



Criterios que mejoran la calidad del servicio y la eficiencia energética en el alumbrado público municipal a lo largo de todo su ciclo de vida

Autor: Carlos de la Fuente Borreguero

Institución: Universidad Alfonso X El Sabio

Otros autores: Esther Guervós Sánchez (Universidad Alfonso X El Sabio);
Marta Beatriz García García (Universidad Alfonso X El Sabio)

Resumen

El alumbrado público es un servicio cuya importancia no reside en los elementos que la componen, sino en su funcionamiento y las prestaciones que es capaz de facilitar a los ciudadanos.

Establecer los criterios de calidad requiere identificar los factores de los que depende y que abarcan todo el ciclo de vida, desde el planteamiento inicial sobre la necesidad de la iluminación hasta el momento del desmontaje.

Las prestaciones de una instalación de alumbrado público experimentan una disminución a lo largo del tiempo y, por tanto, una merma de la calidad del servicio, a causa del envejecimiento propio de sus componentes, fallos, averías y de la acción de agentes externos (climáticos, obras en la vía pública, etc.). El objeto de los planes de mantenimiento es minimizar sus consecuencias y mantener la calidad del servicio y su eficiencia energética.

Palabras clave: Alumbrado público, servicio público, criterios de calidad, eficiencia energética

ABSTRACT:

Street lighting is a service whose importance lies not in its parts, if not in its operation and performance which is capable of providing citizens.

Establish quality criteria required to identify factors on which it depends, covering the entire life cycle, from the initial focus on the need for lighting to the time of removal.

The performance of a public lighting installation experience a decrease over time and hence a decline in service quality due to aging of its own components, faults, failures and action external agents (climate, works in public, etc.). The purpose of the maintenance plans to minimize its consequences and maintain quality of service and efficiency.

KEY-WORDS: Public lighting, public service, quality criteria, energy efficiency

SUMARIO: 1. Introducción, 2. La necesidad del servicio de alumbrado público, 3. Seguridad e iluminación, 3.1. Alumbrado y accidentes, 3.2. Alumbrado y agresiones, 4. Planificación del servicio de alumbrado público, 4.1 Calidad del servicio, 4.2 Sostenibilidad y eficiencia energética, 4.3. Mantenimiento y explotación de la instalación, 5. Proyecto, 5.1. Clasificación de las vías y determinación de los niveles de iluminación, 5.2. Cálculos fotométricos y elección del sistema de iluminación, 5.3. Fuentes de luz, 5.4. Luminarias, 5.5. Equipos auxiliares, 5.6. Instalación eléctrica, 5.7. Cálculo del coste de explotación, 6. Ejecución de la obra, 6.1. Replanteo, 6.2. Control y vigilancia de la obra, 6.3. Recepción de las obras, 7. Explotación del servicio, 7.1. Causas de la disminución de prestaciones de las instalaciones de alumbrado público, 7.2. Principales operaciones que comprende el servicio de mantenimiento y explotación de las instalaciones de alumbrado público, 8. Desmontaje y eliminación de residuos, 9. Bibliografía

SUMMARY: 1. Introduction, 2. The need for public lighting, 3. Security and lighting, 3.1. Lighting and accidents, 3.2. Lighting and assaults, 4. Planning public lighting service, 4.1. Quality of service, 4.2 Sustainability and energy efficiency, 4.3. Maintaining and operation of the installation 5. Project 5.1. Classification and determination pathways of light levels, 5.2. Photometric calculations and choice of illuminated, 5.3. Light sources, 5.4. Luminaries, 5.5. Auxiliary equipment, 5.6. Electrical, 5.7. Operating costing, 6. Execution of the work, 6.1. Stakeout, 6.2. Control and monitoring of the work, 6.3. Receiving works, 7. Activity tax, 7.1. Causes of decreased performance of installations of lighting, 7.2. Principal transactions comprising the maintenance and operation of public lighting installations, 8. Dismantling and disposal, 9. Bibliography.

1.- Introducción

El alumbrado público constituye un servicio cuya importancia reside en los elementos que componen la instalación, su funcionamiento y las prestaciones que es capaz de facilitar a los ciudadanos: la iluminación que proporciona (nivel y calidad), periodos efectivos de funcionamiento, espacios urbanos que abarca, etc., es decir, sus condiciones de servicio en relación con las necesidades del ciudadano (1).

Por esta razón, el servicio de alumbrado público no puede limitarse exclusivamente al momento de su puesta en servicio, sino que han de establecerse consideraciones sobre todos los factores de los que depende y que abarcan todo su ciclo de vida: planteamiento de la necesidad, redacción del proyecto, ejecución de la obra, explotación y, por último, el desmontaje y la eliminación de los residuos.

2.- La necesidad del servicio de alumbrado público

Es obligación de los Ayuntamientos dotar los espacios urbanos del servicio de alumbrado público. La ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local, así lo establece en su artículo 26 (2).

Los principales objetivos que debe cumplir el alumbrado público (3) son:

- Garantizar la seguridad y el confort de los usuarios que desarrollan su actividad en la zona.
- Incrementar la actividad comercial y turística.
- Reducir el número de accidentes.
- Mejorarla estética del paisaje.

La necesidad de iluminar convenientemente las vías y espacios de un núcleo de población es, actualmente, una necesidad incuestionable. No obstante, debe realizarse en base a un estudio detallado sobre sus condiciones de tráfico, actividad comercial, ocio, etc. y en base a ello establecer los niveles luminosos y uniformidades, horas de funcionamiento, características de la fuente de luz, regulación de flujo, etc.

3.- Seguridad e iluminación

El primer objetivo del alumbrado público es garantizar la seguridad y el confort de los usuarios que desarrollan su actividad en la zona. Existe una relación directa entre los niveles del alumbrado público, los accidentes y las agresiones a los ciudadanos.

3.1.- Alumbrado y accidentes

La tendencia actual es la de iluminar o mejorar la iluminación en los viales que ya disponen de alumbrado, con objeto de mejorar la visibilidad y disminuir los accidentes

de tráfico, sobre todo en tramos urbanos. En base a estudios estadísticos se demuestra que la iluminación de los viales reduce los accidentes de tráfico con víctimas mortales en un 65% y en un 30% el de accidentes con heridos (4).

Los primeros estudios sobre la influencia del alumbrado de carreteras en el número de accidentes que se producen por la noche, se realizaron en Gran Bretaña durante los años 50 y las conclusiones obtenidas exponían que el número de accidentes, con heridos graves y muertos, se podía reducir alrededor de un 30 % si se las dotaba de alumbrado (5).

Desde entonces, muchos países han realizado estudios similares y han llegado a resultados concordantes. Más recientemente un trabajo del CIE (6) analiza rigurosamente 62 estudios de accidentes y alumbrado de 15 países. Un 85% de los resultados indican que el alumbrado es beneficioso. El resultado de la dotación de alumbrado público a las carreteras supone, según este estudio, una reducción en:

- El número de peatones víctimas de accidentes del 57% al 45%.
- El número de muertos en las carreteras del 65% al 48% y el de heridos graves del 30% al 24%.
- El número total de accidentes de tráfico del 53% al 14%.
- De estos estudios se puede concluir que los tres criterios más importantes para un buen alumbrado son:
 - El nivel de luminancia de la vía o carretera.
 - Bajo deslumbramiento del sistema de alumbrado.
 - Buena uniformidad en la iluminación.

Teóricamente, el porcentaje de accidentes que se producen en horas nocturnas se pueden bajar y asimilar al porcentaje correspondiente a las horas diurnas, siempre y cuando la calidad de los sistemas de alumbrado público pudieran superar la oscuridad y dar el nivel de percepción visual propio de las condiciones diurnas. Consecuentemente, los ingenieros que trabajan en sistemas de alumbrado público intentan determinar cuál es el estándar mínimo de calidad aceptable para los alumbrados.

La decisión sobre la necesidad de iluminar, o no, una vía debe tomarse en base a un estudio detallado que considere los factores de velocidad del tráfico rodado, intensidad, sistema de control de tráfico, separación entre carriles, complejidad de su trazado, etc. Adoptada la decisión, el criterio de diseño y niveles de iluminación debe ajustarse a los indicando en las tablas de la ITC-EA-02 del REEIAE (7).

3.2.- Alumbrado y agresiones

La tarea visual y las necesidades de los peatones difieren de las de los conductores. La velocidad del movimiento de los peatones es menor y la percepción de los objetos de su entorno tiene más importancia que la visión de los que están más alejados, al objeto de evitar cualquier tipo de delito (robo, vandalismo, agresiones, etc.). Por tanto,

los criterios de calidad del alumbrado peatonal no son iguales a los de las vías de tráfico rodado.

En 1981, J.C. Marinier realizó un estudio en zonas urbanizadas pertenecientes a la comunidad de Lyon (8). El estudio se ocupaba exclusivamente de agresiones a personas y puso de manifiesto que entre el 75% y el 90% se producen por la noche, que el número de agresiones disminuye proporcionalmente al aumentar los niveles de iluminación y que la reducción es considerable cuando la iluminación alcanza los 15 lux, porque los delincuentes se retraen de atacar a sus víctimas.

Las agresiones se producen normalmente en las aceras, por lo que es esencial que estén adecuadamente iluminadas.

4.- Planificación del servicio de alumbrado público

El alumbrado público de un municipio debe planificarse mediante la forma de plan director, ordenanzas, pliego de condiciones, etc. El objeto es conformar un conjunto de instrumentos técnicos y normativos patrones con la finalidad de ordenar la implantación de las nuevas instalaciones, o modificar las existentes, y regular todas las condiciones para su explotación, garantizando, en todo momento, la calidad del servicio. La planificación ha de realizarse cumpliendo con los reglamentos y normas de aplicación.

4.1.- Calidad del servicio

A igualdad de condiciones, el consumo energético de una instalación de alumbrado público es proporcional a su nivel de iluminación. Por ello es muy importante establecer para cada vía o espacio unos niveles de iluminación adecuados, lo que requiere conocer su tipología y clasificación. En las vías con alto tránsito de vehículos y de elevada velocidad, por motivos de seguridad, es necesario un alto nivel de iluminación. En zonas peatonales se necesita conocer el tipo de actividad (lúdica, comercial, recreativa, etc.), nivel de tránsito, criterios de seguridad ciudadana y aspectos ambientales (paisajísticos, de edificación, etc.). Casi siempre, las zonas que tenemos que iluminar presentan características que corresponden a diversas tipologías, lo que requiere un análisis específico de cada una.

Hasta la publicación del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior (7), las normativas establecían unos niveles mínimos que garantizaban unas adecuadas condiciones de visibilidad, pero era posible superar esos niveles. El REEIAE (7) entró en vigor el 1 de Abril de 2009 y es el primer reglamento que limita los valores máximos de iluminación.

La clasificación de las vías se hace siguiendo los criterios que establece el REEIAE en la ITC-EA-02 (7), en función de la velocidad de circulación. A continuación establece subgrupos dependiendo del tipo de vía y de la intensidad media de tráfico diario IMD. Realizada la clasificación se determina la situación de proyecto correspondiente y se asigna la clase de alumbrado, pudiendo elegir entre varias para una misma vía. A cada clase de alumbrado le corresponde unos niveles de iluminación y, en su caso, factores de uniformidad.

En las vías, durante las horas nocturnas de menor actividad (menor tráfico de vehículos y peatones), se puede reducir los niveles luminosos, manteniendo los factores de uniformidad, garantizando, en todo momento, la seguridad y confort de los usuarios, cumpliendo con la reglamentación en vigor. En la planificación del alumbrado ha de quedar definida la curva de regulación de flujo de cada vía o área.

Al realizar la planificación de las instalaciones de alumbrado público, con objeto de reducir el impacto negativo sobre el medio ambiente causado por la contaminación lumínica, se establece la clasificación de las zonas de protección tomando como base la Tabla 1 de la ITC-EA-03 del REEIAE (7), que limita las emisiones luminosas hacia el cielo y establece valores límites, en función de las zonas, del flujo hemisférico superior instalado de las luminarias FHSinst.

Este reglamento también impone límites a la luz intrusa o molesta, Tabla 3 de la ITC-EA-03 (7). Se denomina luz intrusa o molesta a la procedente de las instalaciones de alumbrado exterior que da lugar a incomodidad, distracción o reducción en la capacidad para detectar una información esencial y que produce efectos potencialmente adversos en los residentes, ciudadanos que circulan y usuarios de sistemas de transporte. Con objeto de minimizar sus efectos establece unos valores máximos de parámetros luminotécnicos, en función de la zona donde se sitúe la instalación de alumbrado.

Otro aspecto a considerar son los periodos de funcionamiento de los distintos alumbrados. En vías y calles el encendido tiene que coincidir con el OCASO y el apagado con el ORTO. Los ornamentales y publicitarios han de limitarse a las horas de mayor presencia de ciudadanos en las calles, debiéndose apagar a partir de una determinada hora, que puede variar con la época del año. Los de espacios deportivos deben coincidir con el uso de las instalaciones, evitando la mala práctica de permanecer encendidos toda la noche.

4.2.- Sostenibilidad y eficiencia energética

El servicio de alumbrado público ha de ser eficiente energéticamente, sin llegar a comprometer los objetivos marcados y su calidad. El consumo de energía en alumbrado público es el más importante de un municipio, pues representa del orden de un 50%-60% del consumo energético municipal (3). La mejora de su eficiencia energética puede suponer un importante ahorro en los presupuestos ordinarios municipales. Pero además de esta motivación económica otras razones a tener en cuenta son (1):

- *Imagen pública:* por ser la administración local la más próxima a los ciudadanos, sus políticas energéticas son percibidas muy de cerca.
- *Sostenibilidad:* cada día es mayor la preocupación de las administraciones locales por el desarrollo sostenible, lo que las lleva a incorporar, en todas sus iniciativas, aspectos relacionados con los efectos medioambientales, como el consumo de energía eléctrica por el alumbrado público.

Los principales aspectos relacionados con la sostenibilidad y la eficiencia energética a tener en cuenta al planificar las instalaciones de alumbrado público son:

- Eficiencia luminosa de las lámparas.
- Rendimiento lumínico de las luminarias.
- Flujo hemisférico superior instalado de las luminarias FHSinst.
- Equipos auxiliares para encendido de las lámparas.
- Mecanismos de accionamiento (de encendidos y apagados).
- Sistemas de regulación del flujo.
- Control de su funcionamiento.

4.3.- Mantenimiento y explotación de la instalación

Una instalación de eficiencia inicial adecuada puede dar lugar a consumos energéticos elevados si las condiciones de mantenimiento y explotación no son las correctas. Las prestaciones de una instalación de alumbrado público disminuyen a lo largo del tiempo, a causa del envejecimiento propio de sus componentes, fallos y averías de los equipos y a la acción de agentes externos.

El REEIAE (7) define el factor de mantenimiento f_m de una instalación como la relación entre la iluminancia media en la zona iluminada, después de un determinado período de funcionamiento de la instalación (iluminancia media en servicio) y la iluminancia media al inicio de su funcionamiento, con todos sus componente nuevos (iluminancia media inicial). Sus factores son:

[1]

Donde:

FDL: factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara. Depende del tipo de lámpara y del período de funcionamiento.

FSL: factor de supervivencia de la lámpara. También depende del tipo de lámpara y del período de funcionamiento.

FDLU: factor de depreciación de la luminaria. Depende del grado de protección contra la penetración de cuerpos sólidos en el sistema óptico de la luminaria, del grado de contaminación de la zona en que se encuentre y del intervalo entre limpiezas.

El apartado 1 de la ITC-EA-06 (7) establece las causas de degradación de las características fotométricas de una instalación de alumbrado público y, por tanto, pérdida de la eficiencia energética. En la Tabla 1 adjunta se establece la correspondencia entre las causas de la pérdida de eficiencia energética con las operaciones de mantenimiento, que tienen por objeto conservar la eficiencia lumínica y energética.

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

Tabla 1. Pérdida de eficiencia energética según REEIAE (7) y operación de mantenimiento relacionada

Existen otros factores relacionados con el mantenimiento de la instalación que pueden dar lugar a consumos energéticos innecesarios, como son:

- Desajuste de los encendidos y apagados (encendidos prematuros y apagados retardados).
- Incorrecta orientación de las luminarias (el haz de luz se dirige fuera de las zonas a iluminar).
- Funcionamiento innecesario de la instalación por fallo o avería.

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

5.- Proyecto

Cuando el municipio cuenta con una planificación del servicio de alumbrado público, la redacción de los proyectos está condicionada al cumplimiento de los requisitos técnicos y normativos del mismo y de los reglamentos de aplicación. En caso de no existir planificación el proyectista goza de una mayor libertad para su elaboración, quedando supeditado únicamente al cumplimiento de los reglamentos.

El estudio y la redacción de un buen proyecto, adecuado a la realidad, es una de las fases más importantes porque en ella se fijan:

- Los objetivos del servicio.
- La clasificación de las vías o espacios a iluminar.
- Los niveles de iluminación.
- Los equipos y componente de las instalaciones.
- La periodicidad de las tareas de mantenimiento y sus costes.
- Los consumos de energía.

Es prioritario, en la redacción del proyecto, conseguir ahorros significativos en el consumo de energía, pero sin reducir la calidad y prestaciones del servicio. Generalmente, cualquier medida que mejore la calidad del servicio y la eficiencia energética, decidida en fase de proyecto, es fácil de introducir y supone un porcentaje muy reducido de incremento del coste, siendo fácilmente amortizable con los ahorros obtenidos. Sin embargo, adoptar estas medidas en una fase posterior puede resultar técnicamente imposible o representar un coste muy elevado y difícilmente amortizable.

Otra razón sobre la importancia de determinar la calidad de las instalaciones, en fase de proyecto, es que facilita la recepción por parte del titular de las obras de alumbrado público realizadas por terceros.

5.1.- Clasificación de las vías y determinación de los niveles de iluminación

Para asegurar cumplir los objetivos de la instalación de alumbrado con un coste adecuado, es muy importante una correcta clasificación de las vías y de los niveles de iluminación, para lo cual hay que:

- Establecer los niveles y las características de la iluminación de la zona de estudio, según establece el REEIAE (7).
- Evitar introducir niveles superiores que supondrían un incremento del consumo energético y provocarían mayor contaminación lumínica por reflexión.

5.2.- Cálculos fotométricos y elección del sistema de iluminación

Una vez realizada la clasificación de las vías y asignados los niveles de iluminación se procede a realizar los cálculos fotométricos y a elegir los componentes de la instalación. Como resultado, para cada tipología de las vías y espacios que componen el proyecto quedan definidos los niveles de iluminación (máximo, mínimo y medio) y uniformidades, los deslumbramientos, la geometría de implantación de los puntos de luz (altura, separación y distribución) y elegidos el tipo de luminaria, la fuente de luz, los equipos auxiliares y el sistema de regulación de flujo que permiten conseguir los niveles lumínicos propuestos.

Una variable importante considerada en los cálculos es el factor de mantenimiento f_m de las instalaciones, que establece la periodicidad de las operaciones de mantenimiento durante la vida útil de las instalaciones. Cuanto más

bajo sea este factor (lo que significa que tiene un menor mantenimiento o que las condiciones ambientales son más adversas), más tendremos que sobredimensionar las instalaciones, de manera que se produce una disminución de la interdistancia de los puntos de luz y un aumento de la potencia necesaria, destinada únicamente a contrarrestar los efectos de la depreciación de los componentes del sistema para poder mantener el nivel de iluminación en servicio. El consumo energético aumenta en la misma proporción que disminuye el factor de mantenimiento f_m . En otros casos, la depreciación excesiva no se considera en los cálculos, lo que conduce a que la iluminación en servicio, tras un periodo de funcionamiento, presente niveles insuficientes. De aquí la importancia de definir en el proyecto un programa de mantenimiento que permita mantener la calidad del servicio.

La elección de los componentes de la instalación condiciona su eficiencia energética al influir en los siguientes factores:

- Eficacia luminosa de las lámparas (lúmenes/Watio).
- Rendimiento lumínico de las luminarias.
- Contaminación lumínica proporcionada por el flujo hemisférico superior instalado de las luminarias FHSinst.
- Equipo auxiliar.
- Factor de utilización de la instalación K: parte de flujo luminoso de la lámpara que alcanza el plano de la calzada o superficie a iluminar. Depende del conjunto lámpara/luminaria/geometría.
- Sistema de regulación de flujo y curva adoptada.
- Factor de mantenimiento f_m que relaciona las condiciones iniciales con las de servicio.

5.3.- Fuentes de luz

Se elige la fuente de luz de mayor eficiencia, que mejor cumpla con los requerimientos del alumbrado, que presente menor coste en el momento de la instalación (incluyendo todos los accesorios necesarios para su correcta instalación) y con menor coste de reposición (que depende de su vida útil).

Los requerimientos del alumbrado que debe satisfacer la fuente de luz son:

- Eficiencia luminosa.
- Temperatura de color T_c .
- Rendimiento cromático R_a .
- Flujo luminoso por punto de luz (obtenido de los cálculos).
- Factor de depreciación del flujo luminoso.

- Factor de supervivencia o exigencias de vida útil.
- Condiciones de funcionamiento.

5.4.- Luminarias

En la elección de las luminarias los factores a considerar son:

- Factores relacionados con el rendimiento y la distribución fotométrica de la luminaria:
 - Rendimiento de la luminaria (η): relación entre el flujo total proporcionado por la lámpara o lámparas y el flujo total que sale de la luminaria. Cumplirá con las exigencias establecidas por el REEIAE, en la Tabla 1 de la ITC-EA-04 (7).
 - Distribución fotométrica: curva facilitada por el fabricante con la distribución del flujo luminoso proporcionado por la luminaria, basadas en tres propiedades: alcance, apertura o dispersión y control del haz de luz.
 - Factor de utilización: indica la parte de flujo luminoso de la lámpara que alcanza el plano de la calzada o superficie a iluminar, es decir, la relación entre el flujo luminoso incidente y el flujo luminoso emitido por la lámpara o lámparas instaladas en la luminaria. Cuanto más grande sea este factor menor será la energía eléctrica necesaria para conseguir el nivel de iluminación deseado. Sus exigencias se indican en la Tabla 1 de la ITC-EA-04 (7).
 - Flujo hemisférico superior instalado de la luminaria FHSisnt: determina si cumple con las exigencias requeridas en cuanto a contaminación lumínica de la zona de estudio. Los valores límites que exige el REEIAE se indican en la Tabla 2 de la ITC-EA-03 (7).
- Grado de protección contra el choque eléctrico o clase de aislamiento: las luminarias deben asegurar la protección de las personas frente a los contactos eléctricos. El REBT, en la ITC-BT-01 (9), establece cuatro clases de protección
- Factores relacionados con las condiciones operativas. Dentro de estos factores encontramos:
 - Grado de protección frente a la entrada de cuerpos extraños, polvo y humedad: característica de la luminaria que se indica con el código IP (International Protection, fijado por la norma UNE-EN 60598 que clasifica las luminarias de acuerdo con el grado de protección que poseen). El grado de protección del sistema óptico de la luminaria, junto con el grado de contaminación donde se instale y el intervalo de limpieza, determina el factor de depreciación de las luminarias y, por tanto, el factor de mantenimiento f_m de la instalación, según se indica en la ITC-EA-06, Tabla 1 (7).

- Resistencia frente a los impactos mecánicos indicada por el código IK (Norma EN 50102 sobre grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra impactos mecánicos).
- Características de los materiales con que están construidas las luminarias y que determinan su durabilidad en las condiciones específicas de cada instalación. En caso de exigencias especiales, tales como ambientes salinos o corrosivos, vandalismo, etc., se deben instalar luminarias especialmente concebidas para estas situaciones.
- En la elección de la luminaria también se tendrá en cuenta factores estéticos que permitan que su diseño se adapte al estilo y exigencias estéticas de la zona.

Identificadas todas las luminarias que satisfacen las necesidades de la instalación se hace la elección final atendiendo, básicamente, a criterios económicos, entre los cuales se consideran: costes de adquisición, de instalación, de mantenimiento y eficiencia energética.

5.5.- Equipos auxiliares

Las lámparas de descarga, para que funcionen correctamente, necesitan dispositivos estabilizadores de la corriente, que se denominan balastos. Otros componentes del equipo auxiliar son el condensador de corrección del factor de potencia y el arrancador que precisan algunas lámparas de descarga.

Hay dos tipos fundamentales de balastos: electromagnéticos y electrónicos. Los equipos electrónicos frente a los electromagnéticos presentan las siguientes ventajas:

- Mejoran la eficiencia de la lámpara y del sistema al tener menores consumos.
- Solventan los problemas producidos por la inestabilidad de la red, eliminando sobretensiones.
- Incrementan la vida de las lámparas, reduciendo los costes de mantenimiento.
- Se desconecta el circuito al acabar la vida de la lámpara, evitando los intentos de encendido.
- El encendido de las lámparas es rápido, fluido y está garantizado, evitando el efecto parpadeo o estroboscópico.
- Algunos tipos permiten la regulación del flujo luminoso de la fuente de luz.
- Factor de potencia próximo a la unidad.
- Producen menos calentamiento.
- No producen zumbidos ni ruidos.
- Fácil conexión, menor volumen y menor peso (no hay arrancador ni condensador).

- Pueden utilizarse con corriente continua.

Existen equipos electrónicos regulables que presentan las siguientes ventajas:

- Posibilidad de programar una regulación específica del flujo antes de su instalación.
- Posibilidad de conectarse a sistemas de telecontrol y programar la regulación de flujo.
- Posibilidad de registrar el factor de depreciación de la fuente de luz, pudiendo ajustarse el nivel lumínico al exigido por cálculo, evitando la sobreiluminación inicial y aportando un ahorro energético. Como ejemplo, si la depreciación de flujo en un modelo concreto de luminaria led es del 20% a las 60.000 horas de funcionamiento, se debería sobreiluminar inicialmente un 20%. Con este sistema la potencia inicial se reduce al 80% y linealmente, durante las horas de funcionamiento, va aumentando hasta llegar al 100% a las 60.000 horas.
- Posibilidad de ajustar la potencia de las lámparas a las necesidades de los cálculos, evitando el efecto de sobredimensionado resultado de elegir la que se comercializa, de potencia inmediata superior a la calculada.

En el caso de las fuentes de luz de tecnología led, la eficacia del sistema viene determinada por su corriente de alimentación, que puede oscilar entre 350mA hasta 1A. A mayor corriente mayor flujo y mayor potencia, pero también menor eficacia y menor vida útil.

En la elección del equipo auxiliar más adecuado se tiene en cuenta los siguientes factores:

- Que sus características sean las apropiadas para que la lámpara funcione correctamente: adecuación equipo/lámpara.
- Que sus dimensiones permitan su instalación en el espacio previsto en la luminaria: adaptación equipo/luminaria.
- Alta calidad y durabilidad de los componentes.
- Comprobación de la capacidad de los condensadores para evitar recargos en la factura de energía eléctrica por consumo de reactiva.
- Si se ha previsto regulación de flujo se elegirá un equipo electrónico con curva ajustada a las necesidades de la instalación.

Entre los equipos que reúnen las condiciones adecuadas se elige el que tenga menor potencia y, por tanto, menor consumo de energía.

5.6.- Instalación eléctrica

Comprende el conjunto de elementos mediante los cuales la instalación de alumbrado se provee de la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento y es

fundamental para la calidad del servicio y la eficiencia energética del sistema (1). En su elección y dimensionado se tienen en cuenta:

- La calidad e idoneidad de todos sus componentes para cumplir con las exigencias de la reglamentación y evitar problemas de seguridad, fallos y averías que pudiesen repercutir en un deterioro del servicio o incremento del consumo.
- El cuadro eléctrico se ha de proyectar teniendo en cuenta:
 - Situarle lo más próximo posible al centro de gravedad de las cargas, para reducir el consumo de los circuitos por caídas de tensión y efecto Joule.
 - Fiabilidad de los sistemas de accionamiento, evitando los consumos innecesarios por prolongación del tiempo de funcionamiento.
 - Adaptación de su esquema a la instalación.
 - Protección de los circuitos frente a sobrecargas, cortocircuitos y contactos indirectos.
 - Procurar instalar un sistema de telegestión que permita realizar controles y registros de los accionamientos, regulaciones de flujo y gestión de la energía eléctrica consumida.
- Correcto dimensionado de las secciones de los circuitos, según las condiciones de funcionamiento, para cumplir con las caídas de tensión e intensidades máximas admisibles.
- Aislamiento de los conductores adecuados a las condiciones de la instalación.
- Instalación de puesta a tierra según prescribe el REBT (9).

5.7.- Cálculo del coste de explotación

Los proyectos deben incorporar el cálculo de los costes de explotación del servicio producidos por los consumos energéticos y operaciones de mantenimiento. De esta manera, su titular puede hacer previsiones reales y evitar situaciones límite en las que las nuevas instalaciones acaban funcionando de forma muy reducida por no poder hacer frente a los gastos de explotación.

Esta previsión del coste de explotación ha de permitir:

- Conocer si los costes de energía eléctrica se ajustan a las previsiones y, de no ser así, estudiar el porqué de las desviaciones.
- Conocer previamente las necesidades económicas o de medios (humanos, vehículos, etc.) que requiere las operaciones de mantenimiento.
- Controlar si los costes reales de la explotación se ajustan a las previsiones y poder analizar las desviaciones.

6.- Ejecución de la obra

Al ejecutar las obras hay que conseguir alcanzar los objetivos de calidad previstos en las fases de planificación y proyecto, lo que implica materializar todos los factores de los que depende, descritos anteriormente.

La dinámica habitual durante la ejecución de la obra es desviarse de las exigencias de proyecto, con el propósito de reducir costes y asegurar el cumplimiento de plazos, tendiendo a adquirir materiales más baratos o de más fácil localización y recurrir a procesos constructivos más sencillos, cortos o conocidos. Estas prácticas pueden disminuir la calidad prevista y para contrarrestarlas es necesario establecer unos controles durante las distintas fases de la obra: replanteo, ejecución de los trabajos y recepción.

6.1.- Replanteo

Actuación previa a la ejecución de los trabajos que tiene por objeto marcar sobre el terreno las obras e instalaciones proyectadas. Pueden detectarse diferencias sobre lo previsto en proyecto, debidas a cambios en el terreno posteriores a la redacción del mismo, a la existencia de singularidades no previstas e, incluso, a errores de proyecto. En el replanteo se tratan estas diferencias y, una vez finalizado, se hace constar los cambios admitidos en la implantación de elementos sobre el terreno, de materiales, procesos constructivos, plan de obras y todas las incidencias que proceda.

Previo al inicio de los trabajos el director de obra puede solicitar muestras, documentación y certificados de los materiales y equipos más significativos, con el fin de contrastarlos con los especificados en proyecto.

6.2.- Control y vigilancia de la obra

Se refiere tanto al control e inspección de los materiales como a la vigilancia de la ejecución de los trabajos, para asegurar el cumplimiento de las calidades y condiciones especificadas. También se verificará la idoneidad de los procesos constructivos y de montaje, las secciones de canalizaciones, profundidad de los tubos, relleno de zanjas, dimensiones de cimentaciones y arquetas, calidad de los solados, conexiones eléctricas, puestas a tierra, etc. Todas estas operaciones han de realizarse durante la ejecución de los trabajos y nunca a posteriori, ya que muchos aspectos pueden quedar ocultos, como las secciones de las canalizaciones, dimensiones de cimentaciones, puestas a tierra, etc. y corregir los posibles defectos puede ser muy difícil y costoso.

6.3.- Recepción de las obras

Antes de recepcionar las obras se hacen las inspecciones visuales y comprobaciones necesarias y, provisionalmente, se pone en servicio la instalación para realizar las mediciones y verificar su correcto funcionamiento. Las tareas a realizar son:

- a) Inspecciones visuales y comprobaciones:
- Centro de mando: elementos de mando y protección de los circuitos, conexionado de tierra, rotulación e identificación de conductores y circuitos.
 - Puntos de luz: alineación, verticalidad, puertas y protecciones.
 - Canalizaciones: solados y remates de obra civil.
- b) Mediciones eléctricas, para verificar el cumplimiento del REBT, ITC-BT-05 (9).
- Tensión de alimentación.
 - Intensidades (general y de cada circuito).
 - Puestas a tierra.
 - Aislamiento de conductores.
 - Tensiones de contacto.
 - Regulación de flujo.
 - Precisión de los sistemas de accionamiento.
- c) Mediciones lumínicas para verificar el cumplimiento del REEIEA, ITC-EA-05 (7).
- Potencia eléctrica consumida por la instalación.
 - Por el instalador: iluminancia media y uniformidad.
 - Por Organismo de Control: luminancia media, deslumbramiento perturbador y relación entorno SR.

Un proyecto y la consiguiente obra ejecutada, con los criterios expuestos, permitirá tener una instalación con unos niveles de calidad del servicio y eficiencia energética elevados.

7.- Explotación del servicio

Las prestaciones de una instalación de alumbrado público experimentan una disminución a lo largo del tiempo, lo que implica una merma de la calidad del servicio, a causa del envejecimiento propio de sus componentes, de los fallos y averías y de la acción de agentes externos. Minimizar sus consecuencias y mantener la calidad del servicio y su eficiencia energética es el objeto de los planes de mantenimiento, propios de la fase de explotación.

7.1.- Causas de la disminución de prestaciones de las instalaciones de alumbrado público

Las causas que producen una disminución de prestaciones de las instalaciones de alumbrado público son:

- Depreciación lumínica, producida por:
 - *Depreciación del flujo luminoso*: las lámparas de descarga que se utilizan en alumbrado público o de tecnología led, presentan una disminución gradual del flujo luminoso a lo largo de su vida útil, según curvas facilitadas por los fabricantes.
 - *Pérdida por ensuciamiento*: descenso del flujo distribuido por la luminaria debido al ensuciamiento del bloque óptico por penetración y acumulación de polvo, humedad, agua, etc. Estas pérdidas dependen de la contaminación ambiental y del grado de protección y características de la luminaria.

- Fallos y averías de los componentes, producidas por:

Acumulación de horas de funcionamiento, condiciones de trabajo inadecuadas, prolongación innecesaria de los tiempos de funcionamiento, depreciación excesiva del flujo luminoso de una lámpara, etc.

- Condiciones climáticas y ambientales:
 - *La corrosión*: sin duda es una de las principales causas de depreciación, especialmente en zonas de atmósferas agresivas, como pueden ser las costeras, industriales o ambientes muy húmedos. Actúan acelerando el deterioro de los materiales de las instalaciones, sobre todo los componentes metálicos, como la carcasa y reflector de las luminarias, soportes, tornillería, etc., máxime si en su elección no se tuvo en cuenta esta circunstancia.
 - *Temperatura*: los componentes y equipos de la instalación (en particular los eléctricos y electrónicos), han de preverse para trabajar en los rangos de temperatura que puedan darse en la zona. De no ser así se pueden producir fallos y acortar su vida útil.
 - *Vibraciones*: producidas por la acción del viento y, en menor medida, por el paso de vehículos que afectan al conjunto soporte-luminaria-lámpara. Puede ocasionar el aflojamiento de lámparas y tornillos.
 - *Pavimento*: recibe la luz y la reflejarla hacia el usuario. De aquí que aunque aparentemente no forma parte del sistema de alumbrado, en realidad sí lo es. Cuanta menos luz refleje más flujo luminoso debe preverse en los cálculos para mantener la luminosidad en los valores adecuados. El pavimento, con el uso, cambia sus características, se deteriora y modifica su reflexión: aparición de baches, manchas de aceites, roderas, etc.
 -

- Variación de la tensión de alimentación

Los alumbrados públicos, formados por lámparas de descarga asociadas a balastos electromagnéticos, son muy susceptibles a variaciones en la tensión de alimentación. Tensiones superiores a la nominal para la que fueron diseñadas las lámparas hacen disminuir considerablemente su vida, la de los equipos auxiliares e incrementan el consumo de energía.

- Obras en la vía pública y edificios

Los municipios están sometidos a una dinámica de constantes cambios urbanísticos en las vías y espacios públicos, en las fachadas de los edificios que soportan puntos de luz, de usos en los inmuebles, etc., que afectan a las instalaciones de alumbrado público y si no se actúa convenientemente, realizando las obras para adecuarlas a las nuevas exigencias, producen una disminución de sus prestaciones y afectan negativamente a la calidad del servicio.

- Vandalismo

Los actos vandálicos son muy frecuentes en las instalaciones de alumbrado público, como en muchas otras instalaciones y elementos urbanos, sobretudo en determinadas zonas. Al elaborar los planes de mantenimiento se tiene que prever el vandalismo como otra causa de disminución de sus prestaciones.

7.2.- Principales operaciones que comprende el servicio de mantenimiento y explotación de las instalaciones de alumbrado público

Mantener las prestaciones de una instalación de alumbrado público y la calidad del servicio a un nivel adecuado, requiere establecer un plan de mantenimiento y explotación que contemple todos los factores que intervienen en la disminución de prestaciones y una programación de tareas, con una frecuencia y características que permitan garantizarlos, con unos costes asumibles. El plan de mantenimiento ha de buscar la ponderación entre el coste de su implantación y la calidad del servicio que proporciona.

Los costes de mantenimientos disminuyen si las diferentes operaciones se programan por grupos (calles, distritos, centros de mando, etc.), reduciendo al mínimo las operaciones puntuales o fuera de programa.

A continuación se relacionan y describen brevemente las principales actuaciones propias del mantenimiento y explotación.

- Mantenimiento técnico-legal

Tiene por objeto realizar las verificaciones e inspecciones que exige la normativa en vigor a las instalaciones de alumbrado público:

- REEIAE (7): para comprobar el cumplimiento de las disposiciones y requisitos de eficiencia energética se efectúan las verificaciones e inspecciones que exige la ITC-EA-05.

- REBT (9): para garantizar las condiciones de seguridad de las instalaciones se efectúan las verificaciones e inspecciones periódicas que exige la ITC-BT-05.

- Mantenimiento preventivo, inspecciones y comprobaciones

Tiene por objeto conocer el estado del servicio, garantizar su continuidad evitando fallos o averías, prevenir situaciones de riesgo, disminuir las prestaciones por depreciación de los componentes, descubrir situaciones anómalas, reducir el número de operaciones no programadas y controlar el comportamiento de los materiales para racionalizar su elección y evitar acortar la vida de las instalaciones.

Las principales operaciones que comprende son:

- *Inspección del encendido y apagado*: para evitar que la instalación funcione, innecesariamente, fuera de hora.
- *Inspección nocturna de funcionamiento*: para detectar las lámparas que estén fuera de servicio o por debajo de su nivel útil, circuitos o centros de mando apagados y cualquier otra incidencia que afecte al funcionamiento.
- *Mantenimiento preventivo de centros de mando y equipos estabilizadores-reductores de flujo*: revisión periódica de todos sus componentes para garantizar su correcto funcionamiento y verificar si los equipos reductores de flujo proporcionan los ahorros energéticos previstos.
- *Mantenimiento preventivo de líneas eléctricas, soportes y canalizaciones*: verificación y comprobación del estado de las canalizaciones eléctricas, conexiones en interior de soportes y sobre fachada, puertas, soportes, tapas de arquetas, cimentaciones, pintura y, en general, todos los elementos o componentes visibles de las instalaciones.
- *Mantenimiento preventivo de luminarias*: revisión de la sujeción de la luminaria al soporte, posición del portalámparas dentro del sistema óptico, estado del cierre y junta para garantizar la estanqueidad, estado del reflector y del refractor y la correcta orientación de las luminarias para evitar que el haz de luz se dirija fuera de las zonas a iluminar. También se detectan los puntos de luz afectados por el arbolado o vegetación, o cualquier otro obstáculo que altere o disminuya notablemente las funciones propias del mismo.
- *Mediciones*: para conocer los niveles luminosos del alumbrado en servicio y estado de los diversos elementos y componentes de la instalación se efectúan las siguientes mediciones:

Illuminancias: en las vías y espacios iluminados para verificar los niveles luminosos y factores de uniformidad.

Flujo luminoso: de una muestra de las lámparas que se prevea utilizar en una reposición programada y de las que se retiren en la misma.

Aislamiento y rigidez dieléctrica: de los circuitos, según establece la ITC-BT-09 (9), con periodicidad anual

Tomas de tierra: de los centros de mando y de un determinado porcentaje de los puntos de luz conectados a los distintos circuitos, separados entre sí lo más posible, según establece la ITC-BT-018 (9) y con periodicidad anual.

Tensiones, intensidades, factores de potencia, y equilibrado de fases: de todos los circuitos y con periodicidad anual.

- *Inspección de obras en la vía pública:* para detectar las obras que se realizan con objeto de tomar las medidas oportunas y evitar averías.
- *Inspección de daños por vandalismo y otras causas:* tiene por objeto identificar los daños, roturas, robos y otras incidencias que sufran las instalaciones de alumbrado público por actos vandálicos, de fuerza mayor (alteración de orden público, incendios, etc.), o catástrofes (socavones, escapes de gas, agua, etc.), para adoptar las medidas encaminadas a la reparación de daños.

- Mantenimiento correctivo: reposiciones casuales y reparación de averías

Comprende el conjunto de actuaciones para garantizar el funcionamiento de la instalación en caso de fallos o averías.

Las principales actuaciones son:

- *Reposición casual de lámparas y reparación de sus equipos de encendido:* cuando queden fuera de servicio de forma casual o por ser su flujo luminoso inferior al mínimo correspondiente. En todos los casos de reposición casual se realiza la limpieza de las luminarias.
- *Localización y reparación de averías:* las averías que se produzcan en las instalaciones deben ser localizadas y reparadas en los periodos establecidos en el plan de mantenimiento, dependiendo de su alcance (puntos de luz afectados) y del riesgo que representen para las personas e instalaciones. Si dejan sin servicio un número importante de puntos de luz o representan un riesgo inminente deben solucionarse inmediatamente, una vez conocidas.

- Operaciones programadas

Comprende las operaciones consideradas en el factor de mantenimiento f_m de la instalación, necesarias para mantener el nivel luminoso previsto y la eficiencia energética y las orientadas a mantener el aspecto y apariencia estética de la instalación.

Las principales operaciones programadas son:

- *Reposición de lámparas en grupo:* su finalidad es sustituir las lámparas cuando han llegado al final de su vida útil, según curvas facilitadas por los fabricantes, y recuperar el flujo luminoso perdido. Los programas se realizan con la periodicidad necesaria para cumplir con el factor de mantenimiento f_m previsto en proyecto, según tablas de la ITC-EA-06 del REEIAE (7). Se aprovecha la actuación para realizar una revisión y limpieza de luminarias.

- *Limpieza de luminarias*: tiene por objeto recuperar el flujo luminoso distribuido por la luminaria debido al ensuciamiento del bloque óptico, por penetración y acumulación de polvo, humedad, agua, etc. También se realizan con la periodicidad prevista en el factor de mantenimiento f_m de proyecto y tablas de la ITC-EA-06 del REEIAE (7).
- *Células fotoeléctricas*: se limpian “in situ” cada seis meses, como máximo, para garantizar su correcto funcionamiento.
- *Limpieza de soportes*: para eliminar los carteles y pegatinas colocados sobre ellos y dar un repaso de pintura, si se considera necesario, para recuperar su estética inicial.
- *Pintura*: de los elementos metálicos de las instalaciones para mantener el aspecto y apariencia estética de los mismos, independientemente de los parches o repasos que se efectúen durante las operaciones de limpieza de soportes.

- Gestión energética

Con objeto de controlar el consumo de energía eléctrica, periódicamente, preferiblemente cada mes, se toma lectura de los contadores de energía activa y reactiva y se lleva un registro de los mismos, donde también se anotan los consumos de energía facilitados por la compañía comercializadora y se comparan con las lecturas tomadas, para detectar y analizar las desviaciones producidas.

- Sustituciones, obras y mejoras

Se realizan las sustituciones de los componentes y equipos de las instalaciones que por su bajo rendimiento, por acumulación de horas de funcionamiento, deterioro, rotura, oxidación, etc. sea necesario.

También se realizan las obras y mejoras requeridas para adecuar las instalaciones existentes a las nuevas exigencias, consecuencia de cambios urbanísticos en las vías y espacios públicos, en las fachadas que soportan puntos de luz, usos de los edificios, etc.

Se incluye las reparaciones ocasionadas por vandalismo, fuerza mayor o catástrofes y que se arbitren las medidas necesarias para evitar nuevos daños o roturas en las instalaciones.

- Gestión y administración del servicio

La gestión y administración del servicio de alumbrado público exige establecer una estructura administrativa y técnica capaz de redactar, manejar, controlar e interpretar toda la documentación e información propia del servicio.

La documentación e información más relevante la componen:

- *Planos e inventario de las instalaciones*: en los planos se representan e identifican, sobre una base cartográfica integrada en un Sistema de Información Geográfica GIS, todos los elementos propios de estas instalaciones: centros de mando, canalizaciones, circuitos, ubicación de los puntos de luz con indicación del tipo de soporte, luminarias, lámparas y

su potencia, etc. Estos planos llevan asociados un inventario donde se especifique las características de todos los puntos de luz, incluso indicando marcas y modelos.

- *Control del funcionamiento*: control del cumplimiento de las operaciones programadas, registro de incidencias, averías, partes de trabajo y gestión energética.

8.- Desmontaje y eliminación de residuos

Los componentes de las instalaciones de alumbrado público, cuando llegan al final de su vida útil por acumulación de horas de funcionamiento, deterioro o avería, han de ser desmontados y clasificados según la legislación vigente, para proceder a su gestión y posterior eliminación.

Cuando se procede al desmontaje de los componentes instalados en la vía pública (soportes, líneas, centros de mando, etc.), hay que poner especial cuidado en retirar todos los elementos de sus emplazamientos, dejando la zona limpia y sin restos y realizar los trabajos necesarios para restituir las superficies afectadas: restaurar las fachadas que sirvieron de sujeción a los puntos de luz y líneas eléctricas, engrasar e igualar con el entorno las superficies ocupadas por las cimentaciones demolidas, etc.

9.- Bibliografía

- (1) San Martín Páramo, R.(2003). *Enllumenaturbà i eficiència energètica*. Govern de les Illes Balears, Palma de Mallorca. Pág. 16, 24 y25
- (2) Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local.
- (3) Torras, Ferrán. (2011). *Alumbrado público y ahorro energético*. Curso sobre alumbrado público para técnicos municipales y responsables de mantenimiento de las instalaciones municipales, 29.06.2011. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Madrid. Pág. 5 y 6
- (4) Calero Torroba, Á. (2005). *Alumbrado en carretera ¿garantía de seguridad?* Comunicación del Congreso CIE.
- (5) Socelec. (2011). Seminario de Alumbrado. Nueva visión lumínica. Pág. 69-71
- (6) CIE Publication nº 93. (1992). *Alumbrado público como contramedida a los accidentes*
- (7) Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones Técnicas complementarias EA-01 a EA-07, REEIAE. (2008). Aprobado por Real Decreto 1890/2008, de 14 de Noviembre y que entró en vigor el 1 de Abril de 2009.
- (8) J.C. Marinier. (1981).Socelec. Seminario de Alumbrado. Nueva visión lumínica, 2011, pág. 71
- (9) Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, REBT. (2002). Aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de Agosto y que entró en vigor el 18 de Septiembre de 2003.