentes, o las molestias que puede provocar a la población un alumbrado no correctamente diseñado y entre las que destaca la emisión de luz hacia zonas no deseadas (intrusismo, deslumbramiento y brillo del cielo).

Como consecuencia, parece evidente la necesidad de que un buen alumbrado aporte los beneficios descritos para cada área en concreto y procure un ***eficaz consumo energético, mínimo impacto ambiental y una aceptable inversión.*** Para conseguir este "buen alumbrado" se deberían analizar, y buscar su equilibrio, entre los diferentes aspectos que influyen en el diseño de las instalaciones de alumbrado.



En el momento de acometer el estudio de la dotación de un alumbrado exterior, se deberá estudiar hasta qué punto la nueva instalación debe armonizar y buscar equilibrio con el entorno, tanto en las horas nocturnas como diurnas, y si éste va a tener un peso específico importante en la urbanización de la zona. Habrá que concretar si se trata de dar luz de la forma más efectiva posible sin establecer un

diseño específico del punto de luz o, por lo contrario, se trata de integrar o contrastar el sistema de iluminación en la arquitectura del área del proyecto.

Esta integración o contraste se debe contemplar en cualquier franja horaria, nocturna o diurna, ya que es en ésta última cuando mayor protagonismo toma su diseño exterior y cuando más tiempo la población la disfruta, o sufre. No hemos de olvidar que en nuestras calles hay edificaciones, arbolados, coches, peatones, semáforos y "farolas", formando éstas parte importante del mobiliario urbano, o cuando no un gran protagonista.

En este aspecto toman especial importancia:

✿ **La estética de la luminaria empleada:**

- Luminaria técnica de alumbrado público normalmente instalada en soportes de altura mayor de 7 metros.
- Luminaria de tipo ambiental, normalmente instalada en alturas inferiores a 6 metros.
- Luminaria de tipo rasante o balizamiento, instalada normalmente en alturas inferiores a 1 metro.



✿ **La ubicación de los puntos de luz:**

- Altura de instalación: dependerá del sistema de alumbrado escogido y del carácter del mismo, del arbolado y también de la economía de la instalación.

- Distribución de los puntos de luz, ya sea unilateral o bilateral: dependerá de la altura de instalación, sistema de alumbrado escogido y fotometría específica de las luminarias, geometría del vial, y, también de la economía de la instalación.



Color de la luz:

Existe un debate abierto entre las tonalidades de luz "amarilla" y "blanca". La luz tipo amarilla, generalmente lámparas de vapor de sodio, ha ido cogiendo fuerza últimamente respecto a la luz blanca, apoyada principalmente en su mayor eficacia lm/W.

En este aspecto, el continuo desarrollo de otros tipos de lámparas, como las de halogenuros metálicos entre otras, o incluso la misma evolución de aquellas, y los consiguientes logros obtenidos en eficacia luminosa, colorimétrica, vida media y precio hace presagiar un mayor empleo de estas lámparas de tonalidad blanca en aquellas áreas de mayor actividad lúdica.





Si bien las lámparas aportan toda la luz de la luminaria, no sólo son ellas las que determinan el rendimiento de la instalación, sino que su aplicación dentro de una luminaria y el rendimiento del sistema óptico de la misma en relación con la geometría de la instalación, lo condicionan en mayor medida incluso que ellas.

Serán aquellas instalaciones que consigan un menor número de watios instalados por metro y unidad las que obtengan una mayor cualificación energética. Esto nos debería inducir a no generalizar sobre el empleo de un tipo de lámpara u otro en función de su rendimiento lumínico, sino a contrastar los diferentes sistemas de iluminación adecuados a cada zona para, comparando sus eficiencias energéticas junto con los otros aspectos cualitativos, poder decidir sobre su idoneidad.

2.2. Optimización de instalaciones

2.2.1. Parámetros de eficiencia energética

El consumo energético de un ayuntamiento por medio de su alumbrado público supone un gasto significativo del mismo. La constante iluminación de las vías, ya sea mediante luminarias, señales luminosas o paneles informativos es fundamental en la rentabilidad del mismo.

Por otra parte, no siempre un mayor consumo energético equivale a un mejor servicio. Se conseguirá un grado de eficiencia óptima cuando el consumo y el confort estén en la proporción adecuada.

EFICIENCIA ENERGÉTICA



Desde este punto de vista, mediante una pequeña contabilidad energética a partir de los consumos anuales de energía eléctrica, se pueden obtener los ratios de consumo derivados del alumbrado público.

A partir de estos ratios, los profesionales del sector pueden clasificar el gasto desde el punto de vista de la eficiencia energética, y tomar las medidas necesarias para reducir el consumo y coste de la energía.

2.2.2. Estrategias y medidas de ahorro energético en Alumbrado Público

Para reducir el coste de los consumos de energía podemos:

- ✿ Optimizar el contrato.
- ✿ Optimizar las instalaciones:
 - Mediante la utilización de lámparas compactas de bajo consumo.
 - Cambio de lámparas de vapor de sodio de alta presión.
 - Mediante el uso de diodos LEDs (*Light Emitting Diode*) en paneles y señales.

Se estima que podrían lograrse reducciones de entre el 20 % y el 85 % en el consumo eléctrico del alumbrado, merced a la utilización de componentes más eficaces así como al empleo de sistemas de control.

Los elementos básicos de un sistema de alumbrado son:

- ✿ **Fuente de luz o lámpara:** es el elemento destinado a suministrar la energía lumínica.
- ✿ **Luminaria:** aparato cuya función principal es distribuir la luz proporcionada por la lámpara.
- ✿ **Equipo auxiliar:** muchas fuentes de luz no pueden funcionar con conexión directa a la red, y necesitan dispositivos que modifiquen las características de la corriente de manera que sean aptas para su funcionamiento.



Estos tres elementos constituyen la base del alumbrado y de ellos va a depender esencialmente su eficiencia energética.

Para una instalación de alumbrado existe un amplio rango de medidas para reducir el consumo energético, entre las que destacamos las siguientes:

- ✿ **Lámparas fluorescentes con balastos electrónicos**



Las lámparas fluorescentes son generalmente las lámparas más utilizadas para las zonas donde se necesita una luz de buena calidad, y pocos encendidos. Este tipo de lámpara necesita un elemento auxiliar que regule la intensidad de paso de la corriente, que es la reactancia o balasto.

Los balastos electrónicos no tienen pérdidas debidas a la inducción ni al núcleo, por lo que su consumo energético es notablemente inferior.

En la Tabla 1 se muestra como varía el consumo energético en un tubo fluorescente de 58 W, al sustituir el balasto convencional por un balasto de alta frecuencia.

TABLA 1.

COMPARACIÓN ENTRE BALASTO CONVENCIONAL Y BALASTO ELECTRÓNICO

Luminaria con tubos fluorescentes 2x58W con balasto convencional	Luminaria con tubos fluorescentes 2x58W con balasto electrónico
POTENCIA ABSORBIDA	POTENCIA ABSORBIDA
Lámparas (2 x 58 W)	102 W
Balasto Convencional	11 W
TOTAL	113 W
DISMINUCIÓN CONSUMO ENERGÉTICO	22,60 %

La tecnología de los balastos energéticos de alta frecuencia permite además la regulación de la intensidad de la lámpara, lo cual a su vez permite adaptar el nivel de iluminación a las necesidades de cada zona.

BALASTOS ELECTRÓNICOS

- Mejoran la eficiencia de la lámpara y del sistema.
- Mejoran el confort y reducción de la fatiga visual al evitar el efecto estroboscópico.
- Optimizan el factor de potencia.
- Proporcionan un arranque instantáneo.
- Incrementan la vida de la lámpara.
- Permiten una buena regulación del flujo luminoso de la lámpara.
- No producen zumbido ni otros ruidos.

El inconveniente de la aplicación del balasto electrónico está en su inversión, que es mayor que la de uno convencional, lo que hace que se recomiende la sustitución en aquellas luminarias que tengan un elevado número de horas de funcionamiento.

En el caso de instalación nueva es recomendable a la hora de diseñar el alumbrado, tener en cuenta la posibilidad de colocar luminarias con balasto electrónico, ya que en este caso el coste de los equipos no es mucho mayor y se amortiza con el ahorro que produce.



● Lámparas de descarga

Las lámparas de descarga de alta presión son hasta un 35 % más eficientes que los tubos fluorescentes con 38 mm de diámetro, aunque presentan el inconveniente que su rendimiento de color no es tan bueno.

Es por ello que su aplicación resulta interesante en los lugares donde no se requiere un elevado rendimiento de color.

● Lámparas fluorescentes compactas

Las lámparas fluorescentes compactas resultan muy adecuadas en sustitución de las lámparas de incandescencia tradicionales, pues presentan una reducción del consumo energético del orden del 80 %, así como un aumento en la duración de la lámpara de entre 8 y 10 veces respecto a las lámparas de incandescencia.

TABLA 2. Equivalencia entre fluorescentes compactas e incandescentes.

EQUIVALENCIAS ENTRE FLUORESCENTES COMPACTAS E INCANDESCENTES		
Lámpara Fluorescente Compacta	Lámpara Incandescencia	Ahorro Energético %
3 W	15 W	80
5 W	25 W	80
7 W	40 W	82
11 W	60 W	82
15 W	75 W	80
20 W	100 W	80
23 W	150 W	84

Tienen el inconveniente de que no alcanzan el 80 % de su flujo luminoso hasta pasado un minuto de su encendido.

A continuación se expone un ejemplo práctico de la rentabilidad económica de esta medida, Tabla 3.

TABLA 3. Comparativa de los costes y rentabilidad entre lámparas compactas e incandescentes.

COSTES COMPARATIVOS ENTRE LÁMPARA COMPACTA E INCANDESCENCIA		
	LÁMPARA INCANDESCENCIA DE 75 W	LÁMPARA COMPACTA DE 15 W
Potencia consumida	75 W	15 W
Flujo luminoso	900 lm	960 lm
Duración	1000 horas	8000 horas
Precio de la energía eléctrica		0,072 €/kWh
Precio de compra estimado	0,60 €	18 €
Costes funcionamiento (8000 horas)	49,20 €	16,60 €
AHORRO ECONÓMICO		66 %
PLAZO DE AMORTIZACIÓN		2800 horas de funcionamiento

A continuación se muestra una tabla orientativa sobre el porcentaje de ahorro aproximado que se puede conseguir por sustitución de lámparas por otras más eficientes.

TABLA 4. Ahorro energético por sustitución de lámparas.

AHORRO ENERGÉTICO POR SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS		
ALUMBRADO EXTERIOR		
SUSTITUCIÓN DE	POR	% AHORRO
Vapor de mercurio	Vapor de Sodio Alta Presión	45 %
Vapor de Sodio Alta Presión	Vapor de Sodio Baja Presión	25 %
Halógena Convencional	Halogenuros Metálicos	70 %
Incandescencia	Fluorescentes Compactas	80 %
ALUMBRADO INTERIOR		
SUSTITUCIÓN DE	POR	% AHORRO
Incandescencia	Fluorescentes Compactas	80 %
Halógena Convencional	Fluorescentes Compactas	70 %

● Sustituciones luminarias

La luminaria es el elemento donde va instalada la lámpara y su función principal es la de distribuir la luz producida por la fuente, en la forma más adecuada a las necesidades.

Muchas luminarias modernas contienen sistemas reflectores cuidadosamente diseñados para dirigir la luz de las lámparas en la dirección deseada. Por ello, la remodelación de instalaciones viejas, utilizando luminarias de elevado rendimiento

generalmente conlleva un sustancial ahorro energético, así como una mejora de las condiciones visuales.

● **Sistemas de control y regulación**

Un buen sistema de control de alumbrado asegura una iluminación de calidad mientras es necesario y durante el tiempo que sea preciso. Con un sistema de control apropiado pueden obtenerse sustanciales mejoras en la eficiencia energética de la iluminación de un edificio.



2.2.3. Gestión y mantenimiento energéticos

El correcto mantenimiento consigue los estándares de calidad y reduce los costes energéticos. Si se realiza un mantenimiento preventivo bueno, disminuirá la necesidad de un mantenimiento correctivo y como resultado se obtendrá un mejor rendimiento de la instalación, una reducción de costes y una mejor calidad del servicio.

Como consecuencia de un mal funcionamiento de las instalaciones se pueden producir consumos excesivos de energía. Por ello se debe establecer un programa regular de mantenimiento.



Por otra parte, las nuevas técnicas de comunicación permiten la implantación de sistemas de gestión de energía y otros más sofisticados como los sistemas expertos, que son capaces de gestionar gran cantidad de datos y controlar las instalaciones. Cuando se instala un sistema de gestión o un sistema experto, el objetivo es obtener un uso más racional de las instalaciones, ahorrar energía, reducir mano de obra, reducir averías y prolongar la vida útil de los equipos como medidas principales. Estos sistemas expertos son capaces de controlar el consumo de energía optimizando los parámetros de forma que se obtenga un mínimo coste energético.

Normalmente, el sistema está basado en un ordenador y en un *software* de gestión. No obstante, el elemento del programa debe ser siempre el operador o persona encargada de la gestión energética.

BENEFICIOS DE LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL

- Gestión racional de las instalaciones.
- Aumento del confort.
- Ahorro energético.
- Reducción de averías.
- Prolongación de la vida útil de los equipos.
- Ahorro en mantenimiento.

Uno de los resultados más inmediatos de la instalación de un sistema de gestión es la disminución del consumo de energía, obteniéndose unos ahorros que oscilan entre el 10 % y el 30 %.

2.3. Conclusiones

El gasto energético generado por medio del alumbrado público en un ayuntamiento es lo suficientemente cuantioso para ser susceptible de análisis para su optimización. Es posible evaluar la eficiencia de los sistemas energéticos del alumbrado público, a fin de aportar modificaciones que posibiliten la reducción de

gastos. El recorte de costes -en particular los de componente fijo o semifijo- se convierte en un arma estratégica para aumentar las posibilidades del mismo.

Sin embargo, antes de encaminar nuestros pasos para lograr reducir los costes, es necesario pararse a pensar cuáles son las variables sobre las que debemos actuar para conseguir mayor eficacia en nuestra misión.

En este capítulo hemos podido recoger -aunque sea de un modo superficial e intentando evitar complicaciones técnicas excesivas- la idea de que un estudio pormenorizado del consumo y demandas energéticas nos indicará las variables sobre las que hay que actuar prioritariamente, a fin de conseguir la mayor efectividad con el menor esfuerzo económico.

Las actuaciones recomendadas se han fundamentado sobre las instalaciones y sobre otros aspectos de calidad y seguridad en el suministro. Se han propuesto diferentes opciones y se propone un PLAN DE GESTIÓN DE LA DEMANDA.

Además, el uso de otras posibilidades como la energía solar puede ser una opción interesante para incrementar nuestro suministro de manera rentable y sin causar daños medioambientales.

Por otra parte, un adecuado estudio termográfico nos permitirá incrementar la seguridad y la prevención pero además evitaremos las averías antes de que éstas se produzcan y con ello las pérdidas energéticas y económicas subsiguientes. La termografía nos permite actuar fundamentalmente sobre las instalaciones eléctricas y sobre los equipos que la componen. Con ello podemos evitar costes de oportunidad, aumentar la eficiencia y conseguir ahorros.

En cualquier caso, hemos conocido sólo unas pocas de las posibilidades que existen en el mercado para ahorrar en nuestro consumo, así como para mejorar la calidad y garantizar el suministro. Una **Auditoría Energética** es el vehículo más adecuado para conocer nuestras limitaciones, nuestras necesidades reales y las posibilidades que ENDESA pone a nuestra disposición. Esta inquietud por la realización de Auditorías Energéticas es compartida por el propio Ministerio de

Industria, Turismo y Comercio que establece subvenciones para la promoción y realización de las mismas, así como para la implantación de las mejoras propuestas en ellas.

ENDESA propone hacer uso de esas ayudas económicas para la realización de la ***Auditoría Energética*** y la puesta en marcha de las mejoras consecuencia de ese estudio. Dichas mejoras –algunas posibilidades han sido introducidas en este documento- significarán de manera inmediata el ahorro en los costes energéticos.

3.1. 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.

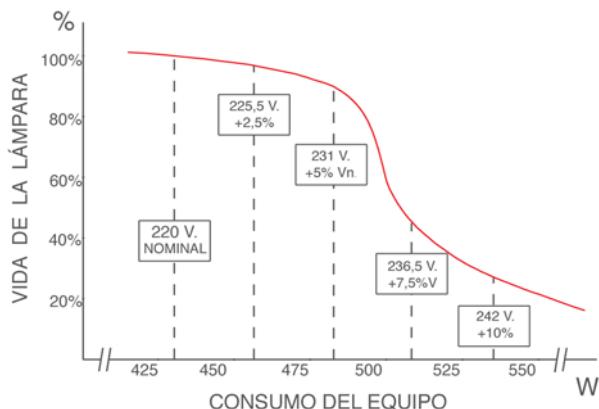


Figura 1. Ejemplo de vida y consumo de la lámpara en función de la tensión de red.

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.

3.2. 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.

3.2.1. 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.

3.2.2. 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. Véase un ejemplo de estos nuevos equipos en la Foto 2.



Foto 2. Interruptor horario astronómico con selección de ciudades.

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.

3.3. Métodos de control

3.3.1. Apagado parcial (doble circuito)

Con este sistema lo que se consigue es reducir el consumo apagando parte de las luminarias durante un periodo de tiempo determinado, siendo el ahorro conseguido directamente proporcional al número de luminarias apagadas.

Aunque el sistema es efectivo, su mayor inconveniente es la pérdida de uniformidad lumínica. Además, en las situaciones donde siempre se apagan las mismas luminarias existe una disparidad en la vida de las lámparas. Por estos motivos, se desarrollaron los interruptores horarios astronómicos con circuitos alternativos, de forma que cada día alternaba el circuito a apagar.

3.3.2. 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.

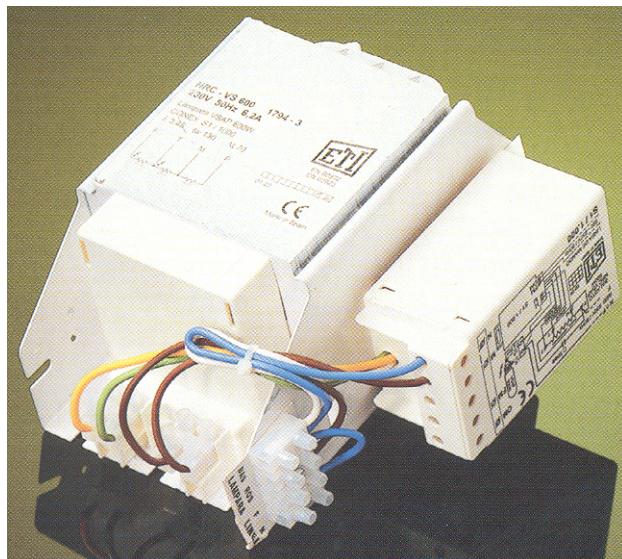


Foto 3. Ejemplo de reactancia de doble nivel.

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.

Ninguno de los dos sistemas anteriormente descritos solventan 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.

3.3.3. 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 stabilizan 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.

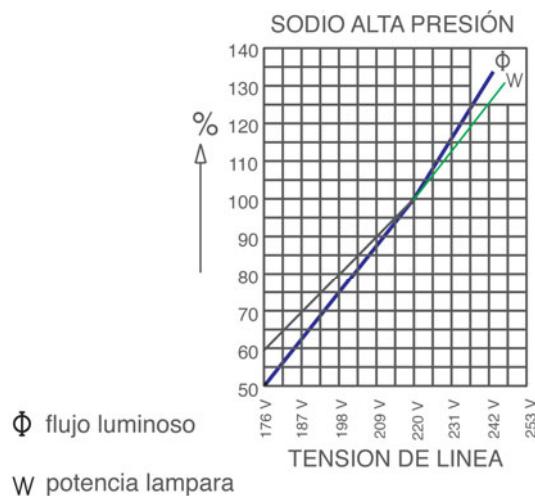


Figura 2. Variación de la potencia y flujo luminosos en función de la tensión en una lámpara VSAP.

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 VSAP y VM.

3.3.3.1. 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 lenta disminución (aprox. 6 V por minuto) 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.

3.3.3.2. 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 con una tensión de arranque ligeramente superior a la necesaria por los ignitores de encendido del equipo de iluminación, 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). Los tiempos más cortos (hasta 3 minutos) se utilizan para fluorescencia y lámparas especiales. Con 6 minutos aproximadamente de tiempo de arranque se consigue la estabilización después del encendido de las lámparas de VSAP. Finalmente con 12 minutos de tiempo de arranque, se garantiza el reencendido adecuado de lámparas de VM y halogenuros metálicos.

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 todas 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 crepuscular 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 lenta (alrededor de 6 V por minuto), 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 175 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 (por ejemplo 5 V) a fin de corregir una iluminación escasa o caídas de tensión importantes en las instalaciones de alumbrado.

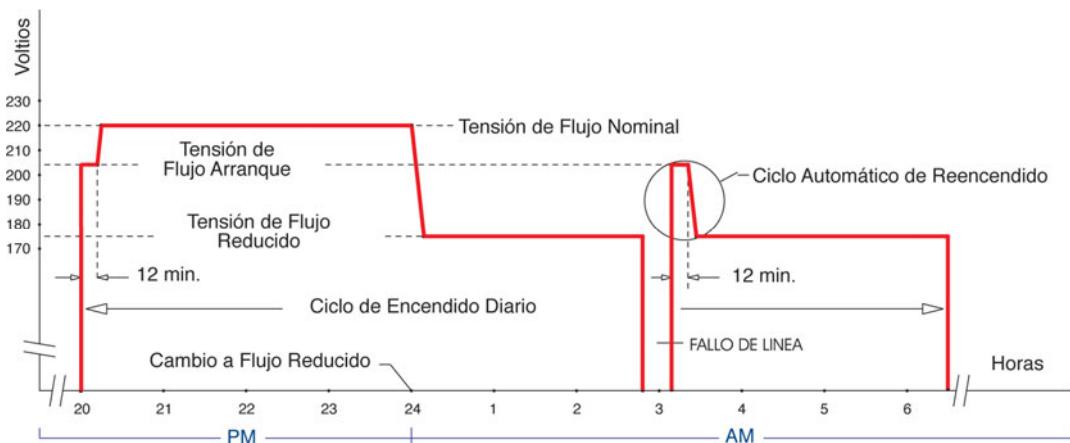


Figura 3. Curva de régimen de arranque, normal y reducido con corte de red en un reductor de flujo.

3.3.3.3. 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 %.

3.3.3.4. Características generales de los equipos estabilizadores de tensión y reductores de flujo luminoso y su clasificación

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 $\text{Cos } \phi$.
- ✿ 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.

Por su tipo de regulación, los reductores de flujo se pueden clasificar en reguladores de variación continua y de variación escalonada.

A. Variación continua

La tensión de salida varía de forma continua o en escalones inferiores al 0,3 % de la tensión nominal. Véase un ejemplo en la Foto 4. Estos equipos son

normalmente más caros pero la regulación es más suave y en general son productos más robustos.

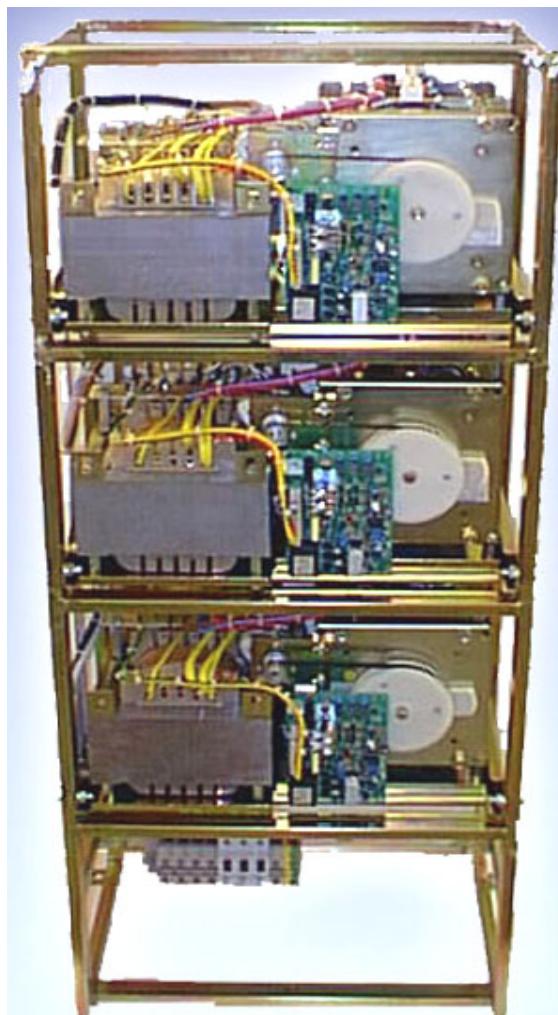


Foto 4. Ejemplo de reductor de flujo de variación continua.

B. Variación escalonada

La tensión de salida varía en escalones superiores o iguales al 0,3 % de la tensión nominal. Véase un ejemplo en la Foto 5. Son productos más económicos ya que sustituyen la regulación continua por varios escalones de una diferencia de tensión suficiente como para que no se note el salto en la iluminación.



Foto 5. Ejemplo de reductor de flujo de variación escalonada.

3.3.3.5. 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.

3.3.3.6. 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.

3.3.3.7. 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.

3.4. 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:**

$$102.703 - 68.640 = 34.063 \text{ kWh/año, equivalente a un 32,9 \% de energía.}$$

en tarifa B.0:

$$34.063 \text{ kWh/año} \times 0,087 \text{ €/kWh (impuestos incluidos)} = 2.963 \text{ €/año.}$$

Ahorro por mantenimiento:

$$A = \frac{H \times P \times N}{V} \left(\frac{1}{D} - 1 \right) = 421 + 16\% IVA = 489 \text{ €/año}$$

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: 2.963 €/año.
- Por ahorro en gastos de mantenimiento: 489 €/año.

AHORRO TOTAL AL AÑO $2.963 + 489 = 3.452 \text{ €/año}$ (impuestos incluidos).

3.5. 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 mediante comunicación GSM de los mismos. 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 redunda 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.

3.5.1. Características generales

Los sistemas de telegestión suelen estar formados por equipos encargados de realizar las medidas eléctricas, ofrecer información directa y establecer las comunicaciones; pueden disponer también de varios nodos esclavos conectados en las diversas líneas del cuadro y que vigilan el perfecto funcionamiento de las maniobras y protecciones del mismo, mandan información permanentemente del funcionamiento y anomalías al master. Podemos ver un ejemplo de master y de esclavo en la Foto 6.



Foto 6. Ejemplo de sistema para la telegestión de cuadros de alumbrado.

3.5.2. Funcionamiento

Los sistemas de telegestión efectúan un cálculo del ahorro de energía por cada fase, a partir de la diferencia de potencial entre las tensiones de entrada y salida de cada una de las fases. El porcentaje de ahorro se estima para una instalación de alumbrado con lámparas de VSAP y vida media de las lámparas.

En cuanto a las maniobras, se activa un relé, con salida libre de potencial, por cada fase de entrada, a fin de efectuar un *by-pass* independiente en cada

fase del reductor-estabilizador en el cuadro de alumbrado, en cuanto se detecte que la tensión de salida desaparece o es inferior a 160 V.

Se dispone de una entrada de control de tensión, para indicar el estado de funcionamiento de la instalación de alumbrado y para la señalización del estado de reducción de flujo. Disponen de alarmas por fallo de tensiones en las salidas y en la entrada general, alarmas de intrusismo y apertura del cuadro.

Todas las alarmas y medidas se pueden gestionar mediante aplicaciones informáticas, bien en modo local o bien en modo remoto, mediante módem, telefónico o GSM. Asimismo, se puede programar el envío de ciertas alarmas a teléfonos GSM mediante mensajes SMS. Igualmente desde el teléfono GSM se pueden enviar ciertos comandos mediante mensajes SMS al módem GSM instalado en el cuadro eléctrico para recibir información de las tensiones de entrada -salida y alarmas, ordenar conexión y desconexión del cuadro, anular la reducción de flujo y conexión - desconexión del *by-pass*. Estas últimas funcionalidades son muy útiles en tareas de mantenimiento.

3.5.3. *Software de comunicaciones*

Las aplicaciones informáticas a las que nos referíamos anteriormente tienen, entre otras, las siguientes posibilidades en cuanto a petición de parámetros de trabajo:

- Tensión de línea, intensidad de línea y cosenos de cada fase.
- Tensión de salida del regulador-estabilizador en cada fase.
- Porcentaje de ahorro fase R, porcentaje de ahorro fase S, porcentaje de ahorro fase T.
- Porcentaje de ahorro total.
- kW en fase R, kW en fase S, kW en fase T, kW Totales.
- Incidencias posibles en cada nodo esclavo.

En la Fig. 5 se puede observar un ejemplo de algunas pantallas de información que muestra la aplicación informática, tal y como se verían en modo local delante del equipo de telegestión.

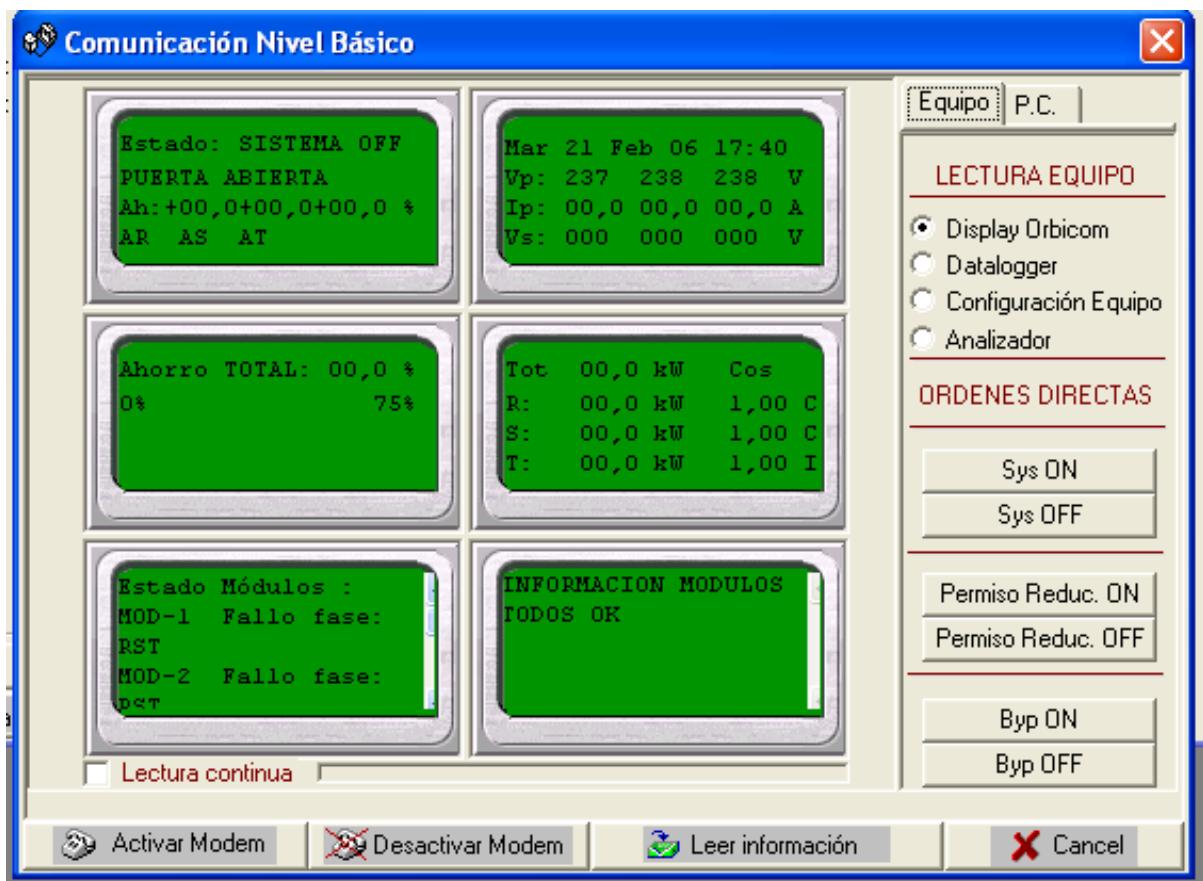


Figura 5. Pantallas de información del sistema de telegestión

3.5.4. Archivo de adquisición de datos

Es posible registrar una serie de parámetros con un intervalo programable. Cada registro nos da la siguiente información:

- ✿ Fecha / Hora.
- ✿ V.Pri1 V.Pri2 V.Pri3: Tensiones de primario.
- ✿ Amp.1 Amp.2 Amp.3: Intensidades.
- ✿ V.Se1 V.Se2 V.Se3: Tensiones de secundarios.
- ✿ Wat.1 Wat.2 Wat.3: Potencias activas.
- ✿ Cos1 Cos2 Cos3: Cosenos.
- ✿ AHR AHS AHT: Ahorros.

Con estos registros, es posible presentar curvas de resultados mediante las combinaciones más adecuadas para analizar el funcionamiento del reductor de

flujo, y poder así optimizar el consumo. En las Fig. 6 y 7 se representan dos ejemplos de gráficos de parámetros eléctricos. Cada ciclo corresponde al encendido de una noche, siendo el valor mayor el correspondiente al modo normal, y el valor menor al reducido.

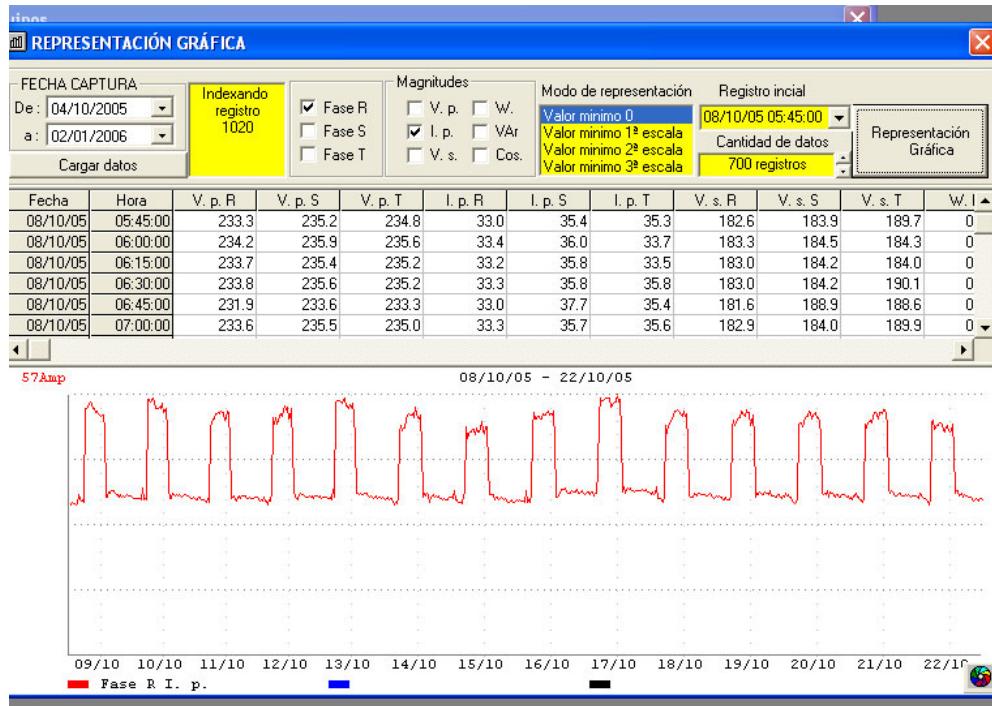


Figura 6. Corriente en Amperios de la fase R durante varios días, en régimen normal y en reducido.

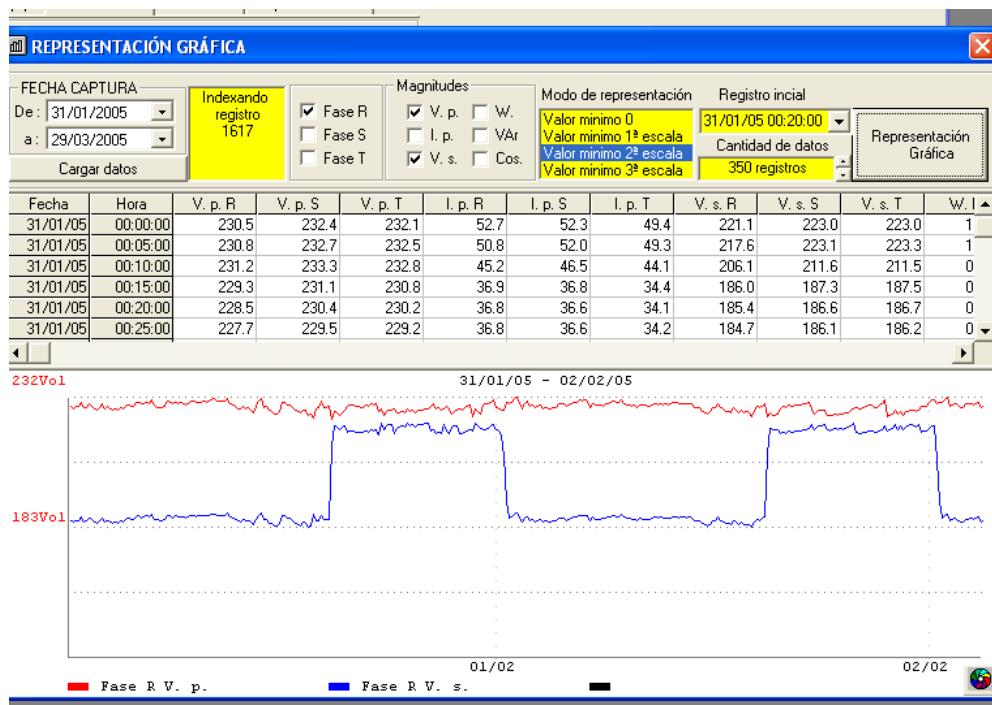


Figura 7. Tensión de entrada (línea roja) y de salida (línea azul) de la fase R.

3.5.5. Parámetros eléctricos medidos en el momento

Se pueden conocer los parámetros eléctricos instantáneos, lo que permite comprobar el correcto funcionamiento de la instalación.

4.1. Introducción

El uso racional de la energía en los edificios y la contención del aumento del **consumo** es un reto a resolver por España en los próximos años. El **marco legal europeo** que se está desarrollando para abordar el sector de la edificación demuestra que la eficiencia energética sigue siendo una prioridad. Concretamente, se ha aprobado en abril de 2006 la Directiva 2006/32/CE.



La directiva 2006/32/CE, destaca **tres aspectos críticos**:

- ✿ Un **crecimiento constante del consumo energético** que se desvincula del crecimiento económico.
- ✿ Un **potencial de ahorro del 15 %** que se puede conseguir con medidas de eficiencia energética y servicios de gestión de la demanda.
- ✿ Existencia de **tecnologías** y sistemas para el uso eficiente de la energía que **no se introducen suficientemente** en el mercado por diversas barreras.

En concreto, esta directiva pretende establecer **dos objetivos**:

1. **Ahorro de energía anual** equivalente **al 1 %** de la cantidad de energía distribuida, o vendida, a los consumidores finales, calculada en el año de referencia, durante un período de 6 años.
2. **Ahorro anual mínimo del 1,5 %** de energía distribuida o vendida **al sector público**, mediante medidas de eficiencia energética.

Para conseguir dicha finalidad se proponen **tres herramientas**:

Servicios energéticos Energía + Tecnologías eficientes + Inversión Acciones de ahorro de energía y de renovables en operación, Mantenimiento y control	Programas de eficiencia energética destinados a la promoción comercial de determinados servicios energéticos	Otras medidas de eficiencia energética diseñadas para ayudar a los usuarios finales a evaluar la eficacia de los servicios energéticos que ha contratado.
---	---	--

Es necesario abordar y explorar el potencial de los servicios energéticos en **España** y determinar su contribución a la eficiencia energética y a los objetivos de reducción de emisiones de CO₂

En este contexto, **el Instituto Cerdá ha realizado** un proyecto sobre Servicios Energéticos para las Administraciones locales (SENA)¹ con el **objetivo** de:

- ✿ Identificar los **servicios energéticos con mayor potencial**.
- ✿ Establecer las **condiciones técnicas y administrativas** para que se desarrolle un mercado estable de los servicios energéticos.
- ✿ Evaluar el **impacto energético, ambiental y económico** que podría derivarse de su implantación.

Para poder comprobar el **grado de eficiencia energética de este tipo de mecanismos** a nivel local, se ha desarrollado una metodología de trabajo basada en:

- ✿ **La situación internacional** de los servicios energéticos.

¹ Proyecto multicliente realizado el 2005 para diferentes instituciones públicas y privadas

- Un trabajo de campo con los ayuntamientos en dos fases: una primera de información y una segunda de validación.
- Un estudio de la oferta existente en España.
- Un cálculo de rentabilidad económica.

Los **colaboradores del proyecto** han sido organismos públicos de diferentes niveles de la Administración y empresas privadas como **representación de los principales agentes del mercado**, Fig. 1:



Figura 1. Colaboradores del proyecto SENA.

4.2. Situación de los Servicios Energéticos

4.2.1. Situación a nivel internacional

La situación y las experiencias de los servicios energéticos a nivel **internacional** constatan que, en la actualidad, son mecanismos que están **funcionando y generando ahorro**.

De acuerdo con la experiencia internacional y europea, las **características** que generalmente **diferencian** una **empresa de servicios energéticos** respecto al **resto de agentes del mercado que ofrecen servicios o prestaciones energéticas** (consultores, instaladores, comercializadoras, proveedores de equipos, etc.) son principalmente tres, tal como muestra la Tabla 1.

TABLA1. Diferencias principales entre ESCO y otros agentes del mercado energético.

Puntos en común	Diferencias clave
<ol style="list-style-type: none"> 1. Asesoramiento energético 2. Suministro de energía 3. Instalación de equipamientos energéticamente eficiente 4. Mantenimiento y operativa 5. Gestión 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Garantizan los ahorros de energía (<i>energy performance contracting</i>) 2. Financian la inversión o proyecto 3. Su pago/cobro se encuentra directamente ligado al logro de los objetivos de ahorro energético

Estas **diferencias son clave para entender cuál es el valor añadido** que aporta el concepto de empresa de servicios energéticos al sector.

Sin embargo, hace falta decir que una empresa de servicios energéticos no necesariamente tiene que ser quien realice todos los servicios: **algunas de sus acciones pueden subcontratarse**. En cualquier caso, **sí que será el responsable último delante del cliente**. Por lo tanto, se mantiene su obligación de garantizar los ahorros manteniendo la calidad en la prestación.

La Directiva 2006/32/CE **define en su artículo 3.i. como Empresa de Servicio Energético (ESE)**:

"persona física o jurídica que proporciona servicios energéticos o de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones o locales de un usuario y afronta cierto grado de riesgo económico al hacerlo. El pago de los servicios prestado se basará (en parte o totalmente) en la obtención de mejoras de la eficiencia energética y en el cumplimiento de los demás requisitos de rendimientos convenidos".

4.2.2. Definición de Servicio Energético

La **Directiva 2006/32/CE, art. 3.b, define un Servicio Energético** como: *"el beneficio físico, utilidad o ventaja derivados de la combinación de una energía con*

una tecnología eficiente en términos de energía y/o con una acción, que podrá incluir las operaciones, mantenimiento y control necesarios para prestar el servicio, que es prestado basándose en un contrato y que en circunstancias normales ha demostrado llevar a una mejora de la eficiencia energética verificable y mesurable o estimable y/o un ahorro de energía primaria”

Por tanto, **un servicio energético** es aquel que ofrece las siguientes 5 prestaciones, externalizando los riesgos técnicos y económicos, Fig. 2.



Figura 2. Las cinco prestaciones de un servicio energético.

Las cinco prestaciones del servicio energético son:

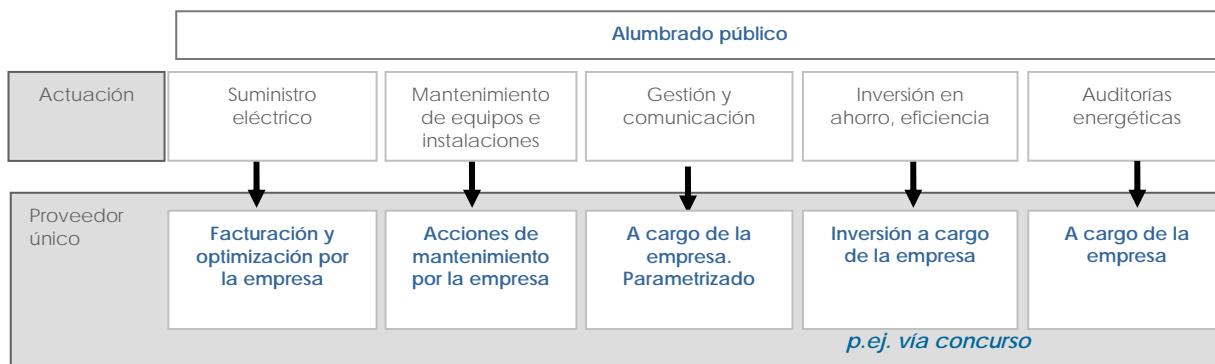
1. **Auditoría energética:** diagnóstico de la situación actual de las dependencias e instalaciones así como de la calidad del servicio del segmento de consumo objeto de estudio.
2. **Suministro o gestión del suministro energético:** global de energía térmica y eléctrica.
3. **Inversión:** en instalaciones y equipos y puesta en marcha. Inversiones necesarias para alcanzar una eficiencia y un ahorro.

4. **Mantenimiento integral:** consta de todas las operaciones de mantenimiento preventivo, actuaciones correctivas y todos los sistemas de control y seguimiento de las instalaciones.
5. **Sistema de gestión y comunicación:** para ofrecer un servicio de calidad, definir correctamente las variables e indicadores de la garantía a verificar y estableciendo un protocolo de comunicación con el cliente.

En el caso del **alumbrado público**, el funcionamiento del servicio es el que muestra la Fig. 3.



Actualmente, cada actuación del servicio de alumbrado se cubre con más de un proveedor. El Servicio Energético es un servicio más integral con un único proveedor (interlocutor) que agrupa las 5 prestaciones.



Inversión que se externaliza según las condiciones establecidas de acuerdo a la política energética municipal.
Riesgo técnico y económico a cargo de la empresa de servicios energéticos

Figura 3. Ejemplo caso de Servicios Energéticos para Alumbrado Público.

4.2.3. Situación en España de los Servicios Energéticos

En España no existe un mercado de servicios energéticos debido, principalmente, a la falta de demanda porque no hay información y de un marco legal que lo regule. Aunque la administración está trabajando en el desarrollo normativo y técnico-económico de estos mecanismos, es el mercado, sus agentes los que lo agilizarán.

Con el objetivo de conocer mejor la situación actual del mercado de Servicios Energéticos se ha realizado un análisis de los principales agentes implicados: la oferta y la demanda.

4.2.3.1. La oferta

La introducción en España de los servicios energéticos como mecanismo de ahorro mediante un proceso normativo del concepto de "empresa de servicios energéticos" no es una tarea ni trivial ni sencilla.

Actualmente, existe un mercado consolidado de servicios relacionados con la energía sin ajustarse o adecuarse a las prestaciones definidas en el apartado anterior.

En el **mercado español**, se han identificado **tres tipologías de empresas** que, por sus características de funcionamiento y las prestaciones que están ofreciendo en la actualidad, podrían desarrollar los servicios energéticos de forma independiente o mediante la creación de alianzas estratégicas entre ellas.

Los tres tipos de empresas identificados son:

1. Empresas tecnológicas y de servicios.
2. Empresas de suministro energético.
3. Empresas de mantenimiento.

Con el objetivo de conocer el tipo de oferta y prestaciones que las empresas están ofreciendo (condiciones técnicas, económicas, etc.) se han realizado una serie de reuniones y contactos con empresas de las tres tipologías identificadas cuyos resultados se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. Características de las empresas.

	Empresas tecnológicas y de servicios	Empresas de suministro energético	Empresas de mantenimiento
Principal línea de negocio	Gestión energética y partes del servicio energético	Suministro energético	Mantenimiento de instalaciones
Predisposición a los Servicios Energéticos	Total	Baja	Total
Barreras de entrada al SE a parte de no existir	Capacidad de realizar el suministro	Márgenes de viabilidad por el riesgo de la no especialización	Riesgo financiero
Inquietudes	<ul style="list-style-type: none"> - Técnicas: situación de partida - Económicas: Capacidad de pago 	Falta de especialización	Posicionamiento suministradoras
Requisitos mínimos	<ul style="list-style-type: none"> - Periodos de contratación que permitan amortizar la inversión realizada - Pago mensual por parte AAPP 		

Las empresas al estar ofreciendo una garantía y asumiendo las inversiones, de forma general coincidieron en manifestar **como requisito del servicio a cobrar una cuota mensual y con un período de contrato acorde a la inversión a ejecutar.**

4.2.3.2. La demanda

Se identifica **la demanda** como la Administración local ya que dispone de múltiples **dependencias y equipamientos** que gestiona, como es el caso del Alumbrado Público.

Esta **demandas es muy heterogénea** tanto por las características y necesidades de las instalaciones como por su funcionamiento y gestión. Este aspecto **dificulta la posible estandarización del comportamiento**.

Mayoritariamente, los municipios están inmersos en un ciclo como el siguiente:

- Sus edificios y equipamientos tienen malas instalaciones energéticas que conllevan un coste muy grande en energía.
- Aunque tienen recursos limitados, pagan mucho por la energía consumida dejando un presupuesto insuficiente para inversiones o para crear fondos de inversión.

Este ciclo se agrava debido a que:

1. **Falta una figura energética** en la administración local, aunque en el caso de alumbrado público cada vez hay más especialización.
2. **Falta un marco legal regulador**. Los Ayuntamientos necesitan modelos de contrato de referencia.
3. Es un **instrumento nuevo** basado en la eficiencia y en España no existe ni cultura de ahorro ni de eficiencia energética.
4. **Desconocimiento y predisposición política** en ocasiones insuficiente.
5. El **tipo de régimen de uso** de las dependencias (propiedad o alquiler).
6. Una posible **dispersión de las dependencias en el territorio**.

Algunos de estos aspectos suponen realmente **barreras para el desarrollo de los Servicios Energéticos**.

4.2.3.3. Solución a corto y medio plazo

La forma de poder **equilibrar la oferta con la demanda** y viceversa, es **no alterar demasiado los hábitos de funcionamiento** de cada una de las partes.

Si se quiere aumentar la demanda, se ha de explicar bien y hacerlo fácil para el contratante. Por consiguiente, **las empresas han de hacer uso de los instrumentos que la Administración Pública tiene a su alcance porque está acostumbrada**.

Sin embargo, no todas las empresas susceptibles de ser empresas de servicios están igualmente abiertas a esta concepción del servicio ni están dispuestas a asumir el riesgo técnico y económico asociado. En un momento como el actual, una **solución a corto-medio plazo** puede ser:

- Empezar con un **alcance de Servicio Energético abordable** por las empresas para **tender en el tiempo al Servicio Energético** tal como se define en la Directiva y en este trabajo.
- La **creación de UTEs o alianzas entre empresas**, tal como se observa en el esquema de la Fig. 4:
 - UTE entre una **empresa de suministro energético y empresas tecnológicas y/o de mantenimiento**.
 - **Alianza entre empresas tecnológicas y de servicios y de mantenimiento**. Realizarán la gestión del suministro a parte de ofrecer las otras cuatro prestaciones que ya ofrecían en la alternativa 1.

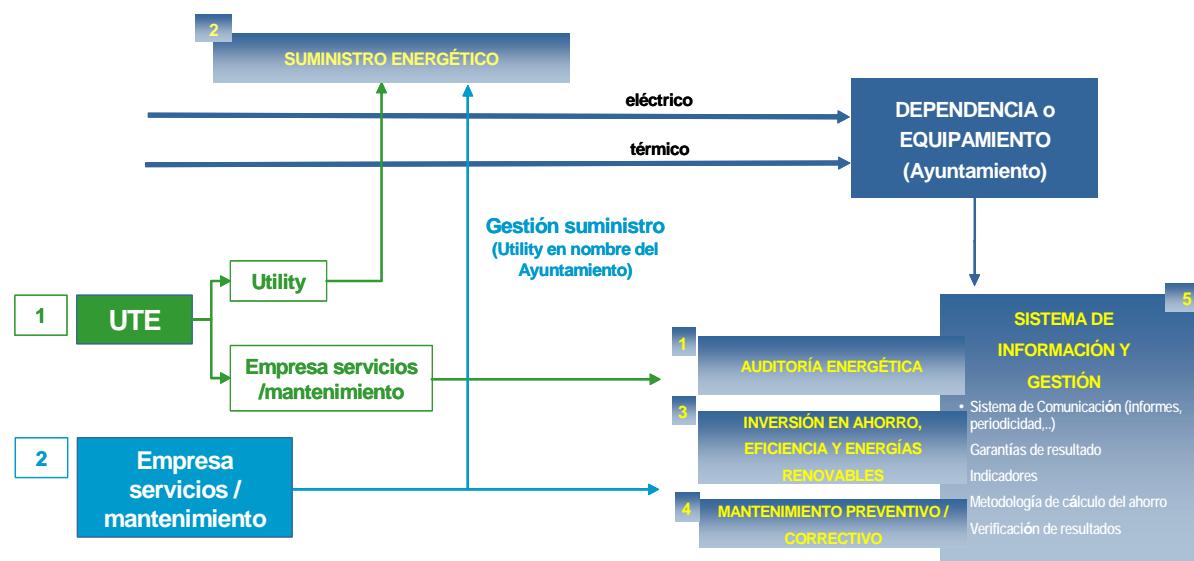
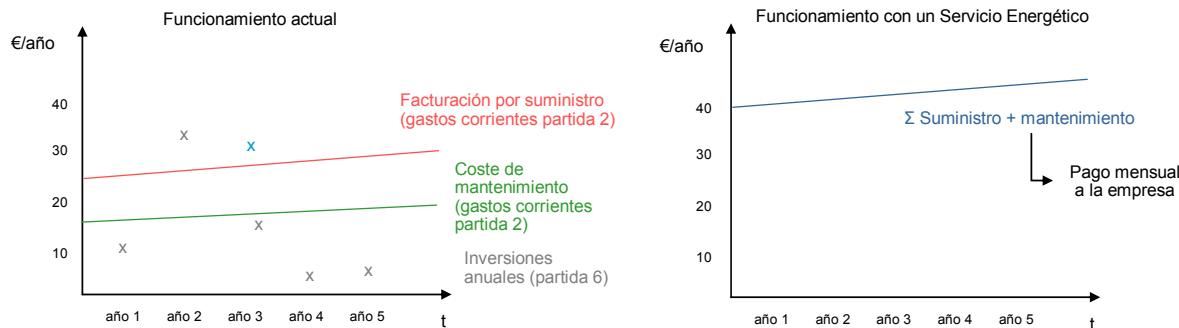


Figura 4. Esquemas de funcionamiento propuestos.

Además, con el Servicio Energético la **gestión económica de la Administración supondría un cambio**. A título de ejemplo, para un determinado caso sería:



A nivel administrativo, el Ayuntamiento pasa de tener **tres contratos, diversos interlocutores y más gasto** (con inversión) a la posibilidad de disponer un **soló contrato con una única empresa y menos coste**, ya que la inversión la acomete la Empresa.

4.3. Cálculo de viabilidad de los servicios energéticos para alumbrado público

4.3.1. Metodología del cálculo de viabilidad

Un **servicio energético es viable** en el momento en que tiene una **rentabilidad económica para la empresa y un beneficio para el cliente**. Por ello, la metodología persigue el cálculo de la TIR (Tasa Interna de Rentabilidad).

Esta metodología se desarrolla **desde el punto de vista de la empresa**, que es quien **acometerá las inversiones y tendrá un riesgo técnico y económico**. La empresa tendrá unos gastos asociados a mantenimiento y suministro a cambio de una cuota mensual de la Administración.

En la Fig. 5 se muestra el esquema de la **metodología de cálculo** utilizada así como la evolución de los gastos del ayuntamiento y de la empresa. Los datos de

partida son críticos y cruciales para la viabilidad económica, de ellos depende el plan de negocio.

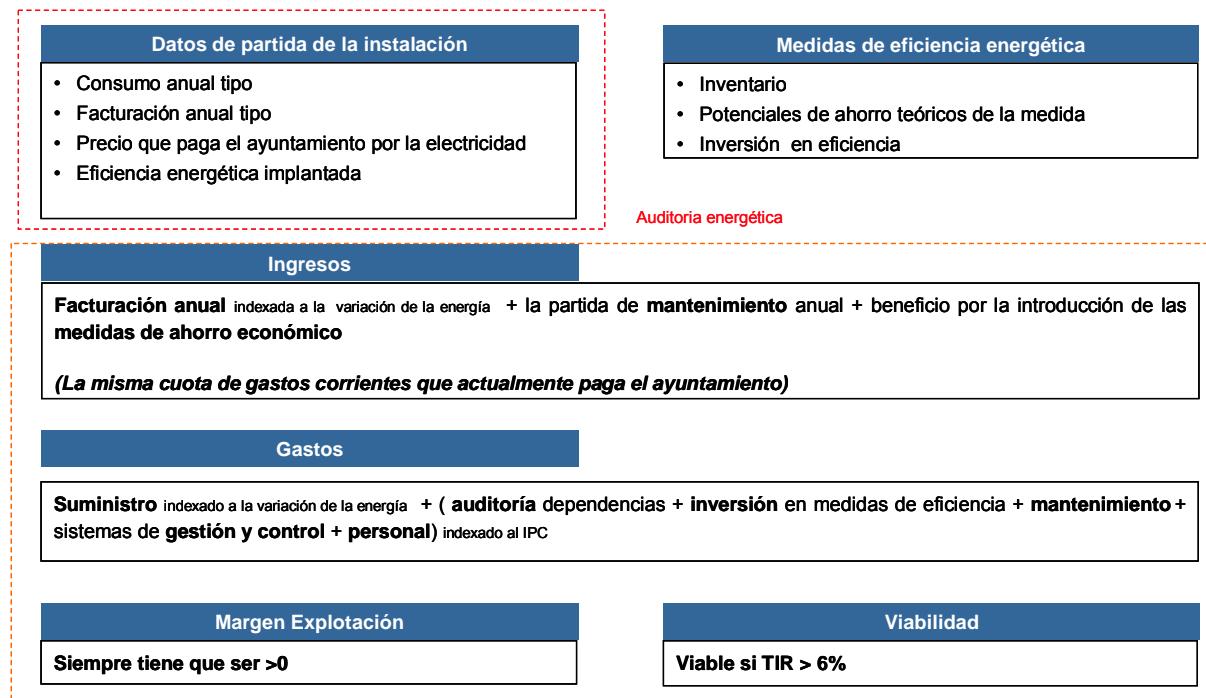


Figura 5. Esquema de la metodología de cálculo de la rentabilidad.

Gráficamente, la Fig. 6 muestra la evolución de los gastos que se producen por ambas partes y que permiten amortizar la inversión y los riesgos.

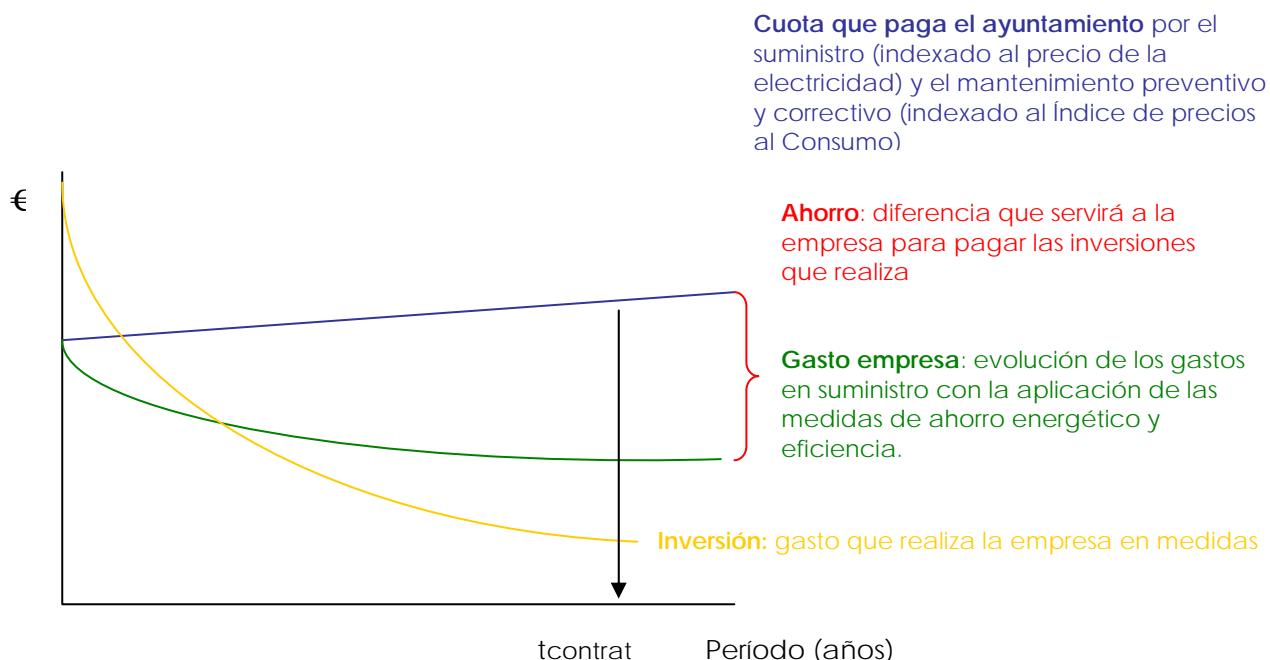


Figura 6. Evolución de gastos del Ayuntamiento y de la empresa.

4.3.2. Contenido del servicio energético de Alumbrado Público

El Alumbrado Público se estudia de forma detallada ya que es una partida municipal importante (representa el 50 % del gasto municipal). A continuación, se presenta el contenido del servicio energético para alumbrado:

● **Público objetivo:** se han establecido 4 categorías de Alumbrado Público en función del tamaño de municipio, dado que el perfil energético y económico así como al grado de eficiencia implantada es diferente.

- AP1: municipios <2.500 hab.
- AP2: municipios 2.500 - 5.000 hab.
- AP3: municipios 5.000 – 50.000 hab.
- AP4: municipios >50.000 hab.

● **Alcance:** lo definen las prestaciones propias del servicio energético.

1. Auditoría energética:

Es la primera actuación a realizar para abordar un servicio energético. Una acción que tiene como objetivo el diagnóstico de las instalaciones, inventario de equipos, rendimientos, consumos, etc.

A partir de la auditoría energética se podrán establecer las medidas más adecuadas y necesarias para poner en marcha dicho servicio, se podrán valorar los ahorros energéticos y económicos y las inversiones asociadas que deberán asumirse a lo largo de los años. Sin una auditoría no se podrá definir el plan de inversiones, explotación ni establecer las garantías.

2. Suministro o gestión del suministro eléctrico:

El suministro eléctrico del alumbrado público de un municipio es la cantidad de energía eléctrica que se requiere para el funcionamiento

del sistema de alumbrado público y de señalización viaria. La empresa de servicios energéticos puede ser suministrador de dicha energía.

La gestión del suministro engloba todas las acciones necesarias entre cliente y empresa de suministro para gestionar la situación del suministro eléctrico. No contempla el suministro de energía propiamente sino la gestión con la compañía (comercializadora energética).

3. Inversión en ahorro, eficiencia y energías renovables:

Las inversiones en ahorro se agrupan en dos tipos:

- Medidas que sólo aportan el ahorro económico.
- Medidas que aportan un ahorro energético.

El ahorro asociado a estas medidas es el que permite dar garantías.

En la Tabla 3 se enumeran todas las medidas que se han ido introduciendo en la metodología.

TABLA 3. Medidas consideradas y priorización de su implantación.

1 ^a	Las medidas que aportan ahorro económico	<ul style="list-style-type: none">- Optimización de la potencia contratada- Ajuste del régimen de funcionamiento- Batería de condensadores
2 ^a	Las medidas que aportan ahorro energético	<ul style="list-style-type: none">- Sustitución lámparas VM por VSAP- Unidades Reguladoras de Flujo (estabilizador y regulador)- Sistema de gestión y control centralizado- Ajuste de niveles de iluminación- Ajuste de horas de funcionamiento
3 ^a	El mantenimiento	<ul style="list-style-type: none">- Mantenimiento preventivo- Mantenimiento correctivo
4 ^a	Sistemas de gestión y control	<ul style="list-style-type: none">- Sistema centralizado de gestión (software) con unidades de control en cabecera

Las medidas propuestas son diferentes en función de la eficiencia implantada. Por ello, los servicios energéticos son una oportunidad para los ayuntamientos ya que con un grado de eficiencia implantado:

- **Alto:** permite establecer medidas con una inversión asociada elevada como puede ser un sistema automatizado de mantenimiento y gestión remoto del alumbrado público.
- **Bajo:** permite optimizar el rendimiento de las instalaciones.

4. Mantenimiento integral:

Esta prestación contempla todas las operaciones de mantenimiento preventivo, normativo y correctivo. Para esta prestación, la experiencia y conocimiento de la brigada municipal o de la posible empresa de mantenimiento contratada es muy válida.

5. Sistema de información y gestión:

Incluye todos los sistemas para llevar a cabo una buena gestión, control y seguimiento de la calidad del servicio.

Es importante desde el principio establecer un plan de trabajo así como establecer y cuantificar unos indicadores de las garantías (técnicas y de prestación) para poder valorar anualmente el grado de cumplimiento.

- **Viabilidad:** se establece a partir del cálculo del TIR para cada uno de los servicios energéticos de estudio, siendo el 6 % el valor límite.
- **Periodo mínimo:** periodo de retorno mínimo del servicio para una TIR mínima del 6 % (años mínimos del contrato de servicios energéticos).
- **Impactos:** resultados técnicos de las prestaciones objeto del servicio:
 - **Energético:** potencial de ahorro total respecto al año de referencia.
 - **Económico:** inversión acometida en el periodo.

- **Ambiental:** reducción de las emisiones de CO₂.
- ✿ **Variables críticas:** son aquellas que una modificación de su valor afecta al resultado final de viabilidad, en el caso de alumbrado, son entre otras el precio de la energía eléctrica, el crecimiento del parque, etc.
- ✿ **Garantías** que se ofrecen en el servicio y de tipos diferentes:
 - **Eficiencia energética:** ahorro energético, ratios de consumo y facturación relativos a la unidad de referencia de cada segmento (habitante, punto de luz, alumno, etc.).
 - **Económicas:** inversión en ahorro acometida por parte de la empresa y el pago mensual por parte del Ayuntamiento.
 - **Calidad del servicio:** grado de satisfacción del nivel de servicio parametrizado.
 - **Información y comunicación** a partir de informes y reuniones periódicas.

4.3.3. Resultados obtenidos

Los **resultados de viabilidad obtenidos para los 4 casos** objeto de estudio son los que se recogen en la Tabla 4.

TABLA 4. Resultados obtenidos de los Servicios Energéticos para los 4 casos de Alumbrado Público.

Servicio Energético (función tamaño municipio)		AP1	AP2	AP3	AP4
Datos de partida	Costes de mantenimiento tipo (€/pto luz)	48	48	48	48
	Facturación anual tipo (€/pto de luz)	38	62	56	55
Resultados técnicos y económicos	Potencial total de ahorro teórico (%)	75	62	58	43
	Inversión respecto gastos (%)	21	22	21	19
	TIR (%)	2	6	9	7
	Período de retorno (años)	15	8	9	8
Resultados energéticos	Ahorro energía anual medio (%)	5	8	6	5
	Ahorro emisiones anual medio (tCO ₂ /año)	5	26	126	224

Del análisis económico y técnico de los servicios estudiados se pueden sacar las siguientes conclusiones basadas en el potencial que nos ofrece cada uno de ellos:

- **AP3 y AP4** aparecen como los segmentos de consumo **más interesantes** para la aplicación de servicio energético, bajo las premisas establecidas en el trabajo, aunque **AP2 también tiene potencial**.
- Entre AP3 y AP4 será objeto de servicio energético aquel que, bajo las mismas condiciones, **la eficiencia energética sea inferior dando lugar a un mayor ahorro** y, por tanto, **una mejor rentabilidad económica**.
- **El ahorro energético teórico anual** en estos casos siempre es **superior al 5 %, cumpliéndose con el objetivo del 1,5 %** de la Directiva 2006/32/CE para el sector público.
- **El momento de realizar la inversión también es crucial para la rentabilidad** del servicio energético, no es lo mismo invertir el primer año que durante los dos primeros y así sucesivamente.

La Fig. 7 muestra la evolución de los gastos de un servicio energético para un caso concreto, donde el ayuntamiento paga el equivalente a suministro y mantenimiento y se libera de la inversión y la empresa tendrá menores gastos y mayor ahorro según las medidas que implante.

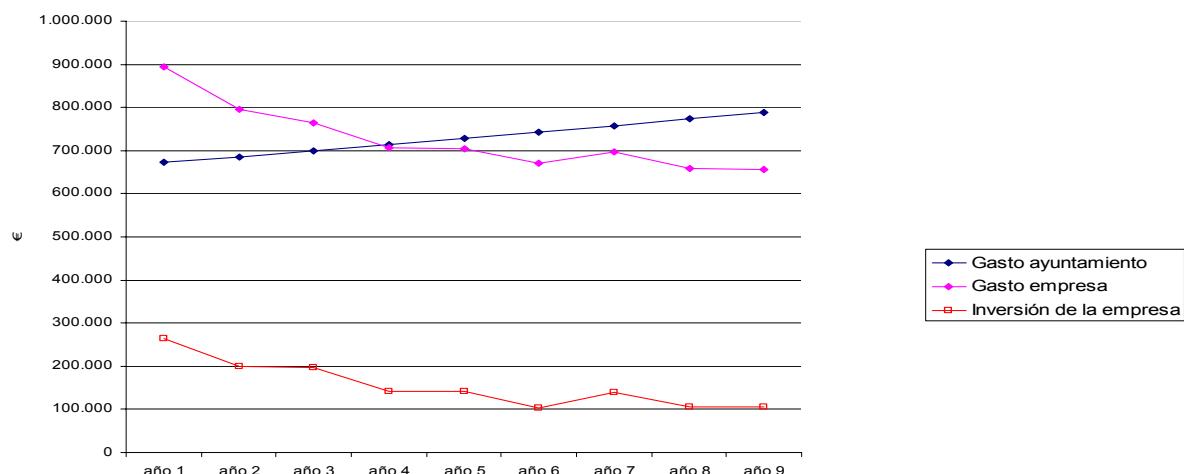


Figura 7. Evolución de los gastos del ayuntamiento y de la empresa. Caso AP3.

A lo largo del período de contrato, se observa como varía el peso de las partidas (las prestaciones del servicio), tal como muestra la Fig. 8.

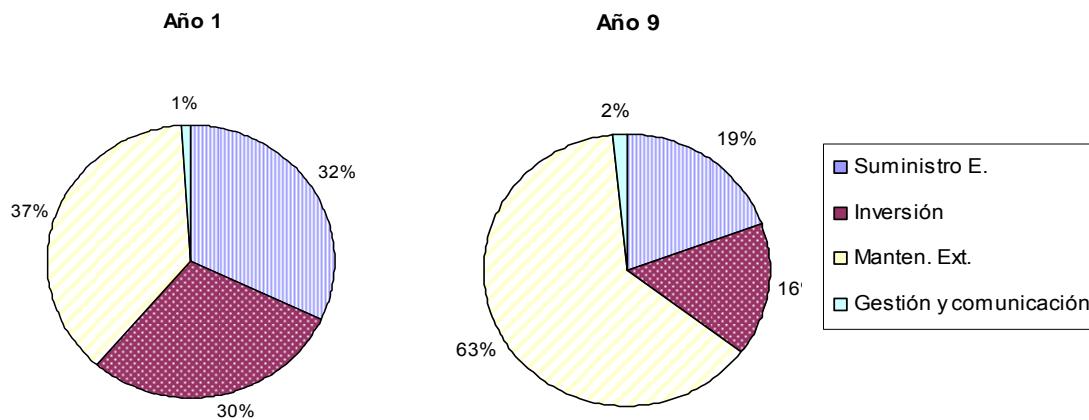


Figura 8. Evolución del peso de las diferentes partidas de gastos de la empresa.

- ✿ El **gasto en suministro** **desciende** gracias a las medidas de eficiencia implantadas que reducen el consumo y su facturación para un determinado aumento del parque, crecimiento de los puntos de luz.
- ✿ La **inversión inicial** representa una parte importante durante el principio del período y va **desapareciendo** para quedar una partida mínima de renovación o reposición.
- ✿ El **mantenimiento** va **ganando peso durante el período** porque es una partida que se realiza durante todo el período de contratación.
- ✿ El **gasto en gestión y comunicación** es debida al personal que se destina para realizar la prestación, de manera que también va ganado un cierto peso.

Partiendo de la idea de que existen múltiples variables que pueden afectar el resultado del servicio energético, se han realizado **análisis de sensibilidad para observar cuáles de ellas eran críticas** y a partir de qué rango de valores esta variable puede alterar su **viabilidad técnica y/o económica**.

En el Alumbrado Público se han analizado:

- ✿ **El crecimiento del parque:** a mayor ratio de crecimiento del parque, peor viabilidad económica y aumento del período de retorno. En la Fig. 9 se muestra el efecto de dicha variación.

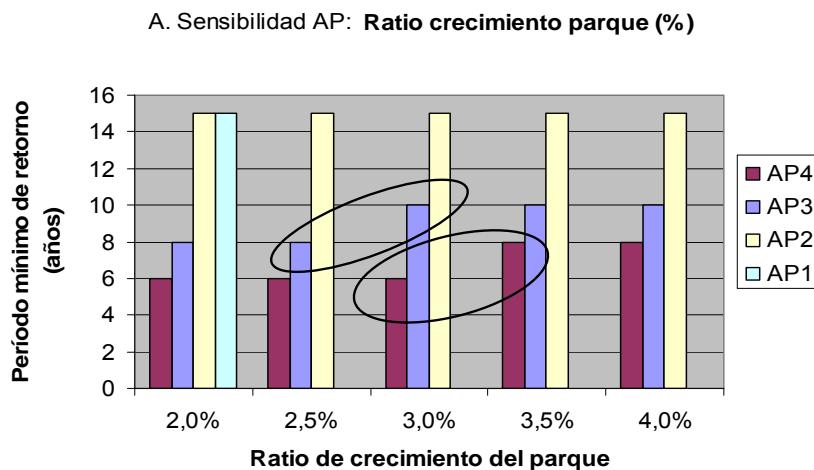


Figura 9. Análisis de sensibilidad de la variación del ratio de crecimiento del parque.

AP3 es **sensible** a ratios de crecimiento del parque de un 0,5 % inferior al preestablecido, reduciendo su período de contratación.

AP4 es **crítico** a ratios de crecimiento del parque de un 0,5 % superior al preestablecido, aumentando su período de contratación.

- **El porcentaje inicial de lámparas de VM:** a mayor porcentaje inicial de lámparas de VM (estado de partida) mayor potencial de ahorro durante el servicio, pero esta mayor rentabilidad implica más inversión.
- **El precio de la electricidad:** tiene un efecto invertido en la rentabilidad del servicio energético, a mayor precio menos viabilidad económica.

4.3.4. Conclusiones de los resultados

La **potencialidad de los servicios energéticos en Alumbrado Público** se ha abordado desde 4 perspectivas traducidas en **4 criterios**, Tabla 5:

- **Según su viabilidad económica:** rentabilidad del servicio energético independientemente del período mínimo de amortización. Condiciona a la empresa.
- **Según su período mínimo de retorno:** período mínimo necesario para amortizar la inversión considerando una TIR mínima.

- **Según el ahorro energético asociado:** ahorro energético total teórico durante el período de amortización. Condiciona al Ayuntamiento.
- **Según la cuota de mercado:** equivale al parque existente que es función del número y tamaño del municipio.

TABLA 5. Criterios de valoración de la potencialidad de los servicios energéticos.

Criterios		Valoración para Empresa	Valoración para ayuntamiento	Servicios con mayor potencial
Según su viabilidad económica	Se compara el TIR sin tener en cuenta el período de retorno (<i>cuanto mayor es más atractivo</i>)	+	=	AP3 AP4
Según su período de retorno	Período mínimo para amortizar la inversión (<i>cuanto mayor es, menos atractivo</i>)	-	-	AP4 AP2
Según su ahorro energético	Potencial total de ahorro energético acumulado respecto al año de referencia (sin tener en cuenta el período de retorno) (<i>cuanto mayor es, más atractivo</i>)	+	+	AP1 AP2 AP3 AP4
Según tamaño del municipio	Tamaño de municipio (<i>cuanto mayor es, más atractivo para la empresa de servicios energéticos</i>)	+	+	AP4 AP3

Atendiendo a estos criterios, se confirma que **AP3, AP4 y AP2** (por este orden) son más interesantes como público objetivo que AP1.

En cualquier caso, **cada Ayuntamiento tiene una caracterización concreta y cada empresa una estrategia diferente** y, por lo tanto, los cálculos deben hacerse de acuerdo con los datos específicos y en el momento de realizarse el proceso. La auditoría energética es básica.

4.4. Marco legal

4.4.1. Introducción

Los **servicios energéticos** son un **instrumento novedoso** en el Estado Español tanto por el concepto como por el procedimiento.

Los cambios culturales y sociales siempre son complejos y costosos, por consiguiente, la introducción en el mercado de los servicios energéticos **comportará un tiempo de adaptación** que será menor si se dispone de una reglamentación rigurosa, metódica, sencilla y clarificadora pero flexible.

Deben establecerse unas bases para poder ir en **sintonía con la política energética que establece la Unión Europea**, con la necesidad de **aumentar la voluntad política** y fomentar la firme decisión de **regular los Servicios Energéticos y su mercado**.

Trabajando en esta línea, existen **tres relaciones contractuales** que deben definirse, Fig. 10:

1. Entre el **usuario** y la **empresa** de servicios energéticos.
2. El **marco legal**.
3. Las **condiciones técnicas y administrativas** del concurso.

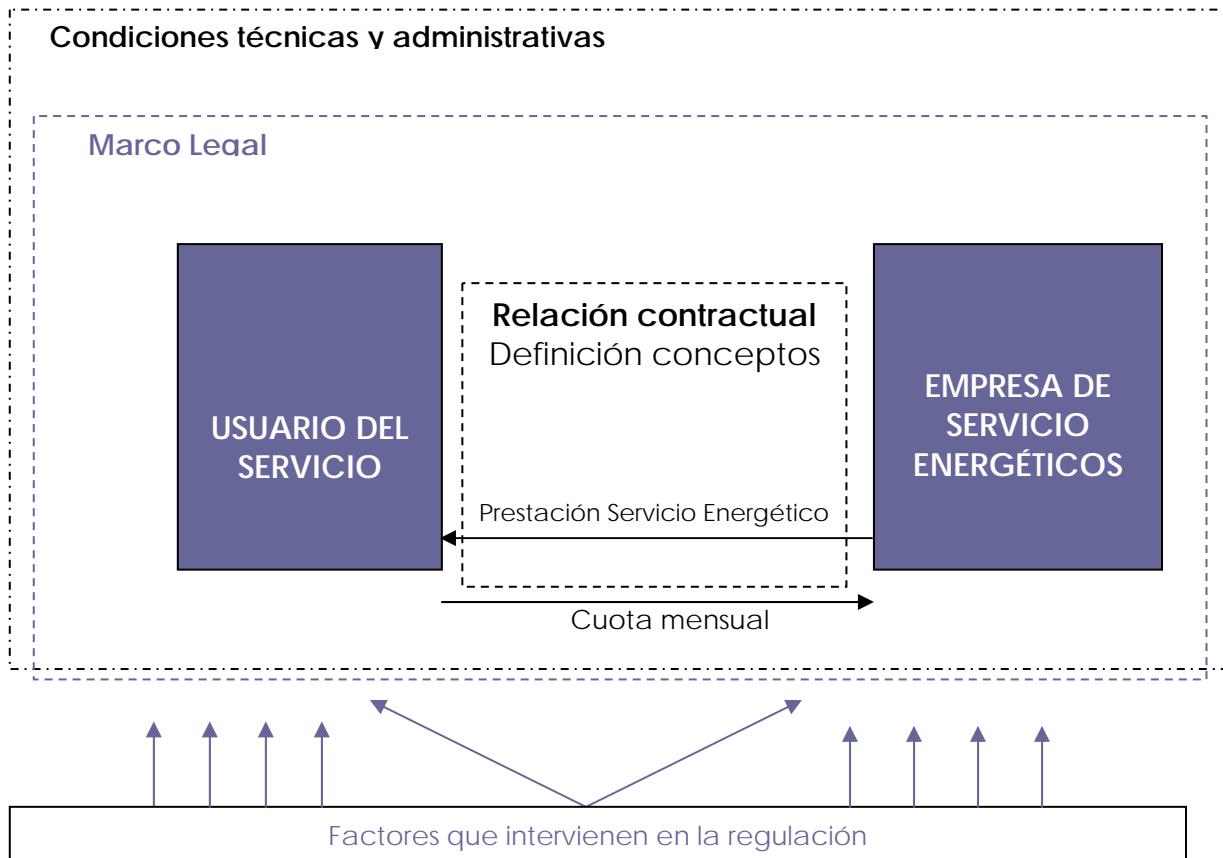


Figura 10. Esquema de las relaciones entre los agentes del mercado.

4.4.2. Relación contractual

El **modelo de contrato** para regular la relación entre el usuario y la empresa de servicios energéticos no difiere, en cuanto a estructura, de cualquier otro contrato. Por consiguiente, debe contemplar los 4 aspectos clave:

- 1) **Ámbito de aplicación**
- 2) **Modalidades de contratación**
- 3) **Obligaciones y derechos de las partes del contrato**
- 4) **Condiciones de modificación y extinción del contrato**

No obstante, es importante establecer una serie de **cláusulas que den una fiabilidad y seguridad al Ayuntamiento y a la empresa** contemplando:

- ✿ **Datos de partida de las instalaciones:** auditoría energética o prediagnóstico.
- ✿ **Plan de trabajo de la empresa** incluyendo:
 - Las medidas a implantar por la empresa y la planificación de su realización.
 - Las garantías e indicadores que se establecerán para el seguimiento del servicio.
 - Entrega de informes y reuniones de seguimiento.
- ✿ **Compromiso de pago mensual** por parte del Ayuntamiento.

Existe un primer **modelo de contrato** para **“Servicios energéticos y mantenimiento en edificios de las Administraciones públicas”**, aplicado en alguna dependencia municipal española por empresas españolas.

El tipo de **contrato** sería **Administrativo típico mixto, de suministro y servicios**, permitiendo un periodo de contratación flexible.

4.4.3. Pliego de condiciones técnicas y administrativas

Aun existiendo una figura legal para el desarrollo de los Servicios Energéticos, su **implantación como herramienta habitual para la gestión energética en las**

administraciones locales es un proceso que comportará un tiempo de adaptación del mercado hasta su estabilización y normalización en el mercado.

Además, este **proceso** de adaptación e integración tiene que estar **en sintonía con el perfil de gestión actual que se está desarrollando en los municipios** para que el cambio no sea muy acusado y su introducción sea más ágil.

Los primeros servicios energéticos serán fruto de la situación y evolución del actual mercado, por consiguiente, estarán definidos por las **dos vías de contratación habituales**, Fig. 11:

- ✿ **Vía el contrato de suministro energético:** servicio de suministro + garantías + inversión en eficiencia.
- ✿ **Vía el contrato de mantenimiento:** servicio de mantenimiento + garantías + inversión en eficiencia + gestión del suministro.

El objetivo sería **tender a un contrato mixto de suministro y servicios**.

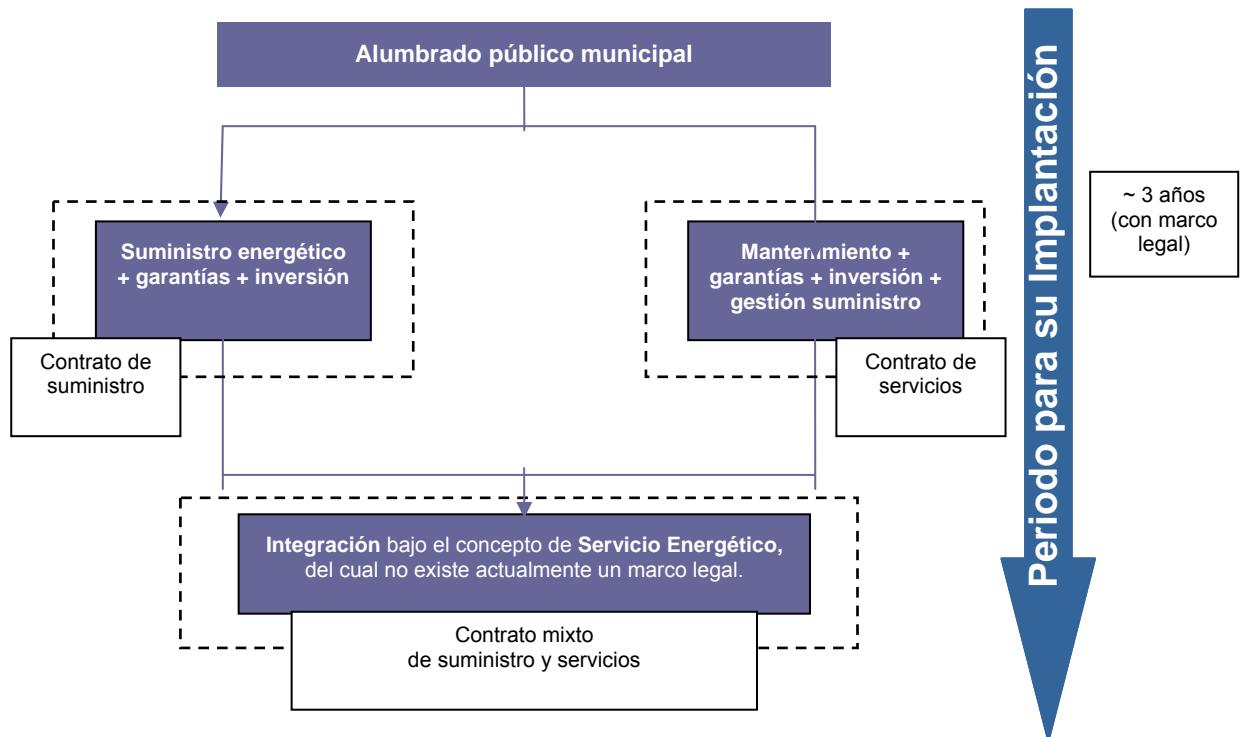


Figura 11. Vías de desarrollo de la contratación de Servicios Energéticos.

Los principales aspectos del Marco Legal son:

- ✿ Se prevé que el **periodo de implantación** de los servicios energéticos en su concepción más global sea de **3 años en caso de crearse un marco legal que lo regule y de 5 en caso de no existir** tal normalización.
- ✿ Las recomendaciones de **tipo y modalidad de contratación** se pretenden dejar abiertas ya que **todas las opciones son buenas** para materializar la relación contractual.

Por facilidad y comodidad para el Ayuntamiento, se recomienda utilizar un tipo de **contrato administrativo típico**. La novedad del nuevo mecanismo que externaliza prestaciones energéticas puede verse equilibrada con la seguridad que aporta el conocimiento y la regulación de este tipo de contratos.

- ✿ En cuanto a la **modalidad de contratación**, se deja completamente la **decisión a cargo del ayuntamiento** para que escoja la opción que más se adecue a sus necesidades y a su forma de gestionar los contratos.
- ✿ Existen una serie de **cláusulas que deberían exigirse** a partir de ahora **en los pliegos de condiciones** a cumplir tanto por las empresas de servicios energéticos como por la Administración:

- ✿ **A cumplir por la empresa** de servicios energéticos:
 - Establecimiento de **garantías** energéticas y económicas mediante indicadores.
 - **Control del cumplimiento** del Plan y las garantías
 - Nombramiento de un **gestor único** que ejerza de interlocutor del contrato y de las garantías contractuales.

- ✿ **A cumplir por la Administración:**
 - **Adjuntar el prediagnóstico** con información de los 3 últimos años al pliego de condiciones de convocatoria del concurso o ponérselo a su disposición.
 - **Pago mensual** a la empresa de servicios energéticos.

- En cuanto a la valoración de **las ofertas** en los concursos, debería empezarse a **valorar más aspectos técnicos, de desarrollo y alcance de las prestaciones** y menos la oferta económica.

En el caso de Alumbrado Público, el proceso de implantación puede ser más rápido que en otras dependencias o equipamientos ya que habitualmente existe un contrato de mantenimiento y la optimización de tarifa se ha trabajado.

Por consiguiente, las 2 vías de procedimiento mencionadas son de posible aplicación, debe hacerse un trabajo interno con el equipo municipal para realizar el cambio.

4.5. Conclusiones

El trabajo realizado ha permitido disponer de diferentes conclusiones de naturaleza diversa, por ello se han clasificado en 5 grupos:

1. Los servicios energéticos como mecanismo

- Los **servicios energéticos** son un **mecanismo de ahorro energético que existe y funciona** a nivel internacional.
- Permiten a las Administraciones **alcanzar ahorros energéticos igual o superiores al 1,5 % establecido en la Directiva Europea 2006/32/CE**.
- Los servicios energéticos **permiten** a un ayuntamiento con un grado de eficiencia implantada elevada, **implantar medidas con grandes inversiones asociadas** como puede ser un sistema de gestión y control que permita automatizar las instalaciones
- El **alumbrado público tiene un gran potencial de ahorro (40-60 %) y una repercusión importante en los gastos del municipio**, representan el 50 %, por eso lo hace tan importante como segmento de consumo.

2. Mercado de los Servicios Energéticos

- Es necesaria una **voluntad política** de las Administraciones **para hacer el cambio y seguir adelante** con la implantación de los servicios energéticos ya que **la oferta de empresas existe y están dispuestas** a ofrecer este tipo de mecanismo, asumiendo el riesgo técnico y económico por ellos.
- Se recomienda introducir los servicios energéticos mediante un **contrato administrativo típico mixto de suministro y servicios**. No obstante, no se descarta empezar ofreciendo **servicios energéticos parciales ampliando los contratos existentes de mantenimiento y suministro** mediante cláusulas que incluyan inversiones, gestión y garantías.
- Los municipios con un **alto grado de eficiencia implantada**, son menos interesantes puesto que tienen un **menor potencial de ahorro** aunque esta regla no tiene porqué cumplirse siempre.
- Los **servicios energéticos para el Alumbrado público** son **más interesantes para municipios con mayor tamaño** debido a su facturación que permite generar mayor rentabilidad al servicio. (AP3, AP4 y AP2).

3. Aspectos técnicos del proceso

- Los datos de partida, los rendimientos y estado de equipos, los costes y los consumos, son variables críticas, por tanto, los **estudios de viabilidad se han de realizar de forma específica** con las características propias del equipamiento y necesarias en el momento de lanzar el concurso.
- Existen dos aspectos que son un **requisito imprescindible** para el desarrollo del mercado de servicios energéticos:

- **Diagnosis de las instalaciones:** el **ayuntamiento** debe presentar o disponer de la situación energética y económica de los últimos años y anexarlo en el pliego de condiciones del concurso. Sin esta diagnosis las empresas no quieren asumir el riesgo que comporta. No saber el punto de partida implica no poder establecer unas garantías.
- **Garantías:** la **empresa** debe ofrecer una serie de garantías energéticas, de ahorro, de inversión, de calidad del servicio así como de gestión y comunicación. Deben ser **parametrizables** y fáciles de controlar para ambas partes. Por ello, deben establecerse **indicadores** para cada una de ellas que permitan hacer su seguimiento y evolución.



En el **contrato** deberá establecerse

- Medidas a implantar y momento en que se realizará cada inversión.
 - Grado de implantación que se realizará.
 - Período de contratación acorde con la inversión (acciones o medidas), por los aspectos anteriores.
 - Responsabilidades y derechos de cada parte.
 - Garantías e indicadores para hacer su seguimiento.
- El aspecto de emisiones de CO₂, los derechos de emisión así como la actualización a la normativa vigente son aspectos que también deberán ser contemplados en la relación contractual.

4. Ventajas de los Servicios Energéticos



Energéticas:

- Reducción del consumo energético.
- Garantías de ahorro energético y económico.
- Mejora de la eficiencia de las instalaciones.

● **Económicas:**

- Inversión a cargo de terceros.
- Transferencia del riesgo financiero y técnico.
- Precio establecido durante el período de contrato.

● **Ambientales:**

- Reducción de las emisiones de CO₂.
- Minimización del impacto medioambiental.
- Gestión de la seguridad de las instalaciones.

5. De gestión

- **Único interlocutor** entre la empresa y el Ayuntamiento para todas las prestaciones energéticas.
- **Planificación de la gestión** de la implantación de las medidas acordadas.
- **Informes periódicos** sobre la evolución del servicio y sus resultados.



Los Servicios Energéticos son **una oportunidad para los municipios** puesto que les permite **liberarse de la partida de inversión** y conseguir la **actualización, mejora y optimización** de las instalaciones mediante un **aumento de la eficiencia implantada**.

Concretamente, el **Alumbrado Público** es un **segmento de consumo** municipal **muy adecuado para este tipo de mecanismos** por dos motivos: **se conoce** (se ha trabajado administrativa y técnicamente) y **representa un gasto importante en la organización** (habrá voluntad).

5.1. 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 CO₂ 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. Según la Comisión Europea, para 2010 se podrían evitar cerca de 180 millones de toneladas de dióxido de carbono (lo que equivale aproximadamente a la producción anual de 50 centrales eléctricas) si se utilizasen, en Europa, nuevos aparatos energéticamente eficientes. Eso representaría casi la mitad del compromiso de la UE en el protocolo de 'Kyoto'.

Pongamos como ejemplo el caso del alumbrado público; ésta es una de las comodidades básicas para la mayoría de los 457 millones de habitantes de la UE y algo habitual en los hogares, calles y carreteras, oficinas, negocios y restaurantes de toda Europa. Sin embargo, 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, aproximadamente, una tercera 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 alternativas energéticamente eficientes pueden reducir el consumo de energía hasta en un 60 %, esto supondría un ahorro de millones de euros en costes de funcionamiento para Europa, una reducción de las emisiones de dióxido de carbono de hasta 3,5 millones de toneladas al año. Lo cual ayudaría a Europa a dar un paso adelante a la hora de conseguir la reducción de emisiones de CO₂ acordadas en Kyoto.

Europa podría evitar, anualmente, la emisión de 3,5 millones de toneladas de dióxido de carbono, simplemente cambiando a la última tecnología de alumbrado público. Esto equivaldría:

- Al consumo de dióxido de carbono de 175 millones de árboles.
- Al consumo anual de 14 millones de barriles de petróleo.
- A la producción anual de dos centrales eléctricas (1000 MWE).

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. Tales iniciativas son, por ejemplo, el Programa Europeo sobre el Cambio de Clima (ECCP), la directiva de la UE sobre energías renovables y el sistema de compraventa de emisiones (ETS), que entró en vigor el 1 de enero de 2005. 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.

Actualmente, se está tratando de compensar las ineficiencias existentes en el sector luminotécnico a través de una reciente directiva europea. Es una ley que

determina los estándares de "diseño ecológico" para una serie de aparatos electrónicos que van desde calentadores de agua, lavadoras o motores electrónicos hasta sistemas de alumbrado. Se espera poder reducir considerablemente los niveles de emisión de dióxido de carbono gracias a una serie de medidas enfocadas a establecer ciertos requisitos obligatorios de eficiencia energética. Todo ello con el fin de lograr que los fabricantes construyan sus productos cumpliendo los requerimientos del "diseño ecológico".

La tecnología del alumbrado está incluida en esta legislación porque la UE estima que, en pocos años, sería posible ahorrar en este sector unos 24 millones de toneladas de dióxido de carbono anualmente. Algunas de las principales áreas del alumbrado afectadas por la nueva legislación son el alumbrado público, el alumbrado de oficinas y el alumbrado industrial. Éstos son los sectores que mayor potencial ofrecen para un cambio de tecnología de iluminación que suponga un gran ahorro de costes, y donde realmente sería posible realizarlo.

5.2. 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 CO₂ 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.

5.2.1. Directiva EUP (*Energy Using Products* – Productos que consumen energía)

El alumbrado público es uno de los principales consumidores de energía, 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). Sin embargo, en una tercera parte del alumbrado público de Europa se sigue utilizando la anticuada e ineficiente tecnología de los años 60 cuando con un cambio a la tecnología más eficiente se podrían ahorrar hasta 3,5 millones de toneladas de CO₂ cada año.

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. Esta directiva entró en vigor en la UE el 11 de agosto de este año y los 25 Estados miembros de la UE tienen ahora hasta agosto de 2007 para incluir la directiva en su legislación nacional.

Los productos que se verán afectados por la nueva directiva EUP serán los que cumplan los siguientes requisitos:

- Un volumen de ventas de más de 200.000 unidades al año dentro de la U.E.
- Un considerable impacto medioambiental dentro de la U.E.
- Un considerable potencial de reducción del impacto medioambiental sin incurrir en excesivos costes.
- Gran disparidad en su eficiencia medioambiental, presentando al mismo tiempo una equivalente funcionalidad.

Con base en estos criterios, la Comisión ha fijado como objetivo inicial catorce familias de productos que utilizan energía, de ellas dos familias de productos de alumbrado – el alumbrado de oficinas y el alumbrado público.

En los catorce grupos de productos a los que inicialmente afectan los requisitos de "diseño ecológico", se incluye el alumbrado, uno de los sectores que mayor potencial ofrece para un cambio de tecnología de iluminación que suponga un gran ahorro de costes, y donde realmente sería posible realizarlo. Algunas de las principales áreas del alumbrado afectadas por la nueva legislación son el alumbrado público y el alumbrado de oficinas. Dos de las medidas específicas para el cumplimiento de los objetivos se desarrollarán en los próximos años, dando por resultado la determinación de estándares mínimos.

Existe un estudio preparatorio para cada familia de productos, que incluye recomendaciones sobre las posibilidades de mejora de la capacidad medioambiental del respectivo producto; éste sería el primer paso para aplicar la directiva EUP a los productos.

El 7 de julio de 2005, la Comisión Europea envió una invitación para la presentación de dichos estudios preparatorios. También los gobiernos de los distintos países están trabajando para presentar a la Comisión sus recomendaciones específicas para los 14 grupos de productos de las categorías prioritarias. El estudio preparatorio para el alumbrado público estará elaborado por expertos en alumbrado y en medioambiente, que estarán asesorados por expertos de las industrias en cuestión. Esta comisión de expertos se encargará de definir requisitos específicos y cuantificables para cada producto, en concreto, se tomarán en consideración los siguientes aspectos:

- las características del mercado para el producto,
- los requisitos medioambientales que debe cumplir el producto, así como el potencial técnico y económico para una mejora de éstos,
- cualquier legislación relevante existente,
- autoregulación por parte de la industria y mediante estándares,
- la necesidad de desarrollar estándares.

Las siguientes informaciones servirán de ayuda a la Comisión Europea para la preparación de la próxima fase en el proceso de desarrollo de las medidas a implantar:

- determinación del impacto que la aplicación de estas medidas podría tener en el mercado,
- una consulta con el foro de ecodiseño (compuesto por reguladores nacionales y europeos, expertos de la industria y el comercio, organizaciones de consumidores y ONGs medioambientales),
- una publicación para que se preparen los respectivos conceptos donde sea necesario.

Esto significa que ya en 2008 existirán nuevas medidas europeas, con estándares específicos y obligatorios en cuanto a productos de alumbrado público, para intentar que cumplan los requisitos de eficiencia energética y otras exigencias marcadas por la normativa. Estos requisitos afectarán a cualquier producto destinado al mercado europeo y serán fundamentales para cualquier municipio que desee cambiar un alumbrado público anticuado o comprar uno nuevo.

Pero incluso antes de llevar a cabo completamente la implantación de medidas legales, se puede ver una clara tendencia al cambio en los Ayuntamientos. Se encuentran inmersos en el proceso de búsqueda de nuevas formas de favorecer al medio ambiente y a los contribuyentes, manteniendo, o incluso mejorando, al mismo tiempo, la calidad del alumbrado y la seguridad en las vías públicas.

5.2.2. Norma UNE 13201 relativa a “Iluminación de carreteras”

A esta norma debe acudirse en el origen de todos los proyectos de iluminación para iluminación de carreteras. Recomienda el cumplimiento no sólo cuantitativo (iluminancias y uniformidades) sino también cualitativo (deslumbramiento).

En el alumbrado urbano se tendrán en cuenta los criterios del alumbrado de las vías de tráfico rodado y de las vías peatonales, pensando en ambas tipologías simultáneamente.

5.2.3. 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.

El coste externalizado de la recogida, reciclado y valorización del residuo histórico es responsabilidad de los fabricantes desde el 13 de agosto de 2005.

5.3. 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 alumbrado, 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 cualquier cambio importante hacia delante.

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.

5.3.1. Fase de Proyecto

Cuando se realiza el proyecto de iluminación normalmente se establece un nivel de iluminación inicial superior, 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.

5.3.1.1. 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, 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) Lámparas

Además de por sus características cromáticas, tanto de reproducción de colores, como de apariencia de su luz, las lámparas 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.

Las lámparas recomendadas son del tipo de descarga. Por su eficiencia energética las más utilizadas son del tipo sodio alta presión. En las instalaciones que requieran mayores exigencias cromáticas que las que se consiguen con las lámparas de sodio alta presión, como vías en áreas centrales o comerciales, calles residenciales, áreas monumentales, etc., podrán emplearse otras lámparas con mejor índice de reproducción cromática.

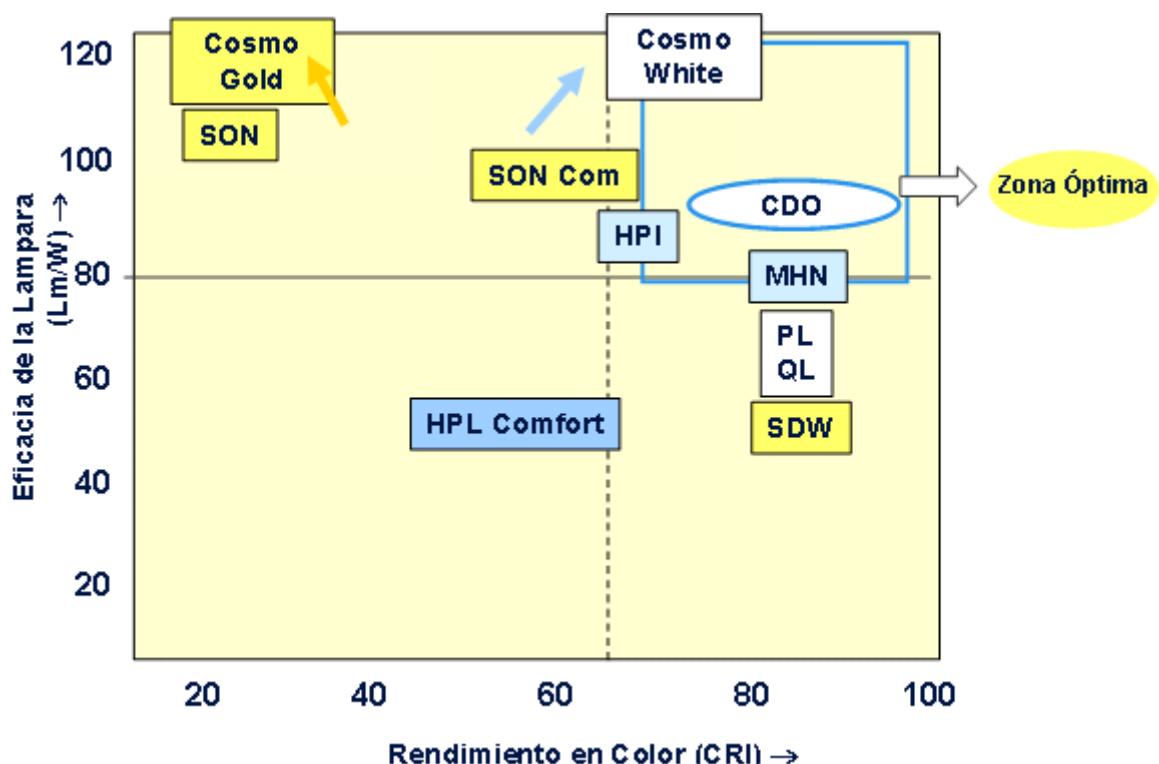


Figura 1. Cuadro comparativo de eficacia de las lámparas.

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.

Sustituir la tecnología desfasada del vapor de mercurio por luz blanca, del tipo MASTER CITY-WHITE (CDO), conlleva un ahorro inmediato por su mayor eficiencia energética y por los menores costes de mantenimiento.

Tecnologías como la MASTER CITY-WHITE o COSMOPOLIS, ofrecen soluciones eficientes y ecológicas con especial énfasis en lámparas de 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 se observa en la Foto 1.



Foto 1.

B) Balastos

Las lámparas de descarga se utilizan en combinación con diferentes tipos de balastos. Éstos pueden ser *Electrónicos* (también llamados Electrónicos de alta frecuencia) 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:

- Las pérdidas de potencia en los balastos tradicionales (electromagnéticos) oscilan entre un 6-7 % hasta un 20 %, mientras en los balastos electrónicos puros son de 0 vatios.
- 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.
- 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 con lámparas fluorescentes pueden regularse, lo que permite el ajuste de

los niveles de iluminación de acuerdo a las preferencias personales, además de proporcionar un ahorro adicional de energía.

- 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).
- El funcionamiento de los balastos electrónicos a alta frecuencia, por encima de 16 kHz, que hace aumentar la eficacia de las lámparas.

C) Luminarias

La eficiencia energética de las luminarias está basada en el máximo aprovechamiento del flujo luminoso emitido por la lámpara, 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).

No obstante, no hay que olvidar que además de estas prestaciones iniciales 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.

5.3.1.2. 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 comutarse 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.

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.

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.

5.3.2. 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.

5.3.2.1. 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.

5.3.2.2. 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.

5.3.2.3. 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.

5.3.2.4. 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 %.

5.3.3. 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.

5.3.3.1. 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 deprisa y corriendo para reemplazar una lámpara o componente que ha fallado.

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).

A parte 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.

5.3.3.2. 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.

5.3.3.3. 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.

5.3.3.4. Recogida, transporte y reciclaje de los elementos sustituidos

A pesar de que se ha publicado recientemente la Directiva Europea RAEE para la recogida y reciclaje de sustancias o componentes tóxicos empleados en material eléctrico, y aunque parece que no guarda relación con la eficiencia energética propiamente dicha, las tareas encaminadas a cumplir con esta Directiva 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 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.

5.3.4. Proyecto Somosaguas. Caso Práctico de ahorro energético

Todo surgió de la necesidad de mejorar el alumbrado público de la urbanización Somosaguas A por el ayuntamiento de Pozuelo de Alarcón en Madrid. El alumbrado tenía más de 15 años de antigüedad y dado que se trataba de una zona residencial con abundante vegetación, los niveles y visibilidad disminuían año tras año. Las medidas que se habían tomado consistieron en incrementar las potencias de lámpara hasta los 250 y 400 W, pero fueron insuficientes y generaban un notable gasto energético.

Fue en ese momento cuando se barajaron diversas posibilidades entre las cuales la luminaria de alumbrado público *Modena* equipada con el sistema *Cosmópolis* resultó ser la que mejor encajaba en las necesidades de dicha urbanización.

Los nuevos sistemas de iluminación *Cosmópolis*, lanzados al mercado en 2005, son dos veces más eficientes que las lámparas de vapor de mercurio, ofrecen una calidad de luz considerablemente mejor y contienen la cantidad de mercurio más baja del mercado. Esto hace posible ahorrar 100 kg de dióxido de carbono al año por cada punto de luz. Además, un alumbrado público de mejor calidad significa una mayor seguridad en las vías públicas así como ciudades mucho más atractivas para los ciudadanos y turistas.

Para los ingenieros del departamento de servicios del Ayuntamiento de Pozuelo, era requisito indispensable reducir el gasto energético y a su vez incrementar la seguridad y estética de la zona, adoptando una solución que conjugara un depurado diseño de día, luz blanca con la máxima eficiencia y reproducción cromática, aprovechando la anterior instalación para reducir el impacto de la inversión.

El resultado no pudo ser más satisfactorio. Gracias a los beneficios de la luz blanca, se mejoró de una manera espectacular la reproducción cromática, la profundidad y calidad de la visión, las uniformidades sobre el asfalto y todo ello

sustituyendo las viejas luminarias de lámpara de Sodio de alta presión de 250 W con equipo electromagnético a las nuevas luminarias *Modena* con la lámpara *Cosmowhite* de 140 W y equipo electrónico de última generación. Se aprovechó la instalación eléctrica y las columnas anteriores, permitiendo reducir la altura de montaje por debajo de las ramas de los árboles, gracias a la eficiente combinación de una lámpara más reducida y la óptica R140, integrando el alumbrado en la escena diurna y creando una atmósfera más amable para con los vecinos.



Las imágenes hablan por sí solas y, como muestra la opinión de los miembros de seguridad que patrullan toda la noche dicha zona: *"Hemos mejorado el confort visual a la hora de conducir e identificar a los vehículos y transeúntes tanto directamente como a través de las cámaras. Ya no hay zonas oscuras ni sombras que fatigaban la visión y generaban sensación de inseguridad. Ojalá todo el alumbrado fuese siempre con luz blanca."* Y la del propio Ayuntamiento: *"Estamos muy satisfechos con la solución adoptada. Cumple los requisitos estéticos exigidos. La luz blanca es más próxima a la visión natural, incrementa la sensación de seguridad y la calidad de vida de los vecinos y revaloriza el entorno"*.



Además desde el punto de vista técnico, las mediciones fotométricas corroboran estas opiniones:

		Cosmowhite 140 W	Sodio alta presión 250 W	Unidades
Luminancia Media	L_{med}	4,1	4,6	cd/ m ²
Uniformidad Longitudinal	U_l	0,82	0,68	%
Uniformidad Global	U_o	0,041	0,043	%

El efecto "multiplicador" de la luz blanca, produce que con los mismos niveles de luz se genere una percepción muy superior.

Los 150 puntos de luz instalados con este novedoso sistema han permitido reducir el gasto energético y la emisión de CO₂ en más de un 47 % lo que permite que esta inversión sea fácilmente amortizable y convierte la instalación en ejemplo de sostenibilidad.

El futuro del alumbrado exterior pasa indudablemente por la luz blanca. Hasta *Cosmópolis*, no era posible, dado que otras fuentes de luz amarilla eran más eficientes, pero ya no es así. Por fin podemos satisfacer las necesidades visuales de los ciudadanos y a la vez reducir el gasto energético.

Pero *Cosmópolis* no es sólo luz blanca eficiente, la electrónica entra en escena en el alumbrado público, permitiendo la regulación de potencia de la luz blanca y la monitorización y control de cada luminaria, reduciendo aún más los gastos de mantenimiento y la fiabilidad de las instalaciones.

Además *Cosmópolis*, gracias a la miniaturización, permite romper con los límites de fabricación dando mayor libertad de diseño tanto de las luminarias como los diseños de las instalaciones. Se abre un futuro muy prometedor para los diseñadores y paisajistas urbanos, humanizando la luz, cada vez más cerca de las necesidades estéticas y medioambientales de las personas.

Las ventajas de *Cosmópolis* en cuanto a reducción de costes y rendimiento son impresionantes:

- ✿ Elevadísima eficiencia energética del sistema, con una reducción del consumo energético del 10 % frente a las lámparas de sodio alta presión y hasta del 150 % frente a las lámparas de vapor de mercurio.
- ✿ Rendimiento óptico mejorado.
- ✿ Miniaturización, lámparas y equipos más pequeños que generan menos residuos.
- ✿ Respeto medioambiental que reduce al máximo el impacto sobre el medio ambiente y las emisiones de CO₂.

5.3.5. Cálculos del Coste Total de Propiedad. Utilización de lámparas eficientes

A la hora de invertir en una instalación de alumbrado no sólo se deben de tener en cuenta la inversión inicial, coste de lámparas + luminarias + equipos y el coste de la instalación. Se deben de tener en cuenta también los siguientes costes:

- ✿ Costes de reemplazo de las lámparas.
- ✿ Costes energéticos, precio del kWh. Consumo energético del sistema.
- ✿ Costes de mantenimiento: que serán la suma de los costes laborales, costes operacionales y los costes por alteración o interrupción producida.

Los CTP se pueden reducir:

- ✿ Reduciendo el coste de la instalación.
- ✿ Utilizando lámparas de mayor vida útil (lámparas de larga duración).
- ✿ Utilizando equipos energéticamente más eficientes (balastos electrónicos).
- ✿ Utilizando sistemas de control que permitan un uso racionalizado de la luz.

Los criterios luminotécnicos a tener en cuenta para realizar un proyecto de alumbrado son:

- ✿ **Iluminancia:** la iluminancia evalúa la cantidad de luz que incide sobre una determinada superficie, ya sea horizontal o vertical, y se define como el flujo luminoso incidente (medido en lúmenes) sobre un plano dividido por su superficie (expresada en m^2). La unidad de medida es el lux (lúmen/ m^2). Existen varios tipos de iluminancia según la superficie en la que se mida, iluminancia horizontal (E_{hor}) o vertical (E_{vert}).
- ✿ **Iluminancia media:** valores medios de la iluminancia en una superficie determinada (E_m).
- ✿ **Uniformidad:** relación entre las iluminancias mínima y máxima sobre una superficie (E_{min}/E_{max}). Lo que nos indica este parámetro es la homogeneidad en los niveles de iluminación de una superficie, evitando la sensación de "manchas" y que toda la superficie tenga unos niveles de iluminación homogéneos.

Además de estos criterios luminotécnicos se tendrán en cuenta los definidos anteriormente:

- Índice de Rendimiento en Color (I.R.C. o Ra).
 - Temperatura de color.

Las lámparas de sodio alta presión son las más utilizadas debido a su bajo coste total de propiedad, así como a su mejor eficacia luminosa con respecto a las lámparas de vapor de mercurio.

En el siguiente supuesto se muestra cuál es el verdadero coste total de propiedad anual. Se entiende por coste total de propiedad la suma de los costes de las lámparas, costes de electricidad y costes de mantenimiento.

DATOS GENERALES

Base de cálculo	365 días
Tiempo de funcionamiento	11 h/día
Horas anuales de funcionamiento	4015 h/año
Número de lámparas	1 unidad
Coste de la electricidad	0,08 €/kWh
Mano de obra del operario	30 €/punto de luz

A) Lámpara de sodio alta presión Vs Lámpara vapor de mercurio

Potencia lámpara (W)	70	125
Potencia balasto (W)	7	12,5
Potencia sistema (W)	77	137,5
Vida útil (horas)	20.000	10.000
Flujo luminoso (lm)	6.600	6.200
P.V.R. (euros)	33,10	8,36

Coste Lámparas (euros)	6,64	3,36
Coste Electricidad (euros)	24,73	44,17
Coste Reciclaje (euros)	0,30	0,30
Coste Mantenimiento (euros)	6,02	12,05

COSTE PROPIEDAD (euros)	37,70	59,87
--------------------------------	--------------	--------------

AHORRO ANUAL (euros) 22,17

A pesar del coste inicial de las lámparas de sodio alta presión, 4 veces superior al vapor de mercurio, en **tan sólo 12 meses se ha amortizado**. A lo largo de la vida de la lámpara de sodio alta presión se **ahorrarían más de 110 euros**.

El principal ahorro viene motivado por la diferencia en el coste de electricidad (20 euros al año) y por los costes de mantenimiento.

Además de los ahorros en euros, se **dejan de emitir 92,75 kg/año de CO₂** o lo que es lo mismo equivaldría al consumo de 5 árboles para contrarrestar dichas emisiones.

B) Lámpara MASTER City White Vs Lámpara vapor de mercurio

MASTER CITY WHITE CDO 150W		VAPOR DE MERCURIO HPL 250W
Potencia lámpara (W)	150	250
Potencia balasto (W)	15	25
Potencia sistema (W)	165	275
Vida útil (horas)	12.000	10.000
Flujo luminoso (lm)	13.500	12.700
P.V.R. (euros)	64,37	18,98
Coste Lámparas (euros)	21,54	7,62
Coste Electricidad (euros)	53,00	88,33
Coste Reciclaje (euros)	0,30	0,30
Coste Mantenimiento (euros)	10,04	12,05
COSTE PROPIEDAD (euros)	84,87	108,30
AHORRO ANUAL (euros)	23,42	

A pesar del coste inicial de las lámparas MASTER CITY-WHITE, 3 veces superior al vapor de mercurio, en menos de **24 meses se ha amortizado**. Además está la calidad de la luz tal y como muestra la siguiente imagen.



El principal ahorro viene motivado por la diferencia en el coste de electricidad (35 euros al año).

Además de los ahorros en euros, se **dejan de emitir 168,63 kg/año de CO₂** o lo que es lo mismo equivaldría al consumo de 8 árboles para contrarrestar dichas emisiones.

Bibliografía

1. Norma UNE-EN 13201 de “Iluminación de carreteras”.
2. “Introducción al alumbrado”. Philips Ibérica.
3. “Manual de Iluminación”. Philips Ibérica.
4. “Guía de buena práctica para la iluminación de glorietas y travesías. Philips Ibérica.

6.1. 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.

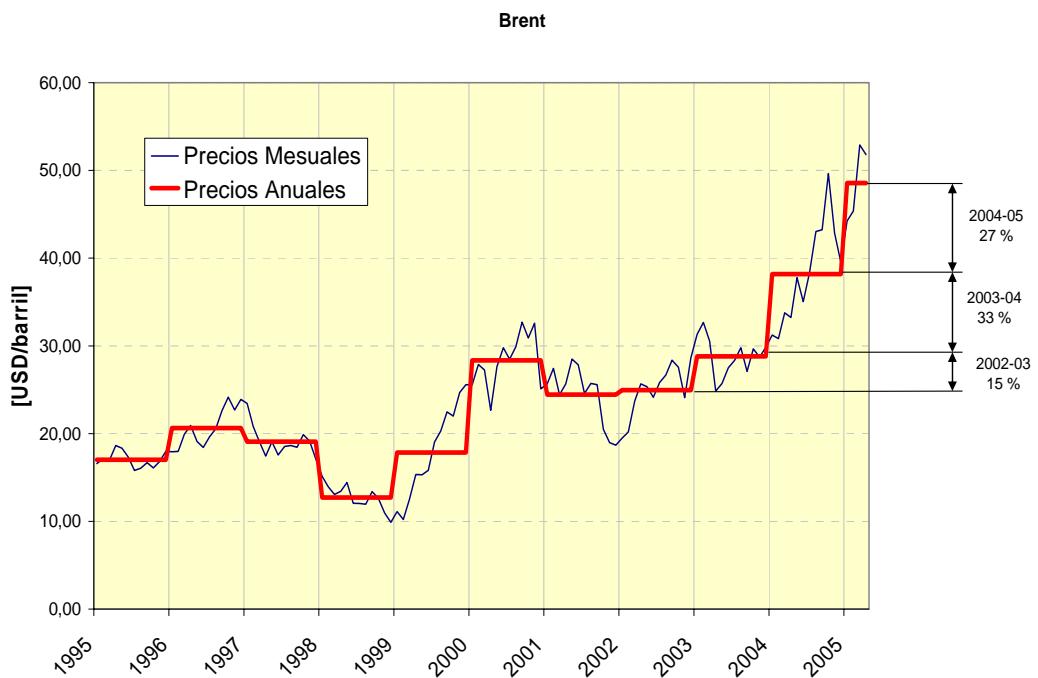
Este rápido desarrollo, viene favorecido por la terciarización de la economía e impulsado por la evolución de los de servicios a las empresas y a los sectores socio-turísticos. Es por ello, que nuestra actual estructura social, motivada por las exigencias de este escenario, está experimentando una relativa 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

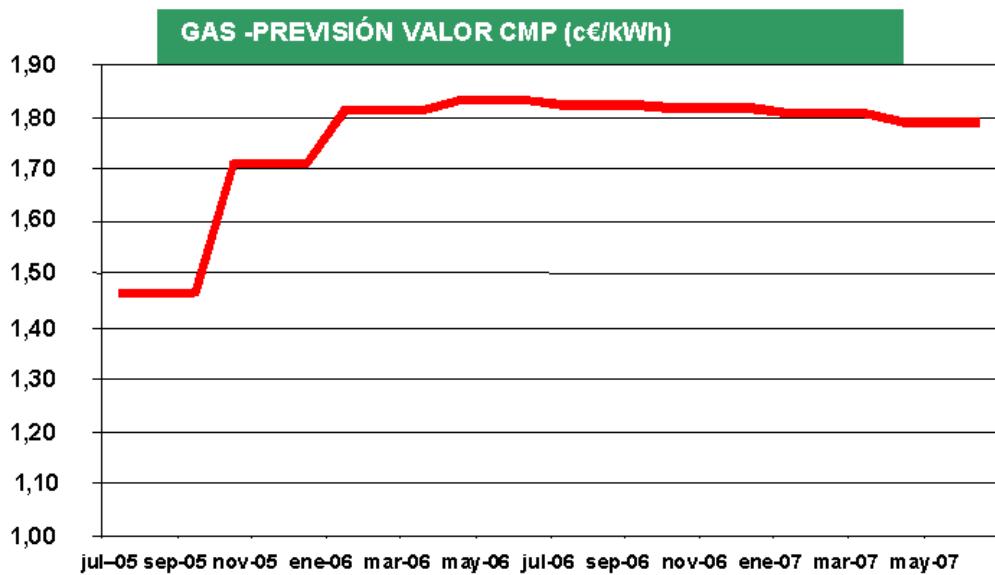
conduciendo a un escenario de crisis económica, con encendido de aviso el jueves 13/04/06, cuando el precio del Barril Brent (crudo de referencia en Europa) superó por primera vez los 70 dólares por barril, llegando a cotizar los 70,99 \$ / Barril.

Evolución de precios índice Brent de petróleo



Aumenta la probabilidad de que alcancemos un nuevo escenario de *crisis de energías primarias*, esta vez impulsado por causa de una demanda creciente, con su inevitable gran coste económico asociado, para los países de la UE (como ya sucedió por causa de una oferta descendente, en los años 73, con el embargo del petróleo de los países árabes y en la segunda crisis que se inició en el año 79, con el comienzo de la revolución iraní). Se puede apreciar una tendencia claramente alcista en los mercados energéticos:

- ✿ Mercado Industrial Gas: al ser la demanda mayor que la oferta ha habido un incremento del 18 % del precio en el año 2005.
- ✿ Subida del petróleo (de 30 a 70 \$/barril en 2,5 años).
- ✿ Subida espectacular del carbón: se ha pasado de 33 €/t 2003 a 58 €/t en el años 2004 (55 %).
- ✿ Subida del Pool Eléctrico Español: incremento del 50 % respecto al 2004.



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 2004:
 - Mercado Diario Total: 2,874 c€/kWh.
 - Compras totales en mercado diario: 201.773 GWh.

- ✿ Año 2005:
 - Mercado Diario Total : 5,573 c€/kWh.
 - Compras totales en mercado diario: 223.290 GWh, lo que representan un incremento del 10,6 % respecto al 2004.

- Año 2006:
Solamente se tienen Datos del Mercado Diario Total desde el 1 de Enero al 4 de Mayo:
Mercado Diario Total : 6,633 c€/kWh lo que representa un aumento del 19,16 % respecto al 2005.

6.2. 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 deberemos 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 (alumbrado, cos φ, 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.

6.3. 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 en el campo del alumbrado de calles, carreteras y túneles de carácter público.

6.4. 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 6.409 instalaciones de Alumbrado Público, situadas todas ellas en la Comunidad Autónoma de Madrid, con un consumo anual total de 289,6 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 2005 de 23.375.162 € (IVA Incluido). Equivalente a alcanzar una facturación media por contrato, por un valor de 2.886 €/año (IVA incluido), lo cual supone un precio medio de 0,783 c€/kWh (IVA incluido). Sin IVA, nos resultará una facturación media por contrato de 2.487,93 c€/kWh, lo que supone un precio medio de 0,0675 c€/kWh (IVA no incluido). El término de potencia medio del grupo representa el 5,5 % 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.

6.4.1. Instalaciones Pequeñas de Alumbrado Público exterior

Se agrupan aquí, un total de 5.360 Instalaciones, cuyos contratos eléctricos son de Potencias menores o iguales a 15 kW.

En este colectivo están el 83 % 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), con contratos en las tarifas siguientes: en mercado regulado un 40 % en la tarifa 2.0N; un 34 % en la tarifa 2.0; un 24 % en la B.0.; un 1 % en la 1.0.; 0,5 % en la 3.0 y 4.0 y el 0,5 % restante en mercado libre en la tarifa de acceso 2.0A.

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

No olvidemos que en este grupo, todas las instalaciones tienen contratos eléctricos, en mercado regulado o en mercado libre, con tarifas en B.T.

El Consumo total de energía eléctrica registrado en este grupo durante el año 2005, fue de 197.504,4 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 3.290 h. Esto supone una utilización media diaria de la potencia contratada de 3.290 h/365 d = 9,01 h/día.

Registrándose una facturación media, en energía eléctrica por contrato, de un valor de 2.886 €/año (IVA incluido), equivalente a 2.487,93 €/año (IVA no incluido), lo que supone un precio medio de 0,0783 c€/kWh (IVA incluido), equivalente a 0,0675 c€/kWh (IVA no incluido). El término de potencia medio del

grupo representa el 4,6 % respecto al término de energía (teniendo que el 24 % de usuarios contratan la tarifa B.0 y su $T_P = 0,000000$).

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 11 horas diarias, que suponen 4.015 h/año. Abarcan el 99 % del total de usuarios de este grupo, de los cuales, el 40 % se acogen a la tarifa de mercado regulado, en baja tensión (3×400 V) tipo 2.0N y el 34 % contratan la tarifa 2.0 y 24 % la tarifa especial de Alumbrado Público B.0. Suponemos como premisa de diseño que el coeficiente de sobrecarga en el arranque de la instalación es de entre 1,4 y 1,5 I_N .
- 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 períodos 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 1 % del total del grupo, normalmente utilizan tarifas de mercado regulado, en baja tensión (3×400 V) tipo 4.0, con complemento de discriminación horaria tipo DH_4 "Triple Tarifa B" con días especiales.

6.4.2. 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 1.049 instalaciones, cifra que abarca el 17 % restante del total considerado.

El tamaño tipificado de estas instalaciones, corresponde a: I) alumbrados urbanos de calles anchas y largas y II) alumbrados de carreteras. El 8 % de estos contratos están alimentados en A.T., en tensiones de 15 ó 20 kV, en las tarifas 1.1; 2.1; 3.1 del mercado regulado o en el 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 2.0N; 2.0; B.0.; 3.0 y 4.0 y en mercado libre en la tarifa de acceso 3.1A.

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

- I) Instalación de alumbrado público exterior grande, destinada a iluminación urbana de calles, con potencia de contrato eléctrico de $P_{CE} = 45$ kW, mediante el empleo de lámparas de vapor de sodio de alta presión, dotada de 150 lámparas de 250 W $\rightarrow P_{IN} = 37.500$ W, con tres salidas, circuitos 3F+N, equipados con protecciones magnetotérmicas + diferenciales unipolares.
- II) Instalación de alumbrado público exterior grande, destinada a iluminación urbana de carreteras, con potencia de contrato eléctrico de $P_{CE} = 80$ kW, 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.

El Consumo total de energía eléctrica registrado en este grupo durante el año 2005, fue de 92.145,4 MWh, con una Potencia Eléctrica Contratada media de 50 kW y un Consumo medio por instalación de 87.841 kWh/año, equivalente a un tiempo de utilización de 1.756 h.

Registrándose una facturación media, en energía eléctrica por contrato, de un valor de 7.544 €/año (IVA incluido), equivalente a 6.503,4 c€/kWh (IVA no incluido),

lo que supone un precio medio 0,0858 c€/kWh (IVA incluido), equivalente a 0,0740 c€/kWh (IVA no incluido).

6.5. 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 6.4.1 y 6.4.2 para cada tipo de instalación.

En los diseños de aplicaciones para túneles, lo mas 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.

6.5.1. 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

6.5.2. 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

6.5.3. 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.

6.5.4. 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.

6.5.5. 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.

6.5.6. Sistemas de gestión

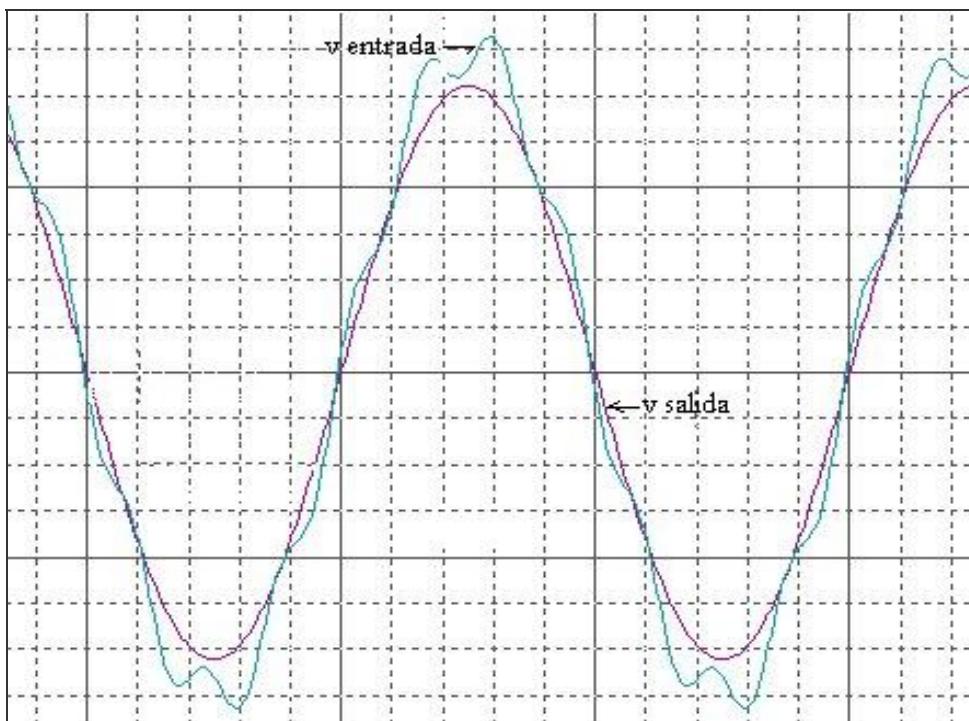
La adecuación de los niveles de iluminación a las exigencias de la actividad que se desarrolla, se puede gestionar, mediante actuación sobre un sistema de

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 permitir 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.



6.6. 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.

6.6.1. 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 implantación, 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*.

6.7. 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.

6.8. 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).

6.9. 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.

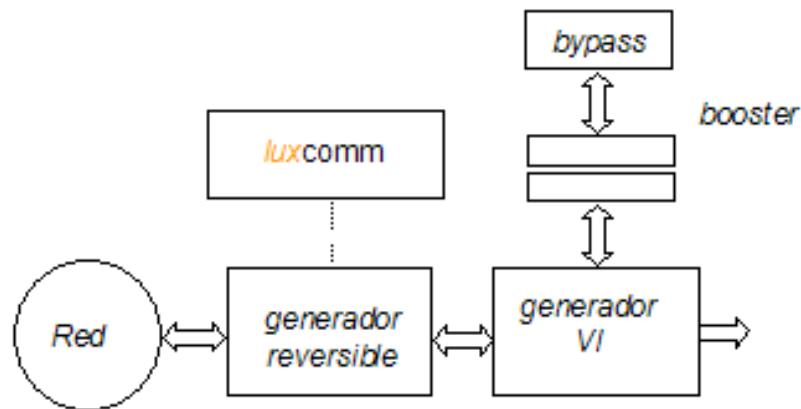


Figura 1. Arquitectura de un Regulador de Flujo Luminoso de elementos electrónicos activos, serie SET-LUX de Zigor.

6.10. 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).

6.10.1. 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 Gestiónador de Energía (GEN), equipado con una central de gestión, de tamaño pequeño, y de un modelo que incorpore un mínimo de 6 entradas y 6 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 energético 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 1.0; 2.0; 2.0A; 2.0N; 3.0; 4.0 y B.0, con términos de potencia $\leq 15 \text{ kW}$, y que para el modelo seleccionado de instalaciones de alumbrado público de exteriores pequeñas, se ha calculado que su Potencia Eléctrica Instalada es $P_{EI} = 8.400 \text{ W}$, su factor de sobrecarga en el arranque $1,3 \div 1,5$ I_N y, por tanto, la Potencia Eléctrica de contrato es $P_{EC} = 8,4 \times 1,3 = 10,92 \text{ kW}$, por lo que contratamos $P_{EC} = 11,2 \text{ kW}$.

Si aplicamos el número medio resultante para este Grupo de horas de utilización, su consumo previsto será $8,4 \times 3.290 = 27.636 \text{ kWh/año}$.

Suponiendo que para el modelo elegido de alumbrado público exterior pequeño, durante el año 2005, se ha contratado en el mercado regulado, la tarifa de baja tensión (3×400 V), tipo B.0, entonces de acuerdo con las Tarifas Eléctricas, durante el año 2005, le corresponden en función del contrato realizado los siguientes valores:

- ✿ Término de potencia $\rightarrow t_p = 0,000000$ €/kW mes.
- ✿ Término de energía $\rightarrow t_E = 0,073285$ €/kW.
- ✿ Un impuesto sobre la electricidad de $4,864\% / \sum (P_c + E_w) \times 1,05113$, y
- ✿ El 16 % de IVA, aplicado al total bruto.

Con estos datos su facturación anual será :

- ✿ **Pot. contratada** $\rightarrow P_{EC} = 11,2$ kW $\times 12$ meses $\times 0,000000$ €/kW mes = 0,00 €
- ✿ Energía cons. $\rightarrow E_w = W_a \times t_E = 27.636$ kW/año $\times 0,073285$ €/kW = 2.025,3 €
- ✿ Impuesto electricidad $I_E = (0,00 + 2.025,30) \times 4,864/100 \times 1,05113 = 103,54$ €
- ✿ **Total factura sin gestor** $= \sum (P_{EC} + E_w + I_E) = 0,00 + 2.025,30 + 103,54 = 2.128,84$ €/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 limitador 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 las 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 la tarifa especial de Alumbrado Público → B.O tiene un $t_p = 0,00$, luego en el caso del modelo, no existe ahorro previsto por esta acción, ahora bien, el correcto funcionamiento del GEN, *nos asegurará de no tener aperturas del pequeño interruptor automático limitador de sobrecargas (PIAS), que en caso se dispara 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 27.636 kWh/año. Se estima, que con la aplicación del gestionador 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 gestionador.* De acuerdo con los cálculos y suposiciones realizadas para el modelo, las previsiones de ahorro total son:
- a) **Reducir la potencia del contrato eléctrico.** En el caso del modelo, que suponemos está contratado en la tarifa de B.T. tipo B.O., y $t_p = 0,00$; luego no hay Ahorro posible, por reducción de Potencia contratada.
 - b) **Reducir el consumo total de energía eléctrica en un 20 % →** $20/100 \times 276360 = 5.527,2$ kWh. Luego, bajaremos el consumo de Alumbrado a

$27.636 - 5.527,2 = 22.108,8 \text{ kWh/año}$, consiguiendo un ahorro económico en término de energía = $5.527,2 \text{ kWh} \times 0,073285 \text{ €/kW} = 405,06 \text{ €/año}$; aplicándole el I_E $405,06 \times 4,864/100 \times 1.05113 = 20,70 \text{ €/año}$; luego el Ahorro Económico total en energía será = $405,06 + 20,70 = 425,76 \text{ €/año}$.

Con estos datos su nueva facturación eléctrica anual será:

- ✿ **Pot. Contratada P_{EC}** = $11,2 \text{ kW} \times 12 \text{ meses} \times 0,00 \text{ €/kW mes} = 0,00 \text{ €/año}$
- ✿ **E_W** = $W_a \times t_E = 22.108,8 \text{ kWh/año} \times 0,073285 \text{ €/kW} = 1.620,24 \text{ €/año}$
- ✿ Impuesto electricidad I_E = $(0,00 + 1.620,24) \times 4,864/100 \times 1.05113 = 82,83 \text{ €/año}$
- ✿ **Total factura con gestor** = $\Sigma (P_{EC} + E_W + I_E) = 0,00 + 1.620,24 + 82,83 = 1.703,07 \text{ €/año (sin IVA)}$.

Luego el ahorro total conseguido será de $2.128,84 - 1.703,0 = \text{Ahorro total con gestor} = 425,77 \text{ €/año (sin IVA)}$, lo que supone un **20 %**.

Ahora bien, la instalación de un sistema gestor 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 2.550 € (IVA no incluido).

D) *Conclusión para Pequeñas Instalaciones*

- ✿ Resumen técnico-económico de la operación:

Optimización Prevista	Ahorro anual	Inversión
20 %	425,77 € (IVA no incluido)	2.550 € (IVA no incluido)

Luego el Tiempo estimado de amortización será de 71,87 meses (< 6 años).

- **Para pequeñas instalaciones de alumbrado público existentes, desde el punto de vista de rentabilidad, el proyecto está en el límite de su viabilidad,** (se rechazan inversiones con periodos de retorno superiores a 6 años), aunque es importante resaltar que la aplicación de un sistema gestionador 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.**

6.10.2. 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 Gestionador 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. (3×400 V), tipos 2.0N; 3.0; 4.0; B.O; y 3.0A, y de alta tensión A.T. (en 15 kV o 20 kV) en tarifas tipos 1.1; 2.1; 3.1; 6.1 y 3.1A, y que sus términos de potencia, deberán ser mayor de 15 kW, y que el Alumbrado Modelo I tiene de potencia instalada $P_{IN} = 37,5$ kW, está contratado en B.T. con una potencia de contrato $P_{CE} = 45$ 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 $P_{CE} = 80$ kW, y su factor de potencia es 0,9. Si aplicamos el número medio de horas de utilización resultante para este segmento, su consumo previsto será:

$$W_I = 37,5 \text{ kW} \times 1.756 \text{ h/año} = \mathbf{65.850 \text{ kWh/año.}}$$

Y para el modelo II

$$W_{II} = 60 \text{ kW} \times 1.756 \text{ h/año} = \mathbf{105.360 \text{ kWh/año.}}$$

Suponiendo que el **Modelo I** se contrata en el mercado regulado, en la tarifa de B.T. (3×400 V), de aplicación General 3.0, con DH tipo 1, durante el año 2005 le corresponderá ser facturado según:

- ✿ Un término de potencia → $t_P = 1,430269 \text{ €/kW}$.
- ✿ Un término de energía → $t_E = 0,083728 \text{ €/kW}$.
- ✿ Un complemento de energía reactiva → **c Wr** en %, función del factor de corrección $kr = 17/\cos^2\phi - 21$, de acuerdo con el $\cos\phi$ de la instalación.
- ✿ Un complemento por discriminación horaria (**c DH**),
- ✿ El impuesto sobre la electricidad **I_E**.
- ✿ El 16 % de IVA, sobre la facturación bruta.

Con estos datos su facturación anual será:

- ✿ **Pot. contratada** = $45 \text{ kW} \times 12 \text{ meses} \times 1,430269 \text{ €/kW mes} = 772,34 \text{ €/año}$
- ✿ $E_W = W_I \times t_E = 65.850 \text{ kWh/año} \times 0,083728 \text{ €/kW} = 5.513,48 \text{ €/año}$
- ✿ **c Eq** = Fact. Básica $\times kr$ → para $\cos\phi = 0,85 \rightarrow kr = 17/0,72 - 21 \approx + 2,5 \%$; luego $c Eq = (772,34 + 5.513,48) \times 2,5/100 = 157,14 \text{ €/año}$

- ✿ **c DH_{tipo 1}** → ubicado en Zona 3 (Madrid), para clientes con $P_c \leq 50$ kW, siendo $c DH = Tej \sum E_i \times C_i / 100$, donde E_i = Energía consumida total = $W_{TC} = 65.850$ kWh/año, el coeficiente $C_i = 20$; y $T_{3.0} = 0,083728$ €/kW; luego $c DH_{tipo1} = 0,083728 \times 65.850 \times 20/100 = 1.102,69$ €/año
- ✿ El Impuesto Eléctrico $I_E = 4,864$ % s/ $\sum (P_c + E_w + c E_Q + c DH) \times 1,05113 = 4,864/100 \times (772,34 + 5.513,48 + 157,14 + 1.102,69) \times 1,05113 = 385,78$ €/año
- ✿ **Total Factura sin gestionador** = $\sum (P_c + E_w + c E_Q + c DH_{tipo 1} + I_E) = 772,34 + 5.513,48 + 157,14 + 1.102,69 + 385,78 = 7.931,43$ €/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 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 gestionador 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 5 % sobre el total de la factura sin IVA, luego el ahorro previsto por esta acción, en término de valor absoluto, será muy pequeño puede alcanzar el 0,4 % 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 períodos 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 65.850 kWh/año. Se estima, que con la aplicación del gestionador 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 I estudiado, el factor de potencia de la instalación es $\cos \phi = W_a / (W_a^2 + W_r^2)^{1/2} = 0,85$, siendo W_a la cantidad registrada por el contador de energía activa, expresada en kWh y W_r la cantidad registrada por el contador de energía reactiva, expresada en kVArh, valor que como hemos calculado representa un factor $k_r \approx 2,5$, que implica un recargo en la factura eléctrica del 2,5 %, a aplicar sobre la facturación básica (energía + término de potencia).

En el caso del modelo estudiado, el complemento de energía reactiva será $c_{Eq} = (772,34 + 5.513,48) \times 2,5/100 = 157,14 \text{ €/año}$, siendo su correspondiente impuesto eléctrico $I_E = 157,14 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 8,03 \text{ €}$, luego el recargo total por factor de potencia será $c_{Eq} = 157,14 + 8,03 = 165,17 \text{ €}$. Ahora bien, para corregir este bajo valor del $\cos \phi$, 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 $\cos \phi$, hasta alcanzar la zona de bonificación en la tarifa.

En el caso del modelo $\cos \phi = 0,85$ y $W_a = 65.850 \text{ kWh/año}$, luego $\sin \phi = 0,52$ y $WS = W_a / \cos \phi = 65.850 / 0,85 = 77.470,5 \text{ kVAh}$, luego $W_r = WS \times \sin \phi = 77.470,5 \times 0,52 = 40.284 \text{ kVArh/año}$.

Esta energía reactiva, se consume mayoritariamente a lo largo de las 4.015 h/año de funcionamiento en servicio de la instalación.

Vamos a dimensionar la potencia reactiva (Q) de la batería de condensadores, en función de este periodo; luego $Q = 40.284 / 4.015 = 10$ kVAr.

Será suficiente con colocar una batería de condensadores en B.T. dotada de **12 botes de 1 kVAr** montando una batería de condensadores trifásica, con potencia máxima de 12 kVAr, repartidos en tres ramas de 4 kVAr, con 3 botes en serie por fase.

El equipo se conectará con el gestionador 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, eliminar el 2,5 % de recargo en facturación y, además, alcanzar fácilmente una bonificación del 2,2 %, lo cual representa un **ahorro económico directo del 4,7 %**.

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

El gestionador energético GEN, en tarifa 3.0. se puede programar para hacerse cargo del control del complemento tarifario por DH, si se contrata en tipo 2, 3 ó 4, 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, casi siempre es más beneficioso contratar el tipo 4.

El complemento por DH constituirá un recargo o un descuento, que se calculará de acuerdo con la fórmula: $c_{DH} = Tej \sum Ei \times Ci / 100$.

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 el caso del Modelo I, al estar contratado en 3.0 DH_{tipo1}, el recargo por DH es fijo, pero como con el gestionador GEN y los reguladores de flujo luminoso, hemos reducido el consumo de energía un 21 %, el recargo final se reducirá en este porcentaje resultando un complemento según cálculo de c DH_{tipo1} $0,083728 \times (65.850 \times 0,79) \times 20/100 = 871,13 \text{ €}$.

El ahorro económico obtenido en DH es $= 1.102,69 - 871,13 = 213,56 \text{ €/año}$.

Ahora bien, además, en cada caso particular habrá que realizar un estudio personalizado a cada instalación y modo de operación.

E) *Resultados y Viabilidad de la implantación del sistema gestionador (GEN)*

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 %** $\rightarrow 8/100 \times 45 = 4 \text{ kW}$.

Luego, bajaremos la potencia contratada a $P_C = 41 \text{ kW}$, consiguiendo un ahorro de $4 \text{ kW} \times 12 \text{ meses} \times 1,430269 \text{ €/kW mes} = 68,64 \text{ €/año}$. Aplicándole el Impuesto eléctrico, $I_E = 68,641 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 3,50 \text{ €/año}$. Luego, el Ahorro resultante en término de potencia será de $68,64 + 3,50 = 72,14 \text{ €/año}$.

b) **Reducir el consumo total anual de energía eléctrico en 20 + 1 = 21 %** \rightarrow

$21/100 \times 65.850 \text{ kWh/año} = 13.828,5 \text{ kWh/año}$. Luego, bajaremos el consumo del Alumbrado hasta $W_a (G) = 65.850 - 13.828,5 = 52.021,55 \text{ kWh/año}$, y el ahorro económico en término de energía = $13.828,5 \times 0,083728 = 1.157,83 \text{ €/año}$, aplicándole el impuesto eléctrico se tendrá $I_E =$

$1.157,83 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 59,19 \text{ €/año}$, y el Ahorro económico total en energía será $= 1.157,83 + 59,19 = 1.217,02 \text{ €/año}$.

c) Ahorro económico por mejora del factor de potencia

Con la instalación y gestión de la batería de condensadores, conseguiremos fácilmente mejorar el $\cos \phi = 0,85$ hasta un valor de 0,95. Esta acción nos permitirá eliminar el recargo económico del 2,5 %, sobre la facturación básica que teníamos $c_{EQ} = (772,34 + 5.513,48) \times 2,5/100 = 157,14 \text{ €/año}$, y además lograremos conseguir una bonificación del 2,2 %, sobre dicha facturación (mejorable hasta el 4 %). El nuevo cálculo será con un $\cos \phi = 0,95 \rightarrow kr = 17/0,90 - 21 \approx -2,2 \%$, luego $\rightarrow c_{EQ} = \text{Fact. Básica} \times kr = (703,70 + 4.554,09) \times 2,2 / 100 = -115,67 \text{ €/año}$ (Descuento).

Se ha pasado de un recargo de 157,14 a un descuento de 115,67 €/año, luego hemos ganado $157,14 + 115,67 = 272,81 \text{ €/año}$. Aplicando el $I_E = 272,81 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 13,94 \text{ €/año}$; luego $272,81 + 13,94 = 286,75 \text{ €/año}$.

El **Ahorro total** conseguido en mejorar el $\cos \phi$ es **286,75 €/año**.

d) Ahorro en el complemento de DH

Inicialmente $c_{DH_{\text{tipo1}}} = 0,083728 \times 65.850 \times 20/100 = 1.102,69 \text{ €/año}$.

Con el descenso de consumo el valor del nuevo complemento, ha bajado el 21 % hasta $c_{DH_{\text{tipo1}}} = 0,083728 \times 52.021,5 \times 20/100 = 871,13 \text{ €/año}$, luego se ha obtenido un ahorro en DH = $1.102,69 - 871,12 = 231,57 \text{ €/año}$.

Aplicando el $I_E = 231,57 \times 4,864 / 100 \times 1,05113 = 11,84 \text{ €/año}$; luego, el Ahorro total conseguido por mejora del $c_{DH_{\text{tipo1}}} = 231,57 + 11,84 = 243,41 \text{ €/año}$.

Con estos datos su nueva facturación eléctrica anual será:

- **Pot. contratada** = $41 \text{ kW} \times 12 \text{ meses} \times 1,430269 \text{ €/kW mes} = 703,69 \text{ €}$
- **Cuota término de energía** = $52.021,55 \text{ kW/año} \times 0,083728 \text{ €/kW} = 4.355,66 \text{ €}$
- **c E_Q** = Fact. Básica $\times kr$; para $\cos \phi = 0,95 \rightarrow kr = 17/0,90 - 21 \approx -2,2\%$, luego $cE_Q = (703,69 + 4.355,66) \times 2,2 / 100 = -111,30 \text{ €/año (descuento)}$
- **c DH_{tipo 1}**, para clientes con $P_c \leq 50 \text{ kW}$, tiene el recargo fijo, siendo $c DH = 0,083728 \times 52.021,5 \times 20/100 = 871,13 \text{ €/año}$
- El Impuesto Eléctrico $I_E = 4,864\% s/ \Sigma(P_c + E_w + c E_Q + c DH) \times 1,05113 = 4,864/100 \times (703,69 + 4.355,66 - 111,30 + 871,13) \times 1,05113 = 297,51 \text{ €/año}$
- **Total Factura con gestionador** = $\Sigma (P_c + E_w + c E_Q + c DH_{\text{tipo 1}} + I_E) = 703,69 + 4.355,66 - 111,30 + 871,13 + 297,5 = 6.116,69 \text{ €/año (sin IVA)}$; luego el ahorro total conseguido será de $7.931,43 - 6.116,69 = \text{Ahorro total con gestionador} = 1.814,74 \text{ €/año (sin IVA)}$, lo que supone un **22,88 %**.

Ahora bien, la instalación de un sistema gestionador 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 455 € (IVA no incluido) para la batería de condensadores y de 4.850 € (IVA no incluido) para el sistema gestionador.

F) *Conclusión para Instalaciones de Alumbrado grandes*

- Resumen técnico-económico de la operación:

Optimización Prevista	Ahorro anual	Inversión
22,88 %	1.814,74 € (IVA no incluido)	5.305 € (IVA no incluido)

Luego el tiempo estimado de amortización es de 35 meses (< 3 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 gestionador 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.

Supongamos que el **Modelo II** de alumbrado público se contrata en el mercado regulado, en la tarifa de A.T. (3×15 kV), de aplicación General 1.1, con $DH_{\text{tipo 4}}$, zona 3 (Madrid) y que el factor de potencia registrado es 0,9.

Durante el año 2005, le ha correspondido ser facturado con :

- Un término de potencia $\rightarrow t_p = 1,980859$ €/kW.
- Un término de energía $\rightarrow t_E = 0,066324$ €/kW.
- Un complemento de energía reactiva $\rightarrow c Wr$ en %, función del factor de corrección $kr = 17/\cos^2\phi - 21$.
- Un complemento por discriminación horaria (**c DH**),
- El impuesto sobre la electricidad **I_E**.
- El 16 % de IVA, sobre la facturación bruta.

Con estos datos su facturación anual será:

- Pot. contratada** = 80 kW \times 12 meses \times $1,980859$ €/kW mes = $1.901,62$ €/año
- E_w** = $W_a \times t_E = 105.360$ kW/año $\times 0,066324$ €/kW = $6.987,89$ €/año
- c E_Q** = Fact. Básica \times kr \rightarrow para $\cos \phi = 0,9 \rightarrow kr = 17/0,72 - 21 \approx 0$ %; luego **c E_Q** = $0,00$ €/año
- c DH_{tipo 4}**, las instalaciones están en la comunidad de Madrid, luego corresponde la zona de aplicación 3; determinamos el complemento según $c DH = Tej \sum Ei \times Ci / 100$, donde $Tej-2.1. = 0,060502$ €/kW; y Ei = Energía total consumida en cada periodo, en función del área de su curva de carga modelo, calcularemos en cada caso los porcentajes correspondientes por periodo y realizaremos la distribución de la energía anual consumida $\rightarrow W_a = 105.360$ kW/año.

- en las 1.530 horas Punta, el 5 % → $WP = 0,05 \times 105.360 = 5.268 \text{ kW/año}$;
 en las 2.550 horas Llano, el 20 % → $WLI = 0,20 \times 105.360 = 21.072 \text{ kW/año}$
 y en las 4.680 horas Valle, el 75 % → $WV = 0,75 \times 105.360 = 79.020 \text{ kW/año}$;
 y los coeficiente de recargo C_i , y la duración de cada periodo son los siguientes:

Periodo horario	Duración	Coeficiente de Recargo
Horas punta	6 horas/días laborables	+100 %
Horas llano	10 horas /días laborables	Sin recargo, ni descuento
Horas valle	8 h/día + 24 h (Sab + Dom + Festivos)	- 43 %

Se consideran como horas punta en Zona 3 de 9 a 13 horas en horario de invierno y de 10 a 14 horas en horario de verano.

Luego $c \text{ DH}_{\text{tipo 4}} = 0,060502 \times (5.268 - 79.020 \times 43/100) = - 1.737,04 \text{ €/año}$.

- **El Impuesto Elect.** $I_E = 4,864 \% s/ \Sigma (P_c + E_w + c E_Q + c DH) \times 1,05113 = 4,864/100 \times (1.901,62 + 6.987,89 + 0,00 - 1.737,04) \times 1,05113 = 365,68 \text{ €/año}$.
- **Total Factura sin gestionador** = $\Sigma (P_{EC} + E_w + c E_Q + c DH_{\text{tipo 4}} + I_E) = 1.901,62 + 6.987,89 + 0,00 - 1.737,04 + 365,68 = 7.518,15 \text{ €/año (sin IVA)}$.

(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 de instalaciones grandes, 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 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 gestionador 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 21,4 % sobre el total de la factura sin IVA, luego el ahorro previsto por esta acción, puede alcanzar el 1,5 % 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 lumínoso en cada zona y controlando los períodos 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 105.360 kWh/año. Se estima, que con la aplicación del gestionador 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 $\cos \phi = W_a / (\sqrt{W_a^2 + W_r^2}) = 0,9$, siendo W_a la cantidad registrada por el contador de energía activa, expresada en kWh y W_r la cantidad registrada por el contador de energía reactiva, expresada en kVAh, valor que como hemos calculado anteriormente, representa un factor $k_r \approx 0$, lo que implica que no hay recargo, ni bonificación en la factura eléctrica a aplicar sobre la facturación básica (energía + término de potencia).

Ahora bien, para corregir este valor del $\cos \phi$, y conseguir alcanzar valores bonificados, 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 $\cos \phi$, hasta alcanzar la zona de bonificación en la tarifa.

En el caso del modelo $\cos \phi = 0,9$ y $W_a = 105.360 \text{ kWh/año}$; luego $\sin \phi = 0,43$ y $WS = W_a / \cos \phi = 105.360 / 0,9 = 117.066,6 \text{ kVAh}$, luego $W_r = WS \times \sin \phi = 117.066,6 \times 0,43 = 50.338 \text{ kVAh/año}$.

Esta energía reactiva, se consume mayoritariamente a lo largo de las 4.015 h/año de funcionamiento en servicio de la instalación.

Vamos a dimensionar la potencia reactiva (Q) de la batería de condensadores, en función de este periodo; luego $Q = 50.338 / 4.015 = 12,5 \text{ kVAr}$.

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 3 botes en serie por fase.

El equipo se conectará con el gestionador 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 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 y, además, alcanzar fácilmente una bonificación del 2,2 %, lo cual representa *un ahorro económico directo*.

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

El Gestionador energético GEN, en tarifa 1.1. 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 (en caso de Gestión de alumbrados públicos exteriores, casi siempre es más beneficioso contratar DH tipo 4).

El complemento por DH constituirá un recargo o un descuento, que se calculará de acuerdo con la formula $c_{DH} = Tej \sum Ei \times Ci / 100$.

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 el caso del Modelo II, al estar contratado en 1.1 DH tipo 4, con el gestionador GEN y los reguladores de flujo luminoso, hemos reducido el consumo de energía un 21 %, el cargo final se reducirá en este porcentaje resultando una bonificación menor.

Según hemos calculado anteriormente, $c_{DH \text{ tipo 4}} = 0,060502 \times (4.162 - 62425 \times 43/100) = - 1.737,04 \text{ €/año}$.

El nuevo valor obtenido, después de instalar el sistema GEN y los Reguladores y Ahorrar energía será: $c_{DH \text{ tipo 4}} = 0,060502 \times (5.268 - 79.020 \times 43/100) = - 1.372,23 \text{ €/año}$.

El incremento económico obtenido en DH será = $1.738,04 - 1.372,23 = 364,80 \text{ €/año}$.

Ahora bien, además, en cada caso particular habrá que realizar un estudio personalizado a cada instalación y modo de operación.

E) *Resultados y Viabilidad de implantar el sistema Gestiónador (GEN)*

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

- a) **Reducir la potencia de contrato eléctrico en un 7 %** → $7/100 \times 80 = 5,6$ kW. Luego, bajaremos la potencia contratada a $P_{EC} = 75$ kW, consiguiendo un ahorro de $5 \text{ kW} \times 12 \text{ meses} \times 1,980859 \text{ €/kW mes} = 118,85 \text{ €/año}$. Aplicándole el Impuesto eléctrico $I_E = 118,85 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 6,07 \text{ €/año}$; luego, el Ahorro resultante en término de potencia será $118,85 + 6,07 = 124,92 \text{ €/año}$.
- b) **Reducir el consumo total anual de energía eléctrica en 20 + 1 = 21 %** → $21/100 \times 105.360 \text{ kWh/año} = 22.125,6 \text{ kWh/año}$. Luego, bajaremos el consumo del Alumbrado hasta $W_a (G) = 105.360 - 22.125,6 = 83.234,4 \text{ kWh/año}$, y el ahorro económico en energía = $22.125,6 \times 0,066324 = 1.467,45 \text{ €/año}$, aplicándole el impuesto $I_E = 1.467,45 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 75,02 \text{ €/año}$, y el Ahorro económico total en energía es = $1.467,45 + 75,02 = 1.542,47 \text{ €/año}$.
- c) **Ahorro económico por mejora del factor de potencia.** Con la instalación y gestión de la batería de condensadores, conseguiremos fácilmente mejorar el $\cos \phi = 0,9$ hasta un valor de 0,95. Esta acción nos conseguir una bonificación del 2,2 %, sobre dicha facturación (mejorable hasta el 4%). El nuevo cálculo será con el GEN y reguladores de Flujo instalados y un $\cos \phi = 0,95 \rightarrow kr = 17/0,90 - 21 \approx -2,2 \%$, luego $c E_Q = \text{Fact. Básica} \times kr = (1.782,77 + 5.512,94) \times 2,2 / 100 = -160,50 \text{ €/año}$ (Descuento).
Aplicando el $I_E = -160,5 \times 4,864/100 \times 1,05113 = -8,20 \text{ €/año}$; luego $-160,5 - 8,20 = -168,70 \text{ €/año}$.

El Ahorro total conseguido en mejorar el $\cos \phi$ es de 168,70 €/año.

d) **Ahorro en el complemento de DH**

Inicialmente $c_{DH \text{ tipo 4}} = 0,060502 \times (4.162 - 62425 \times 43/100) = -1.737,04 \text{ €/año.}$

Con el descenso de consumo, después de instalar el sistema GEN y los Reguladores y Ahorrar energía, el nuevo valor obtenido será: $c_{DH \text{ tipo 4}} = 0,060502 \times (5.268 - 79.020 \times 43/100) = -1.372,23 \text{ €/año.}$

El incremento económico obtenido en DH será $= 1.738,04 - 1.372,23 = 364,80 \text{ €/año.}$

Aplicando el I_E , $-1.372,23 \times 4,864/100 \times 1,05113 = 70,15 \text{ €/año}$; luego, **el Ahorro total conseguido por c DH tipo4 = $-1.372,23 - 70,15 = -1.442,38 \text{ €/año.}$**

Con estos datos su nueva facturación eléctrica anual será:

- Pot. contratada $P_{CE} = 75 \text{ kW} \times 12 \text{ meses} \times 1,980859 \text{ €/kW mes} = \mathbf{1.782,77 \text{ €}}$
- Energía $W_a = 83.234,4 \text{ kW/año} \times 0,066324 \text{ €/kW} = \mathbf{5.512,94 \text{ €}}$
- $c_{EQ} = \text{Fact. Básica} \times kr$; para $\cos \phi = 0,95$, $kr = 17/0,90 - 21 \approx -2,2 \%$, luego $c_{EQ} = (1.782,77 + 5.512,94) \times 2,2 /100 = -160,50 \text{ €/año}$ (descuento).
- $c_{DH \text{ tipo 4}} = 0,060502 \times (5.268 - 79.020 \times 43/100) = -1.372,23 \text{ €/año}$ (descuento).
- El Impuesto Elect. $I_E = 4,864 \% \text{ s/ } \Sigma(P_c + E_w + c_{EQ} + c_{DH}) \times 1,05113 = 4,864/100 \times (1.782,77 + 5.512,94 - 160,50 - 1.372,23) \times 1,05113 = \mathbf{294,64 \text{ €/año.}}$
- **Total Factura con gestor = $\Sigma (P_c + E_w + c_{EQ} + c_{DH \text{ tipo 4}} + I_E) = 1.782,77 + 5.512,94 - 160,50 - 1.372,23 + 294,64 = 6.057,62 \text{ €/año (sin IVA).}$**
Luego el ahorro total conseguido será de $7.518,15 - 6.057,62 = \mathbf{Ahorro total con gestor = 1.460,53 \text{ €/año (sin IVA), supone un 24,11 \%.$

Ahora bien, la instalación de un sistema gestionador 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 la batería de condensadores y de 4.850 € (IVA no incluido) para el sistema gestionador.

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

• Resumen técnico-económico de la operación:

Optimización Prevista	Ahorro anual	Inversión
24,11 %	1.460,5 € (IVA no incluido)	5.510 € (IVA no incluido)

Luego el Tiempo estimado de amortización es de 45 meses (< 4 años).

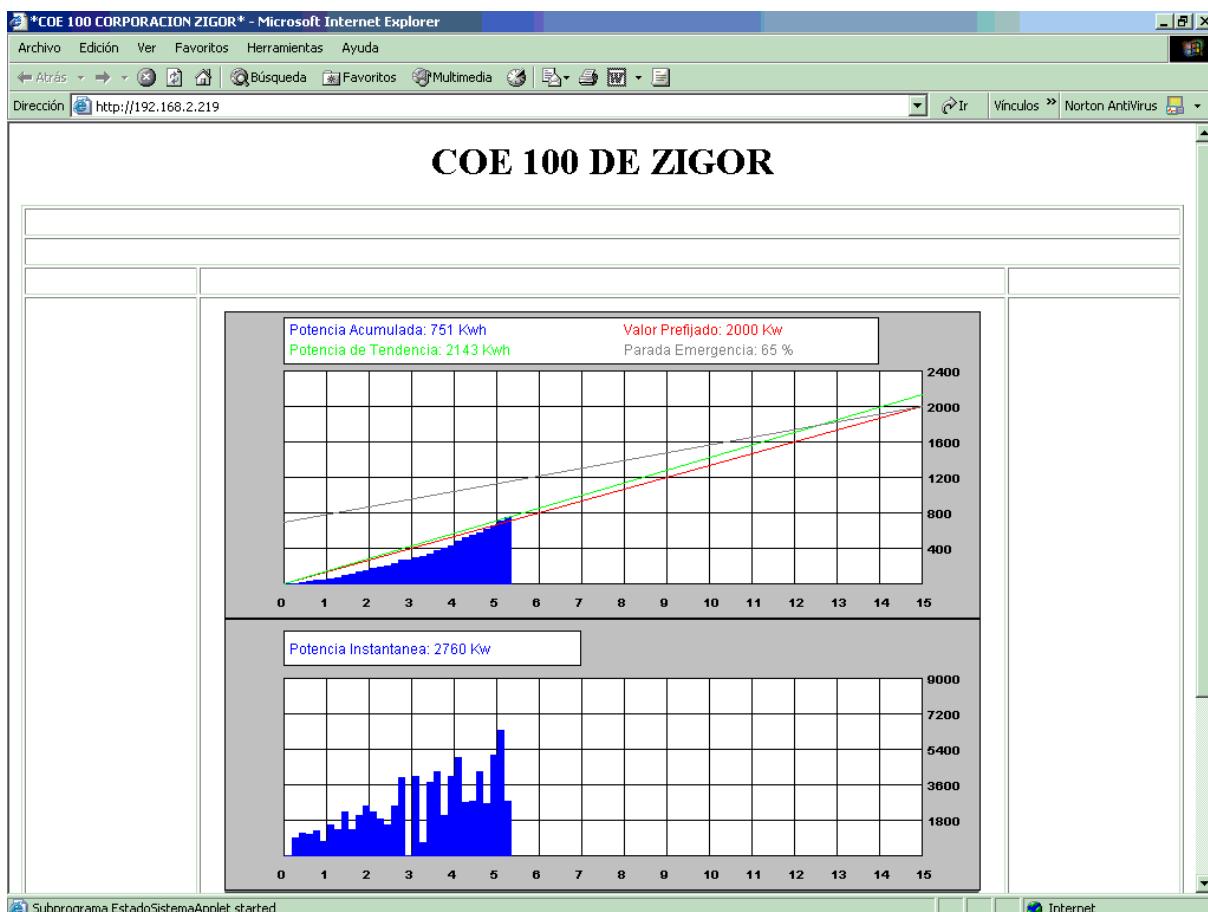
• **La operación es claramente viable, desde el punto de vista de resultados energéticos y de rentabilidad;** además es importante resaltar que la introducción de un sistema gestionador es atractiva respecto a los ahorros energéticos conseguidos, la reducción del impacto ambiental y la mejora notable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

6.11. 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 gestionador 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.



6.12. 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.

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.
- Catalogo Gestionador Energético (GEN) de GOVAL, s.a.
- Especificaciones controlador energético modelo COE - ZIGOR s.a.
- Manual de Alumbrado Phillips.
- Tarifas Eléctricas – Manual de IBERDROLA.

7.1. 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.



7.2. Instalaciones afectadas

1. Se aplicará a las instalaciones de alumbrado exterior, definidas en el artículo 9 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, así como en el apartado 1 de la Instrucción Técnica Complementaria ITC – BT – 09 y Guía Técnica de Aplicación de la misma.

2. Asimismo, se aplicará:

- a) A las nuevas instalaciones, a sus modificaciones y ampliaciones.
- b) A las instalaciones existentes que sean objeto de modificaciones de importancia, reparaciones de envergadura y a sus ampliaciones.

Se entenderá por modificaciones de importancia o reparaciones de envergadura las que afectan a más del 50 por 100 de la potencia instalada.

3. Asimismo, 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.

7.3. Eficiencia energética

1. En el alumbrado exterior se denomina eficiencia energética (EE) a la relación entre la potencia instalada y la superficie iluminada, expresada en W/m^2 , así como también en función del nivel de iluminación (iluminancia y luminancia) mediante las relaciones $W/lux/m^2$ o $W/cd.m^{-2}/m^2$, que se calcularán en el Proyecto o Memoria Técnica de Diseño para cada una de las soluciones luminotécnicas adoptadas.



2. La eficiencia energética será directamente proporcional a la relación R ($R = E/L$) o al nivel de iluminancia (E), e inversamente proporcional a la eficacia luminosa (E_f) de las lámparas implantadas y a los factores de utilización (K) y mantenimiento (f_m) de la instalación de alumbrado exterior, de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$EE \text{ (W/m}^2\text{)} = E / E_{fl} K f_m$$

$$EE \text{ (W/lux/m}^2\text{)} = 1 / E_{fl} K f_m$$

$$EE \text{ (W/cd m}^{-2}/\text{m}^2\text{)} = R / E_{fl} K f_m$$

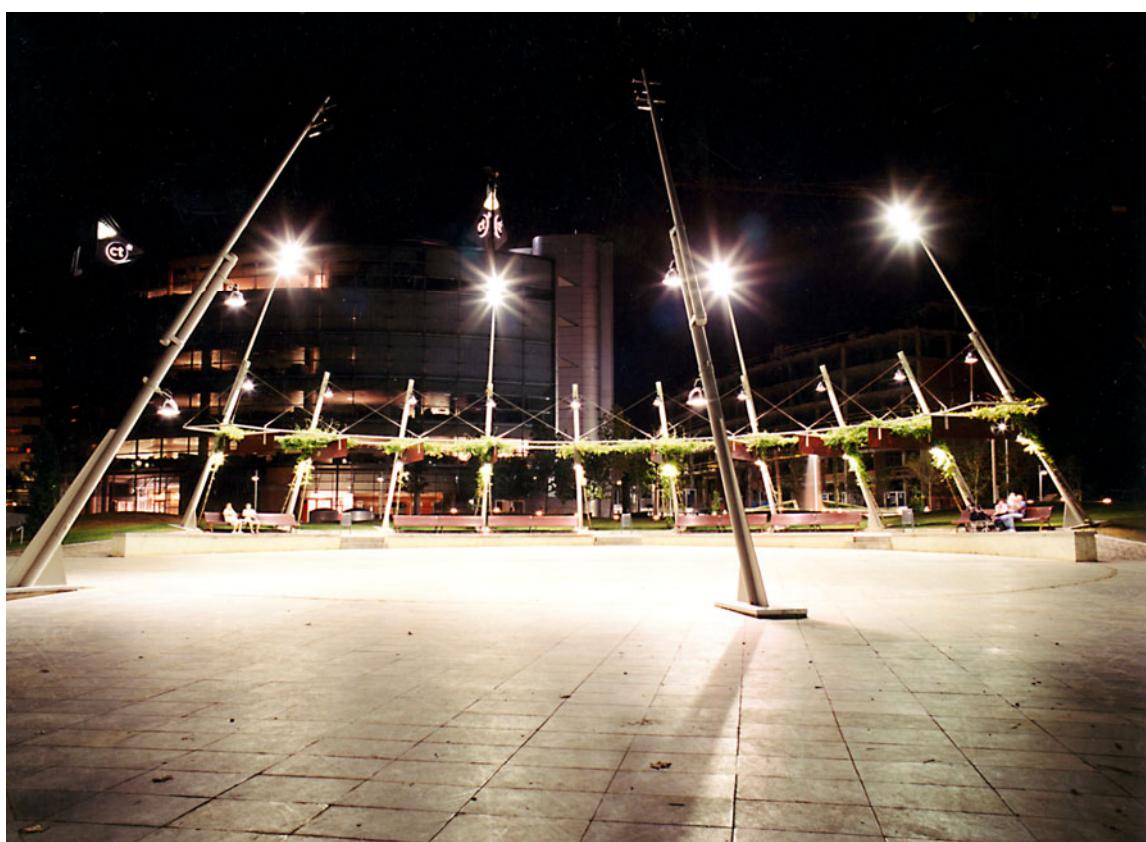
3. En alumbrado vial las eficiencias energéticas máximas (en W/m², W/lux/m² y W/cd.m⁻²/m²) admisibles serán las establecidas en el Anexo I de este capítulo.
4. En los espacios conflictivos, alumbrado de grandes superficies, iluminación ornamental, etc., al objeto de lograr la mayor eficiencia energética, dichas instalaciones de alumbrado exterior se ajustarán a los siguientes extremos:
 - Se iluminará únicamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado.
 - Los niveles de iluminación no deberán superar los valores establecidos en la parte primera del documento TR – EN 13201-1 del CEN y en la norma EN – 13201-2.
 - El factor de utilización de la instalación será el más elevado posible y se ajustará a los valores mínimos establecidos en el Anexo III del presente capítulo.
 - El factor de mantenimiento de la instalación será el mayor alcanzable, y cumplirá los valores mínimos que dispone el citado Anexo III.
 - La relación luminancia/iluminancia deberá ser máxima, de modo que para la misma luminancia, la iluminancia sea lo más pequeña posible.
5. Se tendrán en cuenta los requerimientos de eficiencia energética establecidos en el Anexo I de este capítulo.

7.4. 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 II 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 II, así como lo preceptuado por el mismo en lo referente al tipo de lámparas a instalar.
- Respecto a las características de las luminarias y proyectores, se ajustarán lo dispuesto en el Anexo III.



7.5. 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 II de este capítulo.
- En relación a las luminarias y proyectores se cumplirán lo dispuesto en el Anexo III del presente capítulo.

7.6. Lámparas

1. A excepción de las iluminaciones navideñas y festivas, las lámparas tendrán como mínimo una eficacia luminosa superior a 45 lm/W, y cumplirán lo determinado en los Anexos II y III 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 lámparas 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 III del presente capítulo.



7.7. 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 las Tablas 1 y 2, así como a los condicionamientos técnicos establecidos en el Anexo III de este capítulo.
2. En función del tipo de lámpara, 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 las Tablas 3, 4, y 5 del referido Anexo III.
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 III del presente capítulo.

7.8. 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 lámparas 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 los valores máximos establecidos en la Tabla 6 del Anexo III de este capítulo, debiendo cumplir el resto de requisitos determinados en el apartado 3 del referido Anexo III.

7.9. 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.

7.10. Regulación del nivel luminoso

1. En el alumbrado vial 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.



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 lámparas 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.

7.11. 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.

7.12. 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.

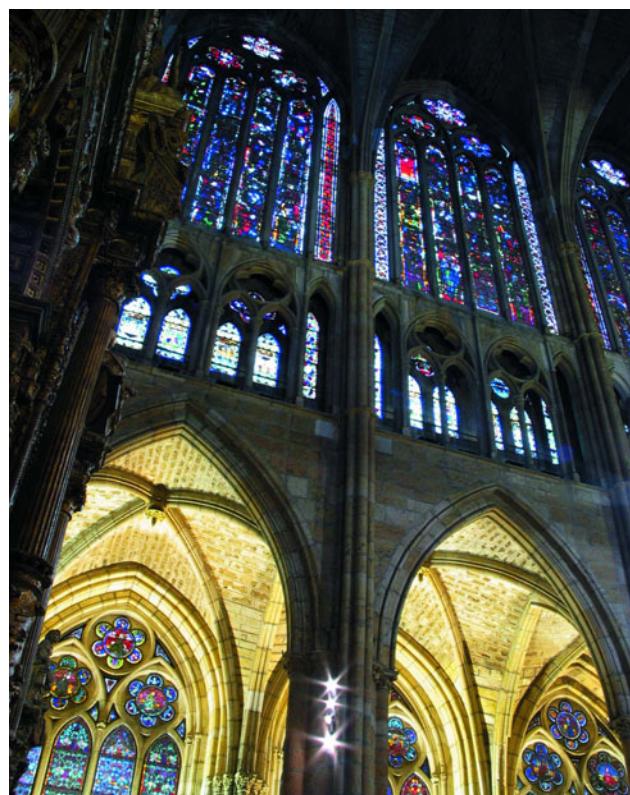
7.13. Cuadros de alimentación

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.

7.14. 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 7.10 y 7.11 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.

7.15. 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 lámparas, 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 7.14 del presente capítulo.
7. La selección del sistema de control de los ciclos de funcionamiento, de acuerdo con los puntos 7.10, 7.11 y 7.12 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-.

7.16. 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.
2. Se considerarán en el transcurso del tiempo de funcionamiento la depreciación del flujo luminoso, mortalidad de las lámparas 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 IV 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 lámparas 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 lámparas, 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 lámparas 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 IV de este capítulo.

ANEXO I. Eficiencia energética

AI.1. Eficiencia Energética

La eficiencia energética EE se evaluará mediante la relación entre la potencia instalada y la superficie iluminada, en vatios entre metros cuadrados (EE en W/m^2), o ratio potencia instalada, nivel de iluminancia en lux y superficie iluminada (EE en $W/lux/m^2$) y, finalmente, relación potencia instalada, luminancia en cd/m^2 y superficie iluminada (EE en $W/cd.m^{-2}/m^2$).

$$EE = W / S \text{ en } W/m^2$$

EE = eficiencia energética (W/m^2).

W = potencia instalada en vatios.

S = superficie iluminada en m^2 .

Por otra parte, la iluminancia (E) en servicio con mantenimiento de la instalación, en función del flujo luminoso instalado (F) emitido por las lámparas, los factores de utilización de la instalación (K) y de mantenimiento (f_m), así como de la superficie iluminada (S) es la siguiente:

$$E = F K f_m / S$$

y, por tanto:

$$F = E S / K f_m$$

Además la eficacia luminosa de la lámpara se define mediante la expresión:

$$E_{fl} = F / W ; F = W E_{fl} ; E_{fl} = E S / K f_m / W = E S / W K f_m$$

Si se opera se obtiene:

$$E = E_{fl} W K f_m / S$$

o lo que es lo mismo:

$$E = W \cdot E_{fl} \cdot K \cdot f_m / S$$

Por tanto

$$EE = W / S = E / E_{fl} \cdot K \cdot f_m \text{ en (W/m}^2\text{)}$$
$$EE = W / E S = 1 / E_{fl} \cdot K \cdot f_m \text{ en (W/lux/m}^2\text{).}$$

Por otra parte: como $R = E / L$; $E = R L$. En consecuencia se verifica:

$$EE = W / S = R L / E_{fl} \cdot K \cdot f_m \text{ en (W/m}^2\text{)}; \text{ es decir,}$$

$$EE = W / L S = R / E_{fl} \cdot K \cdot f_m \text{ en (W/cd.m}^{-2}/\text{m}^2\text{).}$$

donde:

$R = E / L$ que depende de la naturaleza fotométrica del pavimento iluminado y de la distribución luminosa de las luminarias.

Para pavimentos normalizados R2 y R3 según CIE, los valores de R serán los siguientes:

$13 \leq R \leq 16$ para lámparas ovoides de vapor de mercurio.

$11 \leq R \leq 14$ para lámparas tubulares claras de vapor de sodio alta presión y halogenuros metálicos.

La instalación más eficiente será aquella en la que el producto de la eficacia luminosa de las lámparas (E_{fl}) por los factores de mantenimiento (f_m) y de utilización (K) sea máximo, dado que la iluminancia en servicio requerida (E) y la superficie a iluminar (S) y el tipo de pavimento vienen impuestos.

Considerando las características de las lámparas (vapor de sodio a alta presión tubular clara), de las luminarias (rendimiento), así como de la instalación

(factor de utilización), y en función de los niveles luminosos en servicio con mantenimiento de la instalación, la Tabla 1 establece las eficiencias energéticas máximas en W/m^2 , $W/lux/m^2$ y $W/cd.m^{-2}/m^2$ en alumbrado vial para cada tipo de implantación de los puntos de luz (central, unilateral, tresbolillo y bilateral oposición).

Asimismo, se determina la correlación entre los valores de las eficiencias energéticas máximas dispuestas en la Tabla 1 y las que corresponden cuando se instalan lámparas de halogenuros metálicos y de vapor de mercurio.

TABLA 1. Eficiencia Energética.

Lámparas de Sodio a Alta Presión (tubulares claras)

Niveles ⁽¹⁾ de Iluminación		EFICIENCIA ENERGÉTICA Valores máximos en W/m^2 , $W/lux/m^2$ y $W/cd.m^{-2}/m^2$											
		Tipo de Implantación											
Em (lux)	Um (%)	CENTRAL ⁽²⁾			UNILATERAL			TRESBOLILLO			OPOSICIÓN		
		W/m^2	$W/lux/m^2$	$W/cd.m^{-2}/m^2$	W/m^2	$W/lux/m^2$	$W/cd.m^{-2}/m^2$	W/m^2	$W/lux/m^2$	$W/cd.m^{-2}/m^2$	W/m^2	$W/lux/m^2$	$W/cd.m^{-2}/m^2$
30	40	0,90	0,030	0,330 – 0,420	1,20	0,040	0,440 – 0,560	1,25	0,042	0,458 – 0,584	1,30	0,045	0,477 – 0,607
25	40	0,85	0,035	0,374 – 0,476	1,15	0,050	0,506 – 0,644	1,20	0,048	0,528 – 0,672	1,25	0,050	0,550 – 0,700
20	40	0,80	0,040	0,440 – 0,560	1,10	0,055	0,605 – 0,770	1,15	0,058	0,633 – 0,805	1,20	0,060	0,660 – 0,840
15	33	0,65	0,045	0,477 – 0,607	0,90	0,060	0,660 – 0,840	0,95	0,064	0,697 – 0,887	1,00	0,070	0,733 – 0,933
10	30	0,60	0,060	0,660 – 0,840	0,85	0,085	0,935 – 1,190	0,90	0,090	0,990 – 1,260	0,95	0,095	1,045 – 1,330
7,5	25	0,55	0,070	0,807 – 1,030	0,80	0,100	1,174 – 1,494	0,85	0,110	1,247 – 1,587	0,90	0,120	1,320 – 1,680

(1) E_m = iluminancia media en servicio con mantenimiento de la instalación, en lux.

U_m = uniformidad media en %.

El rendimiento de las luminarias, con un grado de hermeticidad IP 65 e IP 66 es $\eta \geq 70\%$ y el factor de utilización varía en función de la relación entre la anchura de la calzada (a) y la altura de implantación (h), de la forma siguiente:

$$a/h = 0,5 \Rightarrow K \geq 20\%; a/h = 1,0 \Rightarrow K \geq 38\%; a/h = 1,5 \Rightarrow K \geq 45\%; a/h = 2,0 \Rightarrow K \geq 50\%$$

(2) Central: implantación en mediana de un soporte con dos luminarias.

Notas:

- La eficiencia energética en $W/cd.m^{-2}/m^2$ se ha obtenido para pavimentos normalizados R2 y R3 según CIE con los valores de R (11 – 14).
- En casos excepcionales debidamente justificados, podrán alcanzarse valores de $1,5 W/m^2$.
- Cuando se utilicen lámparas de halogenuros metálicos las ineficiencias energéticas máximas (W/m^2) de la Tabla 1 deberán mayorarse en un 20 % (multiplicar por 1,20).
- En el supuesto de lámparas de vapor de mercurio, los valores (W/m^2) de la Tabla 1 se incrementarán en un 150 % (multiplicar por 2,50).

En los espacios conflictivos, alumbrado de grandes superficies, iluminación ornamental, etc., la eficiencia energética resultará directamente proporcional a la iluminancia, e inversamente proporcional a la eficacia luminosa de las lámparas y a los factores de utilización y mantenimiento de la instalación.

En consecuencia, dichas instalaciones se ajustarán a los siguientes extremos:

- Se iluminará únicamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado.
- Los niveles de iluminación no deberán superar los valores establecidos en el documento TR – EN 13201 – 1 del CEN y en la norma EN – 13201 - 2.
- Se instalarán lámparas de elevada eficacia luminosa.
- Se implantarán luminarias de alto rendimiento y eficacia fotométrica.
- El equipo auxiliar será de pérdidas mínimas.
- El factor de utilización de la instalación será el más elevado posible.
- El factor de mantenimiento de la instalación será el mayor alcanzable, de conformidad con lo señalado en el Anexo IV.
- La relación luminancia / iluminancia deberá ser máxima, de modo que para la misma luminancia, la iluminancia sea lo más pequeña posible.

Para las implantaciones unilateral y central, la altura del punto de luz (h) 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) deberá ser superior a la mitad de la anchura de la calzada, en consecuencia:

$$h \geq a / 2$$

En el caso de implantación bilateral al tresbolillo la altura del punto de luz (h), en función de la anchura de calzada (a), será la siguiente:

$$0,7 a < h \leq a$$

La implantación central de 2 luminarias mediante un único soporte se llevará a cabo, siempre que la anchura de la mediana no exceda de 6 metros.

En cuanto a la reducción del nivel luminoso, se realizará bien de forma puntual, instalando en el equipo auxiliar de las luminarias balastos electromagnéticos de dos niveles de potencia o balastos electrónicos, o bien en cabecera de línea mediante equipos reductores estabilizadores de tensión.

Los sistemas de encendido y apagado deberán evitar la prolongación innecesaria de los períodos de funcionamiento de las instalaciones.

Siempre que resulte posible, se ejecutará la construcción de los pavimentos de las calzadas con áridos y gravas blancas o claras en proporciones adecuadas, lo que permitirá un elevado coeficiente de luminancia medio o grado de luminosidad que facilitará un porcentaje de ahorro energético.

Desde el instante inicial, se planificará y programará el mantenimiento de las instalaciones, de acuerdo con el valor del factor de mantenimiento adoptado.

La potencia eléctrica que se deberá contratar en los mercados regulado y libre con la Compañía Suministradora, se ajustará a la necesaria, con el fin de evitar un sobrecoste de la facturación en el término de potencia.

Antes de efectuar la contratación del suministro de energía eléctrica, bien en el mercado regulado o en el mercado libre, se realizará un estudio técnico-económico exhaustivo que determine el tipo de contrato que resulte más adecuado y rentable.

En las redes de alumbrado exterior la distribución de cargas deberá estar equilibrada para evitar que un exceso de potencia en una de las fases interrumpa el suministro total.

ANEXO II. Resplandor luminoso nocturno y luz molesta

II.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
E1	ÁREAS CON ENTORNOS O PAISAJES OSCUROS: Observatorios astronómicos de categoría internacional, parques nacionales, espacios de interés natural, áreas de protección especial (red natura, zonas de protección de aves, etc.), donde las carreteras están sin iluminar.
E2	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD BAJA: Zonas periurbanas o extrarradios de las ciudades, suelos no urbanizables, áreas rurales y sectores generalmente situados fuera de las áreas residenciales urbanas o industriales, donde las carreteras están iluminadas.
E3	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD MEDIA: Zonas urbanas residenciales, donde las calzadas (vías de tráfico rodado y aceras) están iluminadas.
E4	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD ALTA: Centros urbanos, zonas residenciales, sectores comerciales y de ocio, con elevada actividad durante la franja horaria nocturna.

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
E1	De categoría internacional y nacional
E2	De estudios académicos y postgrados
E3	De aficionados
E4	De observaciones esporádicas

AII.1.1. Limitaciones de las Emisiones Luminosas

El flujo hemisférico superior instalado FHS_{inst} 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_{inst} (%)
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_p), 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.

$$F \cdot (FHS)$$

2. Flujo emitido hacia el suelo y reflejado por la superficie iluminada.

$$F \cdot \rho_1 \cdot K$$

3. Flujo emitido hacia el suelo y reflejado por los alrededores de la superficie iluminada.

$$F \cdot \rho_2 \cdot (FHI - K)$$

donde ρ_1 y ρ_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 (η) de la luminaria, es decir: $\eta = FHS + FHI$.

Asimismo, se cumple que:

$$FHS_{inst} = \frac{FHS}{\eta}$$

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 ρ_2 .
- Inversamente proporcional al factor de mantenimiento (f_m), de forma que $Fp \downarrow$ cuando $f_m \uparrow$.
- Influenciado por el factor de reflexión de las superficies iluminada y alrededores de la misma (ρ_1 y ρ_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 (f_m) de la instalación será el mayor alcanzable, de acuerdo con lo señalado en dicho Anexo III.

AII.1.2. Lámparas

Al objeto de evitar interferencias a los Observatorios Astronómicos de categoría internacional y nacional, en la Zona E1 se utilizarán preferentemente lámparas prácticamente monocromáticas como las 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 lámparas, 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 lámparas de la mayor eficacia luminosa (lm/W) que se pueda conseguir para los requerimientos cromáticos demandados por la instalación.

AII.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 ($L_{máx}$) 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.

Efectos	Parámetros luminotécnicos	Valores máximos			
		Observatorios astronómicos y parques naturales	Zonas periurbanas y áreas rurales	Zonas urbanas residenciales	Centros urbanos y áreas comerciales
		E1	E2	E3	E4
Sobre los residentes Luz en las ventanas	Iluminancia vertical (E _v)	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
▪ Antes reducción nivel luminoso		1 lux	1 lux	2 lux	5 lux
▪ Despues reducción nivel luminoso					
Luminancia de las luminarias	Intensidad luminosa emitida por las luminarias (I) (1)	2.500 cd	7.500 cd	10.000 cd	25.000 cd
▪ Antes reducción nivel luminoso		500 cd	500 cd	1.000 cd	2.500 cd
▪ Despues reducción nivel luminoso					
Sobre los ciudadanos	Luminancia media de las fachadas (L _m) (2)	5 cd/m ²	5 cd/m ²	10 cd/m ²	25 cd/m ²
	Luminancia máxima de las fachadas (L _{máx})	10 cd/m ²	10 cd/m ²	60 cd/m ²	150 cd/m ²
	Luminancia máxima de rótulos y anuncios luminosos (L _{máx}) (3)	50 cd/m ²	400 cd/m ²	800 cd/m ²	1.000 cd/m ²
Sobre los usuarios de sistemas de transporte	Incremento de umbral de contraste (TI) (4)	Clase de Alumbrado			
		Sin iluminación	ME 5	ME3 / ME4	ME1 / ME2
		TI = 15 % para adaptación a L = 0,1 cd/m ²	TI = 15 % para adaptación a L = 1 cd/m ²	TI = 15 % para adaptación a L = 2 cd/m ²	TI = 15 % para adaptación a L = 5 cd/m ²

(1) Se aplica para cada luminaria en la dirección potencial de la molestia.

(2) Se limita la luminancia excesiva en las fachadas de los edificios, que debe estar acorde con la luminosidad general de la zona. Se calcula multiplicando la iluminancia media (E_m) por el coeficiente de reflexión medio y dividiendo todo ello entre (π).

$$L_m = \rho E_m / \pi$$

- (3) No se aplica para señales de control de tráfico, cuyos valores son los establecidos en la Publicación CIE 74.
- (4) Valores dados para posiciones relevantes y para direcciones de visión en la trayectoria de recorrido, que se adoptan donde los usuarios están sujetos a una reducción en la capacidad para ver información esencial.

Notas: 1.- Los valores de iluminancia vertical en ventanas (E_v) resultan difícilmente alcanzables a una distancia inferior a 5 m de las fachadas, salvo que se instalen paralúmenes.
 2.- Las intensidades de las luminarias (I) son valores que se refieren a zonas, donde potencialmente se origina la molestia, fuera del área que se ilumina.
 3.- Los valores máximos de luminancia de velo (L_v) correspondientes al incremento de umbral (TI) sobre los usuarios de sistemas de transporte, son los siguientes:

ME1 / ME2	ME3 / ME4	ME 5	Vía de tráfico sin iluminación
$L_v = 0,84$	$L_v = 0,40$	$L_v = 0,23$	$L_v = 0,40$

ANEXO III. Componentes de las instalaciones

AIII.1. Lámparas

La elección de las lámparas 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 lámparas.

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 (FDFL), como el factor de supervivencia de la lámpara (FSL), resulten lo más elevados posibles, tal y como se determina en el Anexo IV de este capítulo.

Las variaciones de tensión de la red podrán modificar de modo significativo las prestaciones de las lámparas. 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 lámparas 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-.

AIII.2. Luminarias

En cuanto a medición y presentación de las características fotométricas las luminarias cumplimentarán las normas EN 13032-1 y EN 13032-2, así como lo señalado en la Publicación CIE 121.

En el caso en el que 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.

Cuando la luminaria, dotada de alojamiento para el equipo auxiliar, 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 IV 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 mm² en cobre.

Características fotométricas

En cuanto a la distribución de la intensidad lumínosa, 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 II de este capítulo.

AIII.2.1. Clasificación de las Luminarias

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.

Estas luminarias se podrán clasificar, en función de la capacidad y calidad, en los tipos siguientes: Tipo I, Tipo II y Tipo III, cuyas características principales se han plasmado en la Tabla 1.

TABLA 1.

TIPO DE LUMINARIA	LUMINARIAS FUNCIONALES			LUMINARIAS DE AMBIENTE		
	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO PEATONAL	TIPO (1) ARTÍSTICO	TIPO PROYECTOR
Sistema óptico	Cerrado	Cerrado	Abierto	Cerrado	Cerrado	Cerrado
Fotometría	Regulable	Regulable	Fija	Regulable (R) Fija	Regulable (R) Fija	Regulable (R) Fija
Composición Cuerpo	Inyección aluminio	Inyección aluminio (R) Plásticos técnicos	Chapa aluminio (R) Plásticos técnicos	Inyección aluminio (R) Plásticos técnicos	Aluminio (R) Acero galvan. Plásticos técnicos	Inyección aluminio (R) Inoxidable Plásticos técnicos
Hermeticidad sistema óptico	IP 66	IP 55	IP 23	IP 55	IP 33	IP 54
Seguridad eléctrica	Clase II	Clase II	Clase I	Clase II	Clase II	Clase II
Cierre	Vidrio	Metacrilato	Sin cierre	Vidrio (R) Metacrilato Policarbonato	Vidrio (R) Metacrilato Policarbonato	Vidrio (R) Metacrilato Policarbonato

- (1) Faroles y aparatos de carácter histórico de cuidada estética, idóneos para la implantación en cascos antiguos y zonas monumentales, así como luminarias de diseño de tipología vanguardista.
- (R) Significa que entre las posibilidades establecidas en la tabla, resultan recomendables las que llevan dicho símbolo.

Nota: Todas las luminarias tienen el equipo auxiliar incorporado.

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 ($I_{\text{máx}}$), 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 % $I_{\text{máx}}$)
Estrecho	< 20°
Medio	20° a 40°
Ancho	> 40°

AIII.2.2. Prescripciones de las Luminarias

Las luminarias a instalar cumplirán las siguientes prescripciones:

2.2.1. De conformidad con las situaciones de proyecto (A, B, C, D y E) determinadas en el documento TR – EN 13201-1 del CEN y en la norma EN-13201-2, y según las características de las luminarias, Tabla 1, deberán ajustarse a los valores establecidos en la Tabla 3 para lámparas de vapor de sodio a alta presión (S.A.P.) y halogenuros metálicos (H.M.), en lo referente a:

- *Rendimiento mínimo (η).*
- *Factor de utilización mínimo (K) para diferentes relaciones a/h (altura del punto de luz/anchura de calzada).*
- *Factor de mantenimiento mínimo (f_m).*
- *Flujo hemisférico superior instalado máximo (FHS_{inst}).*

La relación (L/E) luminancia/iluminancia será máxima.

TABLA 3.

TIPO DE LUMINARIA	LUMINARIAS FUNCIONALES				LUMINARIAS DE AMBIENTE					
	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO PEATONAL	TIPO ARTÍSTICO		TIPO PROYECTOR			
RENDIMIENTOS: LÁMPARA S.A.P. y H.M.							DIRECTO	INDIRECTO		
<i>Tubular clara</i> <i>Ovoide opal</i>	$\geq 70\%$ $\geq 60\%$	$\geq 70\%$ $\geq 60\%$	$\geq 65\%$ $\geq 60\%$	$\geq 65\%$ $\geq 60\%$	$\geq 60\%$ $\geq 55\%$	$\geq 40\%$ $\geq 40\%$	$\geq 65\%$ $\geq 50\%$			
FACTOR DE UTILIZACIÓN (*)										
LÁMPARA S.A.P. y H.M.										
<i>Tubular clara</i>										
(1) $a / h = 0,5$	$\geq 20\%$	$\geq 18\%$	$\geq 18\%$	$\geq 18\%$	$\geq 15\%$	$\geq 8\%$	$\geq 15\%$			
$a / h = 1,0$	$\geq 38\%$	$\geq 35\%$	$\geq 30\%$	$\geq 30\%$	$\geq 28\%$	$\geq 15\%$	$\geq 25\%$			
$a / h = 1,5$	$\geq 45\%$	$\geq 40\%$	$\geq 35\%$	$\geq 38\%$	$\geq 33\%$	$\geq 22\%$	$\geq 30\%$			
$a / h = 2,0$	$\geq 50\%$	$\geq 45\%$	$\geq 40\%$	$\geq 42\%$	$\geq 38\%$	$\geq 25\%$	$\geq 35\%$			
<i>Ovoide opal</i>										
(2) $a / h = 0,5$	$\geq 18\%$	$\geq 16\%$	$\geq 15\%$	$\geq 15\%$	$\geq 10\%$	$\geq 8\%$	$\geq 10\%$			
$a / h = 1,0$	$\geq 32\%$	$\geq 30\%$	$\geq 25\%$	$\geq 27\%$	$\geq 25\%$	$\geq 15\%$	$\geq 25\%$			
$a / h = 1,5$	$\geq 37\%$	$\geq 35\%$	$\geq 30\%$	$\geq 32\%$	$\geq 30\%$	$\geq 22\%$	$\geq 27\%$			
$a / h = 2,0$	$\geq 40\%$	$\geq 40\%$	$\geq 35\%$	$\geq 35\%$	$\geq 35\%$	$\geq 25\%$	$\geq 30\%$			
		Años		Años		Años		Años		
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
FACTOR DE MANTENIMIENTO (**)										
Lámpara S.A.P.	$\geq 0,80$	$\geq 0,70$	$\geq 0,75$	$\geq 0,65$	$\geq 0,55$	$\geq 0,45$	$\geq 0,75$	$\geq 0,65$	$\geq 0,55$	$\geq 0,75$
Lámpara H.M.	$\geq 0,65$	$\geq 0,55$	$\geq 0,60$	$\geq 0,50$	$\geq 0,45$	$\geq 0,35$	$\geq 0,60$	$\geq 0,50$	$\geq 0,40$	$\geq 0,60$
Flujo Hemisférico Superior Instalado (****)	$\leq 3\%$		$\leq 5\%$		$\leq 5\%$		$\leq 25\%$	$\leq 25\%$	$\leq 5\%$	
Relación L/E (*****)	L/E máx		L/E máx		L/E máx		L/E máx		L/E máx	

- (1) Si la anchura de la calzada es la mitad de la altura de montaje de las luminarias ($a = h/2$), la luminaria y su disposición geométrica deben ser tales que al menos el 20 % del flujo de la lámpara incida sobre la calzada. Idéntica interpretación corresponde para $a/h = 1$ con 38 %; $a/h = 1,5$ con 45 % y $a/h = 2$ con 50 % para las luminaria Tipo I, para lámpara tubular clara.
- (2) Si la anchura de la calzada es la mitad de la altura de montaje de las luminarias ($a = h/2$), la luminaria y su disposición geométrica deben ser tales que al menos el 16 % del flujo de la lámpara incida sobre la calzada. Idéntica interpretación corresponde para $a/h = 1$ con 30 %; $a/h = 1,5$ con 35 % y $a/h = 2$ con 40 % para la luminaria Tipo II, para lámpara ovoide opal.
- (*) Factor de utilización K correspondiente a la calzada a iluminar. (Depende además de la geometría de la instalación, entendiendo por tal la disposición física de las luminarias en el espacio a iluminar).
- (**) Factor de mantenimiento f_m con limpieza y reposición de lámparas cada 2 y 3 años (8.000 y 12.000 horas) en zonas de contaminación atmosférica comprendida entre alta y media.
- (***) La instalación de las luminarias se efectuará con la inclinación y reglajes establecidos por el fabricante, de forma que el Flujo Hemisférico Superior Instalado, no supere los valores de la tabla y en zona E1 sea igual o inferior al 1 %.

(****) La relación luminancia / iluminancia (L/E) es fundamental y debe intervenir en la evaluación de las prestaciones de las diferentes soluciones propuestas en un proyecto de alumbrado. La luminaria que maximice la relación L/E para un mismo tipo de pavimento, será la de mayor eficacia fotométrica y que menos flujo emitido al cielo genere. (Depende además de la geometría de la instalación, propiedades reflectantes de los pavimentos y de la posición del observador).

Para lámparas de vapor de mercurio, vapor de sodio a baja presión, descarga por inducción y fluorescencia, los valores del rendimiento (η) y factor de utilización (K) de las luminarias serán los establecidos en la Tabla 4, además de procurar que la relación (L/E) luminancia /iluminancia sea máxima y cumplir las limitaciones del flujo hemisférico superior instalado (FHS_{inst}), que dispone la Tabla 3 de este Anexo III, así como la Tabla 3 del Anexo II (Zonas E1, E2, E3 y E4).

TABLA 4. Valores de los rendimientos y factores de utilización de las luminarias que utilizan lámparas de vapor de mercurio, sodio baja presión, inducción y fluorescencia.

TIPO DE LÁMPARA	VAPOR DE MERCURIO	SODIO BAJA PRESIÓN	INDUCCIÓN	FLUORESCENCIA
Rendimientos	$\geq 60\%$	$\geq 55\%$	$\geq 60\%$	$\geq 55\%$
Factor de utilización				
(1) $a/h = 0,5$	$\geq 15\%$	$\geq 14\%$	$\geq 15\%$	$\geq 14\%$
$a/h = 1,0$	$\geq 25\%$	$\geq 22\%$	$\geq 25\%$	$\geq 22\%$
$a/h = 1,5$	$\geq 27\%$	$\geq 25\%$	$\geq 27\%$	$\geq 25\%$
$a/h = 2,0$	$\geq 30\%$	$\geq 28\%$	$\geq 30\%$	$\geq 28\%$

- (1) Si la anchura de la calzada es la mitad de la altura de montaje de las luminarias ($a = h/2$), la luminaria y su disposición geométrica deben ser tales que al menos el 15 % del flujo de la lámpara incida sobre la calzada. Idéntica interpretación corresponde para $a/h = 1$ con 25 %; $a/h = 1,5$ con 27 % y $a/h = 2$ con 30 % para luminarias dotadas de lámparas de vapor de mercurio y descarga por inducción.

En lo referente al mantenimiento con limpieza y reposición de lámparas cada 2 y 3 años (8.000 y 12.000 horas), en zonas de contaminación atmosférica

comprendida entre alta y media, para las luminarias que utilizan lámparas de vapor de mercurio, vapor de sodio a baja presión, inducción y fluorescencia, de acuerdo con los grados de protección del sistema óptico IP 66, IP 55 e IP 23, los factores de mantenimiento (f_m) mínimos serán los establecidos en la Tabla 5.

TABLA 5. Valores mínimos del factor de mantenimiento (f_m) con limpieza y reposición de lámparas cada 2 y 3 años (8.000 y 12.000 horas), en zonas de contaminación atmosférica comprendida entre alta y media, para luminarias con diversos grados de hermeticidad y diferentes lámparas instaladas.

Tipo de lámpara	Grado de Protección					
	IP 66		IP 55		IP 23	
	2 Años	3 Años	2 Años	3 Años	2 Años	3 Años
Vapor de mercurio	≥ 0,65	≥ 0,55	≥ 0,60	≥ 0,50	≥ 0,45	≥ 0,35
Sodio a baja presión	≥ 0,70	≥ 0,60	≥ 0,65	≥ 0,55	≥ 0,45	≥ 0,35
Inducción	≥ 0,65	≥ 0,55	≥ 0,60	≥ 0,50	≥ 0,45	≥ 0,35
Fluorescencia	≥ 0,75	≥ 0,65	≥ 0,70	≥ 0,60	≥ 0,50	≥ 0,40

2.2.1.1. Al objeto de alcanzar los rendimientos η mínimos establecidos en las Tablas 5 y 6, se recomienda que las luminarias de ambiente estén dotadas de sistema óptico.

2.2.1.2. El flujo hemisférico superior FHS, rendimiento η , factor de utilización K, grado de protección IP y demás características para cada tipo de luminaria a instalar deberán ser garantizados por el fabricante, mediante una autocertificación o certificación de un laboratorio acreditado por ENAC u organismo nacional competente.

2.2.1.3. El flujo hemisférico superior instalado FHS_{inst} , el factor de utilización K, el factor de mantenimiento f_m y la relación luminancia / iluminancia (L/E), deberán estar justificados en el proyecto para la solución luminotécnica adoptada. A efectos comparativos se utilizará el mismo tipo de pavimento (matriz de reflexión) en todos los cálculos de luminancia.

AIII.2.3. Prescripciones de los Proyectores

Los proyectores a instalar para alumbrado de aparcamientos al aire libre, fachadas de edificios y monumentos, alumbrado de instalaciones deportivas y recreativas, así como áreas de trabajo exteriores, cumplirán las siguientes prescripciones:

AIII.2.3.1. Parámetros luminotécnicos

En lo que respecta al rendimiento (η), factor de utilización (K), factor de mantenimiento (f_m) y flujo hemisférico superior instalado (FHS_{inst}) se ajustarán a lo siguiente:

- *Rendimiento (η) mínimo:* con lámpara tubular clara 60 % y con lámpara ovoide opal 55 %.
- *Factor de utilización (K) mínimo:* comprendido entre un 20 y un 50 %, con un valor medio del 35 %. Se procurará que el factor de utilización sea lo más elevado posible.
- *Factor de mantenimiento (f_m) mínimo:* comprendido entre $f_m \geq 0,75$ y $f_m \geq 0,65$ para lámparas de sodio alta presión, así como entre $f_m \geq 0,60$ y $f_m \geq 0,50$ para el resto de lámparas, con limpieza y reposición de las mismas respectivamente cada 2 y 3 años (8.000 y 12.000 horas).
- *Flujo hemisférico superior instalado máximo FHS_{inst} :* adecuado a lo establecido en la Tabla 3 del Anexo II (Zonas E1, E2, E3 y E4) del presente capítulo.

AIII.2.3.1.1. Estarán constituidos por sistema óptico con un grado de hermeticidad mínimo IP 55 y recomendable IP 66, con cierre de vidrio, cuerpo de inyección, extrusión o estampación de aluminio, así como de acero inoxidable y fotometría acorde con la iluminación proyectada.

AIII.2.3.1.2. Se instalarán en lo posible proyectores con distribución fotométrica simétrica respecto a un solo plano con cierre de vidrio horizontal, dado que el control del resplandor luminoso nocturno está relacionado con la distribución luminosa utilizada.

- AIII.2.3.1.3. Para el resto de distribuciones luminosas se tendrá en cuenta que, cuanto más concentrante sea la distribución luminosa, es decir, con una apertura transversal débil, mayor será el control de la luz y, por tanto, resultará más sencillo limitar el resplandor luminoso nocturno.
- AIII.2.3.1.4. El flujo hemisférico superior FHS, rendimiento η , factor de utilización K, 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 nacional competente.
- AIII.2.3.1.5. El flujo hemisférico superior instalado FHS_{inst} , factor de utilización K y el factor de mantenimiento f_m deberán estar justificados en el proyecto para la solución luminotécnica adoptada.

AIII.2.3.2. Iluminación de superficies horizontales

En el caso de iluminación de aparcamientos, grandes espacios, instalaciones deportivas y recreativas, áreas de trabajo exteriores, espacios conflictivos, etc., se cumplirá lo siguiente:

- AIII.2.3.2.1. El ángulo de inclinación en el emplazamiento, que corresponde al valor de $I_{máx}/2$ situado por encima de la intensidad máxima ($I_{máx}$) emitida por el proyector, se recomienda sea inferior a 70° respecto a la vertical. Es decir, que la inclinación de la intensidad máxima ($I_{máx}$) aconsejada debe ser inferior a:
- ✿ 60° para un proyector cuyo semiángulo de apertura por encima de la $I_{máx}$ sea de 10° .
 - ✿ 65° para un proyector cuyo semiángulo de apertura por encima de la $I_{máx}$ sea de 5° .

No obstante, en todo caso, el ángulo de inclinación correspondiente a la intensidad máxima ($I_{máx}$) será inferior a 70° respecto a la vertical.

- AIII.2.3.2.2. La intensidad en ángulos superiores a 85º emitida por el proyector, se limitará a 50 cd/klm como máximo y, siempre que sea posible, resultará inferior a 10 cd/klm.

AIII.2.3.3. Iluminación de superficies verticales

- AIII.2.3.3.1. En la iluminación ornamental de fachadas, monumentos y, en general, superficies verticales, siempre que resulte factible, se implantarán los proyectores elevados y su apuntamiento se realizará por debajo de la horizontal.

El apuntamiento por encima de la horizontal deberá justificarse técnicamente para su instalación.

- AIII.2.3.3.2. 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 y, siempre que resulte posible, será inferior a 10 cd/klm.

AIII.3. Equipos auxiliares

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 lo que 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 lámparas 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 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.

Las pérdidas en los conjuntos equipo auxiliar y lámpara de descarga no superarán los valores determinados en la Tabla 6.

TABLA 6. Potencia máxima conjunto lámpara y equipo auxiliar.

POTENCIA NOMINAL DE LÁMPARA (W)	Potencia total del conjunto			
	SODIO ALTA PRESIÓN (W)	HALOGENUROS METÁLICOS (W)	SODIO BAJA PRESIÓN (W)	VAPOR DE MERCURIO (W)
18	--	--	23	--
35	--	--	42	--
50	62	--	--	60
55	--	--	65	--
70	84	84	--	--
80	--	--	--	92
90	--	--	103	--
100	116	116	--	--
125	--	--	--	139
135	--	--	163	--
150	171	171	--	--
180	--	--	208	--
250	277	270 (2,15A) 277 (3A)	--	270
400	435	425 (3,5A) 435 (4,6A)	--	425

Nota: Ensayo según norma EN 60923: 1997 y a Tensión nominal de red de 230 V.

Estos valores se aplicarán a los balastos estándares de mercado (los balastos de ejecución especial no están contemplados, p. ej. "secciones reducidas, balastos de doble nivel").

Las pérdidas del conjunto equipo auxiliar y lámpara fluorescente se ajustarán a los valores admitidos por el Real Decreto 838/2002 de 2 de Agosto, que constituye la transposición de la Directiva 2000/55/CE "Eficiencia energética de los balastos para lámparas fluorescentes".

ANEXO IV. Mantenimiento de las instalaciones

AIV.1. Mantenimiento de las instalaciones

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 lámparas.
- El ensuciamiento de las lámparas 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 lámparas.
- 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.

AIV.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 lámpara, 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 lámparas, de su supervivencia y de depreciación de la luminaria, de forma que se verificará:

$$f_m = FDFL \cdot FSL \cdot FDLU$$

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:

$$f_m = FDFL \cdot FSL \cdot FDLU \cdot FDSR$$

La causa del mayor descenso de los niveles de iluminación será, en general, la suciedad de las lámparas 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 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

AIV.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 lámparas-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 lámparas 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 lámparas.

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 (f_m).

AIV.2.1. Clasificación de los Trabajos de Mantenimiento

Los trabajos de mantenimiento a realizar en las instalación de alumbrado exterior se clasificarán en preventivos y correctivos.

Por "Trabajos de Conservación Preventiva" se entenderán los concernientes a:

- Reemplazamientos masivos de lámparas con un nivel de iluminación por debajo del establecido.
- Operaciones de limpieza de luminarias, soportes y pintura de los mismos.
- Trabajos de inspección y mediciones eléctricas.

Por "Trabajos de Conservación Correctiva" se definirán los de:

- Renovación, modificación o mejoras de instalaciones.
- Reparaciones que sea necesario o conveniente realizar.

- Sustitución puntual de lámparas 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.

AIV.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 lámparas, 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) Lámparas

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 oxidacióncon cada cambio de lámpara

Control de los sistemas mecánicos de fijacióncon cada cambio de lámpara

d) Cuadros de alumbrado

Control del sistema de encendido y apagado de la instalación1 vez cada seis meses

Revisión del armario1 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 alimentación1 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 tierra1 vez al año

Control del sistema global de puesta a tierra de la instalación.....1 vez al año

Comprobación del aislamiento de los conductoresde 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 pintado cada 5 años

Cuando en el transcurso del tiempo coincidan la reposición de lámparas y la limpieza de luminarias, ambas operaciones se ejecutarán de forma simultánea. La reposición masiva de lámparas 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 lámparas 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.

AlV.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.

8.1. Introducción

Si en los años 70 la lámpara de descarga en vapor de sodio de alta presión constituyó una revolución en el mundo del alumbrado, que posteriormente se vio complementada por otros tipos de lámparas de descarga con otras características particulares que han proporcionado enormes posibilidades de aplicación, han tenido que transcurrir más de 30 años para que otra nueva tecnología, diferente de la hoy en día (ya tradicional de las citadas lámparas), permita vislumbrar un futuro prometedor y sobre todo muy diferente.

Dicha tecnología novedosa es la de los **elementos componentes de estado sólido (LED)** y dadas sus posibilidades ofrecerá un panorama muy diferente del actualmente existente, permitiendo obtener productos más pequeños, más ligeros, más fríos y más brillantes, productos que tendrán un bajo consumo energético, serán más "divertidos" de usar, permitirán aumentar la creatividad y, sobre todo, añadirán de modo formal y común los colores, que tanto predominan en nuestra vida, al mundo del alumbrado artificial.

El rápido desarrollo de los LEDs (*Light Emitting Diodes*) como nuevas fuentes de emisión luminosa ha permitido que de ser consideradas simplemente indicadores luminosos, pasen a ser habitualmente empleadas en sistemas de señalización luminosa y se inicie su introducción en los sistemas de alumbrado e iluminación.

Esto ha sido posible por la elevada vida media de los LEDs de las últimas generaciones, el notable incremento de su luminosidad y el mantenimiento de su reducido consumo, dando lugar a sistemas altamente eficaces energéticamente y de bajo coste de mantenimiento.

Su empleo en los sistemas de iluminación ha sido bastante limitado hasta la actualidad, dado que los niveles de iluminación necesarios son muy elevados y los

requerimientos en cuanto a la "calidad visual" de la iluminación que produce cualquier fuente luminosa empleada para iluminación convencional, exige altas prestaciones en cuanto a:

- ✿ aspecto del color de dicha luz (temperatura de color de la fuente),
- ✿ índices de reproducibilidad cromática,
- ✿ posibilidad de control de los haces luminosos, y
- ✿ confort visual: reducción de deslumbramientos molestos directos e indirectos.

Todos estos aspectos quedan cubiertos, como veremos más adelante, por los LEDs de última generación:

- ✿ altas temperaturas de color,
- ✿ contribución de emisión luminosa de todo el espectro visible, y
- ✿ elevadas intensidades y posibilidad de agrupación e incorporación de elementos ópticos que permitan regular, direccionar y apantallar la iluminación según convenga para cada aplicación.

A todo ello hay que añadir otras ventajas adicionales muy importantes:

- ✿ **alta vida media** (bajos costes de trabajos de mantenimiento y reposición), y
- ✿ **reducido consumo energético** (disminución en los costes de mantenimiento de las instalaciones e incluso posibilidad del empleo de baterías).

En el presente capítulo se pretende realizar una introducción a la Tecnología LED, así como sus ventajas respecto a otras tecnologías en el mercado, y las posibles aplicaciones en el ámbito del alumbrado.

Para finalizar se detallan algunos datos energéticos relevantes sobre el impacto energético del uso de leds como posible herramienta de ahorro energético en el alumbrado.

8.2. La Tecnología LED

8.2.1. ¿Qué es un LED?

Un **LED**, (*Light Emitting Diodes*) definido por la contracción de las primeras letras de su nombre en inglés, es un **Diodo Electro Luminiscente**, y éste es un dispositivo electrónico conocido desde hace muchos años, cuya luminiscencia, debido al escaso flujo luminoso emitido, lo hacía útil para su empleo en la señalización o balizamiento.

A partir de este dispositivo conocido, se ha desarrollado muy recientemente un producto, que pertenece a la tecnología de los LED, de elevado flujo luminoso o alta luminosidad que supone un puente que salva el espacio entre la tecnología de los LED de estado sólido y el mundo del alumbrado. El desarrollo clave de esta transformación fue el descubrimiento de las características y prestaciones de un LED de Nitruro de Galio que hizo posible obtener luz blanca de un semiconductor.

8.2.2. ¿Son todos los LED iguales?

Evidentemente no.

Mientras un LED tradicional se fabrica utilizando una pequeña pastilla o chip montada en una pieza de resina de tipo óptico, la fabricación de un LED de los denominados de alta luminosidad o de alta potencia responde a un proceso muy complejo, que requiere entre otras cosas una serie de reacciones físico-químicas, tales como las de:

- ✿ situar un substrato semiconductor en una cámara de vacío y calentarlo a 900-1100º C;
- ✿ introducir después gases que al fluir sobre el substrato reaccionan entre sí para producir las capas que constituyen el dispositivo acabado. Dichos gases

deben romperse dejando solamente el elemento deseado, por ejemplo galio sin ningún contaminante.

Así un LED de alta luminosidad podría tener hasta 40 capas incluyendo un apilamiento de cinco o diez pozos en los que los electrones y los agujeros se combinan para producir luz. Estos pozos de 3-4 mm de espesor están separados por capas de barrera y emparedados.

Para aclarar las ideas, mientras un LED tradicional o convencional emite aproximadamente del orden de 3 a 5 lúmenes, un LED de alta luminosidad, denominado también de alta potencia, emite a su vez entre 5 y 50 lúmenes, con un flujo unitario en el caso de luz de color blanco del orden de 18 lúmenes por emisor.

Para una mejor comprensión de las diferencias entre ambos tipos, se recogen a continuación la forma y características de un LED tradicional y de otro de alta luminosidad.

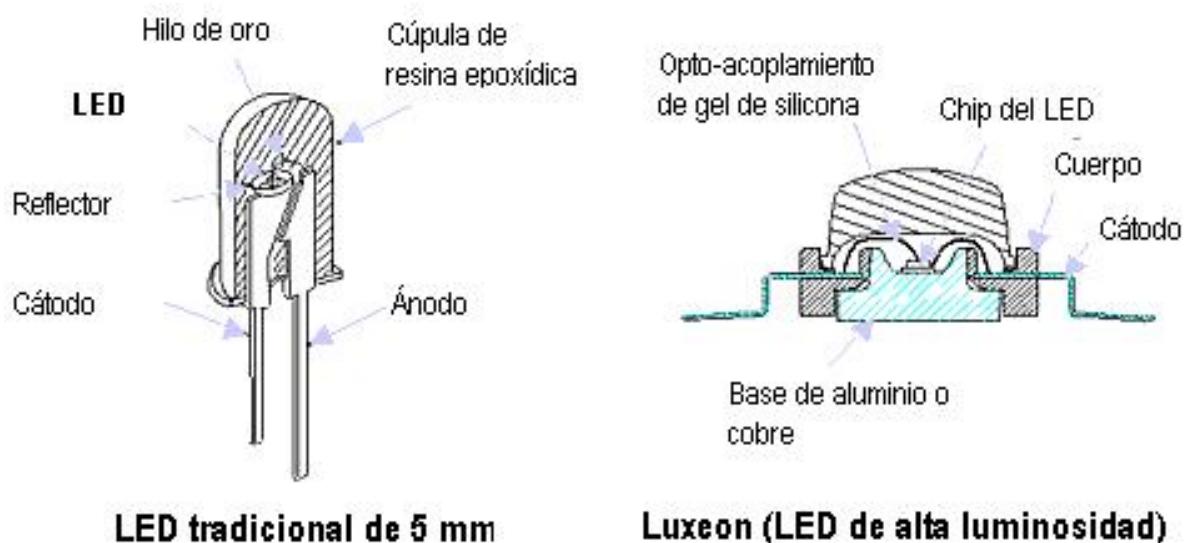


Figura 1. Esquema de LED tradicional y de alta luminosidad.

Tal y como se aprecia en la Fig. 1, el LED tradicional de la parte izquierda de la figura es muy sencillo de composición, siendo su principal inconveniente las

enormes limitaciones que presenta, debido fundamentalmente a su muy limitada capacidad de disipación térmica, lo que restringe enormemente la corriente de funcionamiento.

En cuanto al LED de alta luminosidad, la característica de su enorme disipador térmico denominado en el dibujo, como base de aluminio o cobre, le permite mejorar enormemente las propiedades de disipación de calor. La consecuencia inmediata es que soporta una mayor corriente, que posee una mayor superficie emisora de luz y proporcionalmente un mayor flujo luminoso.

En particular, el LED indicado en la parte derecha de la figura es de 1 W de potencia, tiene una superficie de 1 mm² para emisión luminosa, funciona a 350 mA y genera 25 lúmenes, lo cual contrasta enormemente con el LED que aparece en la izquierda, que tiene una potencia < 0,1 W, una superficie de 0,25 mm², una corriente de 20-30 mA y un flujo luminoso de 1-2 lúmenes.

8.2.3. ¿Cuáles son las características más importantes de un LED de alta luminosidad?

Las características más importantes, desde el punto de vista de su aplicación a sistemas de iluminación, son:

- ✿ **Larga vida útil**

Con relación a la vida, un LED puede funcionar durante un período de tiempo que oscila entre las 50.000 y las 100.000 horas, de modo similar a la lámpara de vapor de mercurio, puede emitir luz durante toda su vida, pero lo importante de su vida útil es la posibilidad de emitir el mayor flujo luminoso útil durante la mayor parte de tiempo.

Como consecuencia las operaciones de mantenimiento y reemplazamiento se verán drásticamente reducidas, pues no serán prácticamente necesarias durante períodos superiores a 10 años.

● **Emisión luminosa**

En cuanto a la emisión luminosa, los avances tecnológicos producidos en los últimos años en este tipo de dispositivos los sitúan en una posición privilegiada con respecto a las lámparas tradicionales.

● **Depreciación luminosa**

La escasísima depreciación luminosa de los LED de alta luminosidad proporciona una alternativa de fuente de luz práctica que contrarresta los elevados costes de mantenimiento de las lámparas convencionales.

Del mismo modo que este aspecto ha contribuido notablemente a la sustitución de las lámparas incandescentes en los semáforos y señales de tráfico, por este tipo de dispositivos, se espera que conduzca a la adopción de esta tecnología también en el mundo de la iluminación.

● **Calidad de luz**

Con los últimos perfeccionamientos en los dispositivos LED de alta luminosidad se ha conseguido una excelente calidad de luz, tanto coloreada como blanca. Dicha luz está libre de UV (ultravioletas) e IR (infrarrojos). Los colores son muy saturados y casi monocromáticos. En general para obtener la luz blanca se utiliza, o bien la mezcla de dispositivos rojo, verde y azul, o bien un fósforo sobre un determinado color, generalmente sobre el azul. El rendimiento cromático y la eficacia luminosa han mejorado significativamente en los últimos tiempos.

● **Alumbrado urbano**

En cuanto al aspecto de dinamicidad del futuro alumbrado urbano de nuestras ciudades, las características eléctricas de los LED permitirán una regulación total sin variación de color, un encendido instantáneo a todo

color, un cambio dinámico de color e incluso una sintonización de punto blanco desde 2700 K a 5000 K.

◆ Consideraciones especiales de diseño

Entre las características más aprovechables de los LED están su compacto tamaño, la naturaleza direccional de la luz, los elevados rendimientos de gestión térmica y los avances tecnológicos que permiten una creciente emisión luminosa, por lo que se ofrecen nuevas oportunidades para los diseñadores. Para una mejor comprensión de estas ventajas, a continuación se resumen los aspectos más interesantes para su utilización:

- Ganancias en el flujo emitido.
- Control de la luz.
- Gestión térmica.

Además de los enormes incrementos de flujo luminoso que se han producido en los últimos meses, en los que se van reduciendo sus pérdidas térmicas, que han ido evolucionando desde un 80 % que suponían en un pasado no muy lejano, a una proporción muy inferior en nuestros días y con esperanzas de reducirlas enormemente en un futuro próximo.

La aparición de los LED de alta luminosidad ha modificado sustancialmente el nuevo diseño de las luminarias que incorporen estos dispositivos, que además se verán beneficiadas por la duración de un ciclo de vida de las luminarias de cinco a siete años sin necesidad de hacer ninguna operación de mantenimiento sobre ellas.

Al mismo tiempo, la direccionalidad de su emisión y su pequeño tamaño abren nuevas vías al desarrollo de sistemas ópticos con un elevadísimo control de la distribución luminosa, mejorando notablemente las eficiencias conjuntas de fuente de luz convencional y luminaria.

En las dos fotografías que se acompañan, se aprecia la direccionalidad conseguida con dispositivos ópticos especialmente diseñados



Foto 1.

8.3. Aplicaciones

Actualmente los LED de alta luminosidad están encontrando ya su espacio natural en el mundo del alumbrado. Por ejemplo, las versiones coloreadas están reemplazando masivamente a las fuentes incandescentes con filtros, en el alumbrado de señalización en edificios o en las pistas de aeropuertos, en alumbrados de detalle arquitectónicos o cualquier otro alumbrado direccional.

Sirva como ejemplo de las ventajas el ejemplo de un semáforo convencional de luz roja que emplea una lámpara incandescente de 135 W. A los 2000 lúmenes producidos hay que restarle aproximadamente el 90 % del filtro rojo, con lo que el flujo en color rojo alcanza justo los 200 lm. 12 LED de 1 W pueden producir la misma cantidad de luz. Cálculos similares pueden hacerse en el caso del ámbar y el verde.

A continuación, y como ejemplo se han recopilado algunas de las aplicaciones más habituales de estos dispositivos emisores de luz.

8.3.1. Alumbrado interior

En este tipo de aplicaciones, los aspectos más interesantes para su utilización son:

- La flexibilidad de diseño, que permite conceptos de iluminación alternativos a los ya conocidos, dado que la fuente de luz puede ser fácilmente dividida en múltiples puntos luminosos distribuidos en una superficie o situados en múltiples planos.
- Como casi el 100 % de la luz emitida es direccional el uso de la luz resulta más eficiente sobre el objetivo que una lámpara convencional que emite luz en todas direcciones. Así, a grandes rasgos la luz de un LED resulta 10 veces más eficiente que la de una lámpara actual.
- La ausencia de UV o IR en el haz luminoso hace que la luz de los LED sea más adecuada para su empleo en interiores pues causará menos trastornos sobre los artículos expuestos.
- La robustez de estos dispositivos, su resistencia a las vibraciones, hace que sean mucho menos frágiles y, por tanto, se reducen enormemente los costes de mantenimiento.

8.3.2. Alumbrado exterior

En las aplicaciones de iluminación exterior, los aspectos más interesantes son:

- **Elevada duración de vida**, con lo que las operaciones de mantenimiento se pueden distanciar en el tiempo o incluso eliminar con respecto a las de las lámparas convencionales. No hay que olvidar que mientras en los LED la vida supera las 75000 horas, la mayor duración de vida de las lámparas convencionales es de 24000 horas.
- **Poder para direccionar la luz** gracias al pequeño tamaño de los dispositivos emisores de luz, como ya se ha explicado previamente, que da origen a conseguir iluminaciones semejantes a las aquí recogidas.
- **Reducido consumo energético** (disminución en los costes de mantenimiento de las instalaciones e incluso posibilidad del empleo de baterías).



Foto 2.

8.4. Algunos datos energéticos de interés

A modo de resumen, se detalla a continuación algunos datos interesantes sobre el consumo energético relacionado con la iluminación: (fuente del IDAE, Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía):

- La iluminación es la causa del 6 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en España.
- El comercio y los hogares se reparten casi a partes iguales el 53 % del consumo de energía final que se destina a iluminación, mientras que el alumbrado público supone el 9 %.
- El funcionamiento de las 4,2 millones de luminarias repartidas por toda España supone actualmente el 42 % del consumo eléctrico del sector de servicios públicos. La inversión en su mejora ahorraría un 30 % de este consumo.
- Iluminar nuestras casas supone casi la quinta parte (18 %) de la factura eléctrica anual de los hogares españoles.
- Cambiando las bombillas incandescentes por lámparas de bajo consumo, esta factura podría reducirse entre un 60 % y un 80 %.

La concienciación en la calle cala más rápido si nos ponemos manos a la obra en nuestros espacios privados. Además, nuestros hogares son los responsables del mayor consumo de energía final por iluminación después del comercio, ya que, respectivamente, suponen el 26 % y el 27 % del total.

La iluminación de hogares, calles, comercios y edificios es la responsable directa del 3 % del consumo de energía final en España y la causa del 6 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de origen energético.

Ello supone la emisión a la atmósfera de 16,38 millones de toneladas de CO₂ al año.

Pero, según los expertos, si todos aplicáramos las medidas más sencillas de ahorro y racionalización del consumo de energía, se podrían ahorrar casi 3 millones de toneladas.

El 80 % del esfuerzo correspondería a los sectores, residencial, de comercio y servicios.

El 20 % restante se ganaría con mejoras en el alumbrado público, entre las que podría destacar:

- ✿ Contemplar la sustitución de luminarias por lámparas de leds.
- ✿ Decoración Navideña con tecnología LED.
- ✿ Sustitución masiva de elementos semafóricos.
- ✿ Gestión Centralizada del Alumbrado Público.

8.5. Perspectivas futuras

Como resumen, sería conveniente recordar algunos puntos fundamentales que transformarán favorablemente nuestra situación futura, tanto en cuanto a recursos, como en cuanto a medio ambiente como consecuencia de la utilización de los LED como fuente luminosa en alumbrado.

Algunos de ellos son:

- Según las perspectivas de desarrollo previstas, para el año 2007 se alcanzarán más de 75 lm/W para cada emisor.
- Además, dado que desprendrán mucho menos calor que las fuentes convencionales, se ahorrará sustancialmente en acondicionamiento de aire en edificios.
- Basándose en los dos puntos anteriores, **La Asociación de Desarrollo de la Industria Optoelectrónica predice que la iluminación con LED en el año 2020 podría en Estados Unidos ahorrar del orden de 100 billones de dólares o de euros, reduciendo las emisiones de CO₂ en 28 millones de toneladas al año.**
- La **ausencia de mercurio** favorecerá notablemente la eliminación de esta sustancia tóxica para el medio ambiente al eliminarse paulatinamente su consumo en un futuro próximo.
- El **ahorro energético producido por el uso masivo de la tecnología LED**, como se puede apreciar en la Tabla 1:

TABLA 1.

Pot. Bombilla incandescente a sustituir (W)	Pot. Placa de LEDs (W)	Ahorro en consumo en kWh durante la vida útil de la placa (75.000 h)	Ahorro en Factura Eléctrica (€)	Ahorro en Emisiones de CO ₂ (kg de CO ₂)
40	9	2.325	232,5	1.163
60	11	3.675	367,5	1.838
75	15	4.500	450	2.250
100	20	6.000	600	3.000
150	32	8.850	885	4.425

Nota: Coste estimado de 0,1 € por kWh.

Es evidente que con estas predicciones y realidades, deberíamos de confiar en que el futuro, el uso de la tecnología LED en el alumbrado tanto público como de interior puede depararnos agradables sorpresas.