



Universidad de  
Oviedo



**ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ÁREA DE MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**MODELIZACIÓN Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS DE  
ANÁLISIS PARA GESTIÓN ENERGÉTICA EN ALUMBRADO PÚBLICO**

**D. TRONCOSO PEREIRA, Óscar**  
**TUTOR: D. José Pablo Paredes Sánchez**

**FECHA: Julio 2019**

# Índice general

Memoria.....	3
Anexo: Cálculos luminotécnicos.....	201

# Memoria

## Índice. Memoria

<b>1. - Objeto y alcance.....</b>	<b>8</b>
<b>2. - El alumbrado público como elemento diferenciador. 10</b>	
2.1.- Evolución histórica del alumbrado .....	12
2.1.1.- El desarrollo del alumbrado tradicional. ....	12
2.1.2.- Luz de Gas .....	13
2.1.3.- Paso a la iluminación eléctrica. Arco voltaico.....	16
2.1.4.- Aparición del filamento incandescente .....	17
2.1.5.- Luz de descarga en gas .....	19
2.1.6.- Alumbrado actual.....	22
2.2.- Modelo actual de alumbrado exterior .....	25
2.2.1.- La eficiencia como referencia en las instalaciones .....	25
2.2.2.- Consumo energético actual de las instalaciones de alumbrado urbano. .....	27
2.3.- Retos futuros para el alumbrado público .....	31
2.3.1.- Reducción de costes globales .....	32
2.3.2.- Mejora de los niveles de iluminación.....	34
2.3.3.- Sustitución de instalaciones ineficientes .....	35
2.3.4.- El control de las instalaciones y una gestión eficiente. ....	36
<b>3. - Conceptos generales sobre alumbrado urbano.....</b>	<b>39</b>
3.1.- Descripción de los conceptos luminotécnicos. ....	40
3.1.1.- Conceptos fotométricos .....	40

3.1.2.-	Conceptos colorimétricos .....	45
3.1.3.-	Duración de la fuente de luz .....	47
3.2.-	Características de las fuentes de luz en el alumbrado público ..	49
3.2.1.-	Lámpara de Halogenuros metálicos con tubo de descarga de cuarzo..	51
3.2.2.-	Lámparas de halogenuros metálicos con tubo de descarga cerámico. .	52
3.2.3.-	Lámpara de vapor de sodio de alta presión. ....	54
3.2.4.-	Fuentes de luz en estado sólido. LED y OLED. ....	55
3.3.-	Equipos eléctricos auxiliares .....	61
3.3.1.-	Equipos auxiliares para lámparas de descarga.....	61
3.3.2.-	Equipos auxiliares electrónicos asociados a fuentes de luz en estado sólido LED. ....	66
3.4.-	Luminarias .....	69
3.4.1.-	Clasificación de las luminarias. ....	69
3.4.2.-	Criterios de selección de luminarias .....	75
3.5.-	Sistemas de regulación y control de instalaciones .....	77
3.5.1.-	Características generales de un sistema de gestión. ....	78
3.5.2.-	Equipos reductores - estabilizadores en cabecera .....	79
3.5.3.-	Sistemas de control .....	82
3.6.-	Implantaciones .....	85
3.6.1.-	Iluminación vial en tramos rectos. ....	85
3.6.2.-	Iluminación vial en tramos singulares. ....	89
3.7.-	Mantenimiento del alumbrado público .....	99
3.7.1.-	Tipos de mantenimiento .....	99

3.7.2.-	Normativa vigente en cuanto a planes de mantenimiento.....	102
3.7.3.-	Factor de mantenimiento .....	102
3.7.4.-	Planes de mantenimiento.....	105
<b>4. -</b>	<b>Metodología de análisis de eficiencia energética de una instalación de alumbrado público.....</b>	<b>109</b>
4.1.-	Calificación energética.....	110
4.1.1.-	Marco legal .....	111
4.1.2.-	Eficiencia energética de una instalación .....	111
4.1.3.-	Eficiencia energética de referencia .....	115
4.1.4.-	Calificación energética y etiqueta de consumo energético.....	117
4.2.-	Contaminación lumínica .....	120
4.2.1.-	Resplandor luminoso nocturno .....	120
4.2.2.-	Limitaciones de las emisiones luminosas.....	121
4.3.-	Herramienta de cálculo de eficiencia energética para instalaciones de alumbrado exterior. ....	123
4.3.1.-	Interfaz de la herramienta de cálculo .....	124
4.3.2.-	Contenido de la herramienta de cálculo. ....	126
4.3.3.-	Resultados obtenidos.....	161
<b>5. -</b>	<b>Análisis de la Avenida Vilariño en el Ayuntamiento de Cambados.....</b>	<b>170</b>
5.1.-	Objeto de estudio. ....	170
5.1.1.-	Alcance .....	170

5.2.- Emplazamiento .....	172
5.3.- Aplicación de la herramienta de cálculo para la evaluación de la avenida. ....	174
5.3.1.- Toma de datos.....	174
5.3.2.- Consumos de la instalación existente.....	176
5.3.3.- Introducción de datos obtenidos en la herramienta de cálculo .....	176
5.4.- Propuesta de mejora para la instalación.....	179
5.4.1.- Dimensiones del vial y parámetros característicos .....	179
5.4.2.- Sustitución de luminarias en columna metálica de 8 metros de altura .....	181
5.4.3.- Sustitución de luminarias en báculos de 9 metros de altura .....	187
5.5.- Interpretación de los resultados obtenidos.....	191
5.5.1.- Potencia instalada.....	191
5.5.2.- Consumo de la instalación.....	192
<b>6. - Presupuesto .....</b>	<b>194</b>
<b>7. - Conclusiones.....</b>	<b>197</b>
<b>8. - Bibliografía .....</b>	<b>199</b>

# 1. -Objeto y alcance.

El desarrollo de la eficiencia energética es una de las líneas de futuro en el campo de la energía ante los retos planteados por la Unión Europea en materia de uso sostenible de la energía. En este contexto se hace necesario el desarrollo de herramientas que permitan la realización de análisis y el planteamiento de mejoras en las instalaciones de iluminación para una adecuada gestión energética.

En el presente trabajo, se llevará a cabo la elaboración de una herramienta de cálculo para la determinación de la eficiencia energética, así como de la calificación energética, de una instalación de alumbrado público con objeto de su posterior modificación para la mejora de las instalaciones.

Dado el tipo de solución adoptada para los distintos problemas técnicos planteados en el presente trabajo así como el tipo de cálculos a desarrollar este proyecto se enmarca dentro de los trabajos fin de máster de ingeniería industrial en el apartado “Otros” debido a su carácter interdisciplinar.

Este Trabajo Fin de Máster se encuadra en el marco de las prácticas desarrolladas en la empresa ESEN especialista en gestión y eficiencia energética para sistemas de iluminación lo que ha permitido validar los resultados obtenidos.

En una primera fase, se contextualizará el estado en el que se encuentra el campo de la iluminación y se plantearán los retos futuros que tiene la industria de cara a una mejora del alumbrado urbano. Adicionalmente, se realizará una descripción de las principales fuentes de luz utilizadas en este tipo de instalaciones, así como de los equipos auxiliares y sistemas de regulación y control.

En una segunda fase, se describirán los conceptos energéticos y luminotécnicos a utilizar. En este sentido, se desarrollará un análisis teórico para poder encarar el alcance del análisis energético de la herramienta de cálculo para el estudio de sistemas de iluminación, así como la propuesta de las posibles mejoras.

En una tercera fase, se describirá la normativa vigente a considerar, ya que la modelización de la herramienta se lleva a cabo mediante la aplicación del Reglamento de Eficiencia Energética para Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE). Se utilizará el programa DIALUX, para la propuesta de un alumbrado más eficiente a partir de los resultados obtenidos con la herramienta desarrollada. El aumento de la eficiencia energética de las instalaciones será avalado, posteriormente, con la herramienta que se ha modelado.

Finalmente, se procederá a la descripción e implementación de un prototipo de herramienta basada en el uso del paquete de Microsoft Office mediante la programación en Visual Basic de Excel, así como a su aplicación a un caso en concreto para el desarrollo de estudios previos para el análisis energético de instalaciones de iluminación.

El caso por estudiar será el de un vial situado en el Ayuntamiento de Cambados (Galicia) cuyas instalaciones se encuentran en un estado de potencial ineficiencia energética por su antigüedad

Finalmente, se llevará a cabo un pequeño presupuesto de las principales modificaciones que se realizaron avalando todos los resultados obtenidos.

## 2. -El alumbrado público como elemento diferenciador.

Las instalaciones de alumbrado público son una parte muy representativa del ambiente urbano de nuestro pueblo o ciudad. Gracias a ellas, podemos percibir con mayor nitidez y claridad todo lo que nos rodea; desde una zona compuesta por parques y jardines hasta un mayor control en cuanto a seguridad vial se refiere.

Desde que la humanidad tiene uso de razón, uno de sus mayores deseos ha sido el de obtener la capacidad de controlar el tiempo de luz que nos proporciona el Sol. Este hecho, ha pasado de la necesidad básica de mantener unos mínimos de iluminación para poder realizar las actividades domésticas en el hogar hasta la ejecución de actividades a cualquier hora del día gracias al avance en las nuevas tecnologías en el campo de la iluminación.

En lo referente a iluminación exterior, se han obtenido grandes avances en las últimas décadas. Tradicionalmente, se llevaba a cabo la implantación de unos puntos de luz que tenían como objetivo proporcionar un mínimo de iluminación para que el ser humano pudiese circular con relativa comodidad, esto se puede observar en la Figura 2.1.



Figura 2.1.- Iluminación mediante vapor de sodio a alta presión.

En la actualidad, el concepto de iluminación es mucho más extenso. No sólo se busca llevar a cabo una reproducción perfecta del ambiente del que se dispone sino que, además de

esto, se realiza de una manera altamente eficiente y respetuosa con el medio ambiente; gracias a los avanzados sistemas de gestión de los que se dispone hoy en día. Esto también produce una reducción de los costes asociados con la iluminación. La Figura 2.2 representa una instalación tipo implementada en la actualidad:



Figura 2.2.- Iluminación mediante tecnología LED.

El mundo de la iluminación se ha ido especializando con el paso del tiempo, de modo que no tiene los mismos requerimientos iluminar un vial que sirve de conexión entre dos ciudades, que un emplazamiento deportivo o que la fachada de un edificio emblemático.

A diferencia de otros campos de aplicación, este sector cuenta con una normativa bastante clara al respecto lo cual hace que su aplicación y su buena gestión sea mucho más directa y adecuada. Aproximándonos al concepto de alumbrado urbano usando el marco normativo de referencia (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2008), la legislación existente consiste, fundamentalmente, en el Reglamento de Eficiencia Energética de Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE) así como sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07 aprobados ambos textos, reglamento e instrucciones técnicas, por el Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre y publicado en el BOE de 19 de noviembre de ese mismo año.

El *Artículo 2* del REEIAE indica que será de aplicación “a instalaciones, de más de 1 kW de potencia instalada, incluidas en las instrucciones técnicas complementarias ITC-BT del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de Agosto.

El próximo horizonte en este campo de aplicación se alcanzará en 2020: el Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático establece, para esta fecha, una reducción de las emisiones del 20% de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) respecto a los niveles de 1990.

Asimismo, se establece una reducción del 20% del consumo total de energía procedente de renovables y un aumento del 20% de la eficiencia energética en las instalaciones. Este reto se puede decir que es prácticamente inmediato por lo que la unión Europea ya ha declarado nuevos objetivos para la siguiente década:

- Reducción de al menos un 40% de las emisiones de GEI con respecto a 1990.
- Disminución de un 27% de la energía total consumida procedente de renovables.
- Incremento del 27% en la eficiencia energética de las instalaciones.

## **2.1.- Evolución histórica del alumbrado**

### **2.1.1.- El desarrollo del alumbrado tradicional.**

La evolución del alumbrado sigue una historia paralela a la evolución de las ciudades. El aumento de las necesidades humanas con el transcurso del tiempo y sus requerimientos hace necesario el uso de diferentes instrumentos e invenciones para proporcionar luz y así poder efectuar el desarrollo de las actividades que, cada vez, eran más exigentes.

La utilización de la luz artificial comenzó cuando el ser humano fue capaz de controlar el fuego y consiguió trasladarlo de una cueva a otra. Esto le permitía saber lo que ocurría a su alrededor y hacer frente a posibles situaciones peligrosas que se le pudiesen presentar. De esta forma apareció la “primera luminaria”.

Posteriormente, y aún en etapas muy tempranas de la evolución de la humanidad, apareció una lámpara en la que quemando aceite animal o vegetal y con ayuda de una mecha se conseguía una llama más o menos intensa que proporcionaba luz durante un tiempo más prolongado que lo que se tenía hasta ese momento. Este instrumento de cobre se muestra en la siguiente figura:



Figura 2.3.- Cazoleta de cobre Edad Media.

Si bien el desarrollo de las fuentes de luz viene dado por el desarrollo de multitud de disciplinas como pueden ser la metalurgia, la ciencia de los materiales, la electrónica, la óptica, la química así como muchos otros campos los cuales en cohesión permiten la obtención del sistema de iluminación que tenemos en la actualidad.

### **2.1.2.- Luz de Gas**

Del inicio de la era tecnológica del alumbrado nos separan 250 años cuando el físico suizo Aimé Argand, inventó el Quinqué o lámpara de Argand el cual sustituyó al candil como fuente principal de alumbrado. El Quinqué es un instrumento de mechero circular que producía una luz equivalente a 10 velas. Tenía una mecha cilíndrica montada entre un par de tubos concéntricos de metal, para que el aire se canalizara a través del centro y fuera de la mecha. Los primeros modelos de vidrio esmerilado eran como chimeneas cilíndricas rodeando la mecha, estabilizando la llama y la mejora del flujo de aire.

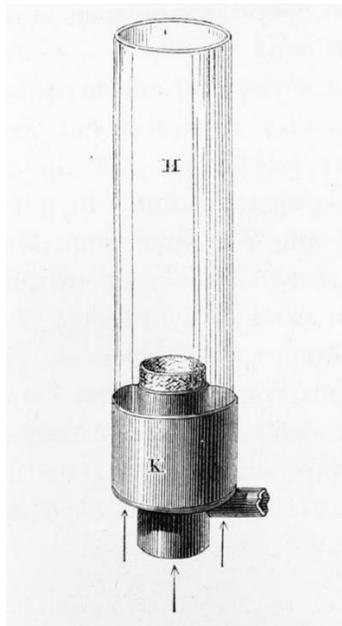


Figura 2.4.- Quinqué de Argand.

Posteriormente, aparecieron los primeros prototipos de llama plana que fueron los encargados de mejorar la eficiencia de este tipo de alumbrados, en particular la camisa de Gas de Carl Auer que en 1887 produjo un hito sin precedentes al conseguir una luz blanca que suponía una mejora increíblemente importante en cuanto a eficacia se refiere.

Aunque la existencia del gas inflamable se conocía desde la época antigua, no fue hasta el siglo XVIII cuando se empezó a utilizar de manera industrial por la sociedad. En las principales ciudades Europeas de la época (Holanda, Francia e Inglaterra) surgen los primeros pioneros que utilizan el gas inflamable para aplicaciones de alumbrado.

Friedrich Albert Winzer fue el primero en idear la centralización en la producción del gas inflamable para abastecer a toda la ciudad mediante una red de distribución. Este hombre fue capaz de captar la atención de los círculos políticos y empresarios de la época, con lo que consiguió la proliferación de la utilización del gas inflamable para su utilización en alumbrado público. Fue tal su trabajo, que en pocos años todas las grandes ciudades europeas (Londres, París, Madrid, Ámsterdam, Hamburgo, Barcelona...) contaban con este gran avance en el campo de la iluminación.

La gran acogida de esta mejora hizo que muchas empresas se disputasen el monopolio de su distribución y comercialización, hecho que hizo que los precios bajasen sensiblemente. Dado que el mantenimiento de este tipo de tecnología era bajo, este tipo de alumbrado permaneció instaurado en las calles europeas durante bastante tiempo.

En España, más concretamente en Madrid, este tipo de tecnología estaba implementada con una infraestructura compuesta por báculos de hierro fundido de entre 3 a 5 m de altura utilizando como lámpara los faroles de gas, este tipo de lámpara se muestra en la Figura 2.5:



Figura 2.5.- Farol de gas finales del siglo XVIII.

Esta etapa en la historia del alumbrado público se puede considerar como el nacimiento del alumbrado urbano tal y como lo conocemos en la actualidad, con la salvedad de que hasta la construcción de las redes de gas para el alumbrado, la iluminación se conformaba con puntos de luz sueltos sin ninguna coherencia física entre unos y otros. A partir de esta época la sociedad ya tiene un punto de vista más amplio e integrador y se estudia la iluminación de los viales de una manera conjunta y homogénea.

### 2.1.3.- Paso a la iluminación eléctrica. Arco voltaico.

Los primeros ensayos con iluminación eléctrica los realizó Humphry Davy a principios del siglo XIX quién, junto a su discípulo Michael Faraday, consiguió provocar la incandescencia de un fino hilo de platino en el aire al hacer pasar una corriente a través de él. Además de este descubrimiento creó una lámpara de seguridad, que llevaría su nombre, para las minas y fue pionero en el control de la corrosión mediante la protección catódica.

Posteriormente, a raíz del descubrimiento de Davy y Faraday, el francés Foucault fabricó en 1844 una lámpara de arco. Esta consistía en un circuito interrumpido en una porción de su recorrido y, en ambos extremos del conductor seccionado, colocó dos electrodos de carbono. Cuando se alimentaba el circuito con una fuente de energía eléctrica y se acercaban suficientemente sendos electrodos, aparecía en medio; un resplandor luminoso denominado arco voltaico. La Figura 2.6 muestra un ejemplo de la tecnología anteriormente descrita:

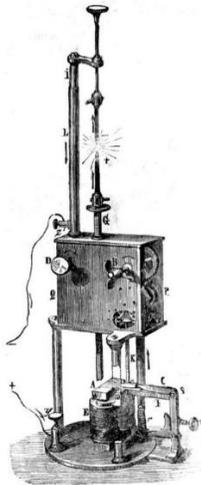


Figura 2.6.- Arco Voltaico de Foucault.

Cuando el arco voltaico se origina entre dos conos de carbono, se observa que el positivo decrece lentamente, aun en el vacío, y se ahueca, mientras que el negativo va aumentando de volumen; hay pues transporte de las moléculas de carbono del primer polo al

segundo. Si el arco, en vez de formarse entre los dos elementos de carbono, lo efectúa entre dos metales diferentes, cobre y plata, por ejemplo, se reconoce fácilmente, por los depósitos que se producen, que ha habido transporte en ambos sentidos; pero generalmente el transporte más abundante se efectúa del polo positivo al negativo.

La alta temperatura que alcanzan los elementos de carbono en el momento en que se les pone en contacto, y además el transporte que se produce cuando se los separa, manifiestan que el arco voltaico es debido a las moléculas de carbono volatilizadas primero y transportadas después de un polo a otro.

Estas moléculas forman una cadena continua que basta para cerrar la corriente, y como dicha cadena ofrece una gran resistencia, se calienta, en virtud de la segunda ley de la distribución del calor en el circuito, hasta producir el resplandor luminoso que constituye el arco voltaico [1].

La luz suministrada por el arco voltaico ofrece el inconveniente de no conservar una intensidad constante como otras luces, lo cual proviene de que al gastarse rápidamente los elementos de carbono aumenta cada vez más el intervalo que los separa, y decrece, por consiguiente, la intensidad de la corriente.

Este sistema sería utilizado por el alumbrado público hasta la aparición de las lámparas de filamentos. Sería necesario el transcurso de varias décadas, hasta que a finales del siglo XIX se introduce este elemento en todas las principales capitales europeas. Una de las primeras ciudades españolas en instalar esta nueva tecnología en sus calles sería Madrid, que a finales de la década de los 80 (1880) implantó las primeras farolas de arco voltaico como elementos de alumbrado urbano.

### **2.1.4.- Aparición del filamento incandescente**

La aparición de las lámparas incandescentes se remonta a finales del siglo XIX en Estados Unidos, donde Thomas A. Edison ideó en 1879 una lámpara eléctrica de incandescencia con filamento de carbono.

Sellar el cristal alrededor de los alambres que proveen la electricidad al filamento y encontrar un buen material para este último, eran problemas importantes que Edison trataba de superar. Después de probar con varios materiales (desde vegetales hasta un pelo de la barba de uno de sus asistentes) consiguió un filamento basado en el carbono que alcanzó la incandescencia sin fundirse. Así, el 21 de octubre de 1879 logró que su lámpara luciese durante 48h ininterrumpidas.

Este sistema de iluminación funcionaba con 110 voltios, un voltaje que se consideraba económico y seguro para la distribución de la electricidad. Este hecho, permitió que la idea de laboratorio se plasmase a nivel comercial y de trabajo en equipo a gran escala; considerando no sólo problemas técnicos sino también aspectos económicos y de producción en cadena [2]. La Figura.2.7 muestra el prototipo de Thomas A. Edison de lámpara incandescente con filamento de carbono:



Figura 2.7.- Lámpara incandescente con filamento de carbono.

Posteriormente, en 1882, se instalaría la primera central eléctrica en Pearl Street, la primera calle en ser iluminada artificialmente; extendiéndose con relativa rapidez a otras calles y a otras ciudades.

Por último, en 1907, Just y Haran investigaron con nuevos materiales que tuviesen una vida útil más larga y soportasen mejor las altas temperaturas a las que se veía sometido el

filamento de la lámpara. Gracias a estos estudios, el filamento inicial de carbono fue sustituido por el actual filamento de wolframio y tungsteno que hoy en día implementan estos tipos de lámparas.

De esta época en adelante, hasta casi pasada la primera mitad del siglo XX, las lámparas de incandescencia soportaron el peso mayoritario de iluminación en cuanto a alumbrado público se refiere; coexistiendo con las lámparas de gas y de arco aunque en menor medida.

### **2.1.5.- Luz de descarga en gas**

Las investigaciones llevadas a cabo a mediados del siglo XIX pusieron de manifiesto que con tubos de vidrio en vacío y mediante descargas eléctricas, se podía emitir una luz violeta brillante. Este fenómeno luminoso cambiaba en función del gas utilizado y de la presión a la que se sometiese dicho gas. Esto produjo la aparición de una nueva lámpara conocida como lámpara de descarga que se comercializará a gran escala en esa época.

Las primeras lámparas de descarga fueron las de alta tensión, conocidas como Luz de Neón. Estaban diseñadas para implementarse en el alumbrado público aunque, debido a su baja eficiencia por unidad de longitud, serían finalmente utilizadas para alumbrado festivo y de anuncios luminosos. En estas lámparas, para conseguir un buen efecto, se necesitaban tubos muy largos llegando a alcanzar los 60 metros; hecho que posteriormente se vio paliado con la utilización de recubrimientos fluorescentes que conseguían incrementar su eficacia luminosa.

La tarea de llevar esta tecnología a las calles de las ciudades a mediados del siglo XX no fue baladí debido a la dispersión que había en las redes de 120 V y 220 V, así como las caídas de tensión que dificultaban el correcto funcionamiento de la fluorescencia en muchas ciudades. Debido a esto el balasto fue sustituido por una lámpara incandescente reguladora con el que se obtenía un mejor funcionamiento del tubo fluorescente a pesar de estas variaciones en la tensión.

Teniendo en cuenta los ratios de eficiencia de estas dos tecnologías, mientras que la incandescencia estándar rondaba los 9 lm/W, la fluorescencia con la mejora del recubrimiento se alzaba hasta los 60 lm/W. Estos parámetros de eficiencia junto con el bajo coste de la energía eléctrica de entonces hicieron que esta tecnología consiguiese tener un nombre en muchas ciudades Europeas; alcanzándose altos niveles de luz con instalaciones que ya se diseñaban considerando parámetros de calidad tal y como los conocemos hoy en día.

En España fue mucho más drástico el paso de la incandescencia a la lámpara de Vapor de mercurio de alta presión color corregido. En ella que se disponía un recubrimiento fluorescente capaz de soportar la gran cantidad de radiación UV emitida por la lámpara, aunque el efecto corrector de color era muy simple. La Figura 2.8 muestra las características principales de este tipo de lámpara:

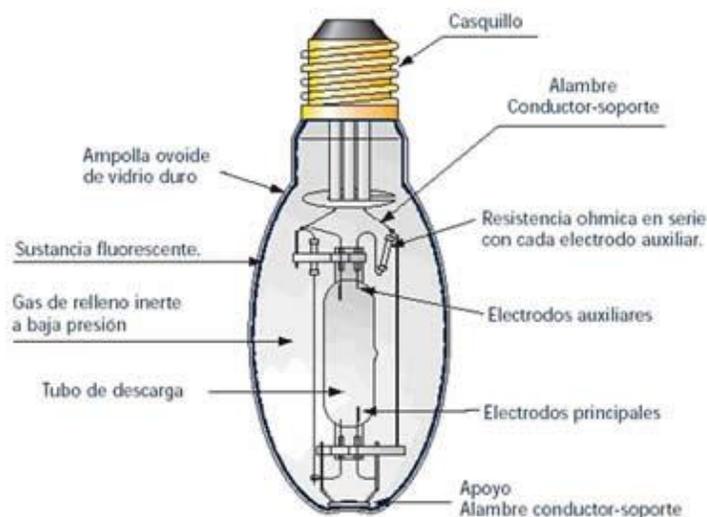


Figura 2.8.- Lámpara de Vapor de Mercurio de alta presión color corregido.

Fue entonces, a mediados de los años 60, cuando comienza una gran revolución en el campo de la iluminación urbana. Además de lámparas implementadas con nuevas tecnologías, aparece luminarias cerradas con filtros para la polución; equipadas con reflectores y dispositivos implementados en la propia luminaria. Este cierre con refractores de vidrio o de policarbonato subsana el problema del mantenimiento de la luminaria debido

a la contaminación en las grandes ciudades. Cabe destacar que, esta época, coincide con un gran desarrollo industrial en las grandes ciudades con el aumento de la asociada contaminación pertinente.

Por otro lado, las altas potencias que instalaban las luminarias y su óptica tan innovadora permitían la colocación de puntos de luz a una mayor altura con lo que se conseguían unas distancias relativas mayores y una reducción de costes asociados.

No cabe duda de que en los últimos años, la lámpara más usada en el ámbito del alumbrado urbano ha sido la lámpara de Vapor de Sodio a Alta Presión (VSAP). Su eficiencia luminosa próxima a los 200 lm/W y su nada desdeñable vida útil la han presentado en los últimos tiempos como la lámpara predominante en nuestras ciudades.

Es importante resaltar, que su falta de reproducción cromática ha imposibilitado su empleo en algunas aplicaciones concretas. Se ha utilizado fundamentalmente en el alumbrado vial dónde, hasta hace poco, una buena reproducción del color no era un parámetro relevante.

Con la introducción de este tipo de lámparas, las calles y parques de las ciudades se teñían de un color anaranjado; hecho que no preocupaba excesivamente a la voz popular pero que si provocó una discordancia en las opiniones acerca de este tipo de luz y la luz blanca que era, hasta entonces, la dominante en el alumbrado urbano.

Ya en la década de los 70, y con la llegada de la gran crisis energética que supuso el apagón de media Europa, los alumbrados públicos fueron empleados por las autoridades competentes para mostrar al pueblo el momento de recesión energética que estaban viviendo. Este hecho, produjo una reducción en las inversiones en investigación para desarrollar la tecnología del alumbrado público.

En este contexto, surgen elementos cuyo objetivo es la reducción del consumo. Así, aparecieron en el mercado dispositivos como los balastos de doble nivel que permitían reducir el flujo en más o menos un 50% al llegar a determinadas horas de la noche dónde se asumía que la necesidad de proporcionar el 100% de la luz no era necesaria y suponía un gran gasto energético . Otros sistemas de regulación y ahorro energético nacieron con este

mismo fin. Es el caso de sistemas de control de encendido y apagado mediante células fotoeléctricas o relojes astronómicos.

Como producto de esta evolución tecnológica en aras de una mayor eficiencia energética se desarrollaron, posteriormente, las lámparas de halogenuros metálicos para su utilización en el alumbrado público. Su característica más relevante sería su temperatura de color próxima a los 2800 K (debido a esto se las conoce como “luz blanca”) tratándose de un blanco cálido. Las lámparas de vapor de mercurio con halogenuros metálicos alcanzan temperaturas de color de aproximadamente 4.000 K que le dan un aspecto blanco pero frío.

Su existencia es debida a la combinación de dos tecnologías: por un lado el desarrollo del quemador cerámico de las lámparas de sodio que se aplicó y por otro lado las ventajas conocidas de la calidad de luz de los halogenuros metálicos. El quemador cerámico permite una mayor estabilidad de color a lo largo de toda su vida útil por lo que tiene una mejor reproducción cromática. Por todo ello, tenía una mayor eficiencia lo que hace que el paisaje nocturno de las ciudades vuelva a teñirse de color blanco que, tras la aparición de las lámparas de vapor de sodio a alta presión, había quedado relevado para aplicaciones específicas.

Finalmente, a partir de estas fechas, se inició una rápida expansión de las lámparas de descarga, quedando el vapor de mercurio color corregido relevado a pequeñas aplicaciones en parques y jardines así como barrios históricos. Esta ha sido la consigna que se ha llevado a cabo hasta el comienzo del siglo XXI.

## **2.1.6.- Alumbrado actual.**

La situación actual es producto de la evolución histórica que se ha desarrollado anteriormente. La necesidad de adaptación a las nuevas tecnologías impulsadas por la evolución energética nos ha llevado a una revolución en el mundo del alumbrado público. Tanto las fuentes de luz como los equipos y luminarias utilizados pueden proporcionarnos importantes ahorros a la vez que regalarnos un mayor confort.

En la actualidad, se han incrementado notablemente las eficiencias de las lámparas y sus rendimientos cromáticos a la par que se han disminuido sus tamaños, características que permiten aprovechar de manera mucho más eficiente la luz emitida por la fuente.

Por otro lado, el desarrollo de equipos electrónicos junto con sistemas de gestión del alumbrado nos permite un control integral del punto de luz.

Las instalaciones de alumbrado exterior tienen un elevado potencial de ahorro de energía por la modernización de sus luminarias, lámparas y equipos de regulación, actuaciones que se han visto acrecentadas en los últimos años con avances legislativos, tecnológicos y de contratación de servicios que potencian y facilitan la obtención de estos elevados ahorros:

a) La publicación del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior (REEIAE) (RD 1890/2008).

b) La irrupción de la tecnología LED como nueva fuente de iluminación.

c) La utilización, cada vez mayor, de la contratación de empresas de servicios energéticos por las administraciones públicas para la reforma de los sistemas de alumbrado exterior.

La tipología de las reformas en este tipo de instalaciones tiene como denominador común la reducción de la potencia instalada mediante alguna, o el conjunto, de las siguientes actuaciones:

- la sustitución de la lámpara por otra de mayor eficiencia lumínica.
- la mejora de la calidad reflectante y direccional de la luminaria.
- la implantación de sistemas de regulación del flujo lumínico de los puntos de luz, permitiendo su variación a lo largo de la noche en función de las necesidades.

Con ello se optimiza una emisión de luz hacia el objeto a iluminar y se adecuan unos niveles de iluminación, excesivos en muchas calles de nuestros municipios, a las necesidades reales de este tipo de servicio público, reflejándose esta reducción de potencia de forma directamente proporcional en el consumo de electricidad [3].

## **2.2.- Modelo actual de alumbrado exterior**

El alumbrado exterior incluye a toda instalación de iluminación de titularidad pública o privada cuyo flujo luminoso se proyecta sobre un espacio abierto (carretera, calle, parque, ornamental, etc.) de uso público. Estas instalaciones totalizan unos 8.849.839 puntos de luz que, con una potencia media de 156 W, representa un consumo de electricidad de 5.296 GWh/año para el conjunto de España.

El número de instalaciones, y su consumo eléctrico ha crecido en estas últimas décadas coligado al desarrollo urbanístico de nuestros municipios pero, en estos momentos, las instalaciones de alumbrado exterior están experimentando avances tecnológicos y legislativos que marcarán un punto de inflexión en el tendencial de su consumo.

Así, la promulgación del REEIAE (RD 1890/2008), junto con la irrupción de la tecnología LED y la admisión de la contratación de empresas de servicios energéticos por las administraciones públicas, son hitos surgidos en estos últimos años que cambiarán previsiblemente las instalaciones que hoy conocemos en el alumbrado de nuestros municipios y carreteras [3].

### **2.2.1.- La eficiencia como referencia en las instalaciones**

En los últimos años, el elevado consumo energético y las notables emisiones contaminantes asociadas a las instalaciones de alumbrado exterior es un asunto que ha preocupado, en gran medida, a los dirigentes políticos encargados de la organización y planificación de estos servicios. Los sistemas de iluminación producen diversos tipos de desechos, siendo los más perjudiciales los correspondientes a las lámparas de descarga agotadas. Cada año miles de lámparas son desechadas y muchas de ellas conteniendo residuos altamente contaminantes como el plomo o el mercurio.

Debido a esto, se ha establecido la necesidad de la realización de una serie de auditorías energéticas con el fin de evaluar la situación actual del alumbrado exterior en nuestro país. El organismo encargado de gestionar estas auditorías ha sido el IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro Energético), el cual, a través de un programa de estrategia de ahorro y eficiencia energética obtuvo los datos necesarios, proporcionados por los ayuntamientos acogidos al programa, para evaluar el problema.

En dicho documento, a partir de los datos de las instalaciones de alumbrado exterior relativos a número de puntos de luz, potencia instalada, consumo de electricidad y facturación, entre otros, se obtuvo unos ratios que, proyectados sobre todos y cada uno de los municipios censados en España, permitió estimar el número de puntos de luz y el consumo de energía eléctrica del alumbrado exterior municipal en España. Un resumen de estos datos se puede observar en la Tabla 2.1 que se muestra a continuación:

Tamaño municipio	RATIOS IDAE 2017			CENSO DE ESPAÑA 2016		RESULTADOS	
	kWh/hab/a	W/PL	PL/1000 hab	Municipios	Población	GWh/a	PL
> 75.000 habitantes	82	179	120	98	21.525.605	1.760	2.588.324
40.001 a 75.000 hab	112	172	153	77	4.204.804	471	642.952
20.001 a 40.000 hab	114	161	189	227	6.248.522	713	1.183.382
10.001 a 20.000 hab	139	155	229	347	4.914.991	682	1.124.529
5.000 a 10.000 hab	151	137	280	551	3.869.029	586	1.084.126
< 5.000 habitantes	187	131	384	6.825	5.794.057	1.085	2.226.526
<b>Conjunto España</b>	<b>114</b>	<b>156</b>	<b>190</b>	<b>8.125</b>	<b>46.557.008</b>	<b>5.296</b>	<b>8.849.839</b>

Tabla 2.1: Ratios IDAE 2017 en cuanto a consumo energético [4].

Por un lado, en un mercado competitivo, quienes determinan si el servicio aportado es bueno y satisface las necesidades demandadas son los usuarios. La administración pública debe asegurar a los ciudadanos no sólo los servicios, sino que estos servicios sean de calidad. Este modelo que actualmente está implantado en nuestra sociedad obliga a la administración a modificar el estado de las instalaciones proyectadas además de su gestión de tal modo que ofrezca a los ciudadanos unas instalaciones de calidad y eficientes prestando un servicio lo mejor y más barato posible.

En relación con las fuentes de luz, es evidente que en estos últimos años, se han acometido multitud de reformas de alumbrado en muchos municipios, totales o parciales, siendo mayoritariamente tecnología LED la mejora impuesta. Estos cambios representan unos ahorros que estarán en una horquilla entre el 65% y 80% [4], actuaciones que son llevadas a cabo directamente por los propios ayuntamientos vía recursos propios o por financiación de terceros.

Las instalaciones de alumbrado público se proyectan y ejecutan en un corto período de tiempo, incorporando, la mayoría de las veces, los elementos energéticamente más eficientes del momento. No obstante, su funcionamiento se prolonga durante su vida útil y si no se renuevan cada vez serán menos eficientes dada la rápida evolución de la tecnología disponible en este campo. Un buen ejemplo de ello es el desarrollo experimentado por las fuentes de luz, siendo cada vez más eficientes, de mayor duración y con mejor reproducción cromática.

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

Finalmente, lo que es incuestionable es el potencial ahorro de estas instalaciones al combinar la tecnología LED con una regulación horaria de flujos lumínicos.

### **2.2.2.- Consumo energético actual de las instalaciones de alumbrado urbano.**

Desde el sector de la iluminación se puede contribuir de forma muy importante a la sostenibilidad, ya que aproximadamente un 20% del consumo total de energía se utiliza para

iluminar los diferentes espacios, tanto de interior como de exterior y otra pequeña parte para fabricar las luminarias y lámparas que lo hacen posible.

Aunque no coinciden las diferentes fuentes y varía también con los países, es aceptado que sobre un 18-21% del consumo total de energía corresponde al alumbrado:

- Un 2.5-3.5% al público y vial.
- Un 15-18% a la iluminación de interior: contando comercio y servicios (7%), vivienda (8%) e industria (3%).

La eficiencia energética tiene como principal aliado la innovación, tanto en la tecnología de productos como en la de servicios, tendente a conseguir un consumo más racional de la energía para así poder contribuir a una mayor sostenibilidad, es decir, realizar las mismas funciones pero consumiendo menor cantidad de energía.

Pero no sólo, es el ahorro energético el que tiene importancia en la sostenibilidad. Se debe contribuir también a la misma, de forma general, construyendo las luminarias con procesos optimizados en cuanto a consumo energético se refiere y utilizando materiales abundantes en la naturaleza y con alto grado de reciclabilidad. Esto implicaría apostar por el “ecodiseño” como aquella forma particular de plantear la realización de las luminarias que tiende a tener el mínimo impacto negativo sobre la sostenibilidad.

Las nuevas Directivas UE, 2005/32(EuP) sobre diseño ecológico, la 2002/96 (RAEE) sobre reciclado de aparatos eléctricos y electrónicos y la 2002/95 (ROHS) sobre la “Restriction of Hazardous Sustances” van en ese sentido, si bien, como siempre, se precisa un alto grado de sensibilización tanto de fabricante como de consumidores para alcanzar el éxito.

En la mayor parte de los casos, por desgracia, la entrada real en vigor de muchas normativas no depende de la fecha de su publicación en el Boletín Oficial del Estado (BOE) sino de la puesta en marcha de órganos de control que obliguen de alguna forma a realizar los correspondientes estudios, análisis de viabilidad y auditorias de cara a validar las nuevas

instalaciones y a dar plazos para la sustitución o mejora de la eficiencia de aquellas que se encuentren en peor estado.

España es uno de los países europeos más rápidos y adelantados en hacer normativas exigentes pero de los menos eficientes a la hora de sus implantaciones reales.

Hay que apostar por una mayor concienciación social sobre la importancia que la eficiencia energética tiene en el ahorro de la energía consumida en iluminación. Quizás éste sea uno de los sectores menos contemplados por los ciudadanos por no conocer sus costes reales ni los beneficios que les podría reportar a largo plazo las nuevas luminarias con eficiencias energéticas muy superiores. Y no nos referimos sólo a los beneficios ecológicos, sino también, a los derivados de la reducción de la factura eléctrica.

Pero lo cierto es que, hasta el momento, prima mucho más la diferencia de costo existente en el producto, sobre todo para el instalador, en el momento de realizar la instalación o al plantear cualquier cambio. En la Figura 2.9 se observa un ejemplo de los altos niveles de iluminación empleados en fachadas que provocan un excesivo consumo energético:



Figura 2.9.-Fachada con unos niveles de iluminación excesivos provocan un alto consumo energético.

En alumbrado público los ahorros pueden llegar a ser muy elevados si la utilización de luminarias eficientes se complementa optimizando los horarios de funcionamiento de las instalaciones y controlando los niveles de aquellas que están por encima de los valores recomendados y en general, ajustando bien los niveles a la baja mediante el establecimiento de los correspondientes planes de mantenimiento de las instalaciones.

Siguen siendo numerosas las calles y muchos los edificios donde el flujo luminoso utilizado resulta a veces excesivo. Niveles demasiado altos, con mala uniformidad, pueden proporcionarnos menos información y darnos más sensación de inseguridad que otros proyectos más equilibrados aunque de niveles medios inferiores.

Un buen proyecto de iluminación es, en definitiva, una de las herramientas que más puede contribuir al ahorro energético, aparte de proporcionar el confort y la estética deseada.

Por otro lado, las cifras encontradas sobre el consumo energético en el sector de la iluminación en España durante los últimos años difieren bastante en función de las fuentes consultadas. Como su valor real no es prioritario para la exposición de este trabajo hemos optado por tomar valores medios, esperando que sus desviaciones no sean elevadas.

El consumo en iluminación pública se aproxima a los 6 TWh al año, en iluminación del hogar a unos 22 TWh en iluminación de interior, incluyendo en ella la del hogar, oficinas, comercios y empresas de fabricación.

En España cerca del 70% de la energía consumida procede de los biocombustibles y considerando el rendimiento medio de las centrales actualmente en funcionamiento, ello supone que el consumo eléctrico en el sector de la iluminación es, responsable del envío a la atmósfera de unos 10 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año.

Por último, un ahorro de un 30% en el consumo, que se podría conseguir con diferentes acciones, supondría además de una rebaja sustancial en la factura de eléctricas, una mayor independencia energética de España (ya que importa biocombustibles para producir el 70% de la misma) y una importante contribución a la sostenibilidad del medio.

## 2.3.- Retos futuros para el alumbrado público

Es complicado estimar el impacto que ha tenido el alumbrado público, tanto vial como ornamental, en nuestras ciudades. Una gran variedad de actividades y trabajos que sólo se podían realizar de día, en la actualidad, se pueden llevar a cabo a cualquier hora de la noche.

El potencial de ahorro de la tecnología LED ha abierto la puerta al nuevo mercado de la eficiencia energética en el ámbito de la iluminación urbana. El mecanismo más atractivo en manos de las Administraciones para renovar el alumbrado público son los contratos de externalización en la gestión y el mantenimiento del alumbrado público, mediante los cuáles las Empresas de Servicios Energéticos (ESEs) adjudicatarias se comprometen a sustituir equipos obsoletos por nuevos equipos LED altamente eficientes, gestionar su mantenimiento, financiar la inversión mediante contratos de renting, así como negociar los contratos de electricidad con la compañías proveedoras. De esta forma, los ayuntamientos podrán renovar todo su alumbrado público con un nivel de inversión inicial cero.

Actualmente, el atractivo generado por este incipiente modelo está provocando que compañías procedentes de diversos sectores hayan lanzado su división de ESE, desde fabricantes de iluminación, a compañías energéticas, pasando por empresas especializadas en infraestructuras públicas. Sin embargo, las únicas compañías con conocimiento y capacidad de innovación interna suficientemente contrastada en los ámbitos de la electrónica y la luminotecnia son aquellos fabricantes de iluminación especializados en LED, Figura 2.10.



Figura 2.10.- Módulo electrónico para luminaria LED.

Este hecho garantiza que los equipos instalados incorporen las tecnologías lumínicas más avanzadas orientadas a garantizar un adecuado rendimiento de la luminaria y prolongar su vida útil, lo cual se traduce en un mayor retorno global de la inversión ya que el periodo de ahorro se prolonga.

En este sentido, la calidad de los materiales y los sistemas de protección de los equipos electrónicos juegan un papel fundamental en la prolongación de la vida útil de las luminarias, especialmente en entornos próximos al mar con atmósferas agresivas para la electrónica.

Por otro lado, las principales multinacionales del sector han apostado por deslocalizar su producción a Asia, lo cual ha supuesto una bajada de calidad importante y pérdida de detalle frente a la fabricación europea [5].

### **2.3.1.- Reducción de costes globales**

El porcentaje de consumo energético español que se destina a iluminación se sitúa entre el 18 y el 21% del consumo energético total del país. De todos los puntos de luz implantados en el territorio nacional, dos tercios se corresponden con tecnología ineficiente y obsoleta desarrollada en 1970.

Estas instalaciones totalizan unos 8.849.839 puntos de luz que, con una potencia media de 156 W, representa un consumo de electricidad de 5.296 GWh/año para el conjunto de España. Cabe destacar, que el ritmo de renovación de instalaciones obsoletas a favor de las nuevas tecnologías del momento es demasiado lento y está entorno al 3% anual.

Los ayuntamientos, ante estos altos consumos de energía, se ven obligados a destinar grandes partidas de su presupuesto anual para hacer frente a los pagos asociados a al alumbrado público urbano ya que son los responsables de prestar este servicio a los ciudadanos. Ante este hecho, se proponen políticas de eficiencia y ahorro energético impulsando medidas para la reducción de costes globales.

La principal forma de conseguir este objetivo se lleva a cabo mediante la reducción de la potencia instalada por cada punto de luz, mejora que disminuye de manera notable el consumo energéticamente hablando.

Por un lado, la modificación de los horarios de funcionamiento de las instalaciones de alumbrado es muy difícil de modificar sin generar graves problemas al confort y la seguridad ciudadana. Toda corrección que vaya más allá de un par de minutos en el encendido y el apagado de los puntos de luz, teniendo en cuenta la claridad de la atmósfera, podría suponer un descenso importante en la calidad del desarrollo de las actividades y, por lo tanto, resulta inadmisibles. Esto no significa que no se deba llevar un control exhaustivo de los horarios de encendido y apagado sino que, por el contrario, de no hacerlo se podría incurrir en sobrecostos innecesarios.

Otra medida que se pretende controlar de manera más eficiente en el futuro será la disminución de los costes de explotación asociados a las tarifas eléctricas contratadas para las instalaciones de alumbrado exterior. En la actualidad, nos encontramos ante un escenario de precios liberalizados del mercado eléctrico por lo que cada cliente o gestor acude a las empresas comercializadoras en busca de aquellas ofertas que se adapten mejor a su instalación y por tanto a su consumo. Para no equivocarse en la elección, es necesario conocer perfectamente el perfil de consumo de las instalaciones.

En este sentido, los precios ofertados por una empresa comercializadora son diferentes para los distintos períodos tarifarios y es necesario conocer la curva de consumo propia de forma que se elija aquella que resulte con un precio más bajo considerando todos los períodos de consumo.

Cabe destacar, la importancia de una buena gestión de la potencia y de la energía reactiva. La potencia contratada representa un componente alto en la factura total, factor que al estar regulado no es objeto de negociación con las empresas comercializadoras de energía eléctrica. La energía reactiva es un tipo de energía que se transporta por las redes de alumbrado, ocasionando pérdidas y sin que tenga un aprovechamiento útil para la iluminación pero si suponiendo un recargo en la facturación total. Se debe prestar especial atención a este tipo de energía y en caso de que se genere, adoptar las medidas necesarias para su compensación. Con ello, se podrán evitar los recargos que las empresas comercializadoras realizan por este concepto.

Por último, como se ha comentado anteriormente, dónde se pueden obtener las mayores mejoras en la política de reducción de costes es en la reducción de potencias instaladas. Entre las medidas de ahorro que se pueden aplicar se encuentra la sustitución de las lámparas por otras de mayor eficiencia lumínica o la implantación de sistemas de regulación del flujo lumínico de los puntos de luz y de los encendidos y apagados, permitiendo su variación a lo largo de la noche en función de sus necesidades.

### **2.3.2.- Mejora de los niveles de iluminación**

España, cuenta con una normativa relativamente reciente ya que antes de la entrada en vigor del REEIAE y sus instrucciones técnicas complementarias (ITC) EA-01 a EA-07 el 1 de Abril de 2009, no existía ninguna normativa que regulase los niveles de iluminación en las calzadas, parques o fachadas de edificios. Si bien es cierto, que existían una serie de recomendaciones pero que en ningún momento eran de obligado cumplimiento.

A esta circunstancia se une unos años de gran desarrollo urbanístico en las ciudades españolas. Hecho que generaba gran cantidad de ingresos en las arcas municipales con los que se transformaban espacios urbanos ya implementados o bien se llevaba a cabo un incremento del casco urbano de la ciudad, con el consiguiente aumento de sus respectivos bienes y servicios.

En lo que respecta al alumbrado público, estas mejoras se llevaron a cabo, en la medida de lo posible, siguiendo criterios de eficiencia energética aunque no ocurrió así si nos fijamos en la eficacia de las instalaciones. Movidos por el pensamiento de que contábamos con recursos casi “ilimitados”, se incurrió en la implantación de instalaciones sobredimensionadas, que en el sentido de la iluminación dieron lugar a una clara sobreiluminación.

Este hecho, no solo afecta a un excesivo gasto económico debido al alto consumo de energía eléctrica sino que también es un problema muy importante medioambientalmente hablando. Con el inconveniente de la sobreiluminación generamos una gran contaminación lumínica que es uno de los tipos de contaminación menos conocidos. Debido a ella, provocamos inseguridad vial, dificultad en el tráfico aéreo y marítimo o daño a los

ecosistemas nocturnos al alterar los ciclos de día-noche de las especies; incluso afectamos a la propia salud humana por el impacto que supone la luz artificial en nuestros relojes biológicos.



Figura 2.11.- Contaminación Lumínica en Madrid.

Debido a esto las administraciones, como gestores de las instalaciones, tienen el reto de optimizar el excesivo consumo energético que supone este sobredimensionamiento para poder adecuar los niveles lumínicos y así contribuir a un ahorro energético y a una menor contaminación lumínica.

### **2.3.3.- Sustitución de instalaciones ineficientes**

El gran número de instalaciones de iluminación urbana al que no se le han aplicado las renovaciones necesarias de sus elementos hace que un porcentaje muy elevado de las instalaciones de alumbrado público urbano presenten, en líneas generales, una obsolescencia muy superior a la requerida. Esto hace que tanto luminarias, como soportes y elementos de regulación y control hayan sobrepasado su vida útil.

Por un lado, con la irrupción de la tecnología LED en el mundo de la iluminación y su particular aplicación en el ámbito del alumbrado público se plantea un nuevo reto para

solucionar este tema. Las renovaciones y mejoras ya no se llevan a cabo únicamente para eliminar componentes obsoletos sino que también se realizan por razones de eficiencia energética y ahorro en el mantenimiento, esto abre un nuevo campo en la gestión energética en la iluminación.

Como se describirá en los capítulos posteriores del presente trabajo, las fuentes de luz a base de tecnología LED presentan una gran ventaja respecto de sus competidoras actuales, las lámparas de vapor de sodio de alta presión, en el sentido de una mayor eficiencia así como una mayor eficacia tanto en la propia fuente de luz como en las luminarias sobre las que se montan.

Por otro lado, su notable vida útil, del orden de 20 veces superior a las lámparas de vapor de sodio de alta presión, hace que la implementación de este tipo de tecnología en las calles de nuestro país no sea un reto sino una realidad. Esto, unido a sus bajos costes de mantenimiento o la lenta depreciación de sus requisitos fotométricos hace que sea el candidato número uno para la iluminación pública en el futuro.

### **2.3.4.- El control de las instalaciones y una gestión eficiente.**

Esta es la época de las tecnologías y el transporte de información y como no puede ser de otra forma el alumbrado urbano no puede ser ajeno a esta corriente. Resulta por tanto necesario que se incorpore a esta dinámica de funcionamiento. El hecho de cómo se encuentran las instalaciones implementadas actualmente puede dar una idea de la forma en la que se tiene que actuar sobre ellas.

Una característica común que tienen las instalaciones de alumbrado existentes es el bajo nivel de control que implementan. Aún existen gran cantidad de instalaciones cuyo único elemento de control es el dispositivo de apagado y encendido y carecen de cualquier elemento que aporte información acerca del modo y estado de funcionamiento. Actualmente, se están implementando sistemas de control a nivel de centro de mando pero en mayor medida con funciones de monitorización que no con funciones de actuación y control de las instalaciones.

En este sentido, el objetivo será incorporar 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 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.

Las soluciones de telegestión constituyen un importante avance en tecnología de iluminación, ya que brindan considerables ventajas y sustanciales ahorros de energía. Cada punto de luz puede conmutarse o regularse individualmente a conveniencia, y la monitorización 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.

El avance de los sistemas de control del alumbrado es tal, que ya existen sistemas de regulación de luz por detección de presencia para alumbrado exterior [6], Figura 2.12.



Figura 2.12.- Sistemas de regulación por detección de presencia.

Dado que las luminarias solo se encienden cuando es necesario, los ayuntamientos pueden maximizar el ahorro de energía y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> sin comprometer el nivel de seguridad en las calles.

# 3. - Conceptos generales sobre alumbrado urbano

En la actualidad, se emplea la energía eléctrica para llevar a cabo multitud de actividades de nuestro día a día como la comunicación, el tratamiento de información, procesos de fabricación, generación de calor y de frío, el movimiento o simplemente, y no menos importante, la generación de luz. Desde su aparición, a finales del siglo XIX, la generación de luz ha llevado consigo numerosos cambios en la forma de vida de la sociedad, esto es, proporcionando nuevos ambientes de trabajo, mejorando las condiciones de este o aportándonos nuevas formas de entretenimiento social.

Por un lado, los profesionales del sector de la iluminación están generando un gran esfuerzo por proporcionar fuentes de luz energéticamente eficientes. Sin embargo, una iluminación eficiente no sólo depende de la fuente de luz, sino también del sistema que acompaña y dirige su funcionamiento; de manera que aporte una iluminación suficiente para resolver el problema del alumbrado con seguridad, proporcionar comodidad visual o crear el ambiente que nosotros deseemos en función de la situación.

En este sentido, la tecnología LED es el resultado de la investigación para conseguir optimizar los objetivos anteriormente citados, ya que se adapta perfectamente a este campo de aplicación.

Así, el diseño será desarrollado en términos generales de eficacia y eficiencia, entendiendo dicho proyecto como la solución óptima que incluye el espacio a iluminar, los requerimientos visuales, la fuente de luz y su equipo de regulación asociado, las diferentes percepciones del observador, la luminaria y el sistema de control empleado según corresponda.

## 3.1.- Descripción de los conceptos luminotécnicos.

En el siguiente apartado, se describirán los conceptos luminotécnicos básicos que se utilizarán en el desarrollo del presente proyecto, con el fin de mejorar su comprensión. Por su importancia y frecuencia de utilización en el ámbito del diseño y explotación de las instalaciones, se han clasificado los conceptos en dos grupos conocidos como conceptos fotométricos y conceptos colorimétricos. Cabe destacar que también se ha llevado a cabo un tercer grupo teniendo en cuenta la duración de la fuente de luz.

### 3.1.1.- Conceptos fotométricos

Se agruparán, en este apartado, los conceptos referentes a la cuantificación de la potencia luminosa siendo los conceptos que se utilizan en mayor medida [7]:

- 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  $\Phi$  y su unidad es el lumen (lm).

- 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,  $cd = lm/sr$  (lumen/estereorradián).

- Deslumbramiento perturbador:

Deslumbramiento que perturba la visión de los objetos sin causar necesariamente una sensación desagradable. La medición de la pérdida de visibilidad producida por el deslumbramiento perturbador, ocasionado por las luminarias de la instalación de alumbrado público, se efectúa mediante el incremento de umbral de contraste.

Su símbolo TI, carece de unidades y su expresión, en función de la luminancia de velo  $L_v$  y la luminancia media de la calzada  $L_m$  (entre 0,05 y 5  $\text{cd}/\text{m}^2$ ), es la siguiente:

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_m)^{0,8}} (\text{en } \%)$$

Ecuación 3.1.- Deslumbramiento Perturbador para valores de luminancia inferiores a 5  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

Donde:

TI = Incremento de umbral correspondiente al deslumbramiento perturbador.

$L_v$  = Luminancia de velo total en  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

$L_m$  = Luminancia media de la calzada en  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

En el caso de niveles de luminancia media en la calzada superiores a 5  $\text{cd}/\text{m}^2$ , el incremento de umbral de contraste viene dado por:

$$TI = 95 \frac{L_v}{(L_m)^{1,05}} (\text{en } \%)$$

Ecuación 3.2.- Deslumbramiento Perturbador para valores de luminancia superiores a 5  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

- Eficacia luminosa de una lámpara:

Es la relación entre el flujo luminoso emitido por la lámpara y la potencia consumida por ésta. Se expresa en  $\text{lm}/\text{W}$  (lúmenes/vatio).

- Flujo Hemisférico Superior Instalado de la Luminaria ( $FHS_{inst}$ ):

También denominado  $ULOR_{inst}$ , se define como la proporción en tanto por ciento del flujo de una luminaria que se emite sobre el plano horizontal que pasa por el centro óptico de la luminaria respecto al flujo total saliente de la luminaria, cuando la misma está montada en su posición de instalación.

- Iluminancia horizontal en un punto de una superficie:

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

La expresión de la iluminancia horizontal en un punto  $P$ , en función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, definida por las coordenadas  $(C, \gamma)$  en la dirección del mismo, y de la altura  $h$  de montaje de la luminaria, es la siguiente:

$$E = \frac{I(c, \gamma) \cos^3 \gamma}{h^2}$$

Ecuación 3.3.- Iluminancia horizontal en un punto de la superficie.

- Iluminancia media horizontal:

Valor medio de la iluminancia horizontal en la superficie considerada, su símbolo es  $E_m$  y se expresa en lux.

- Iluminancia mínima horizontal:

Valor mínimo de la iluminancia horizontal en la superficie considerada, cuyo símbolo es  $E_{\min}$  y se expresa en lux.

- Iluminancia vertical en un punto de la superficie:

La iluminancia vertical (lux) en un punto  $P$  en función de la intensidad luminosa (cd) que incide en dicho punto y la altura  $h$  de montaje de la luminaria (m) es la siguiente:

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

Ecuación 3.4.- Iluminancia vertical en un punto de la superficie.

- Índice de deslumbramiento (GR):

Es el índice que caracteriza el nivel de deslumbramiento (en inglés, “Glare Rating”), mediante la formulación empírica reflejada en la norma CIE 112:94 según la siguiente expresión:

$$GR = 27 + 24 \log \frac{L_v}{(L_{ve})^{0,9}}$$

Ecuación 3.5.- Deslumbramiento GR.

Siendo:

$L_v$  = luminancia de velo debida a las (n) luminarias.

$L_{ve}$  = luminancia de velo denominada equivalente, producida por el entorno.

- Luminancia de velo:

Es la luminancia uniforme equivalente resultante de la luz que incide sobre el ojo de un observador y que produce el velado de la imagen en la retina, disminuyendo de este modo la facultad que posee el ojo para apreciar los contrastes. Su símbolo es ( $L_v$ ) y se expresa en  $cd/m^2$ .

La *luminancia de velo* se debe a la incidencia de la luz emitida por una luminaria sobre el ojo de un observador en el plano perpendicular a la línea de visión, dependiendo así mismo del ángulo comprendido entre el centro de la fuente deslumbrante y la línea de visión, así como del estado fisiológico del ojo del observador. La luminancia de velo  $L_v$  responde a la siguiente expresión:

$$L_v = K \frac{E_g}{\theta^2}$$

Ecuación 3.6.- Luminancia de velo.

Siendo:

K = Constante que depende fundamentalmente de la edad del observador y, aunque es variable, se adopta como valor medio 10 si los ángulos se expresan en grados, y  $3 \times 10^{-3}$  si se expresan en radianes.

$E_g$  = iluminancia en lux sobre la pupila, en un plano perpendicular a la dirección visual y tangente al ojo del observador.

$\theta$  = Ángulo entre el centro de la fuente deslumbrante y la línea de visión, es decir, ángulo formado por la dirección visual del observador.

Para el conjunto total de una instalación de alumbrado público habrá que tener en cuenta todas las luminancias de velo para cada luminaria, considerando además que la primera luminaria a tener en cuenta es la que forma  $20^\circ$  en ángulo de alzada con la horizontal.

- Luminancia en un punto de la superficie:

Es la intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por la misma superficie en la dirección del ojo del observador. Su símbolo es  $L$  y su unidad la candela entre metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

La expresión de la luminancia en un punto  $P$ , en función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, de la altura  $h$  de montaje de la luminaria y de las características de reflexión del pavimento  $r(\beta, \text{tg } \gamma)$ , es la siguiente:

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

Ecuación 3.7.- Luminancia en un punto de la superficie.

- Luminancia media de una superficie:

Valor medio de la luminancia de la superficie considerada. Su símbolo es  $L_m$  y se expresa en  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

- Luz intrusa o molesta:

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.

- Relación de Entorno (SR):

Relación entre la iluminancia media de la zona situada en el exterior de la calzada y la iluminancia media de la zona adyacente situada sobre la calzada, en ambos lados de los

bordes de esta. La relación entorno SR es la más pequeña de las dos relaciones entorno calculadas. La anchura de las dos zonas de cálculo para cada relación de entorno se tomará como 5 m o la mitad de la anchura de la calzada, si ésta es inferior a 10 m.

- Resplandor luminoso nocturno:

Luminosidad o brillo nocturno producido, entre otras causas, por la luz procedente de las instalaciones de alumbrado exterior, bien por emisión directa hacia el cielo o reflejada por las superficies iluminadas.

- 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.

- 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 menor de todos ellos. Su símbolo es  $U_l$  y carece de unidades.

- 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.

### **3.1.2.- Conceptos colorimétricos**

Podemos diferenciar dos cualidades que definen perfectamente las propiedades de color de una fuente de luz, por un lado la apariencia de color de la fuente, es decir, el color que presenta la propia fuente de luz y la reproducción cromática obtenida con una fuente de

luz determinada, o lo que es lo mismo, cómo son reproducidos los colores de los objetos iluminados por esa fuente de luz.

Estas dos propiedades dependen de la composición espectral de la luz emitida. Cada espectro tiene una longitud de onda diferente la cual determinará el color resultante que presenta la fuente de luz y, por otro lado, los objetos iluminados reproducirán los colores reflejando la luz que reciben de esa fuente. En definitiva, atendiendo a las características asociadas al color de la luz se distingue entre:

- Rendimiento de color:

Efecto de un iluminante sobre el aspecto cromático de los objetos que ilumina por comparación con su aspecto bajo un iluminante de referencia.

Los colores de los objetos que nos rodean se determinan, en parte, por la luz bajo la cual se miran. La forma en que la luz reproduce estos colores se *denomina índice de rendimiento de color (Ra)*. El color de un objeto depende de la distribución de la energía espectral de la luz con que está iluminado y de las características reflexivas de dicho objeto.

El índice de rendimiento de color es la medida del grado en que el color psicofísico de un objeto iluminado por el iluminante de ensayo coincide con el del mismo objeto iluminado con el iluminante de referencia, habiéndose tenido correctamente en cuenta el estado de adaptación cromática. Este índice de rendimiento o reproducción de color (Ra) se clasifica en grupos que van de  $Ra > 90$  (muy bueno) a  $Ra < 40$  (muy malo).

- Temperatura de color:

La temperatura de color ( $T_c$ ) de una lámpara es la temperatura media en grados Kelvin que tiene que alcanzar un radiador de Plank (cuerpo negro), para que la tonalidad o color (cromaticidad) de la luz emitida sea igual a la de la lámpara considerada.

La temperatura de color o tono de luz es el aspecto general del ambiente que proporciona la iluminación y puede ser cálido, neutro o frío, pudiéndose establecer la siguiente clasificación, Tabla 3.1:

<b>Tono de luz blanco cálido (bc)</b>	$T_c \leq 3300 \text{ K}$
<b>Tono de luz blanco neutro (bn)</b>	$3300 \text{ K} < T_c \leq 5000 \text{ K}$
<b>Tono de luz blanco luz día (frío) (bf)</b>	$T_c > 5000 \text{ K}$

Tabla 3.1.- Grados de temperatura de color [4].

### 3.1.3.- Duración de la fuente de luz

Se podría definir como el tiempo, medido en horas, que transcurre hasta que una fuente de luz se considera no apta según un determinado criterio. En general, se definen dos tipos de duración:

- Vida útil de la fuente de luz:

La vida útil estimada de una luminaria es el periodo de tiempo en la que ésta funciona sin llegar a perder más de un porcentaje determinado de su flujo lumínico inicial. Está basada en la vida útil de todos los componentes que forman la misma [8].

Los elementos que cuantifican el valor de la vida de la luminaria son la envolvente, la fuente de luz así como el resto de los componentes que forman la misma. Cabe destacar, que en las nuevas fuentes de luz como pueden ser los LED hay que tener especial consideración con la temperatura de funcionamiento, la corriente de funcionamiento así como las condiciones ambientales a las que se ve sometida la luminaria.

Finalmente, según el número de horas de funcionamiento que acumula una fuente de luz esta va sufriendo una reducción de su flujo luminoso. Esta reducción se llama depreciación del flujo luminoso de una fuente de luz. Cabe destacar, que debe ser tomada en cuenta al calcular el valor de la iluminancia en servicio de una instalación.

- Vida media de la fuente de luz:

Se considera que la fuente de luz es inútil cuando deja de funcionar. La vida media se determina mediante ensayos de duración, por lotes de lámparas, asignando el valor de la vida

media al número de horas de funcionamiento hasta que se ha producido el 50% de los fallos en el lote.

## 3.2.- Características de las fuentes de luz en el alumbrado público

Las propiedades más importantes que caracterizan al alumbrado público deben de encontrarse de forma equitativa en las instalaciones, a saber, eficiencia, duración, entorno en el que se implementan o rendimiento de color entre otras.

A continuación, se detallan algunas de las características más relevantes de las instalaciones que se pueden encontrar implementadas en el alumbrado público nacional. No se trata de realizar una descripción exhaustiva de todas las fuentes existentes sino las de mayor utilización en iluminación urbana. Por tanto, no se incluyen en el siguiente apartado las fuentes de luz obsoletas, las de uso específico o aquellas cuyo uso está prohibido por la legislación actual. Este es el caso de la incandescencia, las lámparas de vapor de sodio de baja presión, o las de vapor de mercurio entre otras.

Cabe destacar que tampoco se incluirán aquellas sin aplicación práctica en el alumbrado público como las fuentes de luz de grandes potencias para proyección o recintos deportivos.

### **Fuentes de luz obsoletas o prohibidas por la legislación actual**

- *Vapor de sodio de baja presión (VSBP):*

La eficacia luminosa de este tipo de lámparas oscila entre los 100 y los 198 lm/W, en función de la potencia de las mismas. Se definen como lámparas con una Tc de unos 1.800 K y su vida útil ronda las 12.000 horas siempre que se mantengan las especificaciones aportadas por el fabricante. Su tiempo de encendido es de aproximadamente 12 minutos y no son regulables. Dado el color de la luz emitida, su uso queda reducido a aquellas aplicaciones en las que la reproducción cromática no es un factor muy relevante en los objetos iluminados.

- *Vapor de mercurio de alta presión (VMAP):*

La eficacia luminosa de este tipo de lámparas oscila entre los 36 y los 59 lm/W, en función de la potencia de estas. Se estima una Tc alrededor de los 3.300 K y su vida útil varía entre las 12.000 y las 24.000 horas siempre que se mantengan las especificaciones de funcionamiento facilitadas por el fabricante. Necesitan un equipo auxiliar para su funcionamiento y no se recomienda su regulación. El RD 1890/2008 del 14 de Noviembre, por el que se aprueba el REEIAE , prohíbe la utilización, en estas instalaciones, de lámparas con eficiencias inferiores a 65 lm/W; por lo tanto queda excluida de aplicación en este ámbito. No obstante, y dado que aún existe algún reducto de este tipo de lámparas instaladas en España, se han incluido en esta descripción; siendo conscientes de que en muy poco tiempo no quedará ninguna.

- *Lámpara de mezcla*

También conocida como “lámpara de luz mezcla” por disponer en la misma ampolla de vidrio de una lámpara de vapor de mercurio y de una lámpara de filamento incandescente conectadas en serie. La denominación de esta lámpara es debida a que ambos tipos de luz se combinan o mezclan, dando lugar a unas características de lámpara completamente distintas a las de incandescencia o vapor de mercurio.

La eficiencia de esta lámpara es bastante pobre con valores entorno a los 25 lm/W. La vida útil es variable ya que son lámparas muy sensibles a vibraciones y sobretensiones. Igual que la lámpara de mercurio está prohibida su utilización.

- *Lámpara de inducción*

En este tipo de fuente de luz, la excitación eléctrica de los átomos de mercurio del gas tiene lugar por la acción de un campo electromagnético producido por un generador de alta frecuencia que transmite una corriente mediante una antena u otro sistema, en función del modelo de lámpara. Tiene una eficiencia muy baja, que se fija entre los valores de 65 a 85 lm/W. No está prohibida su utilización pero ha desaparecido del catálogo de los fabricantes, aun pudiendo alcanzar las 60.000 horas de vida útil, debido a su baja eficiencia.

### **3.2.1.- Lámpara de Halogenuros metálicos con tubo de descarga de cuarzo.**

Como se ha comentado anteriormente, es posible mejorar el rendimiento de color de la lámpara de vapor de mercurio de alta presión mediante el uso de diferentes aditivos fluorescentes adheridos en el interior de la ampolla de vidrio, si bien es la adición a la descarga de otros metales distintos al mercurio, los que ha permitido mejorar el índice de reproducción de color de la luz emitida. En base a otros elementos incorporados, las lámparas de este apartado pueden dividirse en tres grupos:

- *Radiadores de tres bandas*, que emplean yoduros de sodio, talio e indio.
- *Radiadores multilínea*, que emplean yoduros de tierras raras y metales asociados, tales como escandio, disprosio, tulio y holmio.
- *Radiadores moleculares*, que emplean yoduro de estaño y cloruro de estaño.

Las distintas tecnologías empleadas en la fabricación de estas lámparas, hace que sea muy difícil conseguir dos lámparas exactamente iguales con respecto a las características de temperatura de color, índice de reproducción cromática, eficacia y vida útil, ya que se producen variaciones importantes en los citados parámetros. Incluso los equipos auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento de las lámparas pueden ser incompatibles, por lo que antes de su aplicación se debe consultar a los fabricantes. La depreciación del flujo luminoso de estas lámparas suele ser muy importante, debido principalmente a la migración de los componentes a través del tubo de descarga. Figura 3.1.

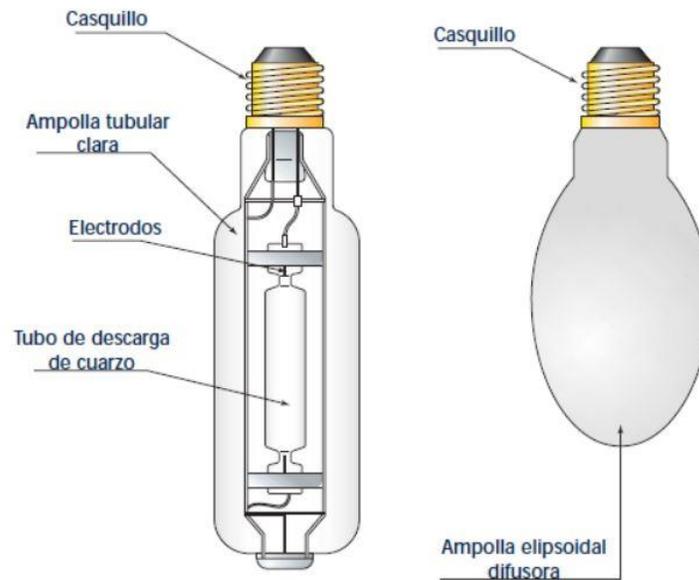


Figura 3.1.- Lámpara de Halogenuro metálico con tubo de descarga de cuarzo.

Ninguna de las lámparas de los tres grupos citados puede regularse manteniendo sus características de color y vida razonables, con el riesgo añadido de la extinción del arco y el consiguiente apagado de la lámpara.

Las variaciones de la tensión de red sobre la lámpara afectan a la corriente, el flujo luminoso y la potencia en la lámpara. Estas lámparas de descarga son más sensibles a las variaciones de la tensión que otras lámparas de descarga. La tensión no debe superar el 3% de la nominal porque afecta negativamente a la vida de la lámpara y varía el rendimiento de color [9].

### **3.2.2.- Lámparas de halogenuros metálicos con tubo de descarga cerámico.**

Este tipo de lámpara es el último desarrollo de lámparas de descarga en gas. La utilización de la mezcla de Ioduro metálico mezclado con tierras raras en un tubo de descarga cerámico permite la fabricación de lámparas de características de color superiores a sus equivalentes de halogenuros metálicos en tubo de descarga de cuarzo.

Así como ejemplo, la lámpara de cuarzo de  $T_c=3000$  K con un  $R_a=70$  pasa a tener un  $R_a=80$  con tecnología de cerámica y, la de cuarzo de  $T_c=4200$  K con un  $R_a=80$ , pasa a tener un  $R_a>90$  con la tecnología de cerámica.

Las lámparas de este tipo que inicialmente se conocieron en el mercado no podían ser reguladas sin alterar gravemente sus características de color, pero posteriormente algún fabricante ha lanzado este tipo de lámparas como regulables, admitiendo que al regular la lámpara al 50% de su flujo nominal, este pase de un  $R_a=90$  a  $R_a=80$  [10].



Figura 3.2.- Lámpara de Halogenuro metálico con tubo de descarga de cerámico.

En cuanto al quemador cerámico, tiene varias ventajas respecto al quemador de cuarzo. A continuación se describen las siguientes:

- Estabilidad de color durante el período de vida ya que no existe migración de sodio.
- Igualdad de color de las lámparas
- Mayor resistencia a la temperatura en el interior del tubo de descarga que tiene como consecuencia mejor reproducción cromática.
- Mejor rendimiento del conjunto de la lámpara, luminaria y equipo auxiliar.

### **3.2.3.- Lámpara de vapor de sodio de alta presión.**

De igual modo que las lámparas de vapor de sodio de baja presión tienen un color amarillento dorado y tienen su campo de aplicación en alumbrado exterior fundamentalmente, siempre y cuando, no exista una alta exigencia en el rendimiento cromático.

El tubo de descarga que incorpora este tipo de lámparas está relleno de xenón y una amalgama de sodio y mercurio a alta presión. La emisión de energía luminosa es mayoritaria en longitudes de onda entre los 550 y 650 nm, pero varía en función del tipo y potencia. La eficacia de este tipo de lámparas oscila entre los 68 y los 150 lm/W, en función de la potencia de las mismas. La apariencia de color es variable en función del tipo, alcanzando o superando levemente una Tc de unos 2.000 K.

El rendimiento de color es pobre ( $R_a=25$ ) y la vida útil varía entre las 10.000 y las 22.000 horas siempre que se mantengan las especificaciones de funcionamiento facilitadas por el fabricante. También necesitan de un equipo auxiliar para su funcionamiento, si bien, en este caso, el tiempo de encendido hasta alcanzar el régimen de funcionamiento nominal puede oscilar entre los 5 y 10 minutos. Además permite regular la emisión de luz utilizando para ello un sistema adecuado a tal fin.

En este sentido, existen variaciones de este tipo de lámparas donde se consigue un rendimiento de color más elevado, alcanzando valores de  $R_a=60$ . Permiten la regulación del flujo luminoso emitido, pero pierden sus características de color, Figura 3.3.



Figura 3.3.- Instalación de luminarias de vapor de sodio de alta presión.

Otra variante de este tipo de lámparas son las denominadas lámparas de sodio blanco, que proporciona el mayor índice de reproducción cromática posible en lámparas de sodio. Gracias a la tecnología utilizada en esta lámpara se consigue una luz blanca dorada, con temperatura de color de 2.500 K y un índice de reproducción de color superior a 80 ( $R_a > 80$ ). Todo ello a costa de perder mucha eficacia, ya que difícilmente alcanza los 50 lm/W.

La utilización de este tipo de lámparas está prohibida por la legislación actual ya que, como se ha dicho anteriormente, no permite la implementación de fuentes de luz con una eficiencia inferior a 65 lm/W.

### **3.2.4.- Fuentes de luz en estado sólido. LED y OLED.**

En la actualidad, la incorporación de nuevas luminarias con módulos de diodos emisores de luz o LED's para el alumbrado público de viales se considera una adecuada, como se comentó anteriormente, siendo una alternativa para la sustitución de las tradicionales alternativas que aún se encuentran instaladas y que continúan operando.

El principio físico de generación de energía luminosa en el que están basados estos dispositivos difiere de los analizados para las otras familias de fuentes de luz analizadas anteriormente, al no existir ni un filamento metálico incandescente ni una descarga eléctrica en el seno de un determinado gas. En cuanto a dispositivos en estado sólido emisores de luz analizaremos dos tipos: los LED y los OLED.

El acrónimo LED proviene de las siglas en idioma inglés Lighting Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz). Por tanto, un LED es un diodo (componente electrónico semiconductor) que, al ser atravesado por una corriente eléctrica en unas determinadas condiciones, emite luz.

La energía luminosa emitida, en forma de fotones, puede ser visible, infrarroja o muy próxima al espectro ultravioleta. Su longitud de onda y por tanto su color, depende básicamente de la composición química del material semiconductor utilizado. Los utilizados en alumbrado se denominan genéricamente como led de alta potencia.

El LED, desde el punto de vista de emisión de energía luminosa, solamente funciona cuando es alimentado con una polarización correcta en sus bornes. No puede conectarse directamente a la tensión de la red, necesitando para su correcto funcionamiento la utilización de una fuente de alimentación, denominada comúnmente “driver”. En términos generales la luz generada por los LED es monocromática, y los distintos colores son producto del material semiconductor utilizado para su fabricación.

La aplicación del denominado “LED de alta potencia como iluminante”, es la generación de luz blanca y buena reproducción de color, es la que despierta el mayor interés. Esto se puede conseguir mediante dos métodos:

- Mediante la mezcla de luz emitida por tres chips monocromáticos: azul, verde y rojo.
- Mediante la combinación de un chip azul y capas de fósforo.

El primer método raramente se utiliza para producir un LED “blanco”, aunque si que se utiliza para realizar juegos de colores, regulando independientemente la intensidad de corriente que circula por cada chip.

Mediante el segundo método se puede obtener luz blanca cálida o fría en función de los fósforos que se utilicen. Si se utilizan fósforos amarillos se tendrá un led blanco frío y de un Ra en torno a 60, mientras que si se utilizan fósforos rojos y verdes, se puede obtener un LED blanco cálido de mejor reproducción cromática ( $Ra < 80$ ) pero con algo menos de flujo luminoso.

Con el objeto de obtener un cierto grado de homogeneidad para una aplicación determinada, se recurre al denominado “binning”, que involucra la caracterización de los leds mediante sus características fundamentales: flujo, color y voltaje.



Figura 3.4.- Luminaria LED.

Este segundo método tiene una variante denominada de “fósforos remotos”, consistente en montar una placa con varios LED azules en el interior de una cámara de alto grado de reflexión.

Esta cámara, denominada cámara de mezcla, permite que las eventuales diferencias en color y flujo de los chips empleados se mezclen, dando lugar a una luz azul uniforme. La capa de fósforos y el difusor utilizado transforman esta luz azul en luz blanca de gran

uniformidad. Con esta variante es posible incrementar la eficiencia del sistema en un 40%, asegurando la estabilidad del color.

### **Conjuntos multi-LED-PCB (Printed Circuit Board)**

Dado que el flujo luminoso unitario de los LED de alta potencia es aun relativamente bajo comparado con el de otras fuentes de luz anteriormente mencionadas, para su aplicación en iluminación se utilizan varios de ellos fijados a un circuito impreso, con dos funciones principales:

- ✓ Establecer las conexiones eléctricas entre los LED y el “driver”. Pueden ser fabricadas en fibra de vidrio o con un núcleo de metal (generalmente aluminio) con una ligera capa de fibra de vidrio, en cuyo caso se denominan MCPCB (*Metal Core Printed Circuit Board*).
- ✓ Transferir el calor generado por los LED al disipador térmico o aleta.

### **Características del LED:**

Frente a las otras fuentes de luz citadas en este capítulo, el LED aporta importantes ventajas para su utilización en el alumbrado exterior:

- Pequeñas dimensiones, que permiten gran flexibilidad y simplicidad de diseño de luminarias.
- Elevada eficacia lm/W en función de la intensidad de corriente con la que sea alimentado. Con la elevación de la corriente que circula por el LED (750 mA, 1 A) se incrementa el flujo emitido al mismo tiempo que la potencia consumida. Habitualmente con intensidades de corriente de 350 mA se consigue la mayor eficacia, alcanzando a día de hoy los 100 o 120 lm/W cuando varios LED trabajan en forma conjunta en una luminaria.
- Gran vida útil, de hasta 50.000 horas dependiendo de la temperatura ambiente en la que trabaje el LED, de la corriente de alimentación y de la disipación térmica de la solución empleada.
- Sin radiación ultravioleta ni infrarroja.

- Emisión luminosa fácilmente direccionable mediante lentes o reflectores, pudiendo alcanzar utilidades mayores con luminarias que incorporen LED que las obtenidas en luminarias dotadas de otras fuentes de luz convencionales.
- Mayor resistencia a golpes y vibraciones que el resto de las fuentes de luz habitualmente utilizadas.
- Encendido instantáneo y fácilmente regulable.

### **Características de los OLED (Organic Light Emitting Diode):**

Es un diodo orgánico de emisión de luz, que está formado por dos finas capas orgánicas denominadas capa de emisión y capa de conducción, que se encuentran comprendidas a su vez entre dos finas películas que hacen de ánodo y cátodo que, al aplicarles una estimulación eléctrica, reaccionan generando luz.

Los materiales utilizados y la estructura de las capas determinan las características de color de la luz emitida, vida útil y eficacia.

Actualmente se pueden encontrar dos tipos de OLED, en función de la tecnología empleada para la generación de energía luminosa: generación mediante moléculas, denominados SM-OLED (Small Molecule- OLED) y generación mediante polímeros, denominados PLED (Polymer Light Emitting Diodes).

En relación con las características del OLED, para su aplicación al alumbrado podemos destacar:

- Ligero y de muy poco espesor, permitiendo aplicaciones en las que el peso y volumen sean determinantes.
- Elevada reproducción cromática de la luz emitida ( $R_a > 80$ ).
- Larga vida útil ( $> 10.000$  horas).
- Fuente de luz difusa.
- Bajo voltaje de funcionamiento.
- Sin sustancias peligrosas en su composición.

Hoy en día, la utilización del OLED como fuente de luz se encuentra en su fase inicial de desarrollo, esperándose que a medio plazo se consigan eficacias superiores a 100 lm/W (actualmente unos 20 lm/W) y elevada vida útil a un costo competitivo para su utilización, especialmente en el alumbrado interior. Del mismo modo, si la tecnología permite la fabricación del OLED totalmente transparente, tendrá una gran aplicación como elemento de construcción [9].

## 3.3.- Equipos eléctricos auxiliares

Todas las fuentes de luz que se han descrito en el apartado anterior necesitan de un equipo auxiliar para que puedan ser conectadas a la red de alimentación eléctrica garantizando su óptimo funcionamiento y máxima eficiencia. Tanto las lámparas de descarga como los LED necesitan de un equipo auxiliar para su correcto funcionamiento.

### 3.3.1.- Equipos auxiliares para lámparas de descarga

Las lámparas de descarga en general tienen una característica tensión-corriente no lineal y ligeramente negativa, que da lugar a la necesidad de utilización de un elemento limitador de la intensidad que se denomina genéricamente balasto, tanto electromagnético como electrónico, para evitar el crecimiento ilimitado de la corriente y la destrucción de la lámpara cuando ésta ha encendido. Asociado al balasto electromagnético deberán preverse los elementos adecuados para la corrección del factor de potencia.

Además de los dispositivos de regulación de la corriente de lámpara y de corrección del factor de potencia, requeridos por todas las lámparas de descarga para su funcionamiento, algunos tipos de lámparas de alta corriente de descarga, como son las de *vapor de sodio a alta presión (VSAP)*, *lámparas de mercurio con halogenuros metálicos (HM) de tipo europeo* y *vapor de sodio a baja presión (VSBP)*, necesitan una tensión muy superior a la de la red para iniciar o “cebar” la corriente de arco. Se precisa, por tanto, incluir en el equipo auxiliar un dispositivo que proporcione y soporte en el instante de encendido la alta tensión necesaria para el cebado de la corriente de arco de la lámpara. Dicho dispositivo se denomina arrancador.

Las lámparas fluorescentes necesitan para su funcionamiento un cebador, mientras que las de vapor de sodio a baja presión también pueden funcionar con un balasto autotransformador [11].

A continuación, se hará una breve descripción de los dispositivos auxiliares más utilizados:

- **Balastos:**

Son dispositivos limitadores y estabilizadores de la corriente de arco o de lámpara, que impiden que dicha corriente crezca indefinidamente hasta la destrucción de la propia lámpara ya que una característica común de las lámparas de descarga es que ofrecen una impedancia al paso de la corriente eléctrica, que disminuye a medida que esta aumenta, motivo por el cual no pueden ser conectadas directamente a la red de alimentación sin este dispositivo limitador. Comprenden dos grandes grupos: los balastos electromagnéticos y los electrónicos, cuyos tipos más utilizados son los siguientes:

- *Balasto serie de tipo inductivo*

Aun cuando el balasto serie de tipo inductivo es el más utilizado, proporciona una baja regulación de corriente y de potencia frente a las oscilaciones de la tensión de la red de alimentación, por lo que su uso será adecuado siempre que dicha tensión no fluctúe más del 5 %. En estos casos, es necesario colocar un condensador en paralelo para aumentar el factor de potencia, Figura 3.5.

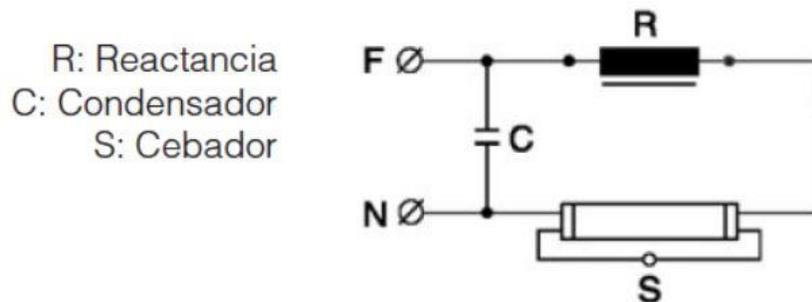


Figura 3.5.- Balasto serie de tipo inductivo [12].

- *Balasto serie de tipo inductivo para dos niveles de potencia*

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, bien durante las horas de encendido diario, a lo largo del fin de semana y/o estacionales, será adecuado utilizar balastos autorreguladores, electrónicos o un sistema de estabilización de tensión en cabecera de línea.

- *Balasto autorregulador*

Los balastos autorreguladores, al presentar una buena regulación de la corriente y potencia de lámpara en relación con las alteraciones de tensión de la red de alimentación, se utilizarán cuando dicha tensión oscile más del 10 %, Figura 3.6.

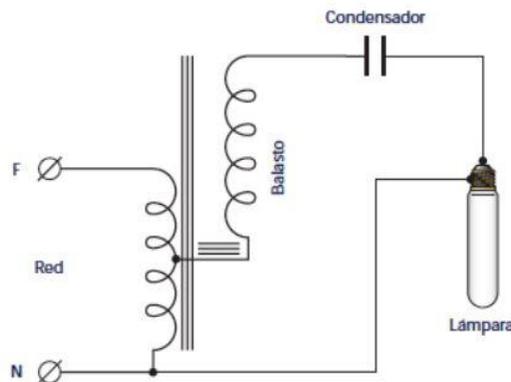


Figura 3.6.- Balasto autorregulador [12].

- *Balasto autotransformador*

En el caso de que la mencionada tensión sea insuficiente para un funcionamiento estable de la lámpara, se instalarán balastos autotransformadores que elevarán la tensión y regularán la corriente, y su uso se preverá generalmente cuando la tensión de la red de alimentación resulte inferior a 200 V.

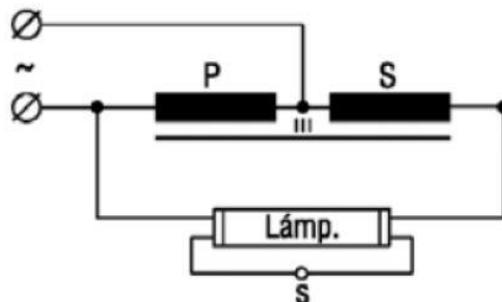


Figura 3.7.- Balasto autotransformador [12].

Los balastos deberán cumplir unas determinadas exigencias básicas referentes a las calidades y tipos de materiales utilizados en los aislamientos, bobinados y núcleos. Su idónea construcción garantizará la protección contra contactos eléctricos y el correcto funcionamiento de las lámparas a las que se asocia.

- *Balasto electrónico*

El balasto electrónico es un dispositivo compacto que realiza las funciones del equipo auxiliar y, por tanto, sustituye al balasto electromagnético, condensador y arrancador en las lámparas de sodio a alta presión.

El balasto electrónico estabiliza la potencia en lámpara y, consecuentemente, el consumo en red frente a variaciones de tensión comprendidas entre 180 y 250 V. Como resultado, al estabilizar la potencia, mantiene la vida media de la lámpara, lo que implica una ventaja sobre los balastos electromagnéticos, Figura 3.8.

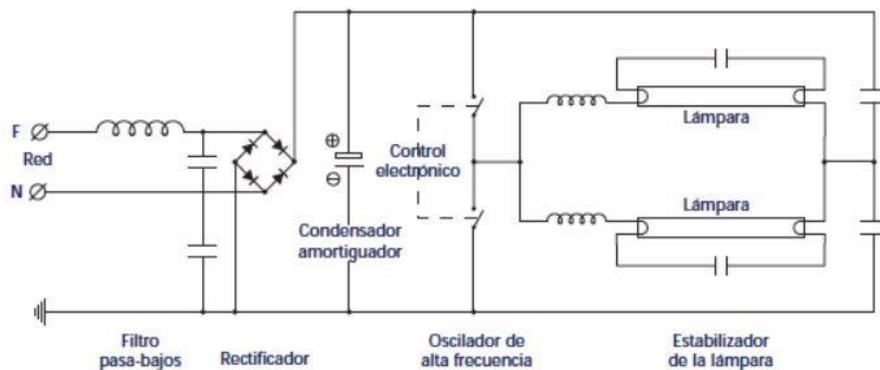


Figura 3.8.- Balasto Electrónico [12].

Por el contrario, los balastos electrónicos son equipos más sensibles y menos robustos que los electromagnéticos. En las condiciones de funcionamiento, las pérdidas propias del balasto electrónico no superan el 4 o 5% de la potencia eléctrica consumida en lámpara, lo cual resulta ventajoso frente al consumo real del equipo auxiliar (balasto electromagnético, condensador y arrancador).

El inconveniente de los balastos electrónicos frente a los electromagnéticos, dada su mayor sensibilidad, es la especial protección que debe tenerse en cuenta en relación específicamente a las tormentas meteorológicas entre nubes y tierra con sobrecargas eléctricas (caídas de rayos), elevadas temperaturas, perturbaciones eléctricas, etc.

- **Condensadores:**

En equipos para lámparas de descarga el condensador deberá ir asociado al balasto, bien en conexión a la red de alimentación para corregir el factor de potencia, o bien instalado en serie con el balasto y la lámpara sirviendo como elemento regulador de corriente y compensación, tal como es el caso de los balastos autorreguladores.

Algunos balastos electrónicos no requieren dispositivos adicionales para la corrección del factor de potencia, al incluir un circuito electrónico diseñado a tal efecto. Todos los condensadores deberán cumplir unas determinadas especificaciones básicas, eléctricas, térmicas, de terminales para el conexionado y geométricas.

- **Arrancadores:**

El arrancador es un dispositivo eléctrico, electrónico o electromecánico que por sí mismo o en combinación con el balasto, genera y superpone a la tensión de la red el impulso o los impulsos de alta tensión necesarios para el cebado o encendido de la lámpara. Figura 3.9

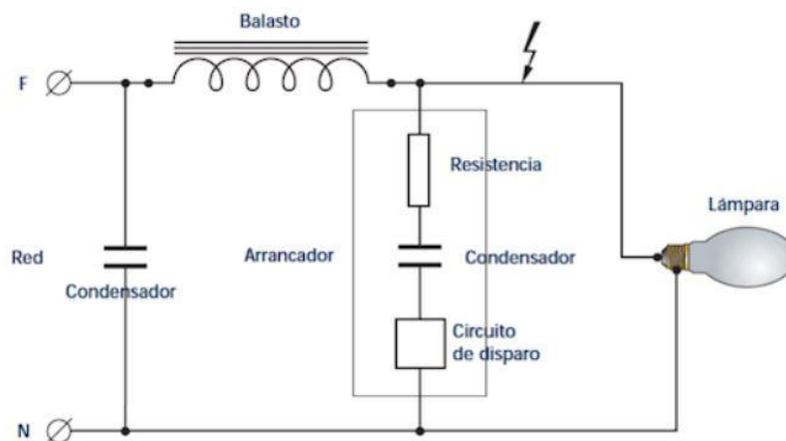


Figura 3.9.- Funcionamiento de un arrancador en paralelo [12].

Los tipos de arrancadores para lámparas de descarga, excepto las lámparas fluorescentes tubulares, son los siguientes:

- En serie con la lámpara (de impulsos independientes)
- En semiparalelo (de impulsos dependientes del balasto al que va asociado)
- En paralelo (independiente de dos hilos)
- En el caso de lámparas fluorescentes tubulares se instalarán cebadores, ya sean de efluvios o electrónicos.

### 3.3.2.- Equipos auxiliares electrónicos asociados a fuentes de luz en estado sólido LED.

Son fuentes de alimentación que suministran la tensión necesaria para que se produzca la emisión luminosa de estos elementos (diodos) y que garanticen la correcta polarización de estos; el funcionamiento permanente dentro del rango nominal de trabajo y la correcta estabilidad de sus parámetros de funcionamiento [9].

Por otro lado, se puede diferenciar el tipo de driver empleado en la gestión del funcionamiento del LED según:

- **Su tensión de alimentación:**
  - I. Sin fuente de alimentación incorporada: Necesitan una tensión de entrada en continua VDC, y por lo tanto precisan de una fuente de alimentación externa, para su electrónica y los LED, Figura 3.10.



Figura 3.10.- Driver para LED sin fuente de alimentación incorporada.

- II. Con fuente de alimentación incorporada: Se alimentan en corriente alterna 110 – 240 V e internamente llevan la fuente de alimentación incorporada, para su propia electrónica y para alimentar a los LED que cuelgan de sus salidas. Es un equipo compacto y existen versiones de diferentes potencias desde 20 W hasta 600 W, Figura 3.11.



Figura 3.11.- Driver para LED con fuente de alimentación incorporada.

- **El tipo de LED a controlar:**
  - I. Drivers para LED a corriente constante: Permiten seleccionar independientemente por cada salida que tenga el “driver”, la corriente adecuada, desde 200 mA hasta 1,050 mA.
  - II. Drivers para LED a tensión constante: En las versiones con la fuente de alimentación incorporada se puede seleccionar la salida a 12 V o 24 V.
- **La señal de control de regulación:**
  - I. Drivers con señal analógica o eléctrica de control de la regulación

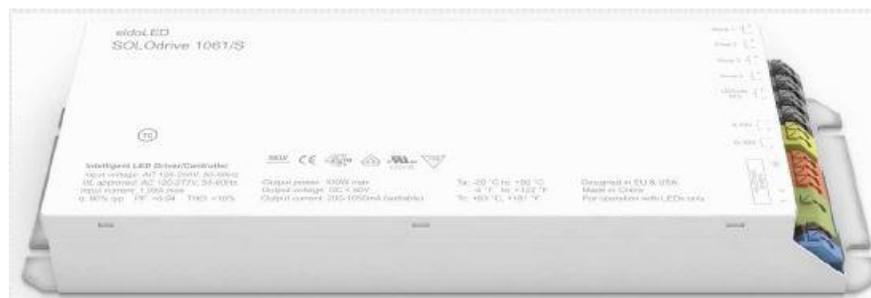


Figura 3.12.- Driver con señal analógica o eléctrica de control de regulación.

- II. Drivers con señal digital bus de comunicación
- III. Drivers multiprotocolo



Figura 3.13.- Driver de multiprotocolo.

- IV. Drivers autónomos (Standalone) o inteligentes: Contienen aplicaciones cargadas para realizar tareas concretas por ejemplo la regulación en función de presencia u horario. No requieren de un sistema de control externo [13].

## 3.4.- Luminarias

La norma UNE-EN 60598-1 define el concepto de luminaria como “aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de las lámparas y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación”.

En este sentido, esto no es suficiente para poder desempeñar su cometido de una manera eficiente, por lo que es necesario el cumplimiento de una serie de características ópticas, eléctricas y mecánicas.

Por otro lado, los materiales con los que se implemente la luminaria han de ser adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar dicho elemento y así facilitar las tareas de mantenimiento e instalación. Además, estos materiales deben de garantizar que la temperatura de la fuente de luz se adecue a los valores requeridos por el fabricante para un correcto funcionamiento de la instalación.

Todo esto, sin dejar de lado aspectos no menos importantes como la economía o la estética que garanticen un buen impacto visual y no distorsionen el entorno en el que son instaladas.

### 3.4.1.- Clasificación de las luminarias.

Para la descripción de este apartado nos ayudaremos de la clasificación que impone la normativa actualmente vigente en nuestro país en cuanto a iluminación de espacios públicos se refiere. Esta se trata en el citado *Reglamento Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE)* así como de sus *Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC)*.

Las luminarias pueden clasificarse atendiendo a varios criterios. Estos se corresponden a criterios de utilidad, ópticos, eléctricos y mecánicos.

### 3.4.1.1 Clasificación en función del uso.

- Vial Funcional: Se definen como tales las instalaciones de alumbrado vial de autopistas, autovías, carreteras y vías urbanas consideradas en la ITC EA-02 como situaciones de proyecto A y B.
- Vial Ambiental: Este tipo de alumbrado se ejecuta generalmente sobre soportes de baja altura (de 3 a 5 metros), en áreas urbanas para la iluminación de vías peatonales, comerciales, aceras parques y jardines consideradas en la ITC EA-02 como situaciones de proyecto C, D y E.

Tanto en los viales de tipo funcional como ambiental, el componente de tráfico rodado prevalece sobre el peatonal.

- Alumbrado Especial: Este tipo de alumbrado se refiere al alumbrado específico, al alumbrado ornamental, al alumbrado para vigilancia y seguridad nocturna; así como el de señales y anuncios luminosos los cuales se encuentran descritos en la ITC EA – 02.

La iluminación correspondiente a fachadas de edificios y monumentos, parques y jardines, pasarelas peatonales, glorietas o alumbrado adicional de pasos de peatones entre otros serían las instalaciones que se encajarían en este grupo.

- Alumbrado Festivo y Navideño: Se rige por unas instrucciones muy claras y concisas al tratarse de un alumbrado eventual.

Para las luminarias destinadas específicamente al alumbrado público, ya sea este viario o ambiental, se utilizan las clasificaciones según tres parámetros: alcance, dispersión y control.

Alcance: Es la distancia que alcanza la luz en dirección longitudinal. El ángulo ( $\gamma_{max}$ ) es el ángulo máximo que está definido por la vertical dirigida hacia abajo y el eje del haz, que se calcula en el plano de intensidad máxima como la bisectriz del ángulo que forman las direcciones para el 90% de la intensidad máxima. Con el criterio del alcance, se determina la

separación entre postes y luminarias. Un alcance largo permite obtener mayor separación y por el contrario, un alcance corto reduce la interdistancia.

**Dispersión:** Es la distribución de fotométrica en sentido transversal de la vía. Está definida por la línea, paralela a la calzada, que es tangente a la curva del 90% de la intensidad máxima proyectada sobre la calzada. Con el criterio de la apertura se determina la altura de montaje, el poste para el montaje de la luminaria y la potencia de la fuente de luz.

**Control:** Se define como la capacidad de controlar el deslumbramiento. Se define mediante el SLI (*Índice Específico de la Luminaria*).

### 3.4.1.2 Clasificación en función de las características ópticas.

El diseño óptico es el responsable de la forma y la distribución de la luz emitida. Por tanto, en función de las características ópticas, las luminarias tienen que asegurar:

- Un reparto luminoso adecuado, según el tipo de instalación al que se destinen.
- Evitar una grave contaminación lumínica.
- No producir en los usuarios un deslumbramiento perturbador o molesto.
- Garantizar un buen rendimiento luminoso del conjunto lámpara – luminaria.

Las características ópticas de las luminarias se pueden clasificar según el porcentaje de flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara; siendo distintas para interior y para exterior. La Tabla 3.2 y Figura 3.14 muestran la clasificación a realizar en caso de iluminación exterior:

Distribución Fotométrica	Dirección Intensidad Máxima Imáx	Intensidad máxima admisible emitida bajo un ángulo de	
		80°	90°
<b>Cut-off</b>	0 - 65°	30 cd / 1000 lm	10 cd / 1000 lm
<b>Semi Cut-off</b>	0 - 75°	100 cd / 1000 lm	50 cd / 1000 lm
<b>Non Cut-off</b>	0 - 90°	> 100 cd / 1000 lm	> 50 cd / 1000 lm

Tabla 3.2.- Valores característicos de las distribuciones fotométricas [20].

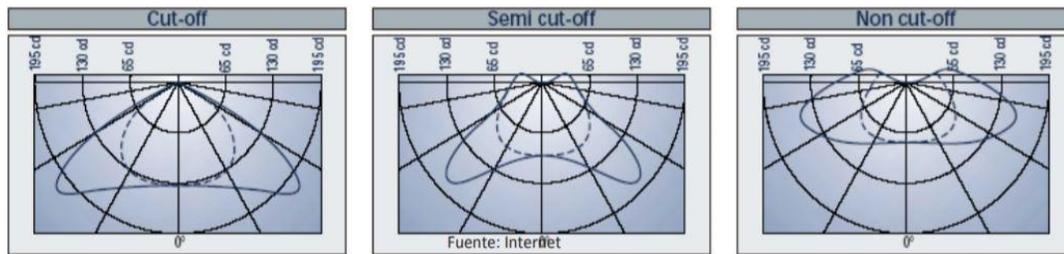


Figura 3.14.- Distribuciones fotométricas alumbrado exterior [14].

### 3.4.1.3 Clasificación en función de características mecánicas

La norma UNE 60598-1:2015 establece una clasificación de las luminarias a efectos de su grado de protección frente a la entrada de agua, de partículas y de polvo en suspensión. Esta norma asigna un código denominado IP (Ingress Protection) a las luminarias en función del grado de protección que presenten, seguido de dos números los cuales, Tabla 3.3:

- Por un lado, el primero oscila entre 0 (sin protección) a 6 (máxima protección) e indica la protección contra la entrada de cuerpos sólidos o polvo en la luminaria.
- Por otro lado, el segundo oscila entre 0 y 8 indicando el grado de protección frente a la penetración de líquidos.

Código IP	Protección contra polvo	Protección contra líquidos penetrantes
0	Ninguna protección	Ninguna protección
1	Protegido contra cuerpos sólidos de más de 50 mm	Protegido contra el goteo de agua/condensación
2	Protegido contra cuerpos sólidos de más de 12 mm	Protegido contra el agua de lluvia hasta 15° desde la vertical
3	Protegido contra cuerpos sólidos de más de 2,5 mm	Protegido contra el agua de lluvia hasta 60° desde la vertical
4	Protegido contra cuerpos sólidos de más de 1 mm	Protegido contra salpicaduras de agua en todas las direcciones
5	Protegido contra el polvo (sin depósitos nocivos)	Protegido contra chorros de agua desde todas las direcciones
6	Totalmente protegido contra el polvo	Protegido contra chorros de agua tipo ondas desde todas las direcciones
7		Protegido contra la inmersión
8		Protegido contra los efectos de la inmersión prolongada bajo el agua

Tabla 3.3.- Grado de protección IP de luminarias [15].

Finalmente, el código “IK”, definido en la norma UNE-EN 62262:2002, proporciona el grado de protección contra los impactos mecánicos externos, mediante estas dos letras características seguidas de cifras entre 00 y 10, que representan un valor de la energía de impacto, Tabla 3.4.

Código IK	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
JULIOS	0.15	0.2	0.35	0.5	0.7	1	2	5	10	20

Tabla 3.4.- Grado de protección IK de luminarias [16].

El grado de protección se aplica a la envolvente en su totalidad por norma general. Si algunas de las partes de esta envolvente tienen grados de protección diferentes, éstos deben indicarse por separado.

### 3.4.1.4 Clasificación en función de las características eléctricas

La norma UNE 60598-1:2015 clasifica las luminarias en función de la protección eléctrica que proporcionan. Esta se divide en 4 clases las cuales se muestran en la Tabla 3.5:

Clase	Protección Eléctrica
0	Aislamiento funcional sin toma de tierra
I	Aislamiento funcional con toma de tierra
II	Doble aislamiento sin toma de tierra
III	Luminarias para conectar a circuitos de muy baja tensión, sin otros circuitos internos o externos que operen a otras tensiones distintas a la mencionada.

Tabla 3.5.- Clases de protección eléctrica de las luminarias [15].

### 3.4.2.- Criterios de selección de luminarias

Las luminarias incluyendo los proyectores, que se instalen en las instalaciones de alumbrado excepto las de alumbrado festivo y navideño, deberán cumplir con los requisitos de la siguiente tabla respecto a los valores de rendimiento de la luminaria ( $\eta$ ) y factor de utilización ( $f_u$ ), Tabla 3.6.

PARÁMETROS	ALUMBRADO VIAL		RESTO DE ALUMBRADOS	
	Funcional	Ambiental	Proyectores	Luminarias
Rendimiento	$\geq 65\%$	$\geq 55\%$	$\geq 55\%$	$\geq 60\%$
Factor de utilización	Alcanzarán los valores que permitan cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en las tablas 1 y 2 de la ITC -EA-01		$\geq 0,25$	$\geq 0,30$

Tabla 3.6.- Características de las luminarias y proyectores [17].

Los criterios generales de selección de luminarias dependen del tipo de calle a iluminar, nivel de iluminancia de la calzada, nivel de iluminancia deseado, eficiencia, deslumbramiento, luminarias menos contaminantes, etc.

#### 3.4.2.1 Factores a tener en cuenta en el alumbrado vial funcional.

Para la elección de las luminarias en el alumbrado vial funcional se considera conveniente tener en cuenta los siguientes parámetros [17]:

- Características y eficacia fotométrica.
- Optimización del factor de utilización en función de los niveles de iluminación, las características dimensionales de la calzada a iluminar y geométricas de la instalación.
- 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 65 ó IP 66, preferiblemente este último.

- Utilización de cierres que mantengan el factor de transmisión de luz a lo largo del tiempo, preferentemente vidrio.

- Resistencia a los choques.

- Estética de la luminaria.

### **3.4.2.2 Factores a tener en cuenta en el alumbrado vial ambiental.**

Las luminarias utilizadas en el alumbrado vial ambiental, en general, son aparatos dotados de una envolvente decorativa destinada a establecer un determinado estilo o diseño apropiado que armonice con la estética del emplazamiento y su entorno.

Para la elección de las luminarias en el alumbrado vial ambiental se aconseja considerar 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, preferiblemente IP 65.

- Características fotométricas y limitación de deslumbramiento, con un flujo hemisférico superior instalado controlado, que limite el resplandor luminoso nocturno y reduzca la luz intrusa o molesta.

## 3.5.- Sistemas de regulación y control de instalaciones

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.

Esto se consigue 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.

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 [18].

### **3.5.1.- 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).

Los sistemas de regulación y control van desde los simples mecanismos de encendido y apagado de la instalación hasta complejos sistemas inteligentes que monitorizan y actúan sobre el alumbrado de toda una ciudad o comarca y que constituyen una herramienta insustituible para la gestión y la toma de decisiones de la iluminación.

A continuación, se muestran de una manera resumida los diferentes sistemas existentes, así como de mayor implantación, con objeto de completar el retrato de las instalaciones de iluminación que componen este capítulo.

### **3.5.2.- Equipos reductores - estabilizadores en cabecera**

Estos sistemas llevan a cabo la realización de dos funciones muy importantes en la gestión de las instalaciones de alumbrado público como son:

- La estabilización de la tensión de alimentación.
- La regulación del nivel luminoso por variación de tensión.

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

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 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.

- Disminuye el consumo hasta el 40 % (nivel reducido).
- Rápida amortización.
- Apto para lámparas VSAP y halogenuros metálicos.



Figura 3.15.- Reductor - Estabilizador de flujo en cabecera.

### **Funcionamiento de los reductores – estabilizadores en cabecera**

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

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

### **Ciclos de funcionamiento de los reductores de flujo**

Podemos enmarcar los ciclos de funcionamiento de los reductores de flujo luminoso en tres grupos:

*a) Régimen de arranque:*

Desde el momento de la conexión a la red, los reguladores de flujo inician su ciclo de funcionamiento consiguiendo un suave arranque de las lámparas y limitando los picos de intensidad de arranque en los balastos y líneas de alimentación. Este valor de tensión de arranque se mantiene durante un tiempo programable (desde unos segundos hasta varios minutos), transcurrido el cual el equipo varía la tensión de salida hasta quedar estabilizada en el nivel correspondiente (normal o reducido).

*b) Estabilización a régimen normal:*

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

- Cuando toda la instalación tiene lámparas nuevas, se puede programar un régimen normal a 210 V.
- Pasado el primer tercio de la vida útil de las lámparas 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.

*c) Estabilización a régimen reducido*

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

sin deterioro de su vida. 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 [18].

### **3.5.3.- Sistemas de control**

En el control de las instalaciones de alumbrado se realizan tareas de mantenimiento, conservación y vigilancia y, teniendo en cuenta, que son de carácter repetitivo y se llevan a cabo sobre instalaciones de grandes dimensiones la utilización de un sistema que permita recopilar toda esa información que obtiene del proceso será fundamental para poder tratar dicha información, a posteriori, y generar las acciones correctoras necesarias.

Las instalaciones de alumbrado público se estructuran, partiendo de los centros de mando, donde se alojan los elementos de medida y maniobra, y de aquí, salen las distintas líneas de distribución o circuitos, a los que se conectan los puntos de luz. El sistema reproduce esta estructura mediante una organización de control distribuido a tres niveles que son:

#### *I. Nivel punto a punto:*

En el nivel inferior, en cada punto de luz está la denominada Unidad de Punto de Luz, y cuya misión es detectar si el punto de luz está encendido o apagado y en este último caso discriminar cual es el componente averiado y transmitir esta información. Cuando no hay anomalía de funcionamiento, la unidad reporta parámetros de funcionamiento, o bien los almacena por si le son demandados por instancias superiores del sistema.

#### *II. Nivel cuadro de alumbrado:*

En el nivel intermedio, en cada cuadro de medida y maniobra está la Unidad de Cuadro de Alumbrado, que recoge la información de todas las Unidades de punto de luz que pertenecen a un determinado cuadro y junto con la información que adquiere sobre el funcionamiento del propio cuadro de alumbrado referente a las características eléctricas del suministro, consumos y eventos, la envía al siguiente nivel.

#### *III. Nivel puesto de mando central:*

En el nivel superior está la Unidad de Control Remoto, con su correspondiente sistema informático, que recibe toda la información de los dos niveles inferiores, es decir, de la unidad de cuadro de mando que a su vez contiene la información de las unidades de punto de luz que gobierna.

Toda esta información recibida sobre la instalación del alumbrado, tratada convenientemente, permite la gestión y control del servicio del alumbrado público a todos los niveles.

Por un lado, la Unidad de Control Remoto constituye el corazón de todo el sistema, ya que reúne toda la información de los niveles inferiores para su tratamiento y a su vez genera órdenes de actuación sobre los elementos de la instalación. La forma en la que opera es la siguiente:

- Recibe todos los datos de los dos niveles inferiores.
- Recibe las alarmas y las visualiza e imprime en tiempo real.
- Elabora órdenes de encendido y apagado total o parcial en función de los criterios adoptados.
- Programa y configura cada punto de luz.
- Elabora y presenta información para las labores de mantenimiento.

Por otro lado, la comunicación forma una parte esencial de todo el sistema. Existen sistemas cuya comunicación entre las unidades de punto de luz y las de cuadro se establece a través de la red de fuerza de la propia instalación de alumbrado. La transmisión se realiza en tiempo real y en presencia de tensión.

En otros casos, la comunicación entre las Unidades de cuadro con el centro de control remoto se puede realizar vía inalámbrica o por red de telefonía convencional. Existen actualmente una gran cantidad de medios de comunicación, sobre todo inalámbricos, ya sean exclusivos para este servicio o compartido con otras funciones.

Finalmente, el desarrollo de las “smart city”, ofrece soluciones particulares y personalizadas para cada caso experimentándose, actualmente, un gran avance en este campo

acompañado por el imparable desarrollo de la tecnología LED en iluminación, que al tener un componente electrónico importante facilita la gestión y operación por redes inteligentes y comunicadas [9].

## 3.6.- Implantaciones

Para concluir este capítulo sobre las instalaciones de alumbrado público, se describirán las actuaciones referentes a la implantación. Este proceso materializa sobre el terreno todo lo diseñado y considerado anteriormente. En la práctica, hay que distinguir diferentes situaciones que se pueden presentar y que requieren un tratamiento específico adecuado a cada circunstancia.

### 3.6.1.- Iluminación vial en tramos rectos.

Según el sistema de implantación y anchura de las calles, se recomienda instalar las luminarias cuya inclinación y reglaje permita alcances y dispersiones estipuladas por la normativa vigente. Esta situación se encuentra en los casos en que las vías son rectas, o con curvas ligeras de forma que es percibido por un peatón o un conductor que circula por la vía. La implantación de luminarias en tramos rectos de vial dependerá principalmente de:

- La sección tipo del vial.
- Los parámetros luminotécnicos que cumplir según la clase de alumbrado.
- Los condicionantes geométricos de la planificación urbanística.
- La economía de la instalación.
- Las condiciones de mantenimiento.

En lo que sigue se aportan unas indicaciones en cuanto a la toma de decisiones de los distintos parámetros sometidos a estudio en el posterior cálculo luminotécnico.

#### **Altura mínima de los puntos de luz**

En las vías de tráfico rodado, la altura mínima de los puntos de luz depende de la anchura de la calzada. Para asegurar una uniformidad media de iluminación suficiente, se recomienda, como norma general, una altura de implantación entre 0,7 y 0,8 de la anchura de la calzada.

Los cálculos exactos de cada instalación determinan la altura con total precisión considerando que deben adoptar alturas existentes en soportes de fabricación habitual salvo en casos excepcionales y muy singulares.

### **Relación separación – altura**

Para alcanzar una uniformidad longitudinal de luminancia adecuada para la iluminación de situaciones de alumbrado A y B, (Según clasificación de tipos de vías del REEIAE típicos de este tipo de vías, se recomienda como norma general la relación entre la separación  $S$  de puntos de luz y la altura  $H$  de implantación de estos de 4 a 4,5.

Nuevamente es necesario remitirse a los cálculos luminotécnicos exactos de la instalación, que se llevará a cabo a continuación, aceptando además que pueden existir condicionantes para la implantación como puede ser el mobiliario urbano, árboles, líneas de aparcamientos o accesos y vuelos de edificios [19].

### **Elección de la fuente de luz según la altura de implantación**

Al objeto de reducir los problemas de deslumbramiento e implantar instalaciones de alumbrado eficientes, se aconseja limitar las potencias de las fuentes de luz en función de la altura de montaje de los puntos de luz.

En consecuencia, siguiendo el código de buenas prácticas, los cálculos y la experiencia al respecto, se recomienda una potencia y tipo de lámpara en función de la altura de implantación como se muestra en la Tabla 3.7 [19].

Altura de Implantación (m)	Flujo luminoso (lm)	Tipo de lámpara		
		V.S.A.P (W)	Halogenuros (W)	LED (W)
5	5000	50 - 70	20 - 35 - 50 - 70	15 - 50
8	7500 - 17000	100 - 150	100 - 150	70 - 100
10	17000 - 32000	150 - 250	150 - 250	100 - 190
12	32000 - 56000	250 - 400	250 - 400	190 - 300
15	56000 - 90000	400 - 600	1000	-
20	90000 - 130000	600 - 1000	1000	-

Tabla 3.7.- Alturas de implantación y fuentes de luz habituales [19].

### Distribuciones Tipo

En tramos de vial recto las posibles distribuciones habituales son limitadas a 5 casos:

- *Unilateral:*

Cuando los puntos de luz se sitúan en un mismo lado de la vía de tráfico. Se utiliza generalmente cuando la anchura de la calzada sea igual o inferior a 1,2 veces la altura  $H$  de montaje de las luminarias [19].

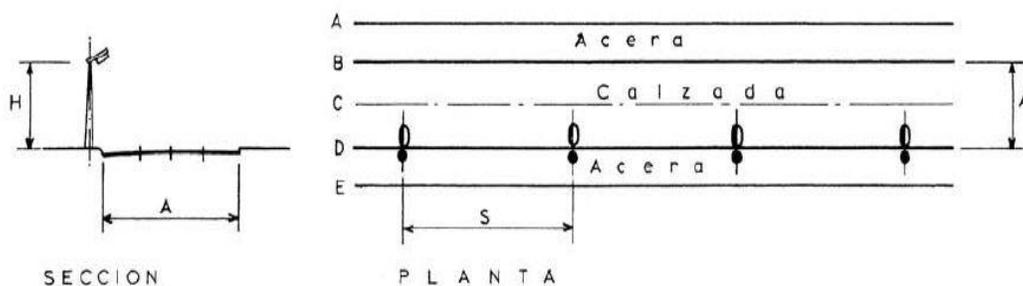


Figura 3.17.- Implantación Unilateral [19].

- *Tresbolillo:*

Cuando los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de tráfico a tresbolillo o en zigzag. Se utilizará principalmente cuando la anchura de la calzada sea de 1,2 a 1,5 veces la altura de montaje de las luminarias [19].

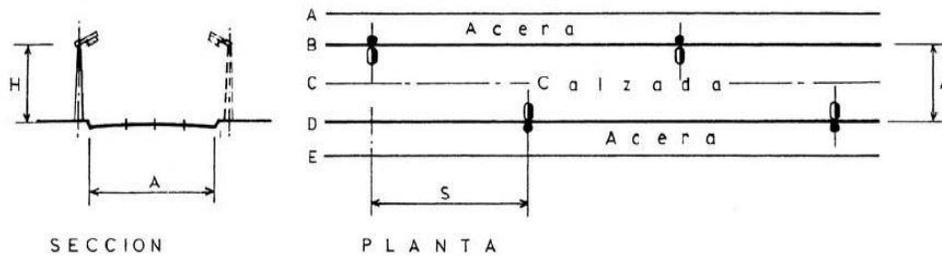


Figura 3.18.- Implantación en tresbolillo [19].

- *Bilateral pareada:*

Cuando los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de tráfico, uno opuesto al otro. Se utilizará normalmente cuando la anchura de la calzada sea mayor de 1,5 veces la altura de montaje de las luminarias, considerándose más recomendable utilizarlo cuando la anchura supere 1,3 veces la altura [19].

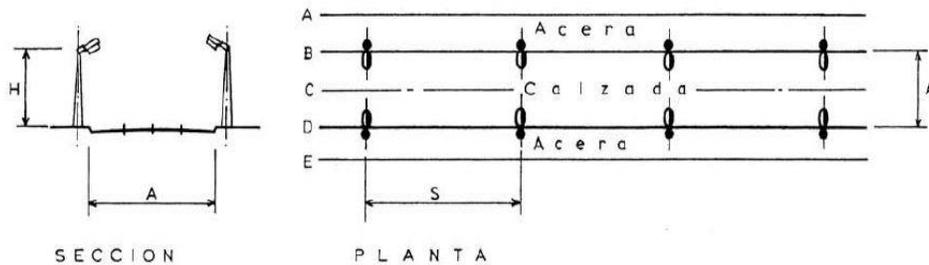


Figura 3.19.- Implantación bilateral pareada [19].

- *Central:*

Esta implantación es similar a la unilateral aplicada y a la bilateral pareada en aquellas vías en las que es posible la implantación de los puntos de luz en la reserva o mediana central. Tiene la ventaja de que tan sólo es necesaria las instalaciones en esta línea central y que la iluminación se mantiene uniforme en los carriles de circulación rápida ya que no le afecta la mayor anchura que toman las vías con los carriles de incorporación o desaceleración [19].

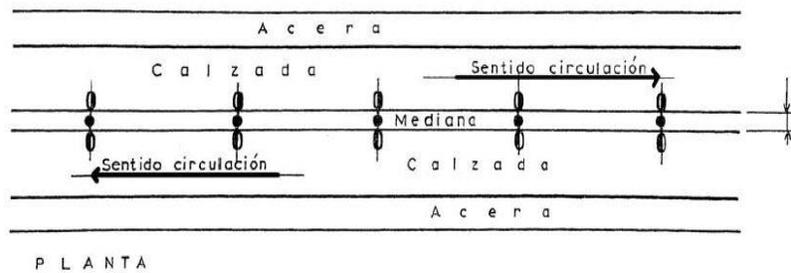


Figura 3.20.- Implantación Central [19].

- En Catenaria:

Los puntos de luz se fijan axialmente a los cables longitudinales de la catenaria, tendida entre dos sólidos soportes implantados en la mediana central y situados a una gran distancia uno del otro, del orden de 50 a 100 m. En vías urbanas es usual extender estas catenarias transversalmente a la vía, sujetándolas a las propias edificaciones, evitando así la instalación de soportes en la vía pública [19].

Son posibles otras distribuciones no regulares, e incluso combinando diferentes tipologías de luminarias y puntos de luz, que no dejan de ser combinaciones de las anteriores.

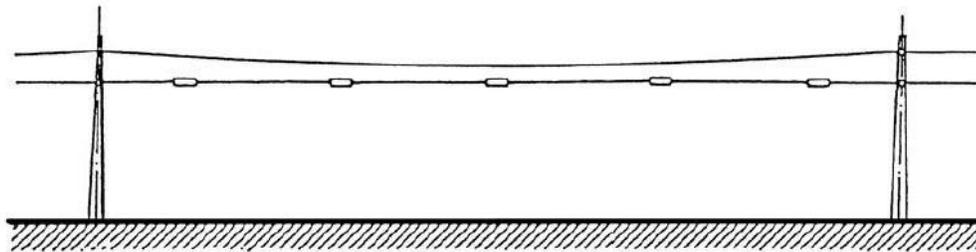


Figura 3.21.- Implantación en catenaria [19].

### 3.6.2.- Iluminación vial en tramos singulares.

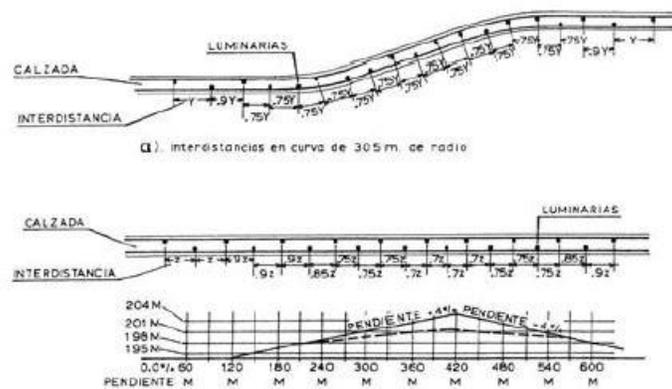
A continuación se expone la problemática de las curvas y calzadas en pendiente, así como las posibles alternativas y soluciones al respecto sobre la implantación de puntos de luz en tramos singulares, tales como intersecciones, glorietas y rotondas, enlaces y puentes, etc.

## Curvas y calzadas en pendiente

Los problemas de visión para los conductores se incrementan en casos de curvas cerradas o inclinaciones de la calzada.

De forma genérica, las curvas de gran radio y las calzadas con pequeñas pendientes se iluminan correctamente si se tratan como tramos rectos y llanos. Para radios de curvatura pequeños e inclinaciones pronunciadas, especialmente en cambios de rasante, se puede garantizar una buena iluminación acortando la interdistancia entre puntos de luz para incrementar el nivel de luminancia en dichas zonas.

Se recomienda la implantación unilateral en la parte exterior de las curvas, ya que además de proporcionar luminancia a la calzada establece un correcto guiado visual, balizando las curvas. Cuando obligadamente deban situarse los puntos de luz unilateralmente en la parte interior de las curvas, se procurará alcanzar una buena uniformidad transversal de luminancia.



Debe evitarse en la medida de lo posible la implantación al tresbolillo en curvas, ya que generalmente desaparece el guiado óptico, pudiendo inducir a confusión a los conductores de los vehículos. En el caso de curvas con calzadas anchas deberán instalarse puntos de luz en ambos lados de la calzada, pues en este caso el riesgo de confusión es menor.

No obstante, la instalación de puntos de luz en la parte exterior de las curvas deberá llevarse a cabo después de realizar un minucioso examen de las posibilidades de colisión de

los vehículos en el caso de que los conductores pierdan el control de los mismos en las curvas. En todo caso será necesaria la instalación de barreras de seguridad y protección.

La geometría de las curvas cerradas, tales como las que se producen en las interconexiones y muchas zonas de tráfico, requieren un análisis pormenorizado. La iluminación propia del vehículo no es efectiva en estas situaciones, y el contorno de los objetos visualizados por el conductor en algunos casos no puede ser bien percibido.

Las luminarias deben estar situadas de forma que proporcionen suficiente cantidad de luz sobre los vehículos, recovecos y barreras de protección.

Los soportes deben emplazarse de forma adecuada y segura, detrás del balizamiento o barrera natural, si ésta existiese. Es evidente que las columnas y báculos son una fuente de posibles accidentes si se instalan en el exterior de las curvas. Muchos conductores pueden desconocer el trazado de la calzada, pero la iluminación de los alrededores de la curva ayuda de una forma considerable a mantener la trayectoria dentro de la calzada [19].

### **Iluminación en tramos singulares**

El alumbrado viario, en muchas situaciones, puede plantear problemas muy complicados en cuanto a visión y maniobra de los vehículos, como ocurre en los casos de cruces que comprenden tanto intersecciones como enlaces, glorietas, zonas de incorporación de nuevos carriles, áreas en las que se forman embotellamientos, así como tipos de interconexiones complejas de tráfico, etc. El diseño en estas áreas requiere una especial consideración.

Cuando se analizan estos casos, puede observarse la presencia de tres factores básicos distintos a los de las situaciones estándar:

- Los conductores sufren un incremento de las tareas visuales y de análisis cuando se acercan y tratan de circular por estas zonas.
- El contorno de los objetos no se reconoce muchas veces debido a parámetros como la localización del vehículo, peatones, obstáculos y la geometría general de las

calzadas. Muy frecuentemente suele presentarse un problema de deslumbramiento, provocado por las luminarias o proyectores que dirigen la luz en sentido contrario al vehículo.

- Generalmente no se dispone de una buena iluminación con los faros del vehículo. Esto se debe a la geometría de la calzada y la dificultad de detenerse de forma efectiva a velocidades superiores a los 60 km/h, además se constata el hecho de que el haz luminoso de los faros del vehículo se aparta de la dirección de desplazamiento al entrar en una curva pronunciada.

En el alumbrado de estas situaciones especiales se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Desde el comienzo del estudio de la situación especial o tramo singular, se requerirá efectuar un reconocimiento in situ de la situación al objeto de verificar las posibilidades reales de implantación de la instalación de alumbrado. En casos muy complejos se recomienda realizar un estudio sobre maqueta del tramo singular.
- Se evitará la implantación de puntos de luz en isletas de pequeñas dimensiones separadoras o direccionales del tráfico de vehículos.
- En las zonas de transición en los extremos de las calzadas iluminadas, los niveles luminosos corresponderán a lo establecido en la correspondiente ITC.
- Los soportes de igual altura instalados en una situación especial o tramo singular corresponderán al mismo modelo, o como mínimo presentarán la misma silueta.

El alumbrado de situaciones especiales o tramos singulares tiene como finalidad la legibilidad, es decir la lectura o comprensión de dichas áreas por parte de los usuarios de las mismas. En este sentido, el alumbrado de un tramo singular aislado situado en un itinerario que carece de iluminación deberá permitir al automovilista lo siguiente:

- A larga distancia (800 a 1000 m.), ver una zona luminosa llamando su atención.
- A media distancia (300 a 500 m.), comenzar a percibir una idea de la configuración del tramo singular, mediante un guiado visual llevado a cabo merced a una disposición juiciosa de los puntos de luz.
- A corta distancia, ver sin ambigüedad los obstáculos y la trayectoria a seguir.

- Saliendo de la zona iluminada, no sufrir el efecto “agujero negro”, al pasar súbitamente de la luz a la sombra, estableciendo un decrecimiento progresivo de la luminancia, durante una longitud de al menos 200 m [19].

### Intersecciones

Son cruces al mismo nivel de distintas vías de tráfico, que pueden ser en ángulo recto, en Y, en T, así como intersecciones complejas, además de las glorietas y rotondas que merecen un apartado específico. Se han seleccionado las intersecciones más empleadas con una serie de soluciones tipo, las cuales se describirán a continuación.

#### Intersecciones en ángulo recto con una calzada iluminada

Los vehículos que circulan por una calzada que carece de alumbrado, normalmente abordan la intersección con las luces de cruce del vehículo encendidas, al objeto de señalar su presencia a los otros automovilistas. Por el contrario, los vehículos que circulan por la calzada iluminada son bien visibles.

La visibilidad de dichos vehículos se acentúa cuando la distribución luminosa de las luminarias que encuadran o enmarcan la intersección se orienta lo más posible hacia el corazón de la intersección de las calzadas, de forma que se produzca una iluminancia vertical elevada sobre el vehículo que circula, facilitando su visibilidad, Figura 3.23.

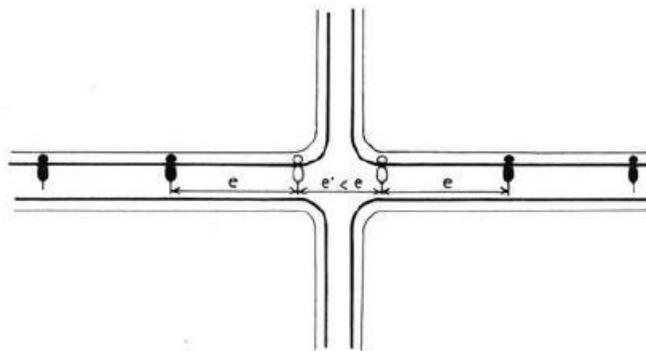


Figura 3.23.- Intersección en ángulo recto con una calzada iluminada [19].

La obtención de la elevada iluminancia vertical en la intersección requiere que la separación entre los puntos de luz que encuadran la intersección se reduzca.

Los puntos de luz que delimitan la zona crítica de la intersección se denominan puntos de luz o luminarias básicas, ya que en la realización del estudio de iluminación de la intersección se partirá de dichos puntos para la implantación del resto del alumbrado.

Se debe señalar que esta reducción de la separación de los puntos de luz que enmarcan la intersección no establece la obligatoriedad de realizar una implantación de los puntos de luz perfectamente simétrica encuadrando la intersección [19].

#### Intersecciones en "T" de dos calzadas iluminadas parcialmente canalizadas

En este tipo de intersecciones se recomienda valorar la continuidad de las vías de tráfico rodado asegurando un buen guiado óptico. Puede ser útil dotar a los puntos de luz que refuerzan el guiado óptico de una potencia superior [19], Figura 3.24.

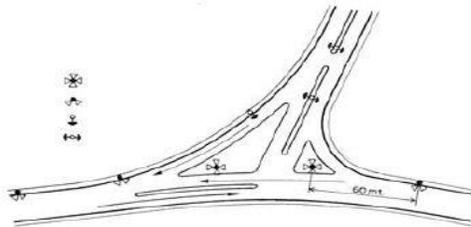


Figura 3.24.- Intersección en "T" de dos calzadas iluminadas parcialmente canalizadas [19].

#### Intersecciones en "Y" o "T" de dos calzadas importantes totalmente canalizadas

En la proximidad de tales intersecciones, generalmente los dos sentidos de circulación de vehículos están separados por isletas direccionales de grandes dimensiones, a lo largo de las cuales la implantación de los puntos de luz es unilateral [19], Figura 3.25.

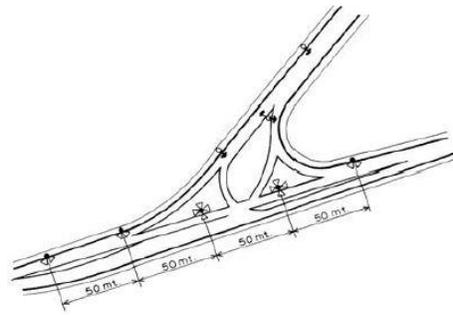


Figura 3.25.- Intersección en "Y" o "T" de dos calzadas totalmente iluminadas [19].

Asimismo, se puede emplazar puntos de luz más potentes y de mayor altura.

### Intersecciones complejas

Cuando se trata de intersecciones complejas, se recomienda comenzar por tratar separadamente el alumbrado de cada uno de los elementos de la intersección en "X", en "Y" o en "T", siguiendo las indicaciones dadas para cada una de estas categorías, Figura 3.26.

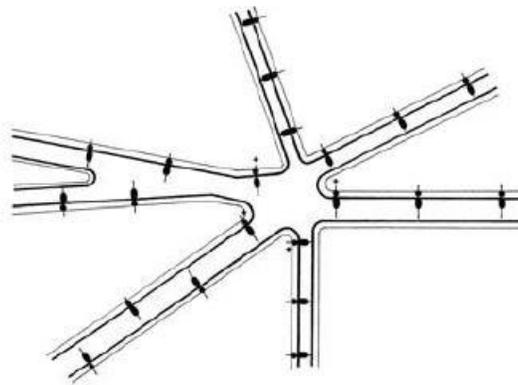


Figura 3.26.- Intersección compleja sin isletas separadoras [19].

Después, una vez efectuados los oportunos tanteos, el número total útil de puntos de luz se ajustará a las necesidades reales[19].

### Glorietas y rotondas

Bajo la denominación de glorieta se designa a un tipo especial de nudo (intersección), caracterizado porque los tramos que en él confluyen se comunican a través de un anillo en el

que se establece una circulación rotatoria alrededor de una isleta central. Las trayectorias de los vehículos no se cruzan, sino que convergen y divergen.

El funcionamiento de una glorieta se basa en la prioridad de paso de los vehículos que circulan por la calzada anular, frente a los que pretenden entrar en ella desde los tramos o accesos.

La mayoría de los accidentes en intersecciones o cruces a nivel cuya circulación está ordenada por prioridad de paso están relacionados con los conflictos de cruce debidos a giros a la izquierda, que no tienen lugar en las glorietas y rotondas, por lo que existe una fuerte reducción del número de accidentes en las glorietas frente a las intersecciones convencionales.

Las isletas centrales demasiado grandes, de más de 50 m de diámetro, o no circulares presentan un nivel de seguridad menor. La presencia de peatones o vehículos de dos ruedas puede aumentar los problemas de circulación, Figura 3.27

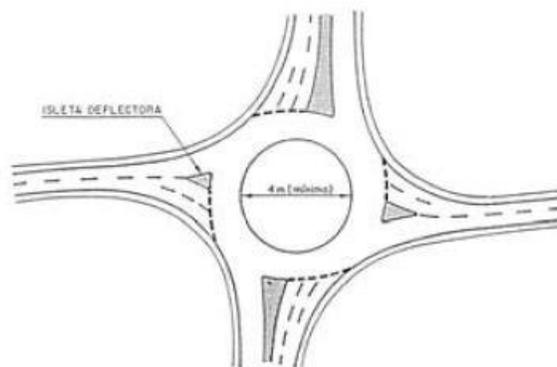


Figura 3.27.- Glorieta normal [19].

Debe tenerse en cuenta que en las glorietas y rotondas en las que se producen accidentes suelen terminar por instalarse semáforos, con lo que pasa a ser considerada como una intersección con semáforos. Es necesario volver a considerar al automovilista para traducir sus necesidades visuales.

Cuando se aproxima a la glorieta deben cumplirse dos funciones: reconocimiento del entorno y de la señalización preventiva. Durante el día esas dos funciones se cumplen. Por la noche, la primera de las dos funciones (reconocimiento del entorno) no queda asegurada y únicamente la señalización preventiva sufre el riesgo de dejar al automovilista un tiempo muy corto para reconocer la configuración de los lugares.

Paralelamente puede existir una dificultad de adaptación del ojo al nivel de iluminación de la glorieta si la zona de aproximación no está iluminada. Así, a campo abierto debe evitarse una transición brutal entre la zona no iluminada y la zona iluminada y, por tanto, el alumbrado de la zona de aproximación resulta indispensable.

El conductor que se aproxima a la entrada de la glorieta por la noche necesita distinguir claramente el tráfico que se encuentra en la entrada precedente situado a su izquierda y al que se encuentra girando en los carriles de la glorieta, así como una adecuada visibilidad delantera para que una vez en la glorieta sea capaz de ver el tráfico de vehículos que le rebasan por la izquierda y proceder en consecuencia.

Todo ello implica que el trabajo visual que debe efectuar el conductor del vehículo sea más complejo y difícil que en una carretera recta y, por tanto, el nivel de iluminación en la glorieta debe ser superior al de las carreteras que se aproximan.

La función de reconocimiento del entorno y la de la percepción visual de la glorieta deben tener en cuenta los parámetros siguientes:

- Visión de los paneles de señalización vertical.
- Visión de la calzada.
- Visión del fondo sobre el cual se perfilan los eventuales obstáculos.
- Visión de los otros vehículos que circulan.

Todas estas funciones se realizan gracias a la iluminación natural de la luz diurna que inunda de luz la “escena” que se presenta al conductor bajo todos los ángulos.

Aunque desgraciadamente por razones físicas, tecnológicas y económicas fáciles de comprender, no es posible en su totalidad reconstruir esta relativa perfección por la noche, si resulta factible proporcionar mediante alumbrado público unas condiciones de visibilidad suficientes a los conductores de los vehículos [19].

## 3.7.- Mantenimiento del alumbrado público

Las características y las prestaciones de una instalación de alumbrado exterior se modifican y degradan a lo largo del tiempo. Una explotación correcta y un buen mantenimiento permitirán conservar la calidad de la instalación, asegurar el mejor funcionamiento posible y lograr una idónea eficiencia energética.

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 prematuro cese de 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 estas [20].

### 3.7.1.- Tipos de mantenimiento

Para evitar en el transcurso del tiempo la degradación de las instalaciones de alumbrado exterior, se llevará a cabo un adecuado doble mantenimiento, el denominado preventivo que establecerá una programación en el tiempo consistente en realizar sobre las instalaciones un

cierto número de intervenciones sistemáticas; y el mantenimiento correctivo que comprenderá una serie de operaciones necesarias para reponer las instalaciones averiadas o que han sufrido deterioro, a un correcto estado de funcionamiento.

Cuando se efectúe adecuadamente y de forma regular el mantenimiento preventivo, las operaciones de mantenimiento correctivo serán menos frecuentes e importantes [20].

### 3.7.1.1 Mantenimiento Preventivo

Las operaciones de mantenimiento preventivo consistirán en:

Reemplazamientos masivos de lámparas con un nivel de iluminación por debajo del establecido.

- La reposición programada de lámparas tiene por objeto el uso racional de la energía y mantener las instalaciones de alumbrado dentro del nivel proyectado. Se efectuarán de acuerdo con los programas de reposición que se establezcan en función de la vida media en servicio de las lámparas. Las reposiciones podrán establecerse obligatorias a partir de porcentajes de la vida media de las lámparas superiores al 70%.
- Las lámparas que se retiren serán entregadas al responsable técnico de la instalación, éste elegirá aquellas que desee estudiar con el fin de determinar si existen causas anormales que provoquen su rápido envejecimiento.



Figura 3.28.- Mantenimiento Preventivo de una instalación.

- Si el flujo emitido por un número significativo de las lámparas retiradas, en la reposición en grupo, fuese inferior al previsto, se podrá recomendar prohibir la

utilización de la marca de dichas lámparas, prohibición que, en su caso, se efectuará, si se obtiene un resultado similar en tres mediciones consecutivas.

#### Operaciones de limpieza de luminarias y soportes

- La limpieza de luminarias y soportes se efectuará de forma programada y se realizará con la frecuencia establecida en la memoria del proyecto luminotécnico.
- La limpieza de luminarias se realizará tanto interior como exteriormente, con una metodología tal, que tras la misma, se alcance un rendimiento mínimo del 80% inicial. Se podrá comprobar este rendimiento efectuando, en su caso, una medición de la iluminancia tras la ejecución de la correspondiente limpieza.
- Al mismo tiempo que se hace la limpieza, se efectuará una inspección visual del sistema óptico y del estado de todos los componentes de la luminaria.

#### Trabajos de inspección y mediciones eléctricas

Estos trabajos se realizarán, bien por la empresa de mantenimiento o por los propios Servicios Municipales, y entrarán dentro de las operaciones de mantenimiento preventivo de las instalaciones.

### **3.7.1.2 Mantenimiento Correctivo**

El mantenimiento correctivo, como se ha descrito con anterioridad, consiste en localizar, reparar y adecuar las instalaciones para que funcionen el máximo número de horas posible, dando las prestaciones para las que fueron diseñadas.

Las actividades que componen este mantenimiento son:

- Localización y reparación de averías.
- Adecuación de instalaciones.
- Detección de averías.

### 3.7.2.- Normativa vigente en cuanto a planes de mantenimiento.

El mantenimiento de las instalaciones de iluminación exterior en general está sometido a las determinaciones normativas y legales del REEIAE y sus instrucciones técnicas correspondientes, EA-01 a EA-07, aprobado por el RD 1890/2008 de 14 de noviembre.

Dicho reglamento, en su *Artículo 12*, establece la necesidad de disponer de un plan de mantenimiento que deberá incluir las operaciones de mantenimiento preventivo necesarias para mantener la instalación lo más próxima posible a sus parámetros iniciales de funcionamiento.

Para ello deberá contemplar las actuaciones sobre las fuentes de luz, limpieza de elementos, reposiciones, operaciones de vigilancia e inspección y las frecuencias de cada una de estas actuaciones.

Por otro lado, se considera también la evaluación de los parámetros de funcionamiento, seguimiento este que se realizará con los indicadores adecuados o incluso con mediciones directas si fuera necesario [20].

### 3.7.3.- Factor de mantenimiento

El *factor de mantenimiento* ( $f_m$ ) es la relación entre la iluminancia media en la zona iluminada después de un determinado período de funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior (Iluminancia media en servicio –  $E_{Servicio}$ ), y la iluminancia media obtenida al inicio de su funcionamiento como instalación nueva (Iluminación media inicial –  $E_{Inicial}$ ).

$$f_m = \frac{E_{Servicio}}{E_{Inicial}} = \frac{E}{E_i} \text{ (en \%)}$$

Ecuación 3.8.- Factor de mantenimiento de la instalación [20].

El factor de mantenimiento será siempre menor que la unidad ( $f_m < 1$ ), e interesará que resulte lo más elevado posible para una frecuencia de mantenimiento lo más baja que pueda llevarse a cabo.

La adopción del factor de mantenimiento implica concretar desde el inicio de la elaboración del proyecto o memoria técnica de diseño un plan de mantenimiento, que deberá contemplar la programación de los trabajos y su frecuencia, correspondiéndose con el referido factor de mantenimiento.

El valor del factor de mantenimiento adoptado permitirá calcular en el proyecto o memoria técnica de diseño de alumbrado la iluminancia media inicial ( $E_i$ ) a la puesta en marcha de la instalación, para que la iluminancia media en servicio ( $E_m$ ) a mantener en el transcurso del funcionamiento de la instalación esté garantizada durante toda su vida operativa, al llevar a la práctica el plan de mantenimiento establecido.

En ningún caso, la iluminancia media en servicio deberá ser inferior a ( $E$ ), lo que exigirá cumplir escrupulosamente el citado plan de mantenimiento.

Por tanto, el proyecto y la memoria técnica de diseño deben considerar el factor de mantenimiento para determinar la iluminancia media inicial ( $E_i$ ), lo que exige fijar previamente el plan de mantenimiento de la instalación de alumbrado exterior.

El factor de mantenimiento será función fundamentalmente de:

- a) El tipo de lámpara, depreciación del flujo luminoso y su supervivencia en el transcurso del tiempo;
- b) La estanqueidad del sistema óptico de la luminaria mantenida a lo largo de su funcionamiento;
- c) La naturaleza y modalidad de cierre de la luminaria;
- d) La calidad y frecuencia de las operaciones de mantenimiento;

e) El grado de contaminación de la zona donde se instale la luminaria.

La mención de la lámpara en el apartado a) corresponde a la denominación más amplia de la fuente de luz.

En las actuales fuentes de luz, la menor depreciación del flujo luminoso y su mayor supervivencia a lo largo del tiempo, así como los grados superiores de hermeticidad IP de la luminaria, garantizarán las prestaciones fotométricas, el buen comportamiento de los materiales a la corrosión y la obtención de un factor de mantenimiento elevado de la instalación.

El factor de mantenimiento 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:

$$f_m = \text{FDFL} \cdot \text{FSL} \cdot \text{FDLU}$$

Ecuación 3.9.- Parámetros de los que depende el factor de mantenimiento [20].

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 supuesto de alumbrados proyectados con LED, cuyas horas de vida son muy superiores a las utilizadas con fuentes de luz tradicionales, el factor de depreciación del flujo luminoso deberá ser cuidadosamente escogido para evitar sobredimensionamientos de las instalaciones de alumbrado exterior, que podrían ser poco rentables.

En el caso de instalaciones equipadas con luminarias tipo LED, rara vez el factor de mantenimiento supera el valor 0,85. Cualquier valor del factor de mantenimiento superior a 0,85 deberá justificarse adecuadamente [9].

### **3.7.4.- Planes de mantenimiento**

Un plan de mantenimiento, además de las acciones que se ha descrito en el *Apartado 3.7.1*, incluye otros elementos que contribuyen a la obtención del objetivo final y que se describen en los apartados que vienen a continuación.

#### **3.7.4.1 Inventario de equipos**

La realización de un inventario es esencial para conocer las características y el estado de todos los elementos que componen una instalación de alumbrado público. Siguiendo la organización de una base de datos, se disponen las diferentes entidades que componen el inventario realizado. Este hecho, hace necesaria la definición de entidades como Luminaria, Centros de Mando, Fuentes de luz, etc. Haciendo referencia a cada una de las entidades agrupadas se definirás las características principales individualmente de cada elemento de la instalación para una buena ejecución del plan de mantenimiento.

En la actualidad, la situación de los puntos de luz es una característica fundamental implantada en los inventarios y que constituye una información imprescindible para el análisis de la situación en la que se encuentra la instalación. Cabe destacar, que con la expansión de las tecnologías “Big Data” y la gestión de la información, la incorporación de este tipo de datos a la memoria de un proyecto se ha vuelto muy importante.

Algunos de los datos de este tipo que suelen figurar en los inventarios son los siguientes:

- Número de referencia.
- Posición, expresado por sus coordenadas GPS.
- Año de fabricación.
- Marca, modelo y versión.
- Consumo de energía nominal al inicio de su vida.
- Características básicas agrupadas por sistemas: Eléctricas, lumínicas, Económicas, etc.

- Variación de parámetros de funcionamiento a lo largo de su vida.

En particular, se hará referencia a lo anterior en el siguiente capítulo con la descripción pormenorizada de la herramienta de cálculo de eficiencia energética de la instalación de alumbrado público estudiada. En ella, dispondremos de una ficha técnica para rellenar con información perteneciente a la instalación desarrollada, con todos los parámetros necesarios para una buena gestión de los elementos.

### **3.7.4.2 Libro de incidencias y averías**

El plan de mantenimiento debe disponer de un apartado de incidencias y averías en el que se describan las acciones para la conservación y limpieza, materiales utilizados, los costes de mantenimiento y todas las explicaciones técnicas acerca de las operaciones de mantenimiento de cada uno de los elementos de la instalación.

Esta memoria de la instalación tiene como objetivo describir al gestor el comportamiento que ha tenido la instalación en cuestión en los últimos tiempos para así, facilitarle las tareas de conservación y mantenimiento además de prevenir una reparación ineficiente de averías realizando errores que ya se hubiesen cometido anteriormente.

### **3.7.4.3 Documentación Técnica**

La documentación técnica de la instalación debe de ser lo más detallada posible, incluyendo características principales hasta instrucciones técnicas de mantenimiento para todos y cada uno de los elementos que componen la instalación.

Es obligatorio que esta documentación esté redactada por el fabricante del equipo o elemento dispuesto en la instalación y que se complemente con las instrucciones operativas o normas de revisión del equipo en cuestión. En la documentación citada deben constar los siguientes elementos:

- Detalles de las conexiones eléctricas y mecánicas.
- Funcionamiento del equipo. Describiendo su puesta en marcha, advertencias de seguridad y modos de funcionamiento.

- Acciones preventivas rutinarias y ocasionales.
- Intervenciones que cabe tener en cuenta ante posibles fallos.
- Procedimientos operativos de los sistemas lumínicos y mecánicos.
- Mantenimiento correctivo.

#### **3.7.4.4 Actuaciones sobre la instalación**

Después de reunir todos los datos necesarios para una buena gestión de la instalación, el siguiente paso es definir un plan de actuación que guarde relación con nuestro plan de mantenimiento.

Este procedimiento puede estar basado en lo que se ha dado en denominar los ficheros maestros que se compondrán fundamentalmente de los ficheros correspondientes a los componentes de la instalación con carácter individual. El fichero maestro general de componentes es el fichero fundamental de cualquier sistema de Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador, o GMAO como usualmente se le conoce, ya que determina los equipos que van a ser susceptibles de mantenimiento. En este fichero maestro se puede introducir información específica de cada uno de estos elementos y componentes.

A continuación, se define el fichero maestro de acciones preventivas. Una acción preventiva da origen a un parte de trabajo abierto que puede tener uno o varios procedimientos, y estos a su vez pueden tener uno o varios puntos de inspección, que definen las revisiones, reparaciones, sustituciones, etc.

Esta acción lleva asociada una periodicidad en el tiempo permitiendo asignarlas a una o varios equipos. Como criterio fundamental al definir la acción se deberá introducir en el fichero maestro la información mínima para su correcta ejecución, sin que aparezcan aquí datos superfluos o que no sean necesarios para realizar las acciones programadas.

Una vez definidos los ficheros maestros de componentes y equipos y de acciones preventivas es necesario definir el fichero maestro de procedimientos. Es decir, sabiendo ya el qué y el cuándo es necesario implementar el cómo. El fichero maestro de inspección es aquel en el que se codifican los puntos de inspección. A estos puntos de inspección se les

asignan unos valores para que el personal que realiza la inspección marque uno, y también se le podrá asociar un tiempo de inspección.

El fichero maestro de procedimientos va a permitir codificar dichos elementos entendiendo estos como los planes de trabajo de una actividad de mantenimiento, ya sean particulares o específicos, detallando una serie de datos que los caracterizan como puede ser el grado de seguridad, zona, estado del equipo, plantilla y personal repuestos asociados [9].

## 4. -Metodología de análisis de eficiencia energética de una instalación de alumbrado público

En este caso, entendemos de una manera coloquial el concepto de eficiencia energética de una instalación de alumbrado público como la relación entre la cantidad de luz aprovechada y el gasto de energía asociado a esa cantidad. Habitualmente, se confunden los conceptos correspondientes a eficiencia y ahorro energéticos en las instalaciones de alumbrado público. Para tratar de discernir esta cuestión se desarrollarán estos conceptos a continuación.

Por un lado, una instalación, independientemente de las características que posea, es más eficiente cuantos menos recursos se consuman respecto del mismo servicio producido.

De esto se deduce que los conceptos que se barajan al hablar de eficiencia energética son siempre comparativos, es decir, para obtener un mismo bien producido, lo que podemos generalizar en primera aproximación como nivel de iluminación, de las distintas soluciones posibles es la más eficiente aquella que consume menos energía.

Este objetivo se puede alcanzar de dos formas principalmente:

- Mediante el uso de una tecnología adecuada en el sentido de una disminución del consumo.
- Adecuando los niveles de iluminación de la instalación a las exigencias impuestas por la normativa vigente con el fin de evitar contaminación lumínica.

Por otro lado, el ahorro energético es un concepto que se identifica de modo unívoco con la reducción del consumo, y en el caso concreto de las instalaciones de alumbrado, del menor consumo de energía eléctrica. Esta reducción no tiene por qué estar asociada a una mejora de la tecnología que se utiliza, sino que tanto se podría intentar mejorar la eficiencia

energética de la instalación, como adecuar el alumbrado a las necesidades reales y no simplemente a los valores teóricos de aprovechamiento de la energía.

## 4.1.- Calificación energética

El objetivo de este capítulo será obtener la calificación energética de una instalación propuesta de alumbrado público con el fin de cuantificar la eficiencia energética de dicha instalación y poder asignarle un valor.

En España, este cálculo, está completamente regulado por la legislación competente en el sector. Este sistema pretende obtener una caracterización de las instalaciones que se pueda considerar universal y así poder establecer una serie de relaciones comparativas entre diferentes instalaciones por muy distantes que se encuentren o por ajenas que resulten unas de otras. En este sentido, la calificación energética de las instalaciones de alumbrado urbano juega un papel fundamental en la implantación de mejoras o posibles reformas de las instalaciones existentes ya que cuando actuamos sobre una instalación que está en servicio y que tiene una clasificación energética determinada, el conocimiento de su calificación energética avala el hecho de que dicha actuación sea coherente y necesaria.

A continuación, se realizará un estudio luminotécnico de la instalación propuesta indicando las potenciales mejoras que sería conveniente implantar para un aumento sustancial de la calidad de las instalaciones, aportando un presupuesto estimado con todas las partidas que sean necesarias.

Finalmente, se procederá al nuevo cálculo de la calificación energética que se obtendría con la implantación de las mejoras propuestas estudiadas en el cálculo luminotécnico previo, afianzando la nueva instalación como mucho más eficiente energética y medioambientalmente más sostenible.

### 4.1.1.- Marco legal

Para llevar a cabo la obtención de la calificación energética de la instalación es necesario acudir al REEIAE y a sus Instrucciones Técnicas Complementarias, más concretamente a la ITC – EA – 01 que abarca, exclusivamente, el tema de eficiencia energética.

### 4.1.2.- Eficiencia energética de una instalación

La *eficiencia energética* de una instalación de alumbrado exterior se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada.

Esta definición está normalizada en el punto 1, Eficiencia Energética de una Instalación de la ITC-EA-01 dónde se especifica la fórmula para su cálculo:

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

Ecuación 4.1.- Eficiencia Energética de una Instalación

siendo:

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

P = potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares) (W).

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

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

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

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

La *potencia* (P) será la correspondiente a todas las luminarias comprendidas en la superficie de cálculo, teniendo en cuenta que la potencia de las luminarias que delimitan la superficie (S) transversalmente se contabilizará solo al 50 %. En el caso de áreas de estudio irregulares se considerará el total de la potencia de los puntos de luz que dispongan sobre dichas áreas [21].

*Dicha eficiencia energética* también se puede calcular partiendo de los diferentes factores que intervienen en la instalación mediante la expresión:

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u$$

Ecuación 4.2.- Eficiencia Energética de una instalación a partir de los factores de utilización y de mantenimiento.

Para una mejor comprensión de la ecuación anterior, se explica el significado de los factores empleados:

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

*Factor de utilización* ( $f_u$ ): Es la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias.

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

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

En este sentido, el REEIAE establece, en esta misma Instrucción Técnica, unos parámetros mínimos de eficiencia energética que debe cumplir todas las instalaciones de alumbrado exterior.

Por un lado, impone unos parámetros mínimos para las instalaciones de alumbrado vial funcional; que se definen como tales las instalaciones de alumbrado vial de autopistas, autovías, carreteras y vías urbanas consideradas en la Instrucción Técnica Complementaria ITC- EA-02 como situaciones de proyecto A y B.

Las instalaciones de alumbrado vial funcional, con independencia del tipo de lámpara, pavimento y de las características o geometría de la instalación, deberán cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética que se fijan en la Tabla 4.3.

<b>ALUMBRADO VIAL FUNCIONAL</b>	
<b>Iluminancia media en servicio <math>E_m</math> (lux)</b>	<b>Eficiencia energética mínima (<math>m^2 \cdot \text{lux}/W</math>)</b>
$\geq 30$	22
25	20
20	17,5
15	15
10	12
$\leq 7,5$	9,5

Tabla 4.2.- Valores mínimos de eficiencia energética en una instalación de alumbrado vial funcional [21].

Cabe destacar que para valores de iluminancia media proyectada entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrá por interpolación lineal.

Análogamente, para instalaciones de alumbrado vial ambiental los requisitos mínimos de eficiencia energética son los que se muestran en la Tabla 4.4.

Se entiende por alumbrado vial ambiental el que se ejecuta generalmente sobre soportes de baja altura (3-5 m) en áreas urbanas para la iluminación de vías peatonales, comerciales, aceras, parques y jardines, centros históricos, vías de velocidad limitada, etc., considerados en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 como situaciones de proyecto C, D y E.

ALUMBRADO VIAL AMBIENTAL	
Iluminancia media en servicio $E_m$ (lux)	Eficiencia energética mínima ( $m^2 \cdot \text{lux}/W$ )
$\geq 20$	9
15	7,5
10	6
7,5	5
$\leq 5$	3,5

Tabla 4.3.- Valores mínimos de eficiencia energética en una instalación de alumbrado vial ambiental [21].

De igual forma, para valores de iluminancia media proyectada entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrá por interpolación lineal.

Por el contrario, para las instalaciones de alumbrado en zonas especiales de viales, se aplicarán los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en el *Apartado 2.3* de la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-01, siendo estos:

En el alumbrado específico, el alumbrado ornamental, el alumbrado para vigilancia y seguridad nocturna, y el de señales y anuncios luminosos, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Se iluminará únicamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado.

b) Se instalarán lámparas de elevada eficacia luminosa compatibles con los requisitos cromáticos de la instalación y con valores no inferiores a los establecidos en el *Capítulo 1* de la ITC-EA-04.

c) Se utilizarán luminarias y proyectores de rendimiento luminoso elevado según la ITC-EA-04.

d) El equipo auxiliar será de pérdidas mínimas, dándose cumplimiento a los valores de potencia máxima del conjunto lámpara y equipo auxiliar, fijados en la ITC-EA-04.

e) El factor de utilización de la instalación será el más elevado posible, según la ITC-EA-04.

f) El factor de mantenimiento de la instalación será el mayor alcanzable, según la ITC-EA-06.

Conviene aclarar que lo dispuesto en las Tablas 4.3 y 4.4 no es de aplicación a instalaciones existentes anteriores a la entrada en vigor del Reglamento, es decir, para instalaciones anteriores al 1 de Abril de 2009. Esto quiere decir, que cuando se calcule la eficiencia energética en instalaciones que fueran puestas en servicio antes de esta fecha, el índice de eficiencia energética considerado se obtendrá directamente del cálculo realizado. Por el contrario, si la instalación es posterior deberá cumplir los valores mínimos exigidos por la norma.

Por último, para instalaciones de alumbrado festivo y navideño, se potenciará el uso de microlámparas, hilo luminoso, fibra óptica, LED u otros sistemas de ahorro energético [21].

### **4.1.3.- Eficiencia energética de referencia**

Para el cálculo del índice de eficiencia energética ( $I_E$ ) será necesaria la obtención previa de la eficiencia energética de referencia ( $\epsilon_R$ ) en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada. Este valor está tabulado en la norma, y se puede encontrar en la ITC – EA – 01, Tabla 4.5.

ALUMBRADO VIAL FUNCIONAL		ALUMBRADO VIAL AMBIENTAL Y OTRAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	
Iluminancia media en servicio proyectada $E_m$ (lux)	Eficiencia energética de referencia ( $m^2 \cdot \text{lux}/W$ )	Iluminancia media en servicio proyectada $E_m$ (lux)	Eficiencia energética de referencia ( $m^2 \cdot \text{lux}/W$ )
$\geq 30$	22	-	-
25	20	-	-
20	17,5	$\geq 20$	13
15	15	15	11
10	12	10	9
$\leq 7,5$	9,5	7,5	7
-	-	$\leq 5$	5

Tabla 4.4.- Valores de referencia para la calificación energética [21].

Análogamente a las tablas anteriores, para valores de iluminancia media proyectada entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrá por interpolación lineal.

Una vez obtenido el parámetro y gracias a la relación entre la eficiencia energética de la instalación que estemos analizando y la eficiencia energética de referencia será posible la obtención del índice de referencia buscado. El *índice de eficiencia energética*  $I_\varepsilon$  se define como:

$$I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R}$$

Ecuación 4.2.- Índice de eficiencia energética.

Donde:

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

$\varepsilon_R$  = Eficiencia energética de referencia ( $\text{m}^2 \cdot \text{lux} / \text{W}$ ).

La calificación energética de una instalación de alumbrado se efectuará para cada sección de vial de iguales características geométricas, luminotécnicas y de igual distribución de los puntos de luz.

En el supuesto en que se requiera realizar la calificación en la totalidad de los puntos de luz de un alumbrado vial alimentados por un cuadro de alumbrado, o a viales con diferentes tramos y configuraciones de la iluminación, se aplicará la siguiente expresión:

$$I_{\varepsilon} = \frac{\sum(I_{\varepsilon i} \cdot S_i)}{\sum S_i}$$

Ecuación 4.3.- Índice de eficiencia energética para la totalidad de los puntos de luz alimentados por un cuadro.

Donde:

$I_{\varepsilon}$  = Índice de eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado vial alimentada por un cuadro o con tramos diferentes.

$I_{\varepsilon i}$  = Índice de eficiencia energética de cada sección tipo.

$S_i$  = Superficie de cada tipo de sección ( $\text{m}^2$ ).

#### **4.1.4.- Calificación energética y etiqueta de consumo energético**

Con objeto de facilitar la interpretación de la calificación energética de la instalación de alumbrado y en consonancia con lo establecido en otras reglamentaciones, se define una etiqueta que caracteriza el consumo de energía de la instalación mediante una escala de siete letras que va desde la letra A (instalación más eficiente y con menos consumo de energía) a la letra G (instalación menos eficiente y con más consumo de energía). El índice utilizado

para la escala de letras será el *Índice de Consumo Energético (ICE)* que es igual al inverso del índice de eficiencia energética:

$$ICE = \frac{1}{I_{\varepsilon}}$$

Ecuación 4.4.- Índice de consumo energético de una instalación.

La Tabla 4.6 determina los valores definidos por las respectivas letras de consumo energético, en función de los índices de eficiencia energética declarados.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	ÍNDICE DE CONSUMO ENERGÉTICO	ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA
A	$ICE < 0,91$	$I_{\varepsilon} > 1,1$
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,1 \geq I_{\varepsilon} > 0,92$
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq I_{\varepsilon} > 0,74$
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq I_{\varepsilon} > 0,56$
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq I_{\varepsilon} > 0,38$
F	$2,63 \leq ICE < 5,00$	$0,38 \geq I_{\varepsilon} > 0,20$
G	$ICE \geq 5,00$	$I_{\varepsilon} \leq 0,20$

Tabla 4.5- Índice y calificación energética de las instalaciones [21].

Entre la información que se debe entregar a los usuarios figurará la eficiencia energética ( $\varepsilon$ ), su calificación mediante el índice de eficiencia energética ( $I_{\varepsilon}$ ), medido, y la etiqueta que mide el consumo energético de la instalación, de acuerdo con el modelo que se indica a continuación en la Tabla 4.1:

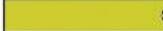
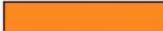
Calificación Energética de las Instalaciones de Alumbrado	
Más eficiente	
	A
	B
	C
	D
	E
	F
	G
Menos eficiente	
Instalación:	
Localidad/ calle:	
Horario de funcionamiento:	
Consumo de energía anual (kWh/año):	
Emisiones de CO <sub>2</sub> anual (kgCO <sub>2</sub> /año):	
Índice de eficiencia energética (I <sub>E</sub> ):	
Iluminancia media en servicio E <sub>m</sub> (lux):	
Uniformidad (%):	

Figura 4.1.-Etiqueta de calificación energética de las instalaciones de alumbrado exterior [21].

Se completa la etiqueta con los datos correspondientes a la dirección y localidad donde se ubica la instalación, horario de funcionamiento, consumo anual de energía expresado en kWh/año, emisiones de CO<sub>2</sub> que supone ese consumo expresado en kg CO<sub>2</sub>/año, índice de eficiencia energética I<sub>E</sub>, iluminancia media en servicio E<sub>m</sub> expresada en lux y uniformidad expresada en % [21].

## 4.2.- Contaminación lumínica

### 4.2.1.- Resplandor luminoso nocturno

El resplandor luminoso nocturno o contaminación lumínica es la luminosidad producida en el cielo nocturno por la difusión y reflexión de la luz en los gases, aerosoles y partículas en suspensión en la atmósfera, procedente, entre otros orígenes, de las instalaciones de alumbrado exterior, bien por emisión directa hacia el cielo o reflejada por las superficies iluminadas [22].

En la Tabla 4.5 se clasifican las diferentes zonas en función de su protección contra la contaminación luminosa, según el tipo de actividad a desarrollar en cada una de las zonas.

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

Tabla 4.5.- Clasificación de zonas de protección contra la contaminación luminosa [22].

En general en lo que respecta al medio ambiente, cuando una actividad potencialmente contaminadora de la atmosfera no puede ser totalmente controlada, la idea básica que se utiliza consiste en evitar que las consecuencias ambientales debidas a esta posible contaminación perjudiquen igualmente en todas las localizaciones o situaciones. Por tanto, el sistema de zonificación debe servir de marco de referencia para regular y resolver los posibles conflictos que pudieran derivarse en este caso de la hipotética dicotomía iluminación- observación astronómica [22].

#### 4.2.2.- Limitaciones de las emisiones luminosas

Se limitarán las emisiones luminosas hacia el cielo en las instalaciones de alumbrado exterior, con excepción de las de alumbrado festivo y navideño.

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 [18].

El flujo hemisférico superior instalado  $FHS_{inst}$  o emisión directa de las luminarias a implantar en cada zona E1, E2, E3 y E4, no superará los límites establecidos en la Tabla 4.6.

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO $FHS_{inst}$
E1	$\leq 1\%$
E2	$\leq 5\%$
E3	$\leq 15\%$
E4	$\leq 25\%$

Tabla 4.6.- Valores límite del flujo hemisférico superior instalado según zonas [22].

Además de ajustarse a los valores de la Tabla 4.6, para reducir las emisiones hacia el cielo tanto directas, como las reflejadas por las superficies iluminadas, la instalación de las luminarias deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Se iluminará solamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado.

b) Los niveles de iluminación no deberán superar los valores máximos establecidos en la ITC-EA-02.

c) El factor de utilización y el factor de mantenimiento de la instalación satisfarán los valores mínimos establecidos en la ITC-EA-04.

Cuando se ilumina una superficie, existe una luz dispersa que ilumina más allá de dicha superficie. El proyecto de alumbrado deberá minimizar al máximo razonable dicha luz dispersa [22].

## **4.3.- Herramienta de cálculo de eficiencia energética para instalaciones de alumbrado exterior.**

En el presente apartado analizaremos el desarrollo de la herramienta de cálculo de eficiencia energética para instalaciones de alumbrado exterior, así como de la calificación energética que obtienen las mismas gracias a los elementos que las componen. Dicha herramienta ha sido desarrollada con el programa Excel de Microsoft Office mediante hojas de cálculo, dónde se han llevado a cabo los algoritmos necesarios para una buena evolución de los parámetros analizados.

En líneas generales, la aplicación fundamental del sistema de cálculo será predecir la posibilidad de una potencial mejora de las instalaciones existentes en función del resultado en el estudio realizado. Se trata de un complemento para otras herramientas de cálculo, como podría ser DIALUX, encargadas de realizar los cálculos luminotécnicos de un vial propuesto e implantar las oportunidades tecnológicas que mejor se adapten a la situación que se haya estudiado en cada caso.

En este sentido, se podría definir como la antesala de un programa de cálculo luminotécnico ya que aporta la respectiva necesidad de actuación sobre las instalaciones obsoletas, con excesivo consumo energético y baja eficiencia energética.

Además, una vez realizados los cálculos luminotécnicos pertinentes e implantando las mejoras obtenidas, esta herramienta de cálculo, permite la obtención de la nueva calificación energética de la instalación así como unas ratios de desempeño energético, muy intuitivos, para llevar a cabo posibles auditorias en el futuro.

Por otro lado, proporciona la clase de alumbrado vial a la que pertenece la instalación estudiada, facilitando la introducción de datos en el cálculo luminotécnico y la subsanación

de potenciales errores en el mismo. Cabe destacar que las hojas de cálculo también describen los límites luminotécnicos de cada parámetro influyente en el vial estudiado.

Finalmente, aporta unas gráficas de desempeño en función del consumo de la instalación a nivel energético y a nivel económico, que sirven para que el usuario de la herramienta pueda visualizar de forma clara y determinar, sin tener que estudiar los resultados obtenidos, el buen o mal funcionamiento de la instalación de una manera visual global. Estas gráficas estarán pormenorizadas en meses, de manera que será trivial dilucidar el mes en el que se ha producido algún tipo de error en la instalación y con ello poder conseguir un óptimo mantenimiento correctivo de la misma.

No se finalizará esta introducción sin antes agradecer a la empresa ESEN que ha hecho posible validar el desarrollo de esta herramienta de cálculo de eficiencia energética para instalaciones de alumbrado exterior.

### **4.3.1.- Interfaz de la herramienta de cálculo**

En lo que respecta a la interfaz, la hoja Excel ha sido desarrollada mediante VBA (Visual Basic for Applications) destinado al lenguaje de macros de Microsoft Visual Basic que se utiliza para programar aplicaciones Windows y que se incluyen en varias aplicaciones de Microsoft.

Esta forma de programación ha sido diseñada para facilitar al usuario la interacción con la herramienta de modo que sea más sencilla su utilización. De esta manera, el usuario irá respondiendo a una serie de cuestiones que la propia herramienta le formulará a medida que sea necesaria la introducción de los datos pertinentes para poder llevar a cabo el cálculo de la eficiencia energética de la instalación, así como de los parámetros de desempeño energético de la misma.

Por un lado, la herramienta se podría decir que incluye de algún modo “inteligencia artificial” en el sentido de que formula, en función de sus necesidades, una serie de preguntas al usuario para poder encauzar el cálculo que se le exige.

Por otro lado, como se ha comentado anteriormente, la programación de macros para el empleo de la hoja de cálculo hace más intuitiva la utilización de la herramienta obteniendo unas funcionalidades mucho más dinámicas a la hora del cálculo ya que la propia herramienta va guiando al usuario en función de las selecciones y de las respuestas a las preguntas que le formule la herramienta. Este hecho, disminuye casi a 0 la posibilidad de error durante su ejecución.

Las macros se implementan en formas que Microsoft Excel tiene predeterminadas introduciendo una grabación de secuencias en las mismas. Estas secuencias se modifican mediante la programación en Visual Basic para obtener el resultado deseado y que la herramienta sea lo más autónoma y automática posible.



Figura 4.2.- Formas que contienen las macros programadas.

Cabe destacar, que hay que tener especialmente cuidado en la programación de macros ya que todo lo que se incluya en la grabación se realizará de forma repetitiva en cada cálculo con la herramienta, de forma que la introducción de un error en la programación será fatal y provocará una cadena de fallos que alterará el resultado final de forma catastrófica.

```
Sub DatosVialFuncional()  
'  
' DatosVialFuncional Macro  
'  
'  
  
Range("E8").Select  
Selection.Copy  
Sheets("Hoja de Entradas Eficiencia").Select  
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-6  
Range("B3").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
Sheets("Macro vial funcional").Select  
Range("E10").Select  
Application.CutCopyMode = False  
Selection.Copy  
Sheets("Hoja de Entradas Eficiencia").Select  
Range("B4").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
Sheets("Macro vial funcional").Select  
Range("E12").Select  
Application.CutCopyMode = False  
Selection.Copy  
Sheets("Hoja de Entradas Eficiencia").Select  
Range("B5").Select
```

Figura 4.3.- Ejemplo de la macro para la Introducción de Datos para el Vial de tipo Funcional.

A continuación, para cada movimiento que se quiera hacer dentro de la herramienta de cálculo, se llevará a cabo la programación de una macro diferente con el fin de hacer la hoja de cálculo lo más automatizada posible, como se ha explicado anteriormente.

Además de todas las macros programadas para la ejecución de los cálculos necesarios, también se han programados macros para el salto dinámico de una pestaña a otra con sus correspondientes etiquetas que guíen al usuario de la forma más eficiente posible y sin errores.

### **4.3.2.- Contenido de la herramienta de cálculo.**

Como se ha explicado anteriormente, esta herramienta está diseñada para una evaluación previa de las instalaciones antes del pertinente cálculo luminotécnico en base a los criterios metodológicos establecidos en el REEIAE con el objetivo de determinar el estado de las instalaciones existentes y su potencial necesidad de mejora debido al reto de

ahorro energético que esta instaurado en nuestro país y al ineficiente estado de las instalaciones actuales en los municipios de nuestras comunidades. La herramienta incorpora una base con datos relativos a las características básicas de los equipos de iluminación recogidos en el Capítulo 3 del presente documento,

Por este motivo, es una herramienta enfocada hacia la auditoría energética de las instalaciones de alumbrado público exterior que llevan a cabo tanto empresas privadas como la administración pública. Este hecho, hace que tenga un formato de hoja de cálculo y que cuente con una serie de apartados fundamentales a la hora de estudiar una instalación de alumbrado público y que facilita enormemente el trabajo al responsable encargado de llevar a cabo la auditoría.

En lo que sigue, se describirán los apartados fundamentales con los que cuenta la herramienta de cálculo y se llevará a cabo una breve explicación de su funcionamiento.

#### **4.3.2.1 Pestaña 1: Inventario**

En toda auditoría energética, es fundamental describir el estado actual de las instalaciones sobre las que se realizará la actuación detallando su buen o mal funcionamiento reflejando la necesidad de mejorar dichas instalaciones.

El punto de partida del presente trabajo es el acceso a la información de base del diseño y características de las instalaciones de alumbrado, con los criterios asumidos en su día como premisas respecto a la funcionalidad perseguida en los espacios iluminados.

Esta información deberá ser aportada por los servicios técnicos del organismo responsable de la instalación, al estar contenida en la documentación y planos de los proyectos originales y replanteos o reformas acometidas con posterioridad.

Para ello, la primera pestaña de la herramienta cuenta con un inventario en el que se detallarán los elementos que componen la instalación analizada, desde el cuadro de mando y control hasta las líneas de distribución y acometida pasando por el mantenimiento y gestión que están dispuestos para la pertinente instalación.

Cabe destacar, antes de su descripción, que en el caso de que la instalación cuente con un número mayor de elementos de los que dispone implementados la herramienta, se podrán añadir a continuación completando convenientemente la instalación estudiada.

- Cuadros eléctricos de mando y control.

Aquí se llevará a cabo la identificación de cada uno de los centros de mando existentes, sus elementos, su estado, etc., Figura 4.4.

Cuadros eléctricos de mando y control					
Identificación de sus componentes	ENVOLVENTE	ACOMETIDA	MANDO Y PROTECCIÓN	CONTROL Y COMUNICACIONES	AHORRO ENERGÉTICO
Características mecánicas y eléctricas	TENSIÓN DE TRABAJO	POTENCIA	Tª DE TRABAJO		
Protecciones	GRADO DE PROTECCIÓN	GRADO DEL ESTABILIZADOR - REDUCTOR			
Líneas de salida	NÚMERO				
Puntos de luz por línea	NÚMERO				
Características de los puntos	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES				

Figura 4.4.- Inventario del cuadro eléctrico de mando y control.

En primer lugar, se describe la identificación de los componentes. Aquí se detalla el estado y las características de la envolvente (que en instalaciones antiguas generalmente es malo), acometida, circuitos de mando y protección, control y comunicaciones, así como el ahorro energético del mismo (por lo general suele ser bajo o nulo). Seguidamente, se deberán describir las características mecánicas y eléctricas del cuadro. Esto concierne a la tensión y temperatura de trabajo así como la potencia que está instalada.

Por otro lado, se hará referencia al grado de protección tanto de la instalación como del estabilizador – reductor del cuadro de mando que permiten regular la tensión de alimentación de los puntos de luz controlando el flujo luminoso en horas de baja utilización con importantes ahorros de energía. Cabe destacar que esta tecnología es compatible con lámparas de descarga y lámparas LED reguladas por tensión de alimentación. A continuación, se implementará en el inventario el número de líneas de salida del cuadro de

mando y control así como el número de puntos de luz por cada línea. Este dato es muy importante ya que nos da una idea del alcance que tendrá el cuadro de mando y control estudiado.

Finalmente, se podrá resumir en unas cuantas líneas el estado general de la instalación de cuadro de mando, imponiendo sus características principales con motivo de una explicación aclaratoria que proponga el auditor.

- Disposición de los puntos de luz.

En este apartado se tendrá en cuenta la identificación de los puntos de luz en cuanto a su distribución, diferenciando aquellos que pertenezcan a cuadros de mando y control distintos.

PUNTOS DE LUZ. DISPOSICIÓN			
	COMUNIDAD	AYUNTAMIENTO	CALLE
Ubicación			
	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		
Características			
	INTERDISTANCIA ENTRE PUNTOS		
Disposición			
	TIPO DE IMPLMETACIÓN		
Tipología			

Figura 4.5.- Inventario de la disposición de los puntos de luz.

En un principio, se analiza la ubicación de los puntos de luz en el territorio nacional desde un punto de vista amplio, referenciando la comunidad autónoma y el ayuntamiento, hasta un enfoque preciso, definiendo la calle en la que se encuentran implantados.

Seguidamente, se procede al análisis de las características principales de los puntos de luz. Por ejemplo, altura a la que se encuentran, tipo de vía a la que suministran iluminación o longitud del mástil en la que se hayan implementados. Esta descripción debe ser breve, y realizarse en un par de líneas; sólo con motivo de una representación básica. A continuación, el análisis continúa con la definición de la interdistancia a la que se encuentran dichos puntos de luz. Esta información es vital para el análisis luminotécnico posterior y un buen dimensionamiento de las fuentes de luz que se implementarán.

En este sentido, una mala medición de la interdistancia de los puntos de luz puede provocar un sobredimensionamiento en la potencia de las lámparas que arrastre consigo unos problemas serios de uniformidad y deslumbramiento, además de una clara falta de eficiencia energética al consumir mucha más potencia de la necesaria.

Por último, se expondrá el tipo de implementación de los puntos de luz. Como se ha explicado en capítulos anteriores, existen varias tipologías en cuanto a disposición de luz se refiere (unilateral, tresbolillo, bilateral...) y, ya que en la mayoría de los casos, cuando se propone un proyecto, se intenta aprovechar lo máximo posible de la instalación existente, el cálculo posterior se hará con la tipología que se encuentre en este inventario. Este hecho, convierte a una acertada definición de la tipología en vital para llevar a cabo la reforma con éxito.

- Tipos de lámparas

Se llevará a cabo la identificación de todas y cada una de las lámparas en cuanto a sus características, que pertenecen a cada cuadro de mando y control. Figura 4.6.

TIPO DE LÁMPARAS								
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8
Características								
Identificación								
Potencia								
Tipología								

Figura 4.6.- Inventario de tipos de lámparas.

En primer lugar se analizarán las características más representativas de cada una de las lámparas que están asignadas a cada cuadro de mando y control. A cada una, se le asignará un número con el fin de una identificación clara de las instalaciones. Posteriormente, deberá indicarse la potencia de cada lámpara para así poder hacer una estimación de la potencia global que consume la instalación. Esta ratio es muy importante, ya que será fundamental para obtener la eficiencia completa de la instalación.

Para terminar, se representará la tipología de la lámpara consistente en alguno de los grupos que hemos descrito en el *Capítulo 3.2* del presente trabajo (halogenuros metálicos, vapor de sodio a alta presión, LED, etc.).

Como se ha destacado anteriormente, se reitera que, en caso de existir un mayor número de lámparas que las dispuestas en la herramienta se podrán añadir al inventario a continuación de las ya existentes.

- Tipos de luminarias

En este caso, se realizará la identificación de todas y cada una de las luminarias en cuanto a sus características, que pertenecen a cada cuadro de mando y control. Figura 4.7

TIPO DE LUMINARIAS								
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8
Ubicación								
Características								
Disposición								
Tipología								

Figura 4.7.- Inventario de Tipo de Luminarias.

La definición del inventario referente a las luminarias es análoga al caso anterior en el que se analizaban los tipos de lámparas con la salvedad que en lugar de la potencia se indicará la disposición de las misma, es decir, la interdistancia a la que se encuentran unas de otras.

Otra diferencia a tener en cuenta se sitúa en el apartado de tipología donde se indicará el tipo de luminaria que se encuentra implementada. Los tipos de luminarias urbanas se han descrito en el *Capítulo 3* del presente trabajo (Cut – off, Semi Cut – off o Non Cut – off) por lo que no es necesario una nueva descripción de estos.

- Equipos de arranque o encendido

En este caso, se llevará a cabo una identificación de todos y cada uno de los equipos de arranque de las lámparas en cuanto a sus características, tipo electromagnético o electrónico, nivel de encendido, etc., que pertenecen a cada cuadro de mando y control, Figura 4.8

EQUIPOS DE ARRANQUE O ENCENDIDO								
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8
Características								
Identificación de los elementos								
Sistema								
Posibilidades de variación								

Figura 4.8.- Inventario de equipo de arranque y encendido.

En primer lugar, se procederá a un análisis genérico de las características principales de los equipos de arranque y encendido que componen la instalación y que se conectan a cada una de las lámparas.

Este análisis comprende desde la definición del tipo de arrancador hasta el estado en el que se encuentra el mismo. El tipo de arrancador es diferente para lámparas de descarga que para el caso de sistemas en estado sólido (LED), por lo tanto se deberá definir en las características principales.

Para el caso de lámparas de descarga se disponen en serie, en semiparalelo o en paralelo. Por otro lado, para sistemas LED los más comunes son con fuente de alimentación incorporada o sin fuente de alimentación incorporada. Todos ellos están convenientemente descritos en el *Capítulo 3 “Equipos eléctricos auxiliares”*. Posteriormente se realizará una disposición de etiquetas, para la identificación de cada elemento auxiliar, a base de una asignación de números con el fin de tener una mejor organización. También es necesaria la definición del tipo de sistema al que están asociados, por lo que se indicará este aspecto para cada elemento.

Por último, se indicará si dicho elemento auxiliar tiene posibilidad de variación o no. Esto se refiere a si el elemento permite una variación en la tensión de arranque ya que se

puede mantener 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).

En este sentido, se indicará en la tabla con un SÍ o un NO según corresponda.

- Protecciones

Aquí se realizará la identificación de todas y cada una de las protecciones, tanto de entrada como de salida de línea, que pertenecen a cada cuadro de mando y control, Figura 4.9

PROTECCIONES								
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8
Características								
Tipología	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8

Figura 4.9.- Inventario de protecciones.

Primeramente, se analizarán el estado de las protecciones tanto a la entrada como a la salida de la línea. Posteriormente, se definirá el tipo de protección del que se trata. La tipología se puede agrupar en dos grandes grupos:

- Protección de personas contra contactos indirectos: Aquí los elementos de protección van alojados en el cuadro de mando y control. La fuente de alimentación se conecta a tierra, así como el correspondiente transformador de distribución, por razones de seguridad en su mayoría.

Un contacto indirecto es la unión entre un conductor activo y una persona a través de un elemento metálico que se encuentre accidentalmente en tensión, por ejemplo, una carcasa de un receptor. Esto puede producirse si, por accidente, el aislamiento de uno de los conductores que alimentan al receptor se deteriora y el conductor desnudo se pone en contacto con la carcasa.

- Protección de las instalaciones contra sobrecargas y cortocircuitos: En este caso, los elementos también van alojados en el cuadro de mando y control. Las protecciones

para circuitos basan su funcionamiento en interrumpir la alimentación cuando se detecte una intensidad superior a la que debería circular durante el funcionamiento normal. Aquí se encuentra extendido el uso de magnetotérmicos o pequeños interruptores automáticos.

Estos PIAs (Pequeños Interruptores Automáticos) protegen a los circuitos porque interrumpen automáticamente la alimentación si detectan una sobreintensidad en la línea.

- Sistemas de regulación y control

En este apartado se analizará cada uno de los sistemas de regulación y control, por lámpara, por línea o general, que pertenecen a cada cuadro de mando y control, Figura 4.10

SISTEMAS DE REGULACIÓN Y CONTROL								
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8
Características								
Sistema								
Capacidad del mismo								

Figura 4.10.- Inventario de sistemas de regulación y control.

Las características de los principales sistemas de regulación y control existentes en el mercado se han descrito en el *Capítulo 3* del presente trabajo “Sistemas de regulación y control de instalaciones”. Por lo tanto, añadiremos al inventario las características principales que encontremos en la instalación auditada.

Por otro lado, los sistemas a tener en cuenta también fueron descritos en el anterior capítulo, haciéndose referencia a sistemas de gestión, equipos reductores – estabilizadores en cabecera o sistemas de control. Se numerará cada uno de ellos con numeración contigua con el fin de tener la instalación ordenada en su descripción.

Por último, se especificará la capacidad de cada uno de los equipos de regulación y se analizará si es suficiente o conviene cambiar dicha capacidad, modificando el sistema de regulación, una vez hecho el cálculo luminotécnico y conociendo las nuevas potencias de las que se dispondrán en la instalación.

- Líneas de distribución y acometida

Aquí se representan cada uno de los suministros eléctricos a cada cuadro de mando y control. La red de distribución es aquella que alimenta a la instalación y pertenece a la compañía suministradora de energía. Puede presentarse de dos formas: aérea o subterránea.

Se denomina acometida a la parte de la instalación comprendida entre la red de distribución y la caja o cajas generales de protección o unidad funcional equivalente. Pueden ser aéreas, subterráneas o mixtas, Figura 4.11

LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN Y ACOMETIDA								
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8
Tipos de líneas								
Ubicación y características								
Secciones								
Protecciones								

Figura 4.11.- Inventario de líneas de distribución y acometida.

En primer lugar, diferenciaremos el tipo de línea que se quiere analizar distinguiendo entre líneas de distribución o acometida en función de la aplicación que tengan. A continuación, se representa la ubicación de las mismas pudiendo ser aéreas o subterráneas en el caso de las líneas de distribución y aéreas, subterráneas o mixtas en el caso de las líneas de acometida. En este sentido, también se detallará el estado y características de las mismas avalando o no la posible sustitución por unas nuevas que se encuentren en perfecto estado. Cabe destacar la definición de la sección de los conductores, ya que en función de los amperios que transporten, esta será diferente; aumentando o disminuyendo el presupuesto de la reforma de alumbrado público. Por último, se implementará en el inventario el tipo de protección que tendrá cada línea respectivamente. Para la protección en media tensión deberán instalarse elemento fusibles y apartarrayos de la capacidad adecuada. En cuanto a las protecciones se deberán utilizar protecciones termomagnéticas. Los relevadores de sobrecarga no se recomiendan, a menos que cuente con una protección de corrientes de

cortocircuito general. Las protecciones no deberán de estar por encima de la capacidad del conductor alimentador.

Es recomendable usar protecciones o desconectores en cada luminaria, después de su derivación de la línea principal, con el fin de proteger el circuito general y aislar la luminaria en caso de fallo o de mantenimiento. Los contactores usados para el control del circuito deberán de ser mayor o igual al usado en su protección de circuito. Por ningún motivo el dispositivo de control fotocelda o timer, deberá interrumpir el circuito general, a menos que tenga la capacidad de corriente para hacerlo [23].

- Mantenimiento y gestión. Horarios de funcionamiento

Es importante conocer en qué condiciones se está gestionando cada una de las instalaciones que conforman el alumbrado público del municipio, Figura 4.12.

MANTENIMIENTO Y GESTIÓN. HORARIOS DE FUNCIONAMIENTO.	
	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
Régimen de funcionamiento general	
	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
Régimen de funcionamiento reducido	
	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
Régimen general de utilización	
	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
Horario anual de funcionamiento	

Figura 4.12.- Inventario de mantenimiento y gestión de las horas de funcionamiento.

En primer lugar, analizaremos el número de horas en las que la instalación está funcionando al 100% durante la noche, que se corresponderá con el régimen de funcionamiento nominal o general. Posteriormente, de igual modo, se representará el número de horas en las que la instalación está funcionando a un nivel luminoso menor ya que a ciertas horas de la noche no son necesarias las mismas características cromáticas que a otras horas.

Cabe destacar que es conveniente que se realice una enumeración de las características principales de funcionamiento de la instalación como por ejemplo, la tensión a la que es alimentada la instalación en ambos casos o la potencia consumida por la instalación en dichos períodos.

Finalmente, se detallará horario anual de funcionamiento; describiendo el número de horas totales en las que la instalación está operativa.

- Valoración técnica

Como resultado de una visión global de la instalación, el auditor tendrá la oportunidad de reflejar en el inventario propuesto en la herramienta de cálculo de eficiencia energética unas conclusiones o valoraciones generales de la instalación analizada, Figura 4.13

VALORACIÓN TÉCNICA. OBSERVACIONES.

Figura 4.13.- Valoración técnica del auditor.

Aquí se detallarán aspectos que no se hayan reflejado en la descripción pormenorizada de la instalación. Estos condicionantes serán, en la mayoría de los casos, particulares de cada instalación visitada y en ningún caso será de obligado cumplimiento representarlos.

En este sentido, se implementarán observaciones ajenas a la instalación pero que indirectamente puedan afectar sensiblemente al desarrollo de las mejoras propuestas posteriormente.

#### **4.3.2.2 Pestaña 2: Selección**

Una vez que se ha realizado el inventario de todos los componentes de la instalación existente reflejando su estado y sus características principales, la herramienta de cálculo nos lleva a un menú de selección dónde en función del tipo de vial que estemos analizando tendremos que elegir entre las siguientes opciones:

- *Alumbrado Vial Funcional*

Como se ha explicado con mayor profundidad en el *Apartado 4.1 “Calificación Energética”*, se define como instalaciones de alumbrado para un vial funcional aquellas que

se corresponden con autopistas, autovías, carreteras y vías urbanas consideradas en la Instrucción Técnica Complementaria ITC- EA-02 como situaciones de proyecto A y B.

- *Alumbrado Vial Ambiental*

Podemos definir las instalaciones proyectadas en un vial ambiental como aquellas que se ejecutan generalmente sobre soportes de baja altura (3-5 m) en áreas urbanas para la iluminación de vías peatonales, comerciales, aceras, parques y jardines, centros históricos, vías de velocidad limitada, etc., considerados en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 como situaciones de proyecto C, D y E.

- *Alumbrado de Vigilancia y Anuncios Luminosos*

En este caso, las instalaciones abarcan el alumbrado de vigilancia y seguridad nocturna son aquellas que se corresponden con la iluminación de fachadas y áreas destinadas a actividades industriales, comerciales, de servicios, deportivas y recreativas, etc. con fines de vigilancia y seguridad durante la noche.

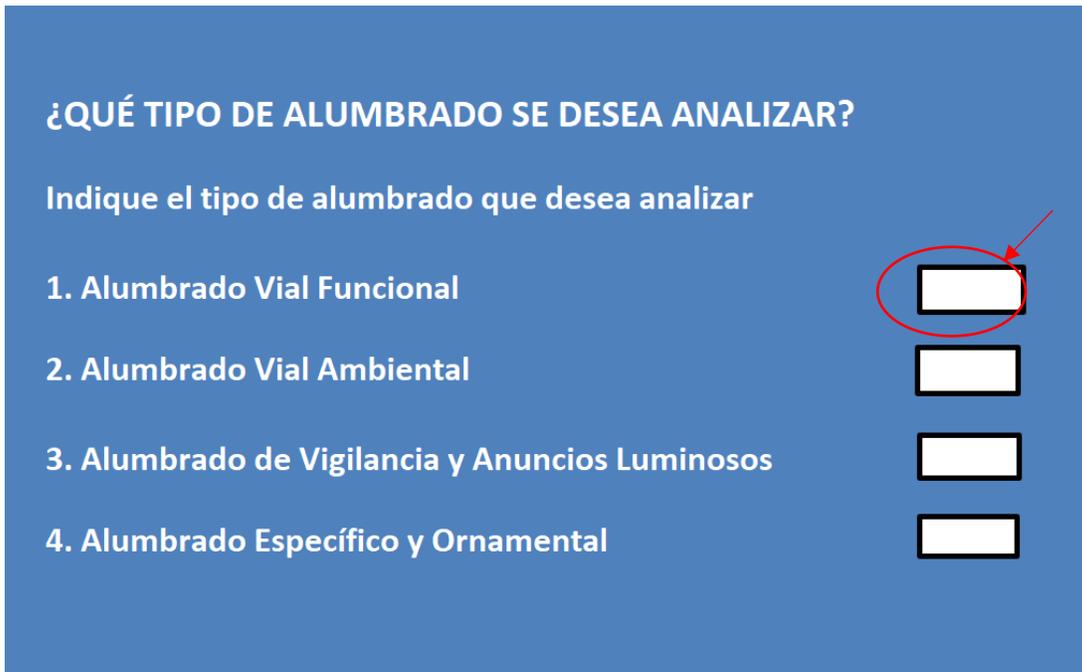
Por otro lado, las instalaciones que se agrupan entorno al concepto de anuncios luminosos son aquellas que se corresponden con señales, carteles, anuncios luminosos, anuncios iluminados, alumbrados de escaparates, mobiliario urbano y edículos de marquesinas, cabinas telefónicas, etc. excluyendo de este grupo todas las señales y anuncios de tráfico.

Los aspectos que se deben tener en cuenta se encuentran descritos en el *Apartado 4.1* “Calificación Energética” del presente documento.

- *Alumbrado Específico y Ornamental*

Se consideran alumbrados ornamentales los que corresponden con la iluminación de fachadas de edificios y monumentos, así como estatuas, murallas, fuentes, etc. y paisajista de ríos, riberas, frondosidades, equipamientos acuáticos, etc.

Los criterios más relevantes de este tipo de alumbrado se encuentran escritos en el *Apartado 4.1* “Calificación Energética” del presente documento. La Figura 4.14 muestra el módulo de elección del tipo de vial estudiado de la herramienta.



**¿QUÉ TIPO DE ALUMBRADO SE DESEA ANALIZAR?**

Indique el tipo de alumbrado que desea analizar

1. Alumbrado Vial Funcional
2. Alumbrado Vial Ambiental
3. Alumbrado de Vigilancia y Anuncios Luminosos
4. Alumbrado Específico y Ornamental

Figura 4.14.- Selección del tipo de vial estudiado.

La herramienta de cálculo le pregunta al usuario “¿Qué tipo de alumbrado se desea analizar?”, pregunta que la persona que esté utilizando la aplicación puede contestar pulsando uno de los cuatro recuadros blancos que se ilustrará a continuación, Figura 4.15:

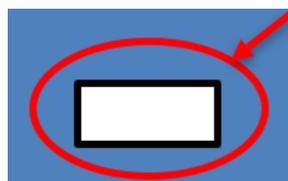


Figura 4.15.- Modo de selección.

Una vez pulsado el botón, y gracias a la programación de la herramienta mediante macros, se conducirá al usuario directamente a la pestaña de introducción de los datos para el cálculo de la eficiencia energética de la instalación así como de su calificación energética y demás ratios de interés para la auditoría.

Del mismo modo, en la pestaña selección se tienen otros elementos interactivos como son los botones que permiten la visualización de los resultados obtenidos. Cabe destacar, que

dichos botones no serán pulsados hasta la introducción de todos los datos necesarios para el cálculo en cuestión. La propia herramienta redireccionará al usuario a esta pestaña una vez se haya completado la introducción de los datos requeridos.

La Figura 4,16 muestra cómo sería la interfaz que se accionará de forma análoga a la selección de tipo de vial con la salvedad de que el botón de selección tiene una forma diferente.



Figura 4.16.- Menú de selección de resultados.

### 4.3.2.3 Pestaña 3: Introducción de datos para alumbrado Vial Funcional

La primera parada que nos ocupa será el caso del alumbrado de un vial funcional cuyo objetivo será la obtención de la calificación energética así como un conjunto de ratios de interés y unas gráficas que nos muestren de forma muy intuitiva el funcionamiento de la instalación.

Asimismo, se determinará la clase de alumbrado en función del tipo de vial funcional que estemos analizando junto con sus características fundamentales más representativas.

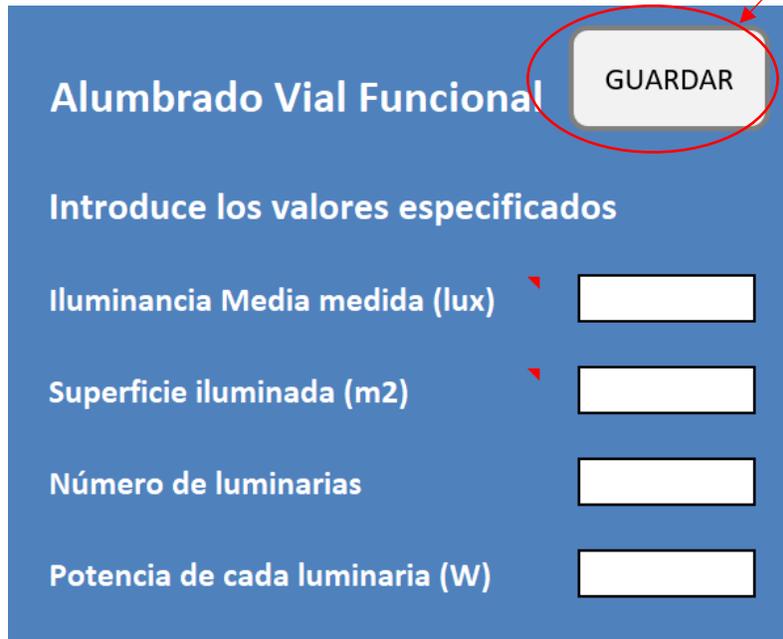
En primer lugar, se introducirán los datos de iluminancia media medida de la instalación (lux). Este concepto hace referencia al flujo luminoso incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto y el área de ese elemento. Cabe destacar que en la determinación de este valor se considerará el mantenimiento previsto.

Este valor de iluminancia puede reflejarse para una luminaria en concreto o para todas las luminarias que estén controladas por un mismo cuadro de mando y protección, siempre y cuando la superficie, número de luminarias y potencia total, que se debe definir a continuación, sea coherente con el dato inicial propuesto.

Seguidamente, se introducirá el dato de la superficie iluminada ( $m^2$ ). La superficie iluminada a considerar será la definida por la dimensión de la sección transversal, y longitudinalmente por una dimensión representativa de la implantación de los puntos de luz proyectados.

A continuación, definiremos el número de luminarias consideradas que, generalmente, será el número de puntos de luz que controle un mismo cuadro de mando y control. Como se ha reflejado anteriormente, se puede hacer el cálculo para una sola luminaria pero deberá ser coherente con el resto de los datos ingresados. Cabe destacar que, cuando el cálculo se hace para una sola luminaria, se está incurriendo en un pequeño error de medida.

Por último, se incluirá la potencia de cada luminaria (W). El programa calcula, automáticamente, la potencia total de la instalación analizada en el caso de que se disponga la iluminancia media medida de la instalación global, Figura 4.17.



The image shows a blue web interface titled "Alumbrado Vial Funcional". At the top right, there is a white button labeled "GUARDAR" which is circled in red. Below the title, the text "Introduce los valores especificados" is displayed. There are four input fields, each with a red arrow pointing to it from the left:

- Iluminancia Media medida (lux)
- Superficie iluminada (m2)
- Número de luminarias
- Potencia de cada luminaria (W)

Figura 4.17.- Introducción de datos para el cálculo de la eficiencia energética de un vial funcional.

Los datos requeridos serán introducidos en los recuadros blancos que están a la derecha de la Figura 4.17.

Acto seguido, se procederá a la introducción de unos datos de desempeño energético medidos en el cuadro de mando. Para la obtención de estos datos es necesaria la ayuda del organismo encargado del mantenimiento de las instalaciones, en este caso el ayuntamiento en cuestión, para la apertura del cuadro de mando y control y la lectura de los datos necesarios, Figura 4.18.

INSTALACIÓN ACTUAL - DESEMPEÑO ENERGÉTICO		
MES	Energía Consumida (kWh)	Potencia medida en CM (W)
Enero		
Febrero		
Marzo		
Abril		
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		

Figura 4.18.- Introducción de los datos necesarios para el desempeño energético de la instalación analizada.

Por un lado, se procederá a la lectura de la energía consumida por la instalación en cada uno de los meses del ejercicio (kWh) y, consecuentemente, también se reflejará en la tabla impuesta en la Figura 4.18 la potencia medida (W) en el cuadro de mando y control para cada uno de los meses del año. Análogamente al caso del cálculo de la eficiencia energética de la instalación, se introducirán los datos requeridos en las casillas de color blanco.

Estos datos son necesarios para el seguimiento de la instalación de alumbrado exterior. Gracias a ellos, podemos observar de manera clara, si en alguno de los meses se ha producido alguna anomalía en la instalación. Este hecho se comentará más tarde en la pestaña de resultados.

Ya terminando con la introducción de datos, restaría obtener el número de habitantes del municipio. Este dato es muy importante, ya que para la obtención de los principales ratios de desempeño energético es fundamental conocer este dato debido a que las relaciones de potencias se llevan a cabo por habitante, Figura 4.19

Ratios de Relevancia	
Número de Habitantes del municipio	

Figura 4.19.- Introducción del número de habitantes del municipio.

Finalmente, una vez introducidos todos los datos requeridos por la herramienta de cálculo se procederá al guardado de los mismos en la memoria. Para guardar los datos introducidos, el usuario debe pulsar el botón implementado para este cometido que se encuentra en la esquina superior derecha de la interfaz del cuadro. Una vez que se pulse el botón los datos desaparecerán automáticamente, esto sucede debido a la programación de la herramienta que, una vez salvados los datos, deja limpios los campos de entrada para un posterior análisis. En la Figura 4.20 se puede observar dicho botón con el nombre “Guardar”.



Figura 4.20.- Botón "Guardar" para el salvado de los datos introducidos.

Por último, se implementa un botón denominado “Menú selección” para volver a la pestaña selección desde dónde, como se ha explicado anteriormente, se puede acceder a los resultados obtenidos para el caso del estudio del alumbrado vial funcional, Figura 4.21.



Figura 4.21.- Botón para retroceder al menú selección.

#### 4.3.2.4 Pestaña 4: Introducción de datos para alumbrado Vial Ambiental

La siguiente estación de la herramienta de cálculo se corresponde con el alumbrado de un vial de tipo ambiental cuyo objetivo también radica en la obtención de la calificación energética así como la determinación de un conjunto de ratios de mucho interés a nivel de auditoría energética de instalaciones de alumbrado público.

En este caso, también se obtendrán unos gráficos de desempeño energético que nos muestran de una forma muy intuitiva lo que está sucediendo en la instalación a lo largo del año. Además, como ocurría en el caso del alumbrado para un vial de tipo funcional se determinará la clase de alumbrado en función del tipo de vial ambiental que estemos analizando junto con sus características más representativas. De modo similar, la introducción de los datos es análoga al caso anterior por lo que no procede realizar un procedimiento de análisis nuevo.

En la Figura 4.22 se muestra la interfaz que ha sido implementada para resolver el problema en este caso:



Alumbrado Vial Ambiental

Introduce los valores especificados

Iluminancia Media medida (lux)

Superficie iluminada (m2)

Número de luminarias

Potencia de cada luminaria (W)

INSTALACIÓN ACTUAL - DESEMPEÑO ENERGÉTICO		
MES	Energía Consumida (kWh)	Potencia medida en CM (W)
Enero		
Febrero		
Marzo		
Abril		
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		

Ratios de Relevancia

Número de Habitantes del municipio

Figura 4.22.- Interfaz para la introducción de datos referentes a instalaciones viales ambientales.

Cabe destacar que la diferencia con el apartado anterior se establece en los cálculos realizados no en los parámetros introducidos, ya que los valores que se analizan para obtener la calificación energética son diferentes en ambos casos, aun teniendo el mismo objetivo.

#### **4.3.2.5 Pestaña 5: Introducción de datos para alumbrado Específico y Ornamental**

La tercera parada que analizaremos será el caso del alumbrado específico y ornamental cuyo objetivo, igual que en los dos casos anteriores, será el cálculo y la obtención de la calificación energética, que va de la mano con la obtención de la eficiencia energética de la instalación estudiada. Además, se incluirán unos valores y unas gráficas que reflejarán de forma muy clara el funcionamiento actual de la instalación analizada. De igual forma, se determinará la clase de alumbrado, aportando sus características más representativas, para facilitar su posterior cálculo luminotécnico y la posible implantación de mejoras.

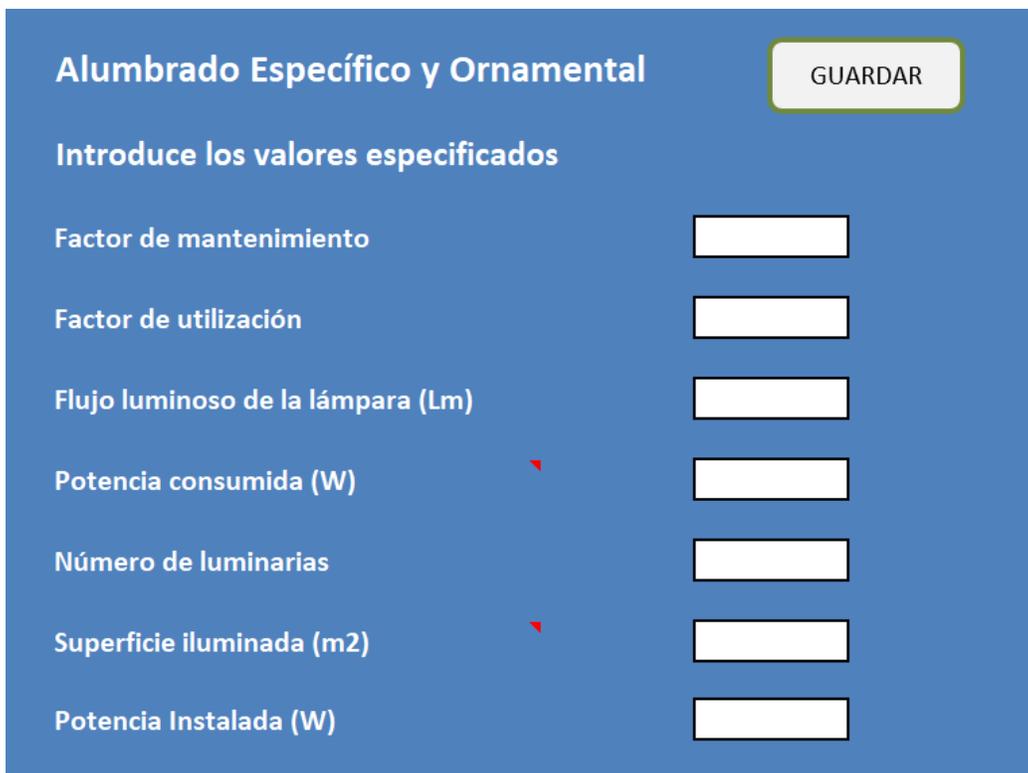
Para comenzar, se introducirá tanto el factor de mantenimiento como el factor de utilización considerados. Por un lado, el factor de mantenimiento que se aplica será la relación entre la iluminancia que se pretende mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales. Por otro lado, el factor de utilización representado será la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la superficie a iluminar (en este caso fachadas o monumentos) y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias.

A continuación, se llevará a cabo la introducción del flujo luminoso de la lámpara (lm) que hace referencia a la potencia emitida por la fuente de luz en forma de radiación visible y evaluada según su capacidad de producir una sensación luminosa, teniendo en cuenta la variación de la sensibilidad del ojo con la longitud de onda.

Por último, de lo que respecta al cálculo de la calificación energética de la instalación, se introducirán los parámetros de potencia consumida (W), el número de luminarias, la superficie iluminada ( $m^2$ ) y la potencia instalada (W). Es necesario resaltar, que la potencia

consumida incluye tanto la potencia de la lámpara como la del equipo auxiliar al contrario que la potencia instalada que sólo incluiría la potencia referida a la lámpara.

En cuanto a la superficie iluminada será la definida por la dimensión de la sección transversal, y longitudinalmente por una dimensión representativa de la implantación de los puntos de luz proyectados. Cabe destacar que, igual que ocurría en los casos anteriores, este cálculo se puede hacer tan sólo para una luminaria como para todo el conjunto de luminarias que pertenezcan a un mismo cuadro de mando y control siempre y cuando todos los parámetros sean coherentes unos con otros, Figura 4.23.



The image shows a web interface with a blue background. At the top left, the title 'Alumbrado Específico y Ornamental' is displayed in white. To the right of the title is a white button with a green border labeled 'GUARDAR'. Below the title, the instruction 'Introduce los valores especificados' is written in white. There are seven rows of input fields, each with a label on the left and a white rectangular box on the right. The labels are: 'Factor de mantenimiento', 'Factor de utilización', 'Flujo luminoso de la lámpara (Lm)', 'Potencia consumida (W)', 'Número de luminarias', 'Superficie iluminada (m2)', and 'Potencia Instalada (W)'. Small red triangles are visible to the right of the labels for 'Potencia consumida (W)' and 'Superficie iluminada (m2)'.

Figura 4.23.- Introducción de datos para el cálculo de la eficiencia de alumbrados específicos y ornamental.

Los datos requeridos serán introducidos en los recuadros blancos que están a la derecha de la Figura 4.23.

Acto seguido, se procederá a la introducción de unos datos de desempeño energético medidos en el cuadro de mando. Para la obtención de estos datos es necesaria la ayuda del organismo encargado del mantenimiento de las instalaciones, en este caso el ayuntamiento

en cuestión, para la apertura del cuadro de mando y control y la lectura de los datos necesarios, Figura 4.24.

INSTALACIÓN ACTUAL - DESEMPEÑO ENERGÉTICO		
MES	Energía Consumida (kWh)	Potencia medida en CM (W)
Enero		
Febrero		
Marzo		
Abril		
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		

Factor de mantenimiento	
Factor de utilización	

Figura 4.24.- Introducción de los datos necesarios para el desempeño energético de la instalación.

Por una parte, se procederá a la lectura de la energía consumida por la instalación en cada uno de los meses del ejercicio (kWh) y, consecuentemente, también se reflejará en la tabla impuesta en la Figura 4,24 la potencia medida (W) en el cuadro de mando y control para cada uno de los meses del año. Análogamente al caso del cálculo de la eficiencia energética de la instalación, se introducirán los datos requeridos en las casillas de color blanco.

Los datos restantes son iguales y se introducen de manera análoga a los casos propuestos anteriormente, de manera que no procede realizar una nueva explicación de la metodología de introducción de datos.

Finalmente, una vez introducidos todos los datos requeridos por la herramienta de cálculo, análogamente a los casos anteriores, se procederá al guardado de los mismos en la memoria para su posterior utilización en los cálculos realizados.

Por último, se implementa un botón denominado “Menú selección” para volver a la pestaña selección desde dónde, como se ha explicado anteriormente, se puede acceder a los resultados obtenidos para el caso del estudio del alumbrado específico y ornamental.

#### **4.3.2.6 Pestaña 6: Introducción de datos para alumbrado de Vigilancia y Anuncios Luminosos**

La última estación de la herramienta de cálculo se corresponde con el alumbrado de vigilancia y anuncios luminosos cuyo objetivo también radica en la obtención de la calificación energética así como la determinación de un conjunto de ratios de mucho interés a nivel de auditoría energética de instalaciones de alumbrado público.

En este caso, también se obtendrán unos gráficos de desempeño energético que nos muestran de una forma muy intuitiva lo que está sucediendo en la instalación a lo largo del año. Además, como ocurría en los anteriores casos propuestos, se determinará la clase de alumbrado en función del tipo de alumbrado de vigilancia o anuncios luminosos que estemos analizando junto con sus características más representativas.

De modo similar, la introducción de los datos es análoga al caso anterior por lo que no procede realizar un procedimiento de análisis nuevo.

Cabe destacar que la diferencia con el apartado anterior se establece en los cálculos realizados no en los parámetros introducidos, ya que los valores que se analizan para obtener la calificación energética son diferentes en ambos casos, aun teniendo el mismo objetivo.

La Figura 4.25 muestra la interfaz que ha sido implementada para resolver el problema en este caso:

**Alumbrado de Vigilancia y A. Luminosos** GUARDAR

Introduce los valores especificados

Factor de mantenimiento

Factor de utilización

Flujo luminoso de la lámpara (Lm)

Potencia consumida (W)

Número de luminarias

Superficie iluminada (m2)

Potencia Instalada (W)

← Menú Selección

**INSTALACIÓN ACTUAL - DESEMPEÑO ENERGÉTICO**

MES	Energía Consumida (kWh)	Potencia medida en CM (W)
Enero		
Febrero		
Marzo		
Abril		
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		

Factor de mantenimiento

Factor de utilización

**Ratios de Relevancia**

Número de Habitantes del municipio

Figura 4.25.- Interfaz para la introducción de datos referentes a alumbrados de vigilancia y anuncios luminosos.

El REEIAE no hace referencia a más grupos de alumbrado por lo que, las instalaciones que se analicen en lo que sigue, se definirán dentro de uno de los cuatro tipos de alumbrado anteriormente descritos.

#### 4.3.2.7 Pestaña 7: Elección de clase de alumbrado

Una vez definidas las características del sistema analizar se procede a la elección de clase de alumbrado público. Se entiende por nivel de iluminación el conjunto de requisitos luminotécnicos o fotométricos (luminancia, iluminancia, uniformidad, deslumbramiento, relación de entorno, etc.) de los que dispone la instalación. En alumbrado vial, se conoce también como clase de alumbrado [20]. Un aspecto fundamental en cualquier cálculo luminotécnico es la clase de alumbrado de la que dispone el vial.

La siguiente pestaña de la herramienta de cálculo desarrolla todo lo impuesto por el REEIAE en su ITC EA- 02 “Niveles de iluminación”, automatizándolo para que el usuario seleccione de forma fácil y clara la clase de alumbrado a la que pertenece el vial de estudio.

Una característica de la interfaz que no se ha tenido en cuenta hasta ahora y se encuentra implementada dentro de las pestañas de introducción de datos, es el botón que nos redirige a la selección del nivel de iluminación o clase de alumbrado, Figura 4.26.



Figura 4.26.- Redireccionamiento para la obtención de la clase de alumbrado.

Al pulsar este botón, gracias a la programación mediante macros, la herramienta de cálculo nos enviará a la pestaña en la que podremos obtener la clase de alumbrado del vial que estamos analizando.

En función del tipo de vial que estemos estudiando, la herramienta nos indicará las celdas que debemos de cubrir para la obtención de la clase de alumbrado. Estas celdas están formadas por desplegables de forma que el usuario elegirá la opción que mejor se adapte a la situación.

- *Alumbrado Vial*

El nivel de iluminación requerido por una vía depende de múltiples factores como son el tipo de vía, la complejidad de su trazado, la intensidad y sistema de control del tráfico y la separación entre carriles destinados a distintos tipos de usuarios. En función de estos criterios, las vías de circulación se clasifican en varios grupos o situaciones de proyecto, asignándose a cada uno de ellos unos requisitos fotométricos específicos que tienen en cuenta las necesidades visuales de los usuarios así como aspectos medioambientales de las vías.

El criterio principal de clasificación de las vías es la velocidad de circulación, según se establece en la Tabla 4.7.

INSTALACIONES DE ALUMBRADO VIAL FUNCIONAL Y AMBIENTAL		
Clasificación de las vías	Velocidad media del tráfico (Km/h)	Tipo de vía
A	$v > 60$	Alta velocidad
B	$30 < v \leq 60$	Velocidad moderada
C y D	$5 < v \leq 30$	Carriles bici y de baja velocidad
E	$v \leq 5$	Vías Peatonales

Velocidad del tráfico	v>60
Clasificación de la vía	A
Tipo de vía	Alta velocidad

Tabla 4.7.- Clasificación de las vías.

Como se puede observar en la Tabla 4.7, el usuario deberá elegir una opción dentro del desplegable de color amarillo y automáticamente la herramienta le proporcionará tanto la clasificación de la vía como el tipo de vía que está analizando. Esto es necesario dado que mediante otros criterios, tales como el tipo de vía y la intensidad media de tráfico diario (IMD), se establecen subgrupos dentro de la clasificación anterior.

La Tabla 4.8 define las clases de alumbrado para las diferentes situaciones de proyecto correspondiente a la clasificación anterior.

	Situaciones del proyecto	Tipo de vías	Intensidad media del Tráfico Diario	Clase de alumbrado
A	A1	Autopistas y Autovías	$IMD(A1) \geq 25000$	ME1
			$15000 \leq IMD(A1) < 25000$	ME2
			$IMD(A1) < 15000$	ME3a
	A1	Vías rápidas	$IMD > 15000$	ME1
			$IMD < 15000$	ME2
	A2	Carreteras Interurbanas sin separación de aceras o Carreteras locales en zonas rurales sin vía de servicio	$IMD(A2) \geq 7000$	ME1 / ME2
			$IMD(A2) < 7000$	ME3a / ME4a
	A3	Rondas de circunvalación, Carreteras Interrurbanas con accesos no restringidos, Vías urbanas de tráfico importante, Vías principales de la ciudad	$IMD(A3) \geq 25000$	ME1
			$15000 \leq IMD(A3) < 25000$	ME2
			$7000 \leq IMD(A3) < 15000$	ME3b
$IMD(A3) < 7000$			ME4a / ME4b	

Tabla 4.8.- Clase de alumbrado para situaciones de proyecto A.

Cuando la clasificación de la vía, obtenida en la Tabla 4.7, se corresponda con la letra “A” la herramienta de cálculo le indicará a usuario, en un color verde hoja, que el rango de situaciones de proyecto que tiene que valorar se corresponderá con lo indicado en la Tabla 4.8.

	Situaciones del proyecto	Tipo de vías	Intensidad media del Tráfico Diario	Clase de alumbrado
B	B1	Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante o Accesos a zonas residenciales o fincas	IMD(B1) $\geq$ 7000	ME2 / ME3c
			IMD(B1) $<$ 7000	ME4b / ME5 / ME6
	B2	Carreteras locales en zonas rurales	IMD(B2) $\geq$ 7000	ME2 / ME3b
			IMD(B2) $<$ 7000	ME4b / ME5

Tabla 4.9.- Clase de alumbrado para situaciones de proyecto B.

Cuando la clasificación de la vía, obtenida en la Tabla 4.7, se corresponda con la letra “B” la herramienta de cálculo le indicará a usuario, en un color verde hoja, que el rango de situaciones de proyecto que tiene que valorar se corresponderá con lo indicado en la Tabla 4.9.

	Situaciones del proyecto	Tipo de vías	Intensidad media del Tráfico Diario	Clase de alumbrado
C y D	C1	Carril bici independientes a lo largo de la calzada de unión entre zonas urbanas	Alto (Ciclistas)(C1)	S1 / S2
			Normal (Ciclistas)(C1)	S3 / S4
	D1-D2	Áreas de aparcamiento en autopistas, Aparcamientos y Estaciones de Autobuses	Alto (Peatones)(D1-D2)	CE1A / CE2
			Normal (Peatones)(D1-D2)	CE3 / CE4
	D3-D4	Calles residenciales y Zonas de velocidad muy reducida	Alto (Peatones y ciclistas)(D3-D4)	CE2 / S1 / S2
			Normal (Peatones y ciclistas)(D3-D4)	S3 / S4

Tabla 4.10.- Clase de alumbrado para situaciones de proyecto C y D.

Cuando la clasificación de la vía, obtenida en la Tabla 4.7, se corresponda con la letra “C o D” la herramienta de cálculo le indicará a usuario, en un color verde hoja, que el rango de situaciones de proyecto que tiene que valorar se corresponderá con lo indicado en la Tabla 4.10.

	Situaciones del proyecto	Tipo de vías	Intensidad media del Tráfico Diario	Clase de alumbrado
E	E1	Espacios Peatonales y calles peatonales, Paradas de autobús con zonas de espera y Áreas comerciales peatonales	Alto (Peatones)(E1)	CE1A / CE2 / S1
			Normal (Peatones)(E1)	S2 / S3 / S4
	E2	Zonas comerciales con uso prioritario de peatones	Alto (Peatones)(E2)	CE1A / CE2 / S1
			Normal (Peatones)(E2)	S2 / S3 / S4

Tabla 4.11.- Clase de alumbrado para situaciones de proyecto E.

Y, finalmente, si la clasificación de la vía, obtenida en la Tabla 4.7, se corresponda con la letra “E” la herramienta de cálculo le indicará a usuario, en un color verde hoja, que el

rango de situaciones de proyecto que tiene que valorar se corresponderá con lo indicado en la Tabla 4.11.

Una vez aquí, la herramienta nos pide la introducción tanto del tipo de vía como de la IMD mediante dos desplegables. Después de esta selección, el programa calcula la situación del proyecto y la clase de alumbrado que serán mostrados al usuario por pantalla. Cabe destacar que el usuario, para la selección de IMD, deberá elegir alguna de las opciones que la herramienta le resalta en color morado ya que son las propicias para el tipo de vía seleccionado previamente.

Es necesario destacar que cuando puedan seleccionarse distintas clases de alumbrado para una misma situación, disyuntiva que ocurre en la mayoría de los casos, se valorará la complejidad del trazado, el control del tráfico y la separación de los distintos tipos de usuarios. La herramienta ha sido programada para que realice este cálculo internamente, teniendo en cuenta todos estos parámetros.

La complejidad del trazado de la vía de tráfico hace referencia a la propia infraestructura y entorno visual. A este respecto resulta aconsejable tener en cuenta el número de carriles, pendientes y densidad de enlaces e intersecciones existentes.

En el control de tráfico se recomienda considerar la existencia de señalización horizontal y vertical, marcas viales y balizamiento, así como sistemas de regulación de tráfico.

Para la separación de los distintos tipos de usuarios como tráfico motorizado, vehículos de movimiento lento, ciclistas y peatones, convendría evaluar la presencia de carriles especiales (carril bus, bici, etc.), o restricciones de uso a uno o más tipos de usuarios.

En la tabla 4.12 se muestra un ejemplo para una vía con clasificación A donde las celdas de color amarillo son los desplegables referentes al tipo de vía y a la intensidad media del tráfico diario (IMD) que habrá que seleccionar obteniéndose los resultados siguientes:

	<b>A</b>
<b>Tipo de vía</b>	Carreteras Interurbanas sin separación de aceras o Carreteras locales en zonas rurales sin vía de servicio
<b>Situaciones del proyecto</b>	A2
<b>IMD</b>	IMD(A2)<7000
<b>CLASE DE ALUMBRADO</b>	ME3a / ME4a
<b>Elección</b>	<b>ME3a</b>

Tabla 4.12.- Ejemplo de obtención de la clase de alumbrado para una vía con clasificación A.

El programa, en caso de disyuntiva, se decantará por la opción que responda al nivel de exigencia más crítico con el fin de que los cálculos realizados posteriormente se queden del lado de la seguridad. En este sentido, la selección del tipo de vía y del IMD variará en función de la clasificación obtenida, contando la herramienta con todos los casos posibles a tener en cuenta. A continuación, el programa selecciona los niveles de iluminación de referencia en función de la clase de alumbrado obtenida. Estos valores, son de gran utilidad para el posterior cálculo luminotécnico.

En las siguientes tablas se pueden observar los parámetros que representan los niveles de iluminación en función de la clase de alumbrado obtenida anteriormente:

Clase de alumbrado para viales secos tipos A y B						
Clase de alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores	
	Luminancia media (cd/m <sup>2</sup> )[mín]	Uniformidad Global U <sub>o</sub> [mínima]	Uniformidad Longitudinal U [mínima]	Incremento Umbral (%) TI	Relación Entorno SR	Iluminancia media (Lux)[mín]
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50	30
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50	22,5
ME3a	1,50	0,40	0,70	15	0,50	22,5
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50	15
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50	15
ME4a	1,00	0,40	0,60	15	0,50	15
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50	11,25
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50	7,5
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos	4,5

Tabla 4.13.- Series ME clase de alumbrado para viales secos tipos A y B.

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.

En el ejemplo propuesto en la Tabla 4.12 donde obteníamos una clase de alumbrado ME3a, la herramienta de cálculo nos proporciona los parámetros de referencia para el tipo de vial seleccionado de la siguiente manera:

Clasificación de la vía	Luminancia media Lm (cd/m <sup>2</sup> )[mín]	Uniformidad Global U <sub>o</sub> [mínima]	Uniformidad Longitudinal U [mínima]	Incremento Umbral (%) TI	Relación Entorno SR	Iluminancia media (Lux)[mín]
A	1,5	0,4	0,7	15	0,5	22,5

Tabla 4.14.- Resultados para el ejemplo de la Tabla 4.12.

Análogamente, la herramienta de cálculo proporcionará unos parámetros similares para cualquier tipo de clasificación de vial (B, C, D o E) cumpliendo, en cualquier caso, lo estipulado en la normativa vigente.

Clase de alumbrado para viales tipo C, D y E		
Clase de alumbrado	Iluminancia Horizontal en el área de la calzada	
	Iluminancia Media E <sub>m</sub> (Lux)	Iluminancia Mínima E <sub>min</sub> (Lux)
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1

Tabla 4.15.- Series S de clase de alumbrado para viales tipos C, D y E.

La Tabla 4.15 se destina fundamentalmente a espacios peatonales, aceras, carriles bici, etc. de acuerdo con lo señalado en las tablas 4.10 y 4.11 del presente trabajo.

Clase de alumbrado para viales tipo D y E		
Clase de alumbrado	Iluminancia Horizontal en el área de la calzada	
	Iluminancia Media Em (Lux)	Uniformidad Media Um
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE1A	25	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

Tabla 4.16.- Series CE de clase de alumbrado para viales tipos D y E.

Como se ha explicado anteriormente, es conveniente destacar, que en las tablas 4.13, 4.15 y 4.16 los valores que se corresponden a los valores de luminancia e iluminancia medias son niveles de referencia, mientras que las uniformidades y la relación entorno (SR) son valores mínimos, y, por último, el deslumbramiento perturbador (TI) es un nivel máximo.

- *Alumbrados Específicos*

Por lo que respecta al alumbrado específico, el funcionamiento de la herramienta de cálculo es análogo al funcionamiento para el alumbrado vial.

Primeramente, el usuario deberá de introducir la situación del alumbrado en el desplegable que se proporciona y, una vez hecho esto, se reproducirán todos los niveles lumínicos de referencia para la instalación elegida; tal y como ocurría en el caso del alumbrado vial.

La Tabla 4.17 contiene todos los tipos de alumbrado específico que podemos encontrar en el ámbito urbano exterior, detallando los principales parámetros lumínicos que hay que tener en cuenta a la hora de un cálculo para la mejora de las instalaciones existentes.

Situación	Clase de alumbrado	Iluminancia Media Horizontal Em (Lux)	Iluminancia Media Vertical Em (Lux)	Uniformidad Media Um
Pasarelas Peatonales, Escaleras y Rampas	CE2	20	10	0,4
Pasos Subterráneos	CE1	30	30	0,5
Pasos de Peatones (adicional)	CE1	30	40	0,4
Parques y Jardines	-	0	0	0,4
Pasos a Nivel de ferrocarril	CE1	30	30	0,4
Fondos de Saco	CE2	20	20	0,4
Glorietas	CE0	50	50	0,5
Aparcamientos de vehículos al aire libre	D1-D2	0	0	0
<b>Pasos de Peatones (adicional)</b>	<b>CE1</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>0,4</b>

Tabla 4.17.- Tipos y parámetros característicos de un alumbrado específico.

En la Tabla 4.17, se ha elegido como ejemplo la selección del tipo de alumbrado “Pasos de Peatones (adicional)” en el desplegable de la celda de color amarillo.

En los pasos subterráneos, se podrá elevar la clase de alumbrado hasta CE0 en caso de que existiera un riesgo de inseguridad alto.

Por un lado, en el alumbrado de parques y jardines, cuando se utilice exclusivamente la iluminación por balizamiento sin iluminar la superficie de paso, dichos elementos se considerarán fuera de la instalación de alumbrado, en lo referente a los cálculos de eficiencia energética.

Por otro lado, el valor de la iluminancia media horizontal a la entrada de las glorietas podrá ser hasta un 50% inferior a la entrada de la misma.

- *Alumbrado Ornamental*

Del mismo modo, el funcionamiento de la herramienta de cálculo para el alumbrado ornamental es igual a los dos anteriores. Una vez hecha la selección en el desplegable, aparecerán los datos más representativos para ese tipo de vial

La Tabla 4.18 contiene todos los tipos de alumbrado ornamental que podemos encontrar en el ámbito urbano junto con los parámetros lumínicos que los caracterizan.

Situación	Iluminancia vertical Ev (lux)	Intensidad luminosa de las luminarias (cd)	Luminancia máxima de fachadas (cd/m <sup>2</sup> )
Parques naturales y Observatorios	2	2500	10
Áreas rurales	5	7500	10
Zonas urbanas y residenciales	10	10000	60
Centros urbanos y áreas comerciales	25	25000	150
<b>Zonas urbanas y residenciales</b>	<b>10</b>	<b>10000</b>	<b>60</b>

Tabla 4.18.- Tipos y parámetros característicos de un alumbrado ornamental.

En la Tabla 4.18, se ha elegido como ejemplo la selección del tipo de alumbrado “Zonas urbanas y residenciales” en el desplegable de la celda de color amarillo.

- *Alumbrado de vigilancia y seguridad*

Análogamente a los casos anteriores el funcionamiento de la herramienta, para el cálculo de los parámetros más influyentes en este tipo de alumbrado, es el mismo. En este caso, no se calculará clase de alumbrado, ya que no es preciso.

La Tabla 4.19, muestra los valores lumínicos que se deben de tener en cuenta cuando se analiza un alumbrado de vigilancia y seguridad.

Situación	Iluminancia vertical Ev (lux)	Uniformidad Media Um
Áreas de riesgo normal	5	0,3
Áreas de riesgo elevado	20	0,3
Áreas de alto riesgo	50	0,3
<b>Áreas de alto riesgo</b>	<b>50</b>	<b>0,3</b>

Tabla 4.19.- Parámetros característicos en el alumbrado de vigilancia y seguridad..

En la Tabla 4.19, se ha elegido como ejemplo la selección de la situación “Áreas de alto riesgo” en el desplegable de la celda de color amarillo.

Para la obtención de los niveles anteriores se admitirá la instalación de un sistema de alumbrado de seguridad temporizado, activado por detectores de presencia.

- *Alumbrado de señales y anuncios luminosos*

Por último, para la obtención de los parámetros más influyentes en este tipo de alumbrado, se realizará el mismo procedimiento que en los casos previos. En este caso, no se calculará clase de alumbrado, ya que no es preciso.

Los valores de referencia de niveles máximos de luminancia ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) para señales y anuncios luminosos e iluminados en función de la superficie ( $\text{m}^2$ ), son los determinados en la Tabla 4.20.

Superficie ( $\text{m}^2$ )	Luminancia Máxima ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )
$S \leq 0,5$	1000
$0,5 < S \leq 2$	800
$2 < S \leq 10$	600
$S > 10$	400
<b><math>2 &lt; S \leq 10</math></b>	<b>600</b>

Tabla 4.20.- Parámetros característicos en el alumbrado de señales y anuncios luminosos.

En la Tabla 4.20, se ha elegido como ejemplo la selección de una superficie comprendida entre 2 y 10  $\text{m}^2$  respectivamente, en el desplegable de la celda de color amarillo.

Se recomienda llevar a cabo este tipo de alumbrado con un estricto control del flujo emitido fuera de la superficie iluminada, adoptando cuando proceda el apantallamiento que resulte necesario.

Además, se aconseja cumplir rigurosamente los horarios de funcionamiento, mediante la instalación de los dispositivos de encendido o apagado adecuados [24].

Para acabar con este epígrafe, una vez completado todos los campos requeridos en color amarillo de la forma que se va desarrollando la herramienta de cálculo, se dispone de un botón en forma de flecha que nos conducirá hacia el menú selección; dónde finalmente podremos acceder a los resultados que nos proporciona la herramienta en función del tipo de vial que hayamos analizado.



Figura 4.27.- Botón para volver al menú selección.

### 4.3.3.- Resultados obtenidos

Una vez que se hayan introducido todos los datos requeridos por la herramienta de cálculo, el usuario procederá a la visualización de los resultados obtenidos en la pestaña “Selección”, tal y como se había indicado en el *Apartado 4.3.2.2* del presente capítulo.

La herramienta ofrece una versión diferente para cada tipo de instalación estudiada. En líneas generales, las interfaces son similares modificándose los parámetros analizados que permiten la obtención de la calificación energética así como los parámetros de desempeño energético y ratios de interés que son necesarios para llevar a cabo una auditoría de instalaciones de alumbrado público exterior.

#### 4.3.3.1 Resultados alumbrado Vial Funcional

En lo que respecta a las instalaciones de alumbrado vial funcional, los resultados obtenidos serán los que se muestran a continuación:

INSTALACIONES DE ALUMBRADO VIAL FUNCIONAL		
Eficiencia energética teórica		
Eficiencia energética real		
Potencia activa total instalada (W)		

Tabla 4.21.- Eficiencia energética y potencia activa total instalada para un alumbrado vial funcional.

La eficiencia energética teórica, como se explicó al principio del presente capítulo en el *Apartado 4.1* “Calificación Energética”, se obtiene por interpolación lineal en la tabla requerida para el valor de iluminancia media proyectada que se ha calculado.

También se obtiene el valor de la eficiencia energética real de la instalación que, obligatoriamente, tendrá que ser mayor que el valor de eficiencia energética teórica para que la instalación cumpla este criterio. En caso de incumplir el criterio de eficiencia energética estipulado por la normativa vigente, la herramienta de cálculo nos avisará con un testigo rojo, tal y como se muestra en la Tabla 4.21., que no se satisfacen los criterios de eficiencia energética mínimos, por lo que habrá que modificar la instalación para que se cumplan.

Además, aporta el ratio de potencia activa total instalada que se tendrá en cuenta, posteriormente, para algún ratio de desempeño energético que proporciona la herramienta. En este sentido, la potencia activa total será la correspondiente a todas las luminarias comprendidas en la superficie de cálculo, teniendo en cuenta que la potencia de las luminarias que delimitan la superficie transversalmente se contabilizará sólo al 50%. En caso de áreas de estudio irregulares se considerará el total de la potencia.

Por otro lado, también obtenemos los parámetros que se muestran a continuación:

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO		
ICE		
Índice de eficiencia energética		
	Consumo energético	Eficiencia energética
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA alumbrado vial funcional		

Tabla 4.22.- Calificación energética de las instalaciones de alumbrado vial funcional.

Una vez calculada la eficiencia energética de referencia tal y como se dispone en el presente capítulo en el *Apartado 4.1*, obtenemos el índice de eficiencia energética.

Por último, obtenemos la calificación energética de la instalación analizada que, como es de esperar, será baja si la instalación es antigua y no cuenta con una tecnología moderna.

Cabe destacar que todo el procedimiento de actuación se describe en el *Apartado 4.1* “Calificación energética” por lo que, en la explicación de estos resultados, únicamente se detallarán los resultados obtenidos no el procedimiento de cálculo en sí mismo.

En lo que sigue, la herramienta muestra los resultados obtenidos en el cálculo de la clase de alumbrado para el vial analizado, como se puede observar en la Tabla 4.23.:

CLASE DE ALUMBRADO	
Clasificación de la vía	
Tipo de vía	
<b>Para viales tipos A y B</b>	
<b>CLASE DE ALUMBRADO</b>	
Situaciones del proyecto	
Luminancia media $L_m$ (cd/m <sup>2</sup> )[mín]	
Uniformidad Global $U_o$ [mínima]	
Uniformidad Longitudinal $U$ [mínima]	
Deslumbramiento: Incremento Umbral (%) TI	
Relación Entorno SR	
Iluminancia media (Lux)[mín]	

Tabla 4.23.- Clase de alumbrado para un vial funcional.

Como se había comentado anteriormente, la herramienta de cálculo ofrece al usuario unos ratios de análisis y desempeño energético de la instalación. Estos datos consisten, en primer lugar, en una evaluación de la energía consumida por la instalación a lo largo del año y seguidamente un análisis del gasto económico en suministrar energía eléctrica al alumbrado estudiado.

La Tabla 4.24. muestra la interfaz que propone la herramienta como resultado:

INSTALACIÓN ACTUAL - DESEMPEÑO ENERGÉTICO		
MES	Evaluación	Euros Gastados (€)
Enero		
Febrero		
Marzo		
Abril		
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		
<b>CONSUMO MEDIO (kWh)</b>		
Energía Total consumida al año (kWh)		
Desembolso Económico Anual (€)		
105% consumo medio anual		

Tabla 4.24.- Desempeño energético de una instalación de alumbrado vial funcional.

Cuando la energía consumida por la instalación, en un mes cualquiera, supera el 105% del consumo medio anual; la herramienta nos avisa de que algún problema ha ocurrido en la instalación en dicho mes. Por lo tanto, en las celdas de “Evaluación” aparecerá la palabra “Revisar” en rojo.

Cabe destacar, que para la elaboración de este algoritmo, se ha tenido en cuenta la reducción de horarios en el período de verano. Entonces, para que la herramienta nos avise con un warning, será condición indispensable que la energía consumida en alguno de los meses de verano supere el 105% del consumo medio en ese período ya que si fuese de otra forma se falsearían los resultados al ser, el consumo de energía eléctrica, menor en los meses estivales.

En caso de que el consumo de la instalación se encuentre por debajo del límite establecido como 105%, la herramienta nos proporcionará un mensaje con la palabra “Correcto”, señal que indica que la instalación ha funcionado correctamente.

Por otro lado, el gasto económico que supone la instalación se refleja en la columna de “Euros Gastados” que ha sido desarrollada suponiendo un precio del kWh de 0,12 €/ kWh.

Este valor se ha obtenido de una tarifa con discriminación horaria de dos períodos. Por lo tanto, teniendo en cuenta el consumo, el número de horas de funcionamiento, el número de días y el precio se obtiene el gasto económico.

Además, ofrece un ratio de energía total consumida al año y otro referente al desembolso económico anual, muy indicativos para gestionar el alumbrado público del municipio.

Los resultados obtenidos se implementan en dos gráficos de desempeño energético, que sirven al usuario para determinar, visualmente, el comportamiento de la instalación a lo largo del año.



Figura 4.28.- Energía consumida mensualmente en relación con el consumo medio de la instalación.

En la Figura 4.28. se reflejará una comparativa entre la energía consumida mensualmente en kWh y un consumo medio anual en kWh.

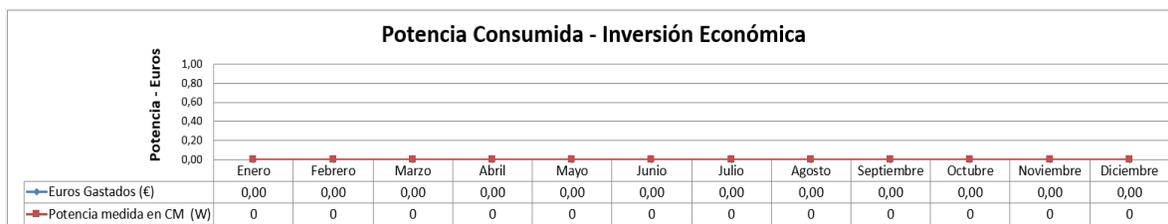


Figura 4.29.- Potencia consumida mensualmente en relación con el consumo medio de la instalación.

Por último, se describen unos ratios de desempeño energético que son obligatorios en la realización de cualquier auditoría de alumbrado público exterior. Estos se reflejan en la Tabla 4.25.

RATIOS PRINCIPALES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO		
Ratios de Relevancia	Alumbrado funcional	Unidades
Potencia Instalada por habitante		W/hab
Consumo de energía eléctrica por habitante		Wh/hab
Puntos de luz por cada 1000 habitantes		PL/1000 hab
Relación Potencia instalada superficie iluminada		W/m <sup>2</sup>
Facturación anual/Potencia útil instalada		€/kW
kWh anuales consumidos por número de kW instalados		kWh/kW

Tabla 4.25.- Principales ratios de desempeño energético en auditorías de alumbrado exterior.

Es necesario destacar que en este apartado se ha representado la interfaz de la herramienta, es decir, tanto los parámetros requeridos como los resultados que la hoja Excel ofrecerá al usuario una vez que se implemente en un caso práctico. En este sentido, el siguiente capítulo del presente trabajo se aplicará todo lo implementado a un caso real dónde se obtendrán unos resultados concretos y se podrá analizar un proyecto de mejora de eficiencia energética de manera detallada.

#### 4.3.3.2 Resultados alumbrado Vial Ambiental

Los resultados obtenidos referentes al alumbrado vial ambiental son análogos a los que se han expuesto en el caso de un vial funcional, con la salvedad de que los cálculos se han llevado a cabo con diferentes valores así como con diferentes tablas.

Como el objetivo de este capítulo es la descripción de los resultados y la metodología que ofrece la herramienta de cálculo, no tiene sentido repetir de nuevo la descripción de los mismos.

#### 4.3.3.3 Resultados alumbrado Específico y Ornamental

En cuanto a los resultados obtenidos para el alumbrado específico y ornamental, cabe destacar que tanto la eficiencia energética como la calificación energética de la instalación se obtienen de forma análoga a los dos casos anteriores.

En particular, para este tipo de alumbrado, se hace una diferenciación entre luminarias y proyectores ya que es muy común que el alumbrado ornamental se encuentre implementado a base de proyectores en lugar de luminarias debido a sus curvas fotométricas.

INSTALACIONES DE ALUMBRADO ESPECÍFICO Y ORNAMENTAL		
Eficiencia de la lámpara		
Eficiencia energética real		
	<b>Alumbrados Específico y Ornamental</b>	
Luminarias		
Proyectores		
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO		
ICE		
Índice de eficiencia energética		
	<b>Consumo energético</b>	<b>Eficiencia energética</b>
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA ALUMBRADO ESPECÍFICO Y ORNAMENTAL</b>		

Tabla 4.26.- Calificación energética de instalaciones de alumbrado específico y ornamental.

Estas instalaciones tienen una peculiaridad respecto a las fuentes de luz empleadas en luminarias ya que concentran la luz en un determinado ángulo sólido mediante un sistema óptico, para conseguir una elevada intensidad luminosa en la zona que se desea iluminar. Este hecho, las hacen idóneas para alumbrado específico y ornamental.

En cuanto a la clase de alumbrado, también se llevará a cabo de forma análoga a los dos casos propuestos con anterioridad pero presentando los parámetros característicos propios de este tipo de alumbrado. La siguiente tabla muestra los resultados que se obtendrían para el alumbrado específico y ornamental:

CLASE DE ALUMBRADO				
Alumbrados Específicos				
Situación	Clase de alumbrado	Iluminancia Media Horizontal Em (Lux)	Iluminancia Media Vertical Em (Lux)	Uniformidad Media Um
Alumbrado Ornamental				
Situación	Iluminancia vertical Ev (lux)	Intensidad luminosa de las luminarias (cd)	Luminancia máxima de fachadas (cd/m2)	

Tabla 4.27.- Parámetros característicos de un alumbrado específico y ornamental.

Por último, el desempeño energético de la instalación se estudiará de la misma manera que para el alumbrado vial funcional y ambiental, dado que al tratarse de una instalación controlada por un cuadro de mando y control se podrá realizar la toma de datos de manera muy sencilla implementándose, de forma análoga, en la herramienta de cálculo y obteniendo así, las soluciones que se describieron anteriormente.

#### 4.3.3.4 Resultados alumbrado de vigilancia y anuncios luminosos

Igual que ocurría con los alumbrados funcional y ambiental, donde la herramienta de cálculo proporcionaba soluciones análogas, para el caso de alumbrados ornamentales y alumbrados de vigilancia y anuncios luminosos sucede una cosa similar por lo que tampoco se volverá a describir todas las soluciones ya que incurriríamos en una alta repetitividad.

Con esto se pone punto final al capítulo del desarrollo de la herramienta de cálculo para la eficiencia energética de instalaciones de alumbrado público exterior. Cabe destacar que la función de este capítulo es meramente descriptiva para una óptima comprensión del alcance de la programación de la hoja Excel implementada.

A continuación, se aplicará dicha herramienta a un vial existente dónde se podrá observar su funcionamiento con datos concretos y objetivos y se estudiará, posteriormente, la posibilidad de efectuar mejoras en las instalaciones de alumbrado mediante un cálculo

luminotécnico avalando las mejoras con un presupuesto de las modificaciones implementadas.

# 5. -Análisis de la Avenida Vilariño en el Ayuntamiento de Cambados

## 5.1.- Objeto de estudio.

Como se ha comentado, para ver la aplicabilidad de la herramienta se realiza un análisis paramétrico para justificar la renovación del alumbrado público exterior en la Avenida de Vilariño, perteneciente al Ayuntamiento de Cambados.

El objeto del Proyecto es la mejora de la eficiencia energética, el ahorro de energía y el cumplimiento del Real Decreto 1890/2008: “Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior”.

### 5.1.1.- Alcance

Se definirán las actuaciones de mejora en materia de gestión energética a llevar a cabo en los alumbrados exteriores objeto de modificación y, tanto los informes como los cálculos realizados para la obtención de los resultados que aportaremos a continuación se encuentran detallados en el *Anexo I* “Estudio luminotécnico del vial”.

En este capítulo, se realizan los cálculos luminotécnicos necesarios para ejecutar correctamente y conforme a la legalidad vigente las reformas de las instalaciones de alumbrado exterior definidas.

Es importante destacar que, debido a que se baja la potencia instalada y el consumo del equipo auxiliar, no se realizan cálculos eléctricos de la instalación propuesta; con lo que se considera válida la instalación existente. El alumbrado definido en esta memoria dispondrá de un descargador de sobretensiones para la protección de las luminarias que se ubicará en el centro de mando.

Todos los cálculos realizados serán para proyectar una instalación técnicamente correcta y marcando como objetivo principal el coste de esta y el potencial ahorro energético, pero sin dejar de lado la seguridad. A continuación, se exponen las alternativas y soluciones adoptadas en cuanto a los diferentes elementos funcionales más representativos de las instalaciones de alumbrado para hacerse una idea de su alcance:

- Luminarias:

En cuanto a los viales, se encuentran implementadas luminarias con lámparas de descarga pero se decide el empleo de luminarias de tecnología LED.

- Equipos de Ahorro:

En este caso, se emplearán drivers con posibilidad de regulación de flujo luminoso emitido por las luminarias integrados en las mismas, los cuales proporcionan un aumento de la vida útil y una reducción del consumo energético.

## 5.2.- Emplazamiento

La instalación a evaluar mediante la herramienta diseñada está situada en el Norte de España en la provincia de Pontevedra, en concreto, en el Municipio de Cambados. Es un pueblo de gran afluencia turística dónde cientos de familias, en la temporada de verano, pasan cada año sus vacaciones. Este hecho, es uno de los motivos por los que la iluminación de una de las principales avenidas del pueblo debe de ser correctamente implementada, ya que no sólo es necesaria una mejora desde el punto de vista medioambiental y económico sino que se hace indispensable para asegurar la seguridad vial de miles de personas. Figura 5.3.



Figura 5.1.- Pontevedra. Ayuntamiento de Cambados.

En este apartado, se localizará la zona afectada a la cual se le realizará el correspondiente estudio de eficiencia energética de las instalaciones para su posterior modificación. Tras una visita de campo para toma de datos, las características observadas se corresponden con:

- Calzada PO-550, en el tramo denominado Avenida de Vilariño. Este tramo está delimitado por dos rotondas: la rotonda que da acceso a las calzadas VG-4.2, VG-4.3 y PO-300 y la rotonda que da acceso a las calles Ribeira de Fefiñáns, Avenida de Galicia y Paseo Marítimo.

Se desmontarán las 36 luminarias existentes en columnas metálicas de 8 metros de altura provistas de un pequeño brazo. En su lugar se instalarán otras tantas luminarias LED de 65,7 W.

Por otro lado, se desmontarán 2 luminarias existentes instaladas sobre báculos de 9 m de altura; en su lugar se montarán 2 luminarias LED de 65,7 W, Figura 5.2.



Figura 5.2.- Avenida Vilariño. Cambados. Situación de la instalación analizada.

Tanto las columnas metálicas de 8 m de altura como los báculos de 9 m de altura están separadas una interdistancia de 30 m, por lo que los cálculos respectivos para la sustitución de los equipos se llevarán a cabo con estas dimensiones.

## 5.3.- Aplicación de la herramienta de cálculo para la evaluación de la avenida.

Como se ha explicado en el apartado anterior, se han definido 2 zonas diferenciadas para el cálculo de la eficiencia energética, así como de la calificación energética de ambas instalaciones de alumbrado.

### 5.3.1.- Toma de datos

Para la realización de la auditoría energética, se deben de realizar unas comprobaciones antes de realizar las medidas de la instalación existente relativas a la evaluación energética, estas son:

- *Geometría de la instalación:* los cálculos y medidas serán válidas para zonas de la instalación con la misma geometría. Dados que tenemos dos zonas con diferente geometría, realizaremos dos cálculos teniendo en cuenta las dimensiones de la instalación en cada caso.
- *Tensión de alimentación:* es necesario conocer el valor de la tensión de alimentación durante las medidas efectuadas. En ambos casos tenemos la misma tensión de alimentación por lo que este aspecto es fácilmente controlable.
- *Influencias en otras instalaciones:* cualquier fuente de iluminación ajena a la instalación a testar no debe intervenir para así evitar falsear medidas. En el estudio que nos ocupa realizaremos un análisis para la sustitución de la luminaria obsoleta por la luminaria de tecnología LED, no habiendo otras instalaciones que influyan en la medición de los parámetros necesarios.
- *Condiciones meteorológicas:* se efectuarán las medidas con el tiempo seco, despejado y con el pavimento limpio. Cabe destacar que los cálculos realizados para la obtención de la iluminancia media de la instalación nueva fueron hechos considerando el pavimento mojado ya que la zona de estudio está localizada en un emplazamiento dónde las lluvias están presentes la mayor parte del año.

Una vez explicado lo anterior, se ha llevado a cabo las medidas de iluminancia media de la instalación existente con un luxómetro adaptado a un vehículo que circulando a 20 km/h realiza las medidas deseadas a lo largo de la instalación. Los parámetros de la instalación existente para el cálculo de la calificación energética se recogen en la Tabla 5.1.

MEDIDA	VALOR
Iluminancia Media (lux)	9,8
Superficie Iluminada ( $m^2$ )	210
Número de luminarias (Uds.)	1
Potencia de cada luminaria (W)	150

Tabla 5.1.- Valores para la instalación existente.

La iluminancia media mantenida que se obtuvo en la instalación durante el período de medidas ha sido de 9,8 lux, un valor relativamente bajo para la cantidad de potencia consumida por la luminaria. Cabe destacar, que el cálculo de la calificación energética se ha llevado a cabo teniendo en cuenta una única luminaria ya que al encontrarse la disposición de luminarias uniformemente distribuida el resultado será análogo al resultado que se obtendría si hiciésemos la superposición de todas las luminarias que componen la instalación. Se podría haber tenido en cuenta todas las luminarias, pero incurriríamos en un proceso repetitivo que, como hemos dicho antes, conduciría al mismo resultado.

Por otro lado, se ha calculado que la superficie iluminada por cada luminaria son 210  $m^2$ . Este valor se obtuvo gracias a la interdistancia que hay entre cada mástil (30 m), cubriendo la mitad del espacio a cada lado de la instalación y multiplicándola por el ancho de la vía (7 m).

$$\text{Superficie Iluminada} = 7 \cdot (15 \cdot 2) = 210 \text{ m}^2$$

Ecuación 5.1.- Cálculo de la superficie iluminada.

Las luminarias de la instalación obsoleta están implementadas a base de vapor de sodio a alta presión (VSAP) de 150 W. Las características de este tipo de luminaria se han definido en capítulos anteriores por lo que se asume su conocimiento y comprensión.

### 5.3.2.- Consumos de la instalación existente

Además de los parámetros característicos de la instalación existente, se obtuvo el consumo de esta, que es el aspecto que marcará la gran diferencia entre la instalación antigua y la nueva, Tabla 5.2

MEDIDA	VALOR
Potencia total Instalada (kW)	8,178
Consumo total de la instalación (kWh/año)	35.165
€/año	4.219,8

Tabla 5.2.- Potencia y Consumo anual de la instalación existente.

El consumo energético de la instalación antes de la mejora teniendo en cuenta las luminarias, los equipos auxiliares, como pueden ser balastos de doble nivel, y otros aparatos electrónicos de consumo como pueden ser los relojes astronómicos o sensores que lleve incorporado la instalación; asciende a 35.165 kWh al año que se traduce en un coste anual de 4.219,8 euros.

Esta cifra no es aceptable ya que, desde el punto de vista energético, supone un enorme gasto de energía eléctrica con su sobrecoste asociado.

### 5.3.3.- Introducción de datos obtenidos en la herramienta de cálculo

Gracias a la aplicación de la herramienta desarrollada en la empresa ESEN, obtenemos los siguientes resultados, Figura 5.3.

INSTALACIONES DE ALUMBRADO VIAL FUNCIONAL		
Eficiencia energética teórica	11,8	CUMPLE REQUISITOS DE EFICIENCIA
Eficiencia energética real	13,72	
Potencia activa total instalada (W)	150	
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO		
ICE	1,288629738	
Índice de eficiencia energética	0,7760181	
	Consumo energético	Eficiencia energética
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA alumbrado vial funcional	C	C

Figura 5.3.- Calificación energética antes de realizar la mejora propuesta.

Con los parámetros obtenidos de la instalación existente se ha calculado su eficiencia energética, así como la calificación energética de dicha instalación.

Es importante explicar que, aunque se cumplan los requisitos de eficiencia, no quiere decir que la instalación implementada sea la solución óptima, de hecho, no lo es. Se ha obtenido un índice de eficiencia energética de 0,776, un valor bastante bajo dado la tecnología de la que disponemos en la actualidad, valor que repercute en la calificación energética final de la instalación que será C lo cual nos indica que la instalación es poco eficiente y se incurre en unos consumos muy elevados para el tipo de instalación implementada.

Además, la herramienta de cálculo nos proporciona unos ratios importantes de la instalación analizada con respecto a los consumos totales y el número de habitantes del municipio, Figura 5.4.

RATIOS PRINCIPALES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO		
Ratios de Relevancia	Alumbrado funcional	Unidades
Potencia Instalada por habitante	0,4126	W/hab
Consumo de energía eléctrica por habitante	2,1312	Wh/hab
Puntos de luz por cada 1000 habitantes	0,0380	PL/1000 hab

Figura 5.4.- Ratios relevantes acerca de la instalación.

La potencia consumida por la instalación respecto a los habitantes del municipio (13.814 habitantes) da un resultado de 0,4126 W por habitante. Es una cifra bastante elevada teniendo en cuenta que sólo se ha estudiado una avenida de todo el ayuntamiento, si a esta cifra le sumásemos el resto de las potencias instaladas referentes al alumbrado público en Cambados obtendríamos un resultado algo preocupante dado que se asociaría una potencia bastante elevada a cada habitante de la comarca.

Análogamente, el consumo de energía eléctrica resulta de 2,1312 Wh por habitante, hecho que se razona de la misma manera que el caso anterior dado que el objetivo de este análisis es el estudio de un vial concreto.

Por último, avalando los ratios anteriores, el vial estudiado responde a 0,038 puntos de luz por cada mil habitantes puesto que, en este caso, la avenida para la cual buscamos una mejora del rendimiento energético y económico cuenta con 38 puntos de luz estudiados.

Estos valores son indispensables en cualquier tipo de auditoría energética de alumbrado público y están estipulados en el protocolo de auditorías energéticas de las instalaciones de alumbrado público exterior resuelto por uno de los organismos competentes en esta materia como es el IDAE.

Finalmente, respaldada la necesidad de actuación sobre la instalación analizada se realizarán una serie de cálculos luminotécnicos con la herramienta DIALUX para obtener una propuesta de mejora a la deficiente instalación de alumbrado público que, actualmente, está implementada

## **5.4.- Propuesta de mejora para la instalación**

Anteriormente se ha llegado a la conclusión, mediante los cálculos oportunos, que la instalación analizada no es eficiente y es necesaria una actuación sobre ella para mejorar las instalaciones tanto energética como económicamente.

Para ello, con los datos extraídos referentes a la geometría de la instalación existente llevaremos a cabo un cálculo luminotécnico con la herramienta DIALUX introduciendo el tipo de luminaria seleccionada para satisfacer los requisitos impuestos en función del vial analizado.

Como hemos dicho, tenemos dos zonas claramente diferenciadas dado que, aunque el vial sea el mismo, la luminaria es diferente. Tenemos 36 lámparas de VSAP montadas sobre columnas metálicas de 8 metros de altura provistas de un pequeño brazo y, por otro lado, tenemos 2 lámparas de VSAP montadas sobre báculos de 9 metros de altura. Estas últimas están situadas en una zona de intersección con una rotonda, por lo que el vial aumenta su ancho 0,5 metros.

### **5.4.1.- Dimensiones del vial y parámetros característicos**

Estos datos son muy importantes de cara a la planificación del estudio luminotécnico ya que de ellos dependerá en gran medida la elección de la luminaria que se escogerá finalmente.

En primer lugar, el vial está situado en las inmediaciones del casco urbano de Cambados y la velocidad permitida en la vía son 50 km/h. Con el empleo de la herramienta de cálculo, introduciendo los parámetros adecuados a medida que se vayan solicitando, se obtendrá la clasificación de la vía tal y como se muestra en la Figura 5.5.

Clasificación de las vías	Velocidad media del tráfico (Km/h)	Tipo de vía
A	$v > 60$	Alta velocidad
B	$30 < v \leq 60$	Velocidad moderada
C y D	$5 < v \leq 30$	Carriles bici y de baja velocidad
E	$v \leq 5$	Vías Peatonales

Velocidad del tráfico	$30 < v \leq 60$
Clasificación de la vía	B
Tipo de vía	Velocidad moderada

Figura 5.5.- Clasificación de la vía.

Como se trata de una vía urbana secundaria de conexión a urbanas de tráfico importante o accesos a zonas residenciales o fincas y la intensidad media del tráfico diario es menor de 7.000, la herramienta de cálculo dirige la situación del proyecto a la zona B1 y elige como clase de alumbrado la Me4b.

Debido a que la zona donde se encuentra situada la calzada es una zona donde las condiciones climatológicas suelen ser desfavorables, es decir, con abundante lluvia; se ha optado por elegir una clase de alumbrado MEW4 que es análoga a la que nos ha calculado la herramienta, pero aplicada bajo condiciones de lluvia con lo que será más restrictiva, Figura 5.6.

B	B1	Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante o Accesos a zonas residenciales o fincas	IMD(B1) $\geq$ 7000	ME2 / ME3c
			IMD(B1) $<$ 7000	<del>ME4b</del> / ME5 / ME6
	B2	Carreteras locales en zonas rurales	IMD(B2) $\geq$ 7000	ME2 / ME3b
			IMD(B2) $<$ 7000	ME4b / ME5

Figura 5.6.- Clase de alumbrado.

Esta clase de alumbrado tendrá una serie de requisitos fotométricos para la iluminación del mismo que el proyectante deberá cumplir a la hora de formalizar el uso de cualquier tipo de luminaria. Estos requisitos fotométricos se comentarán en los apartados sucesivos además de venir detallados en el Anexo de la presente memoria.

Una vez obtenida la clase de alumbrado se definirá el método del plan de mantenimiento global para la instalación. En este caso se ha definido un factor de degradación de 0,85 ya que las propiedades fotométricas del LED tienen una variación muy

pequeña, característica que le permite tener una vida útil mucho mayor que cualquier otro tipo de lámpara.

En lo sucesivo, llevaremos a cabo el replanteo de la vía analizando todas las partes de las que se compone. En este caso contaremos con dos caminos peatonales un carril de estacionamiento y la propia calzada, estructurados de la siguiente manera, Figura 5.7.

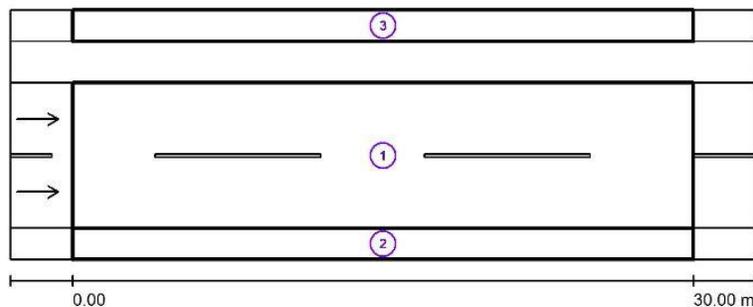


Figura 5.7.- Estructura del vial.

Donde el número 1 será la propia calzada, los números 2 y 3 serán los caminos peatonales y el espacio entre 1 y 3 será el carril de estacionamiento. El material elegido para la carretera será asfalto común.

La interdistancia de los mástiles de las luminarias es de 30 metros tanto para el caso de las columnas metálicas como para el caso de los báculos.

### **5.4.2.- Sustitución de luminarias en columna metálica de 8 metros de altura**

En primer lugar, se definen los anchos de los diferentes componentes de la vía que se pretende iluminar. Estos se reflejan en la siguiente Figura 5.8.

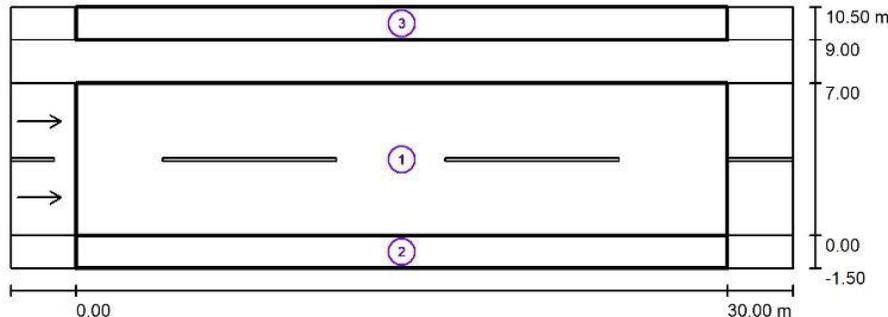


Figura 5.8.- Ancho de los componentes de la vía para luminarias de 8 metros.

Es importante detallar que las luminarias irán situadas en el borde del camino peatonal 3 más cercano a la calzada 1 con una disposición unilateral arriba. Con esta disposición el objetivo es conseguir que se cumplan todos los parámetros impuestos por la norma referentes a luminancia ( $L_m$ ), uniformidad global ( $U_0$ ), deslumbramiento (TI [%]), relación de entorno (SR) así como la iluminancia media mantenida. Los resultados aparecen detallados en el *Anexo* de la siguiente memoria.

Para llevar a cabo el objetivo se ha optado por una solución basada en tecnología LED de la empresa SETGA. Dicha lámpara deberá garantizar la uniformidad lumínica a lo largo de la vía sin producir deslumbramientos ni altos niveles de iluminancia. Es conveniente explicar con anterioridad a la descripción de la lámpara utilizada, que es una curva fotométrica y que parámetros se pueden observar en ella.

Las curvas fotométricas son la representación gráfica del comportamiento de la luz. Muestran diferentes características relacionadas con la naturaleza de la fuente, el tipo de reflector, la óptica o el diseño de las luminarias.

Las curvas de distribución de la intensidad luminosa son curvas polares obtenidas en laboratorio que describen la dirección e intensidad en la que se distribuye la luz entorno al centro de la fuente luminosa. Para encontrarlas se miden las intensidades luminosas en diversos ángulos verticales alrededor de la fuente (designados como ángulos gamma « $\gamma$ ») con un instrumento llamado fotogoniómetro, y al barrer la esfera completa y unir los puntos

contenidos en un mismo plano vertical y horizontal se puede obtener un volumen conocido como sólido fotométrico.

En una curva polar de distribución luminosa, la distancia de cualquier punto de la curva al centro indica la intensidad luminosa de esa fuente en esa dirección. Asimismo, para evitar la tarea de hacer un gráfico para cada lámpara cuando solo varía la potencia de dicha lámpara, los gráficos se normalizan para una fuente de 1000 lúmenes y el dibujo queda expresado entonces en cd/klm (Candela / kilolúmen). Para conocer los valores reales de las intensidades bastará con multiplicar el flujo luminoso nominal de la lámpara por la lectura en el diagrama polar y dividirlo por 1000(lm), Figura 5.9.

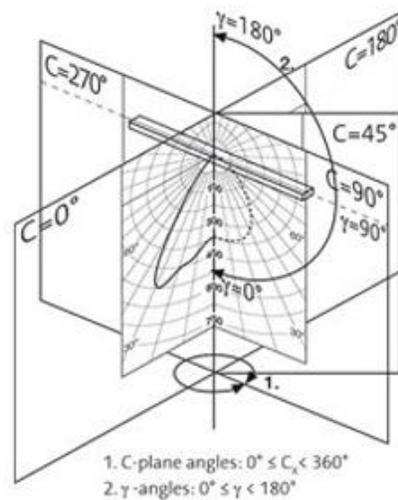


Figura 5.9.- Sólido Fotométrico [25].

El dibujo tridimensional del sólido es poco práctico y en la industria normalmente solo se emplean las curvas que se obtienen al cortar dicho sólido mediante dos planos verticales: uno orientado a lo largo del eje longitudinal de la luminaria y otro por el eje transversal, y que reciben el nombre de plano C90-C270 y C0-C180 respectivamente [25].

Dado que la distancia entre luminarias es bastante grande la lámpara elegida tiene una alta intensidad luminosa en el plano orientado a lo largo del eje longitudinal de la luminaria. Del mismo modo, como tiene que iluminar un ancho de vía de 7 metros, tendrá también una

buena intensidad luminosa en el plano orientado a lo largo del eje transversal de la luminaria, Figura 5.10.

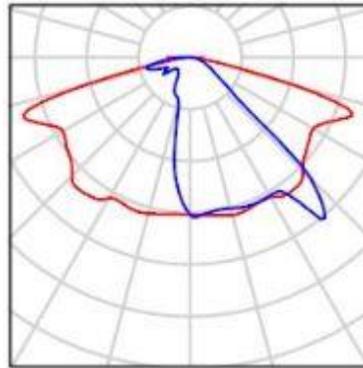


Figura 5.10.- Curva Polar de la distribución luminosa de ESSENZE 36 ME.

La lámpara utilizada será el tipo ESSENZE 36 ME con un flujo luminoso de 8604 lm y una potencia de la luminaria de 65,7 W. Todas las especificaciones relacionadas con esta lámpara vienen descritas en el *Anexo*.

Una vez implementadas en la vía obtenemos esta distribución representada con colores falsos mediante modelización con DIALUX, donde cuanto más claro sea el color más iluminancia (lux) aporta la luminaria, Figura 5.11.

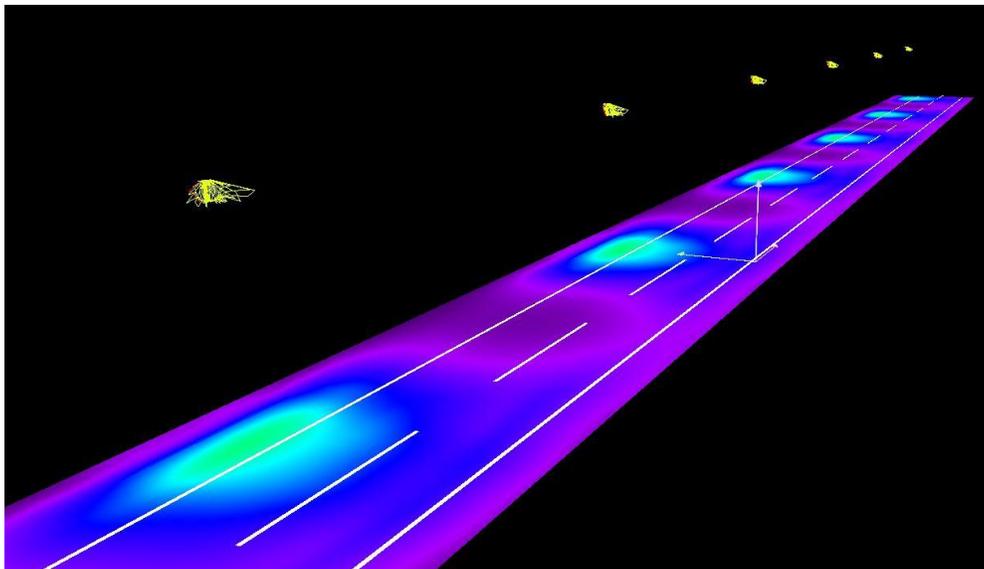


Figura 5.11.- Disposición de las luminarias en el vial y representación con colores falsos.

El cumplimiento de todas las especificaciones requeridas mediante la utilización de este tipo de luminaria viene detallado en el *Anexo* asociado a esta memoria.

Una vez obtenida la luminaria que hace que se cumplan todos los requisitos fotométricos del vial en cuestión y hecho el cálculo luminotécnico, se obtienen los valores reales de iluminancia para la instalación propuesta con los que mediante la aplicación de la herramienta de cálculo desarrollada se podrá obtener la nueva calificación energética de la instalación mejorada, Tabla 5.3.

MEDIDA	VALOR
<b>Iluminancia Media (lux)</b>	15
<b>Superficie Iluminada (<math>m^2</math>)</b>	210
<b>Número de luminarias (Uds.)</b>	1
<b>Potencia de cada luminaria (W)</b>	65,7

Tabla 5.3.-Valores de la instalación en la luminaria de 8 m.

La iluminancia media mantenida que se obtuvo después de la realización del cálculo luminotécnico de la instalación proyectada ha sido de 15 lux, un valor aceptable dado que la potencia consumida por cada luminaria es baja.

Se considera la misma superficie de cálculo que en el caso de la instalación existente ya que se mantendrá la estructura principal de la luminaria cambiando únicamente la fuente de luz.

Por otro lado, para la elección de la lámpara nos hemos decantado por el uso de la tecnología LED por sus múltiples ventajas de cara al alumbrado público urbano como se ha explicado anteriormente. Su potencia será de 65,7 W por luminaria instalada.

Además de los parámetros que se han indicado, se puede hacer una estimación del consumo de la instalación propuesta que, como hemos detallado anteriormente, marcará la diferencia fundamental entre la instalación nueva y la obsoleta, Tabla 5.4.

MEDIDA	VALOR
Potencia total Instalada (kW)	2,838
Consumo total de la instalación (kWh/año)	10.216,8
€/año	1.552,96

Tabla 5.4.- Potencia y consumo anual de la instalación en columnas metálicas de 8 m.

Para el cálculo de la potencia total instalada se ha tenido en cuenta las 36 lámparas implementadas sobre las columnas metálicas de 8 metros y un añadido del 20% al consumo total debido a la utilización de transformadores o drivers así como de otros elementos auxiliares que no son competencia de este análisis. Debido a esto el consumo total de la instalación será de 10.216,8 kWh/año que se traduce en un coste anual de 1.552,96 euros.

Con los parámetros determinados y mediante la aplicación de la herramienta de cálculo desarrollada se han obtenido los siguientes resultados, Figura 5.12.

INSTALACIONES DE ALUMBRADO VIAL FUNCIONAL		
Eficiencia energética teórica	15	CUMPLE REQUISITOS DE EFICIENCIA
Eficiencia energética real	47,95	
Potencia activa total instalada (W)	65,7	
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO		
ICE	0,479714	
Índice de eficiencia energética	2,084574	
	Consumo energético	Eficiencia energética
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA alumbrado vial funcional	A	A

Figura 5.12.- Calificación energética después de realizar la mejora Propuesta 1.

Con la instalación propuesta hemos obtenido una eficiencia mucho mayor que la que tenemos con la instalación existente y, además, se obtuvo una calificación energética de A;

parámetro que nos indica que el consumo de la instalación será mucho menor que en el caso actual.

### 5.4.3.- Sustitución de luminarias en báculos de 9 metros de altura

Como habíamos realizado en el caso anterior, se define el ancho de los componentes de la vía que se van a iluminar, representándose en la Figura 5.13.

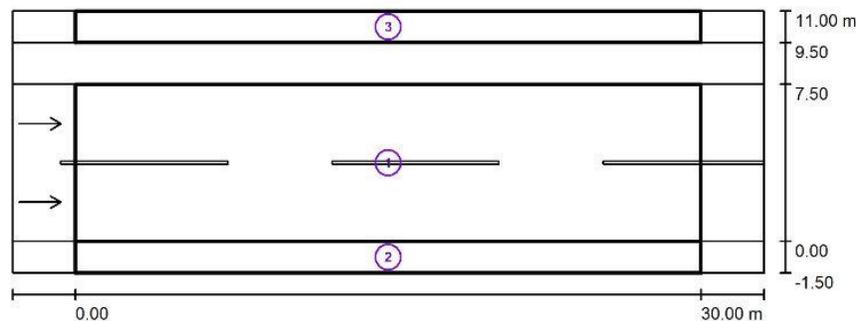


Figura 5.13.- Disposición de carriles para báculos de 9 metros.

Conviene destacar que las luminarias irán situadas en el borde del camino peatonal 2 más cercano a la calzada 1, estando dispuestas en una distribución unilateral abajo. Del mismo modo que anteriormente, con esta disposición el objetivo es conseguir que se cumplan todos los parámetros impuestos por la norma referentes a luminancia ( $L_m$ ), uniformidad global ( $U_0$ ), deslumbramiento (TI [%]), relación de entorno (SR) así como la iluminancia media mantenida (lux). Los resultados aparecen detallados en el *Anexo* de la siguiente memoria.

La lámpara utilizada será el tipo ESSENZE 36 ME con un flujo luminoso de 8604 lm y una potencia de la luminaria de 65,7 W. Todas las especificaciones relacionadas con esta lámpara vienen descritas en el *Anexo*.

En este caso, las luminarias se encuentran situadas en un punto de intersección del vial con una glorieta, hecho que hace que el carril de circulación de vehículos aumente sus dimensiones.

La razón por la que se consigue el cumplimiento de todos los parámetros exigidos en la normativa vigente siendo el vial y la luminaria de dimensiones diferentes al caso anterior, radica en el brazo del báculo dónde irá situada la lámpara LED.

El cuerpo del báculo es un único componente como su propio nombre indica “en forma de báculo”. Este hecho hace que la lámpara se adentre encima del vial sin necesidad de inclinar la fuente de luz para conseguir la uniformidad deseada.

En el caso anterior, se tenía un pequeño brazo no lo suficientemente largo para conseguir uniformidad en toda la calzada por lo que se inclinó unos pocos grados (sin producir deslumbramiento) para iluminar todo el ancho de la vía.

Una vez obtenida la luminaria que hace que se cumplan todos los requisitos fotométricos del vial en cuestión y hecho el cálculo luminotécnico, se obtienen los valores reales de iluminancia para la segunda instalación propuesta con los que mediante la aplicación de la herramienta de cálculo desarrollada se podrá obtener la nueva calificación energética de la instalación mejorada, Tabla 5.5.

MEDIDA	VALOR
<b>Iluminancia Media (lux)</b>	15
<b>Superficie Iluminada (<math>m^2</math>)</b>	210
<b>Número de luminarias (Uds.)</b>	1
<b>Potencia de cada luminaria (W)</b>	65,7

Tabla 5.5.- Valores de la instalación para los báculos de 9 m.

Los valores para la segunda instalación propuesta coinciden con los de la primera dado que la interdistancia entre los puntos de luz es la misma (30 metros) por lo que la superficie de cálculo será análoga a la primera. Además, como se ha elegido la misma lámpara para satisfacer las especificaciones exigidas y debido a la longitud del brazo comentado anteriormente, el resultado de la iluminancia media mantenida será el mismo.

Es importante destacar que aunque la iluminancia media mantenida sea igual en ambos casos, las iluminancias máxima y mínima para ambas propuestas son diferentes debido a que las instalaciones tienen diferentes dimensiones. Todos estos parámetros se detallan en el *Anexo* que se incluye a la presente memoria.

Por otro lado, se realiza una estimación del consumo de la instalación propuesta que cuenta con la implementación de 2 lámparas, obteniéndose los siguientes resultados, Tabla 5.6.

MEDIDA	VALOR
Potencia total Instalada (kW)	0,1570
Consumo total de la instalación (kWh/año)	567,7
€/año	86,29

Tabla 5.6.- Potencia y consumo anual para el caso de uso de báculos de 9 m.

Para el cálculo de la potencia total instalada se ha tenido en cuenta las 2 lámparas implementadas sobre los báculos de 9 metros y un añadido del 20% al consumo total debido a la utilización de transformadores o drivers así como de otros elementos auxiliares que no son competencia de este análisis. Debido a esto el consumo total de la instalación será de 567,65 kWh/año que se traduce en un coste anual de 86,29 euros.

Para la obtención de la calificación energética de esta instalación actuaremos de manera análoga a como hemos actuado para el cálculo de la calificación energética de la instalación 1, Figura 5.14.

INSTALACIONES DE ALUMBRADO VIAL FUNCIONAL		
Eficiencia energética teórica	15	
Eficiencia energética real	47,95	CUMPLE REQUISITOS DE EFICIENCIA
Potencia activa total instalada (W)	65,7	
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO		
ICE	0,479714	
Índice de eficiencia energética	2,084574	
	Consumo energético	Eficiencia energética
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA alumbrado vial funcional	A	A

Figura 5.14.- Calificación energética de la instalación propuesta 2.

Del mismo modo, se obtiene una calificación energética igual a la instalación propuesta sobre columnas metálicas de 8 metros dado que la iluminancia media mantenida, la superficie iluminada de cálculo y la potencia instalada en cada luminaria son las mismas.

## 5.5.- Interpretación de los resultados obtenidos.

Se empleará un único modelo de luminaria y sus características lumínicas serán tal que la iluminación ofrecida presente unos parámetros iguales a los fijados en los cálculos lumínicos.

Además, se ha planteado la presente renovación de la instalación de alumbrado con unos equipos de iluminación con prestaciones exigentes, de manera que se asegure la perdurabilidad en el tiempo en buenas condiciones de su funcionamiento.

El hilo principal de este proyecto es la mejora de la eficiencia energética de la instalación propuesta con la ayuda de la herramienta desarrollada y el cálculo luminotécnico de dicha instalación para la obtención de las potenciales mejoras. Este hecho nos ha conducido a la determinación de unos datos muy esclarecedores que nos permiten la toma de decisiones.

### 5.5.1.- Potencia instalada

Por un lado, tenemos la potencia empleada en la instalación antes y después de la propuesta, Tabla 5.7.

	<b>kW antes de la actuación</b>	<b>kW después de la actuación</b>
<b>POTENCIA INSTALADA</b>	8,178	2,995

Tabla 5.7.- Potencia de la instalación antes y después de la propuesta.

Es importante destacar que los 2,995 kW de potencia instalados después de la propuesta se refieren a la suma de la potencia de la instalación 1 (36 luminarias) y la instalación 2 (2 luminarias), explicadas anteriormente.

En este sentido, se ha conseguido una reducción de la potencia instalada de un (63,4%) gracias a la utilización de la tecnología LED para el alumbrado público. Esto es posible ya que en la instalación implementada en la actualidad se tienen lámparas de VSAP de 150 W y la propuesta realizada se lleva a cabo a base de luminarias LED de 65,7 W.

### 5.5.2.- Consumo de la instalación

Por otro lado, analizamos los consumos que tenemos actualmente con los consumos estimados que nos va a producir la nueva instalación propuesta, Tabla 5.8

	kWh/año	€/año
<b>CONSUMO DE LA INSTALACIÓN ANTES DE LA ACTUACIÓN</b>	35.165	4.219,80
<b>CONSUMO DE LA INSTALACIÓN DESPUÉS DE LA ACTUACIÓN</b>	10.785	1.639,30
<b>AHORROS DIRECTOS ASOCIADOS A LA ACTUACIÓN</b>	24.381	2.580,60

Tabla 5.8.- Consumos y ahorros antes y después de la reforma.

El consumo energético anual antes de la reforma era de 35165 kWh/año y, una vez realizada la propuesta de mejora se estima que se reducirá este consumo a 10785 kWh/año lo que representa un ahorro del 70% de la energía consumida actualmente.

Si valoramos el aspecto económico, actualmente, se invierten 4219,80 € en la iluminación del vial analizado pero una vez llevado a cabo la propuesta se estima una inversión de 1639,25 € lo que supone una reducción del 61%. El precio de la energía eléctrica con la que se ha calculado el consumo será de 0,12 €/kWh, una media de las tarifas que ofertan las compañías eléctricas actualmente.

En el siguiente gráfico, podemos observar de una manera muy didáctica lo explicado con anterioridad:

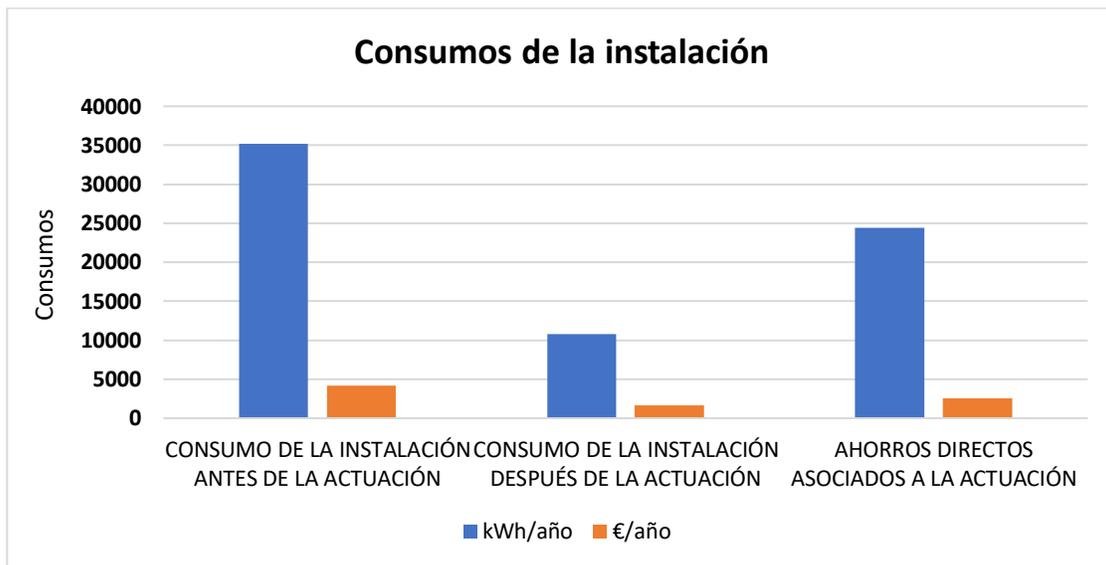


Figura 5.15.- Consumos energético y económico

Por último, se destacará la importancia de este tipo de acciones debido a que el ahorro para el ayuntamiento es muy elevado. En este caso, solo se analiza una avenida pero tal y como evoluciona la tecnología y la sociedad se llevará a cabo, en un futuro no muy lejano, este tipo de actuaciones en todos los municipios de España dado que las ventajas tanto económicas como energéticas son muy elevadas.

## 6. -Presupuesto

Para avalar los cálculos realizados, se llevará a cabo la elaboración de un pequeño presupuesto que incluirá las principales partidas que se utilizarán en la renovación de las instalaciones.

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición (Ud.)	Precio (€)	Importe (€)
1	<b>LUMINARIA LED 65,7 W</b>  Suministro e instalación de tecnología LED de 65,7 W y 8604 lúmenes, con temperatura de color de 4000K, Índice de reproducción cromática >70, FHS<1%, factor de potencia superior a 0,9, protector de sobretensiones SPD 10kV, grado IP 66, grado IK 10.	38	232,47	8.833,86
2	<b>DESMONTAJE LUMINARIA</b>  Desmontaje de luminaria existente, incluso transporte a vertedero y tasas de vertido o almacén del ayuntamiento para posterior reutilización.	38	8,92	338,96
3	<b>CIRCUITO MONOFÁSICO (ml)</b>  Suministro e instalación de circuito monofásico formado por 3 cables (conductores de fase, neutro y de protección) de 2,5 mm <sup>2</sup> de sección y aislamiento de 750 voltios, incluso pequeño material para conexiones según normativa.	38	5,52	209,76
4	<b>ARQUETA</b>  "Formación de arqueta en acera, de hormigón en masa ""in situ"" HM-30/B/20/I+ Qb, de dimensiones interiores 60x60x60 cm, sobre solera de hormigón en masa de 15 cm de espesor, cerrada superiormente con marco y tapa de fundición clase B-125 según UNE-EN 124. Incluye 3 conexiones de conducciones y remates. Totalmente montada, incluso tapa metálica.	1	276,25	276,25

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición (Ud.)	Precio (€)	Importe (€)
5	<p><b>EXCAVACIÓN EN ACERA EXISTENTE (<math>m^3</math>)</b></p> <p>Cala para instalación de arqueta y base de columna en acera existente sobre circuito eléctrico de instalación de iluminación pública, realizada con medios mecánicos. Incluye transporte de sobrantes a vertedero</p>	1	42,50	42,50
6	<p><b>RESPOSICIÓN DE ACERA (<math>m^2</math>)</b></p> <p>Reposición de acera o zona peatonal con baldosas prefabricadas similares a las de las existentes en la zona sobre base de hormigón en zona de instalación de arqueta.</p>	1	51,00	51,00
7	<p><b>PINTADO COLUMNAS</b></p> <p>Imprimación y pintado a pincel de columnas metálicas existentes en color a elegir por la propiedad. Incluye 2 capas de pintura.</p>	38	40,80	1.550,40
8	<p><b>PROTECTOR DE SOBRETENSIONES</b></p> <p>Suministro e instalación de protector de sobretensiones con nivel de protección (Up) mayor o igual a la tensión que puedan soportar los equipamientos de acuerdo con su categoría. La tensión máxima de servicio permanente (Uc) del descargador será de 275V. Tipo 2 según la definición de la UNE-EN 61643-11.</p>	1	124,52	124,52
<b>TOTAL</b>				<b>11.427,25 €</b>

Tabla 6.1.- Presupuesto correspondiente a la ejecución material.

Este sería el presupuesto de ejecución material al que habría que incluirle los gastos generales (13%) y el beneficio industrial (6%) para obtener el importe de ejecución.

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>11.427,25€</b>
<b>GASTOS GENERALES (13%)</b>	<b>1.485,54€</b>
<b>BENEFICIO INDUSTRIAL (6%)</b>	<b>685,64€</b>
<b>IMPORTE DE EJECUCIÓN</b>	<b>13.598,43€</b>
<b>21% I.V.A.</b>	<b>2.855,67€</b>
<b>IMPORTE DE EJECUCIÓN POR CONTRATA</b>	<b>16.454,10€</b>
<b>ELABORACIÓN DEL PROYECTO Y TOMA DE DATOS</b>	<b>15.000,00€</b>
<b>IMPORTE TOTAL</b>	<b>31.454,10€</b>

Tabla 6.2.- Importe total del proyecto

El importe de elaboración del proyecto se ha calculado como el número de créditos del TFM multiplicado por el número de horas equivalentes de cada crédito y por 25€ la hora de trabajo.

## 7. -Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha analizado el sector de la iluminación urbana, explicando su evolución y los parámetros más representativos a la hora de determinar un alumbrado de calidad desde un punto de vista de la gestión energética. En este sentido, tiene gran importancia, la utilización del prototipo de herramienta de cálculo de eficiencia energética desarrollada en la empresa ESEN que permite al usuario evaluar la calidad de la instalación obteniendo su calificación energética, consumo y otros parámetros relevantes para un seguimiento preventivo del funcionamiento de la instalación.

Esta herramienta es complementaria al software comercial de cálculos luminotécnicos para la implementación de luminarias en viales públicos DIALUX. Por un lado, este hecho proporciona al usuario de la herramienta un control exhaustivo del funcionamiento de la instalación, valorando posibles deficiencias energéticas que se puedan hallar y así, proponer las mejoras pertinentes mediante su respectivo cálculo luminotécnico. Cabe destacar que la herramienta desarrollada podría implementarse como un “plugin” para el software informático DIALUX, que realizaría la labor de complemento de cálculo de eficiencia energética y calificación energética así como llevar a cabo tareas de desempeño energético de la instalación. Un trabajo futuro sería el desarrollo de una versión funcional de tipo comercial en base a este prototipo, estos reto está a la expensa de posibles intereses comerciales.

Para validar dicha herramienta se ha aplicado a un caso a estudio para el alumbrado público del Municipio de Cambados (Pontevedra) para la mejora de su sistema de iluminación vial. Los resultados obtenidos mediante las mejoras planteadas en la memoria fueron óptimos ya que se ha conseguido aumentar, notablemente, la calificación energética de la instalación obteniéndose una reducción en los consumos energéticos de un 70% aproximadamente.

En este sentido, se puede observar una reducción en los consumos antes y después de la actuación muy significativos, Tabla 7.1.

	kWh/año	€/año
<b>CONSUMO DE LA INSTALACIÓN ANTES DE LA ACTUACIÓN</b>	35.165	4.219,80
<b>CONSUMO DE LA INSTALACIÓN DESPUÉS DE LA ACTUACIÓN</b>	10.785	1.639,30
<b>AHORROS DIRECTOS ASOCIADOS A LA ACTUACIÓN</b>	24.381	2.580,60

Tabla 7.1.- Consumos antes y después de la actuación.

Las mejoras introducidas suponen una disminución del consumo energético del 70% y ahorro del 61% Observando el aumento de la calificación energética antes y después de llevar a cabo la actuación obtenemos los resultados reflejados en la Tabla 7.2.

<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LA AVENIDA VILARIÑO (CAMBADOS)</b>	
<b>ANTES DE LA ACTUACIÓN</b>	<b>C</b>
<b>DESPUÉS DE LA ACTUACIÓN</b>	<b>A</b>

Tabla 7.2.- Aumento de la calificación energética antes y después de la actuación

Por otro lado, se hace necesaria esta reforma no sólo desde el punto de vista económico sino desde el punto de vista de la seguridad ciudadana ya que la tecnología LED proporciona una mejor reproducción cromática para el reconocimiento facial o del entorno que la luz ámbar que produce el VSAP.

Como colofón a este trabajo, es importante destacar la reducción de las emisiones de  $CO_2$  que se consiguen mediante la utilización de LED en relación con la actual instalación VSAP. Este hecho consigue ayudar un poco más a los esfuerzos que realiza la sociedad por solventar el problema medioambiental que generamos industrialmente

## 8. -Bibliografía

- [1] A. Ganot, (Sexta edición). *Tratado Elemental de Física, experimental y aplicada y de meteorología*. Madrid.
- [2] EPEC. (2010). Edison y la lámpara incandescente. *La historia de la electricidad*.
- [3] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (2008). *Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior*. Madrid.
- [4] IDAE. (2014). *Consumo de energía y potencial de ahorro del alumbrado exterior*. Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- [5] IDAE. (2018). *Eficiencia Energética. Alumbrado Exterior*. Madrid: IDAE.
- [6] Iluminación, Comité Español de (Enero de 2019). *Comité español de iluminación*. Obtenido de [www.ceisp.com](http://www.ceisp.com)
- [7] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (2008). *Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre*. Madrid.
- [8] Iluminación, Comité Español de (2018). *Requerimiento técnicos exigibles para luminarias con tecnología LED de alumbrado exterior*. Madrid.
- [9] Hurtado González, Antonio Manuel (2015). *Tesis doctoral influencia del alumbrado público sobre la seguridad y la conducta*. Granada.
- [10] Monserrat, Cristina Morente (2016). *Curso On-Line de Iluminación* . (UPC)
- [11] IDAE. (2008). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Alumbrado Público*. Madrid.
- [12] Díez, José Javier (Junio 2013). Control de los equipos y luminarias LED. Madrid.
- [13] Díez, José Javier (Junio 2013). Jornada sobre eficiencia energética eléctrica. Madrid.
- [14] Philips. (2017). *Indalux.com*.
- [15] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (Agosto 2018). *UNE-EN 60598-1:2015/A1:2018*. Madrid.

- [16] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2002). *Norma UNE- 62262:2002*.
- [17] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2008). *ITC-EA-04: Componentes de las Instalaciones*. Madrid.
- [18] Fenercom. (2006). *Guía de gestión energética en el alumbrado público*. Madrid.
- [19] IDAE. (2008). *Implantaciones de los puntos de luz*. Madrid.
- [20] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2008). *ITC-EA-06: Mantenimiento de la eficiencia energética de las instalaciones*. Madrid.
- [21] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2008). *ITC-EA-01: Eficiencia Energética*. Madrid.
- [22] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2008). *ITC-EA-03: Resplandor luminoso nocturno y luz intrusa o molesta*. Madrid.
- [23] Comité Permanente de Peritos en Instalaciones Eléctricas. (2014). *Manual de alumbrado Público*. Madrid.
- [24] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2008). *ITC-EA-02: Niveles de Iluminación*. Madrid.
- [25] Iluminet. (2017). *La utilidad de las curvas fotométricas*. *Iluminet*.

# ANEXO

## Cálculos luminotécnicos

# Avenida Vilariño. Cambados

Renovación del alumbrado público de 36 luminarias montadas sobre columnas metálicas de 8 metros de altura y 2 luminarias implementadas en báculos de 9 m de altura.

**Nota:** El presente anexo se ha estructurado en base a la información extraída del software DIALUX a efectos aclaratorios de los cálculos implementados. Por todo ello, se ha organizado de manera autónoma con motivo de facilitar su utilización.

Fecha: 23.07.2019

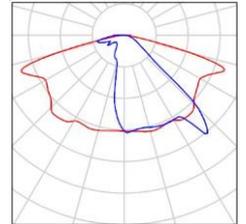
**Proyecto elaborado por: Óscar Troncoso Pereira**

**Índice. Anexo: Cálculos Luminotécnicos.**

<b>Avenida Vilariño. Cambados</b>	
Portada del proyecto	1
Índice	2
Lista de luminarias	3
<b>SETGA S.L.U. ESSENZE 36 ME</b>	
Hoja de datos de luminarias	4
<b>ESSENZE 36 ME</b>	
Diagrama de densidad lumínica	5
<b>Avenida Vilariño (36 luminarias_Columnas_metálicas_8m)</b>	
Datos de planificación	6
Lista de luminarias	7
Resultados luminotécnicos	8
<b>Recuadros de evaluación</b>	
<b>Recuadro de evaluación Calzada 1</b>	
Sumario de los resultados	10
Isolíneas (E)	11
Gráfico de valores (E)	12
<b>Observador</b>	
<b>Observador 1</b>	
Isolíneas (L)	13
<b>Observador 2</b>	
Isolíneas (L)	14
<b>Recuadro de evaluación Camino peatonal 1</b>	
Sumario de los resultados	15
Isolíneas (E)	16
Tabla (E)	17
<b>Recuadro de evaluación Camino peatonal 2</b>	
Sumario de los resultados	18
Isolíneas (E)	19
Tabla (E)	20
<b>Avenida Vilariño (2 luminarias_Báculos_9m)</b>	
Datos de planificación	21
Lista de luminarias	22
Resultados luminotécnicos	23
<b>Recuadros de evaluación</b>	
<b>Recuadro de evaluación Calzada 1</b>	
Sumario de los resultados	25
Isolíneas (E)	26
Tabla (E)	27
<b>Observador</b>	
<b>Observador 1</b>	
Isolíneas (L)	28
Tabla (L)	29
<b>Observador 2</b>	
Isolíneas (L)	30
Tabla (L)	31
<b>Recuadro de evaluación Camino peatonal 1</b>	
Sumario de los resultados	32
Isolíneas (E)	33
Tabla (E)	34
<b>Recuadro de evaluación Camino peatonal 2</b>	
Sumario de los resultados	35
Isolíneas (E)	36
Tabla (E)	37

## Avenida Vilariño. Cambados / Lista de luminarias

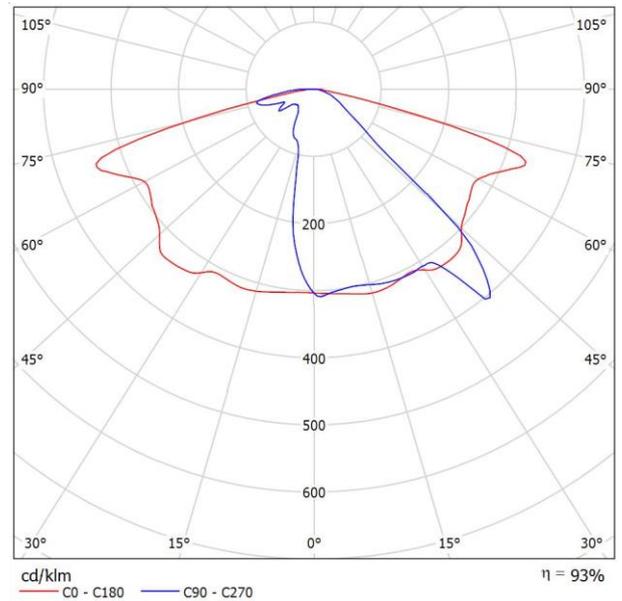
SETGA S.L.U. ESSENZE 36 ME (Tipo 1)  
Nº de artículo:  
Flujo luminoso (Luminaria): 7987 lm  
Flujo luminoso (Lámparas): 8604 lm  
Potencia de las luminarias: 65.7 W  
Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 38 70 94 100 93  
Lámpara: 36 x EZ36M (Factor de corrección  
1.000).



## SETGA S.L.U. ESSENZE 36 ME / Hoja de datos de luminarias

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.

Emisión de luz 1:

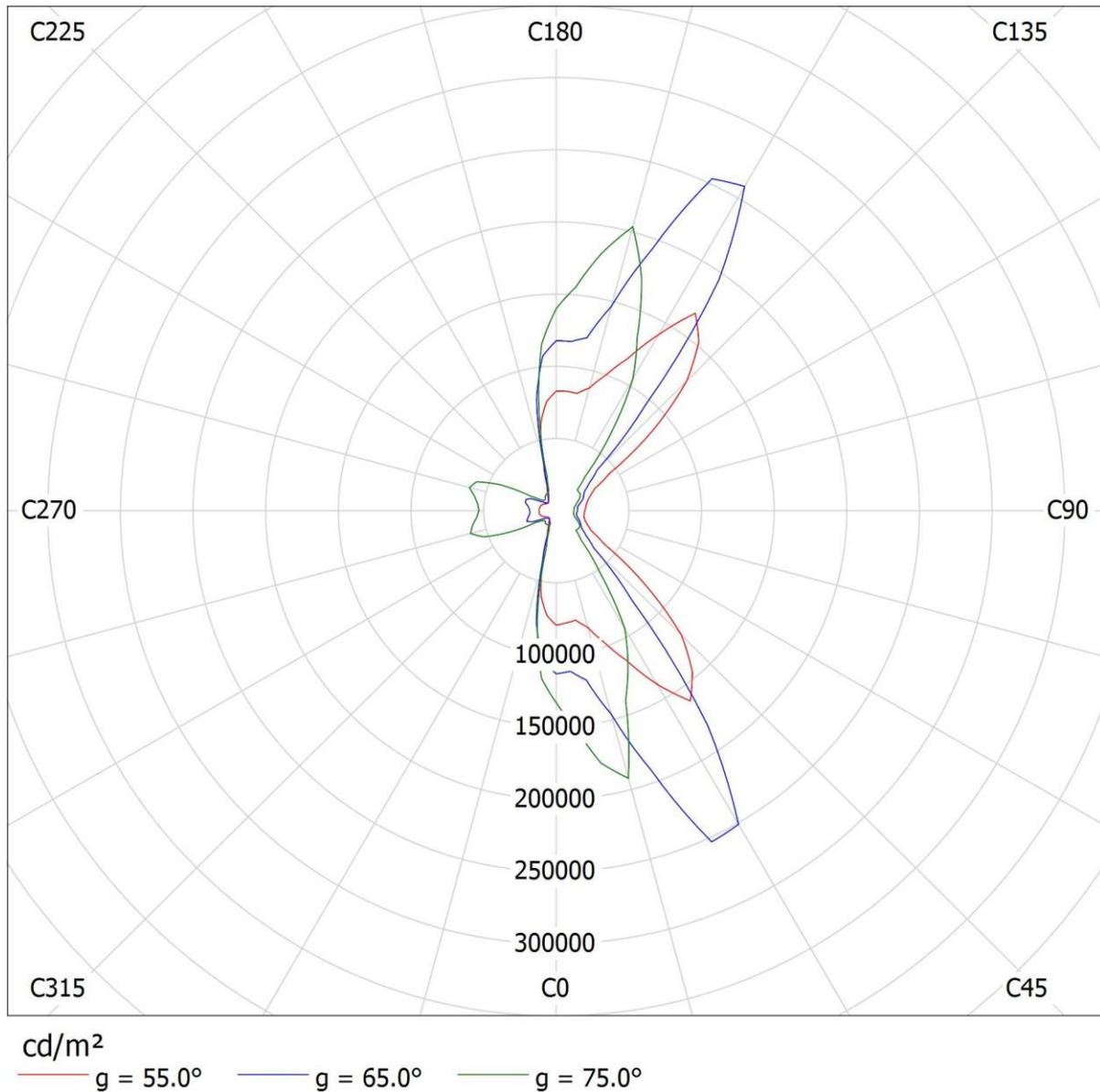


Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 38 70 94 100 93

Para esta luminaria no puede presentarse ninguna tabla UGR porque carece de atributos de simetría.

### SETGA S.L.U. ESSENZE 36 ME / Diagrama de densidad lumínica

Luminaria: SETGA S.L.U. ESSENZE 36 ME  
Lámparas: 36 x EZ36S



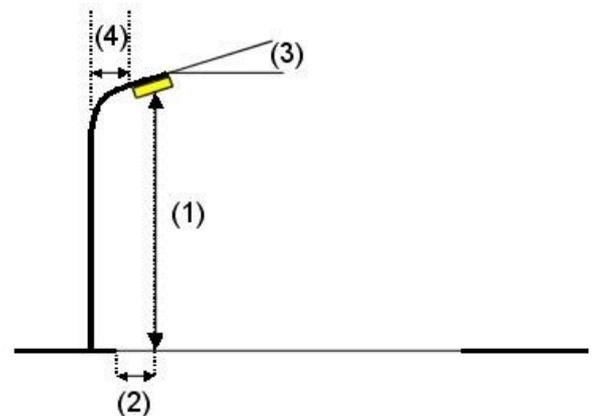
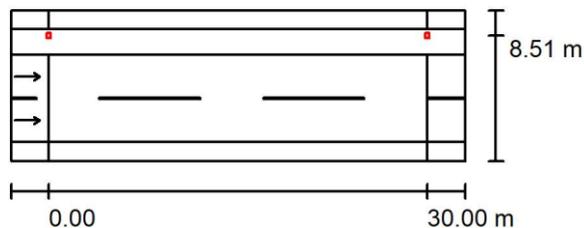
## Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metalicas\_8m) / Datos de planificación

### Perfil de la vía pública

Camino peatonal 2	(Anchura: 1.500 m)
Carril de estacionamiento 1	(Anchura: 2.000 m)
Calzada 1	(Anchura: 7.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino peatonal 1	(Anchura: 1.500 m)

Factor mantenimiento: 0.85

### Disposiciones de las luminarias



Luminaria:	SETGA S.L.U. ESSENZE 36 ME
Flujo luminoso (Luminaria):	7987 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	8604 lm
Potencia de las luminarias:	65.7 W
Organización:	unilateral arriba
Distancia entre mástiles:	30.000 m
Altura de montaje (1):	8.062 m
Altura del punto de luz:	8.000 m
Saliente sobre la calzada (2):	-1.500 m
Inclinación del brazo (3):	5.0 °
Longitud del brazo (4):	0.857 m

Valores máximos de la intensidad lumínica	
con 70°:	801 cd/klm
con 80°:	123 cd/klm
con 90°:	23 cd/klm

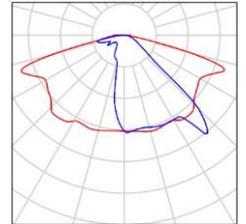
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

Ninguna intensidad lumínica por encima de 95°.  
La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G2.

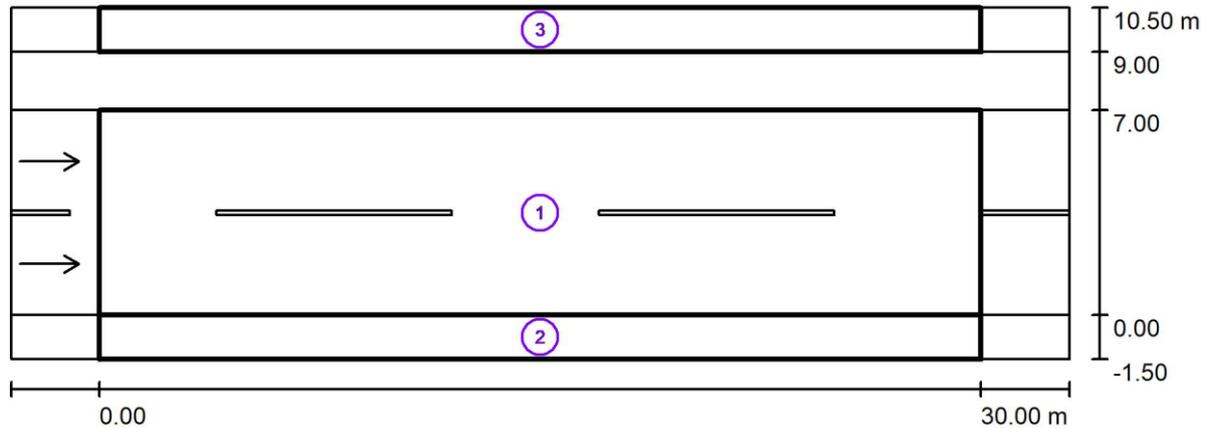
La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.1.

## Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metálicas\_8m) / Lista de luminarias

SETGA S.L.U. ESSENZE 36 ME (Tipo 1)  
Nº de artículo:  
Flujo luminoso (Luminaria): 7987 lm  
Flujo luminoso (Lámparas): 8604 lm  
Potencia de las luminarias: 65.7 W  
Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 38 70 94 100 93  
Lámpara: 36 x EZ36M (Factor de corrección 1.000).



## Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metalicas\_8m) / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.85

Escala 1:258

### Lista del recuadro de evaluación

- Recuadro de evaluación Calzada 1  
 Longitud: 30.000 m, Anchura: 7.000 m  
 Trama: 10 x 6 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070, Revestimiento de la calzada (húmedo): W3, q0 (húmedo): 0.200  
 Clase de iluminación seleccionada: MEW4 (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR	U0 (húmedo)
Valores reales según cálculo:	0.80	0.65	0.66	12	0.75	0.17
Valores de consigna según clase:	$\geq 0.75$	$\geq 0.40$	/	$\leq 15$	$\geq 0.50$	$\geq 0.15$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓	✓

## Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metálicas\_8m) / Resultados luminotécnicos

### Lista del recuadro de evaluación

- 2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1  
 Longitud: 30.000 m, Anchura: 1.500 m  
 Trama: 10 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.  
 Clase de iluminación seleccionada: CE5 (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)
- |                                  | E <sub>m</sub> [lx] | U0     |
|----------------------------------|---------------------|--------|
| Valores reales según cálculo:    | 11.24               | 0.84   |
| Valores de consigna según clase: | ≥ 7.50              | ≥ 0.40 |
| Cumplido/No cumplido:            | ✓                   | ✓      |
- 
- 3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2  
 Longitud: 30.000 m, Anchura: 1.500 m  
 Trama: 10 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.  
 Clase de iluminación seleccionada: CE5 (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)
- |                                  | E <sub>m</sub> [lx] | U0     |
|----------------------------------|---------------------|--------|
| Valores reales según cálculo:    | 9.40                | 0.54   |
| Valores de consigna según clase: | ≥ 7.50              | ≥ 0.40 |
| Cumplido/No cumplido:            | ✓                   | ✓      |

### Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metalicas\_8m) / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Sumario de los resultados



Factor mantenimiento: 0.85

Escala 1:258

Trama: 10 x 6 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070, Revestimiento de la calzada (húmedo): W3, q0 (húmedo): 0.200

Clase de iluminación seleccionada: MEW4

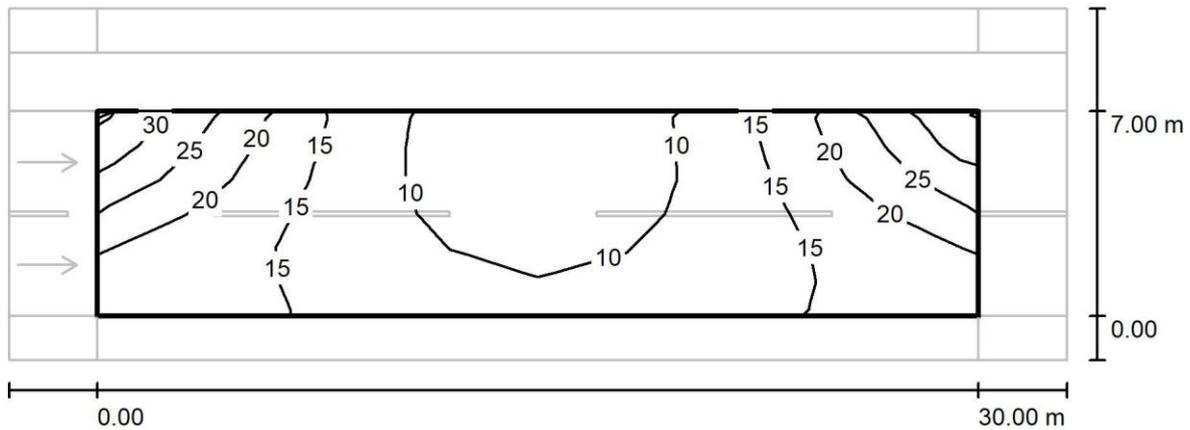
(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR	U0 (húmedo)
Valores reales según cálculo:	0.80	0.65	0.66	12	0.75	0.17
Valores de consigna según clase:	≥ 0.75	≥ 0.40	/	≤ 15	≥ 0.50	≥ 0.15
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓	✓

#### Observador respectivo (2 Pieza):

Nº	Observador	Posición [m]	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	U0 (húmedo)
1	Observador 1	(-60.000, 1.750, 1.500)	0.90	0.65	0.82	10	0.17
2	Observador 2	(-60.000, 5.250, 1.500)	0.80	0.70	0.66	12	0.27

**Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metálicas\_8m) / Recuadro de evaluación  
Calzada 1 / Isolíneas (E)**

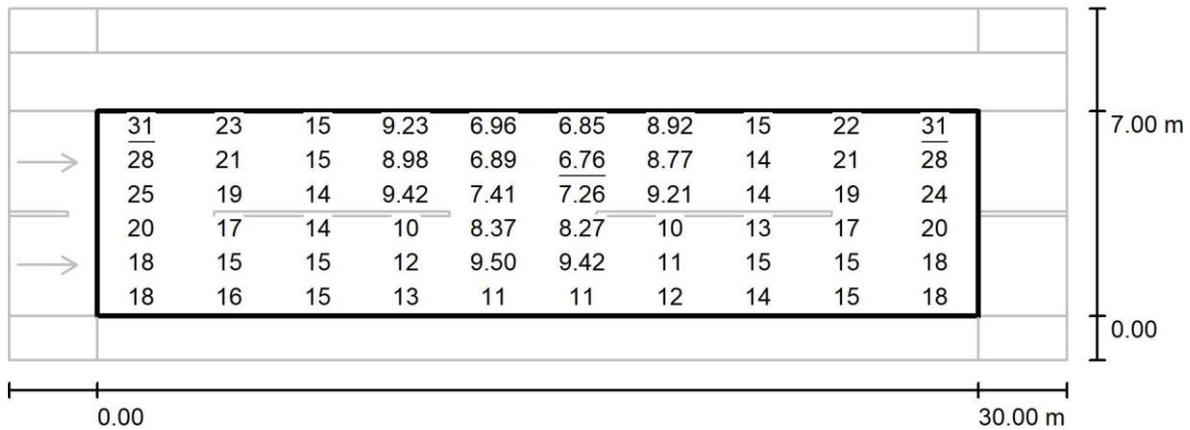


Valores en Lux, Escala 1 : 258

Trama: 10 x 6 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
15	6.76	31	0.454	0.216

**Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metálicas\_8m) / Recuadro de evaluación  
Calzada 1 / Gráfico de valores (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 258

Trama: 10 x 6 Puntos

$E_m$  [lx]  
15

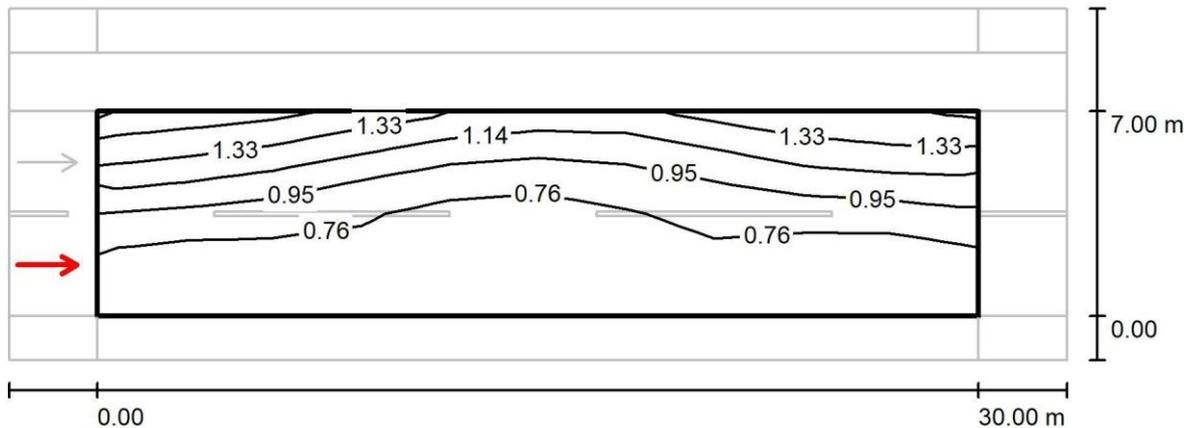
$E_{min}$  [lx]  
6.76

$E_{max}$  [lx]  
31

$E_{min} / E_m$   
0.454

$E_{min} / E_{max}$   
0.216

**Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metálicas\_8m) / Recuadro de evaluación  
Calzada 1 / Observador 1 / Isolíneas (L)**



Valores en Candela/m<sup>2</sup>, Escala 1 : 258

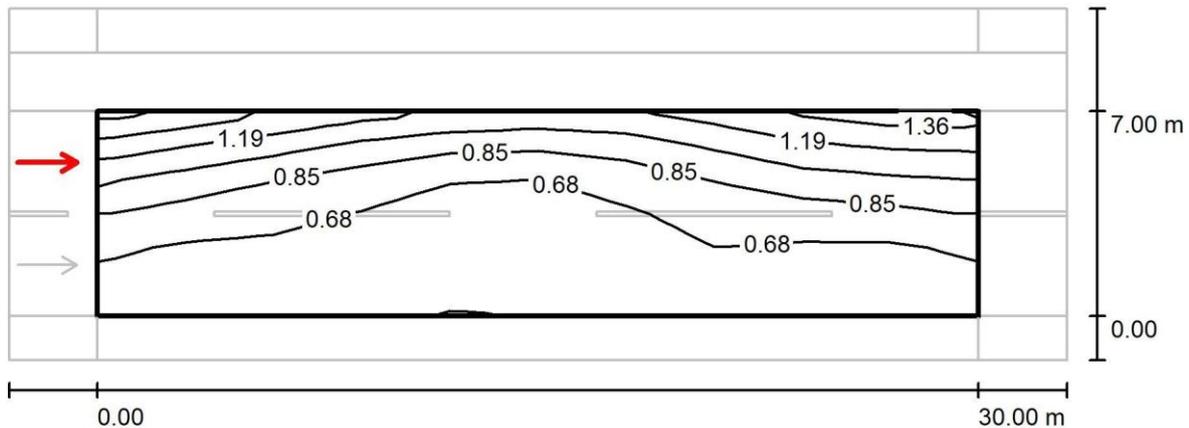
Trama: 10 x 6 Puntos

Posición del observador: (-60.000 m, 1.750 m, 1.500 m)

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070, Revestimiento de la calzada (húmedo): W3, q0 (húmedo): 0.200

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	U0 (húmedo)
Valores reales según cálculo:	0.90	0.65	0.82	10	0.17
Valores de consigna según clase MEW4:	≥ 0.75	≥ 0.40	/	≤ 15	≥ 0.15
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

**Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metalicas\_8m) / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Observador 2 / Isolíneas (L)**



Valores en Candela/m<sup>2</sup>, Escala 1 : 258

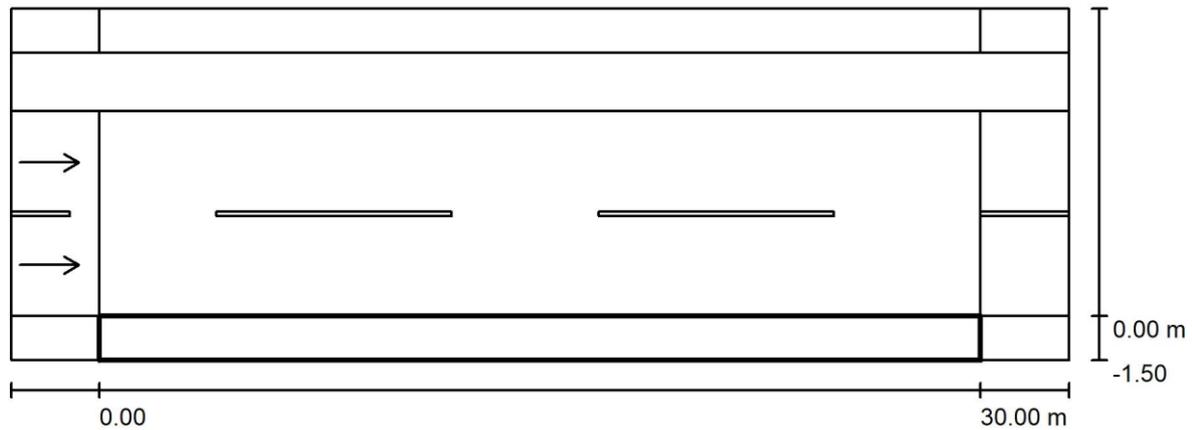
Trama: 10 x 6 Puntos

Posición del observador: (-60.000 m, 5.250 m, 1.500 m)

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070, Revestimiento de la calzada (húmedo): W3, q0 (húmedo): 0.200

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	U0 (húmedo)
Valores reales según cálculo:	0.80	0.70	0.66	12	0.27
Valores de consigna según clase MEW4:	≥ 0.75	≥ 0.40	/	≤ 15	≥ 0.15
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

**Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metálicas\_8m) / Recuadro de evaluación  
Camino peatonal 1 / Sumario de los resultados**



Factor mantenimiento: 0.85

Escala 1:258

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.

Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Valores reales según cálculo:

$E_m$  [lx]

U0

11.24

0.84

Valores de consigna según clase:

$\geq 7.50$

$\geq 0.40$

Cumplido/No cumplido:



**Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metalicas\_8m) / Recuadro de evaluación  
Camino peatonal 1 / Isolíneas (E)**

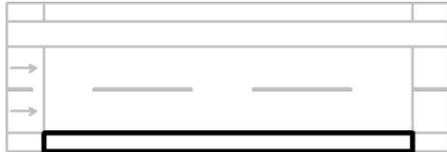


Valores en Lux, Escala 1 : 258

Trama: 10 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
11	9.46	15	0.841	0.648

**Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnnas\_metálicas\_8m) / Recuadro de evaluación Camino peatonal 1 / Tabla (E)**



<b>1.250</b>	<u>15</u>	13	13	12	11	11	12	12	13	14
<b>0.750</b>	13	12	11	11	11	10	11	11	11	12
<b>0.250</b>	10	9.91	9.79	10	9.88	9.76	9.86	<u>9.46</u>	9.59	10
<b>m</b>	<b>1.500</b>	<b>4.500</b>	<b>7.500</b>	<b>10.500</b>	<b>13.500</b>	<b>16.500</b>	<b>19.500</b>	<b>22.500</b>	<b>25.500</b>	<b>28.500</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 10 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
11	9.46	15	0.841	0.648

**Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metálicas\_8m) / Recuadro de evaluación Camino peatonal 2 / Sumario de los resultados**



Factor mantenimiento: 0.85

Escala 1:258

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.

Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Valores reales según cálculo:

$E_m$  [lx]

U0

9.40

0.54

Valores de consigna según clase:

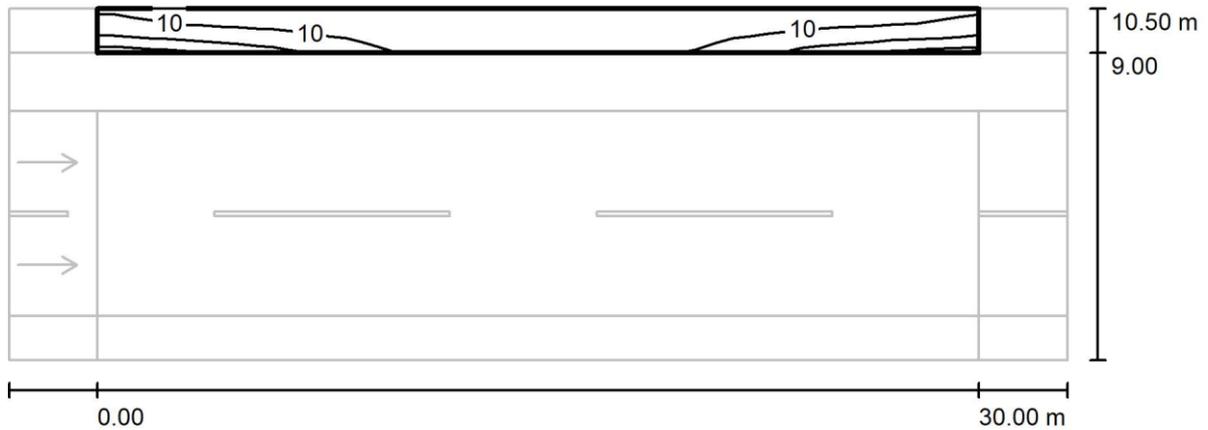
$\geq 7.50$

$\geq 0.40$

Cumplido/No cumplido:



**Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnas\_metalicas\_8m) / Recuadro de evaluación  
Camino peatonal 2 / Isolíneas (E)**

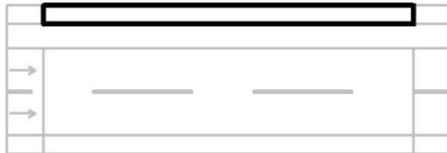


Valores en Lux, Escala 1 : 258

Trama: 10 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
9.40	5.09	19	0.542	0.270

**Avenida Vilariño (36 luminarias\_Columnnas\_metálicas\_8m) / Recuadro de evaluación Camino peatonal 2 / Tabla (E)**



<b>1.250</b>	9.67	7.36	6.73	5.65	<u>5.09</u>	5.13	5.74	6.79	7.19	9.48
<b>0.750</b>	12	10	9.85	7.30	5.82	5.84	7.18	9.90	10	11
<b>0.250</b>	<u>19</u>	16	13	8.32	6.35	6.34	8.13	12	16	<u>19</u>
<b>m</b>	<b>1.500</b>	<b>4.500</b>	<b>7.500</b>	<b>10.500</b>	<b>13.500</b>	<b>16.500</b>	<b>19.500</b>	<b>22.500</b>	<b>25.500</b>	<b>28.500</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 10 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
9.40	5.09	19	0.542	0.270

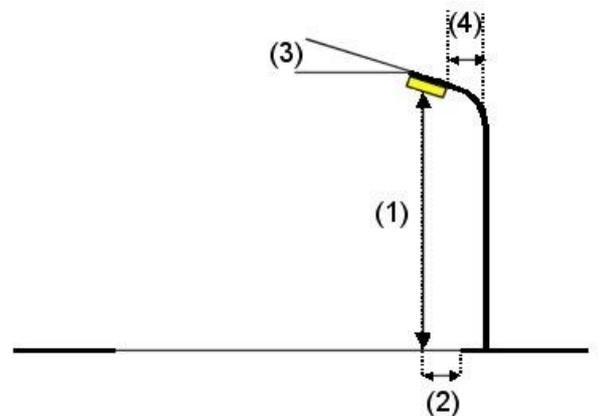
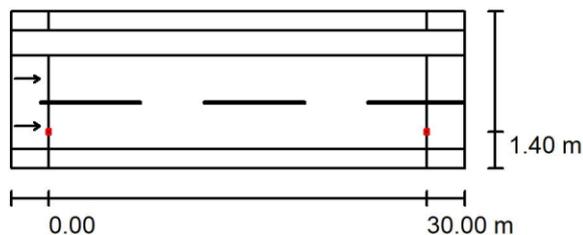
## Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Datos de planificación

### Perfil de la vía pública

Camino peatonal 2	(Anchura: 1.500 m)
Carril de estacionamiento 1	(Anchura: 2.000 m)
Calzada 1	(Anchura: 7.500 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino peatonal 1	(Anchura: 1.500 m)

Factor mantenimiento: 0.85

### Disposiciones de las luminarias



Luminaria:	SETGA S.L.U. ESSENZE 36 ME
Flujo luminoso (Luminaria):	7987 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	8604 lm
Potencia de las luminarias:	65.7 W
Organización:	unilateral abajo
Distancia entre mástiles:	30.000 m
Altura de montaje (1):	9.000 m
Altura del punto de luz:	8.938 m
Saliente sobre la calzada (2):	1.400 m
Inclinación del brazo (3):	0.0 °
Longitud del brazo (4):	0.000 m

Valores máximos de la intensidad lumínica
con 70°: 807 cd/klm
con 80°: 108 cd/klm
con 90°: 28 cd/klm

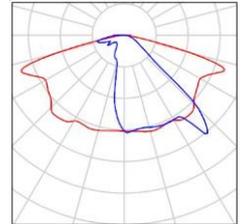
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

Ninguna intensidad lumínica por encima de 90°. La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G2.

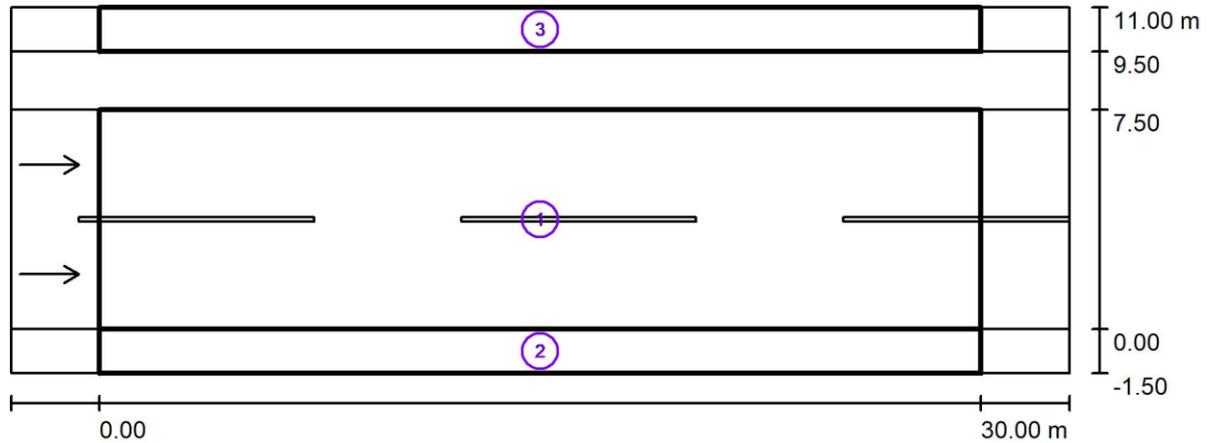
La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.0.

### Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Lista de luminarias

SETGA S.L.U. ESSENZE 36 ME (Tipo 1)  
Nº de artículo:  
Flujo luminoso (Luminaria): 7987 lm  
Flujo luminoso (Lámparas): 8604 lm  
Potencia de las luminarias: 65.7 W  
Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 38 70 94 100 93  
Lámpara: 36 x EZ36M (Factor de corrección 1.000).



### Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.85

Escala 1:258

#### Lista del recuadro de evaluación

- Recuadro de evaluación Calzada 1  
 Longitud: 30.000 m, Anchura: 7.500 m  
 Trama: 10 x 6 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070, Revestimiento de la calzada (húmedo): W3, q0 (húmedo): 0.200  
 Clase de iluminación seleccionada: MEW4 (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

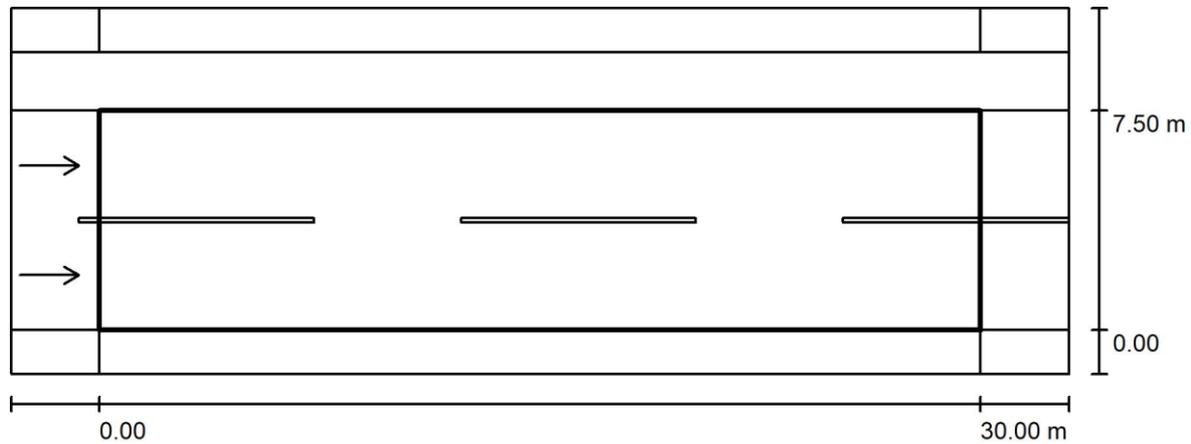
	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR	U0 (húmedo)
Valores reales según cálculo:	0.97	0.60	0.73	9	0.62	0.15
Valores de consigna según clase:	≥ 0.75	≥ 0.40	/	≤ 15	≥ 0.50	≥ 0.15
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓	✓

## Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Resultados luminotécnicos

### Lista del recuadro de evaluación

2	<p>Recuadro de evaluación Camino peatonal 1                      Longitud: 30.000 m, Anchura: 1.500 m                      Trama: 10 x 3 Puntos                      Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.                      Clase de iluminación seleccionada: CE5 (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)</p>		
	Valores reales según cálculo:	$E_m$ [lx]	U0
	Valores de consigna según clase:	8.33	0.59
	Cumplido/No cumplido:	$\geq 7.50$	$\geq 0.40$
		✓	✓
3	<p>Recuadro de evaluación Camino peatonal 2                      Longitud: 30.000 m, Anchura: 1.500 m                      Trama: 10 x 3 Puntos                      Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.                      Clase de iluminación seleccionada: CE5 (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)</p>		
	Valores reales según cálculo:	$E_m$ [lx]	U0
	Valores de consigna según clase:	11.56	0.81
	Cumplido/No cumplido:	$\geq 7.50$	$\geq 0.40$
		✓	✓

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Calzada 1/  
Sumario de los resultados**



Factor mantenimiento: 0.85

Escala 1:258

Trama: 10 x 6 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070, Revestimiento de la calzada (húmedo): W3, q0 (húmedo): 0.200

Clase de iluminación seleccionada: MEW4

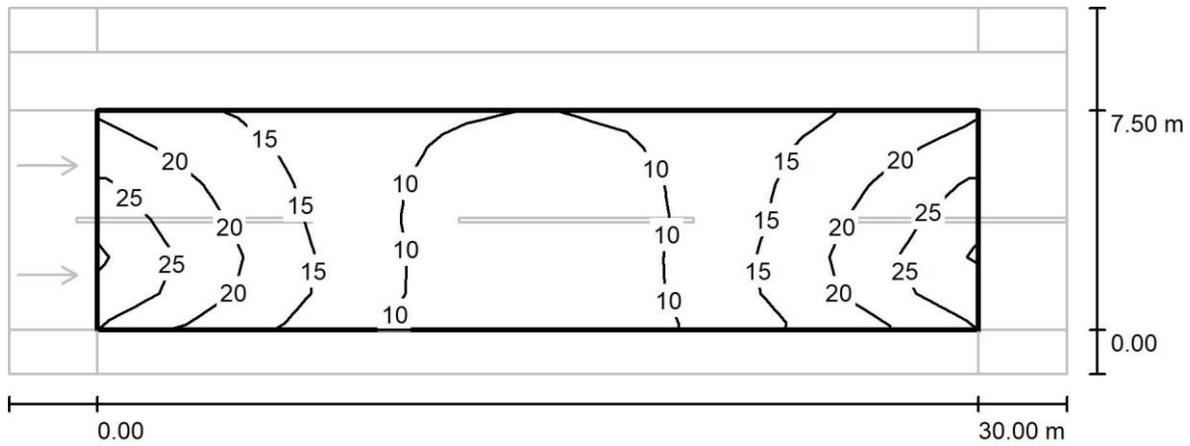
(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR	U0 (húmedo)
Valores reales según cálculo:	0.97	0.60	0.73	9	0.62	0.15
Valores de consigna según clase:	≥ 0.75	≥ 0.40	/	≤ 15	≥ 0.50	≥ 0.15
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**Observador respectivo (2 Pieza):**

Nº	Observador	Posición [m]	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	U0 (húmedo)
1	Observador 1	(-60.000, 1.875, 1.500)	0.97	0.60	0.77	9	0.15
2	Observador 2	(-60.000, 5.625, 1.500)	1.01	0.64	0.73	8	0.19

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Calzada 1/  
Isolíneas (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 258

Trama: 10 x 6 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
15	6.91	29	0.464	0.242

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Calzada 1/  
Tabla (E)**



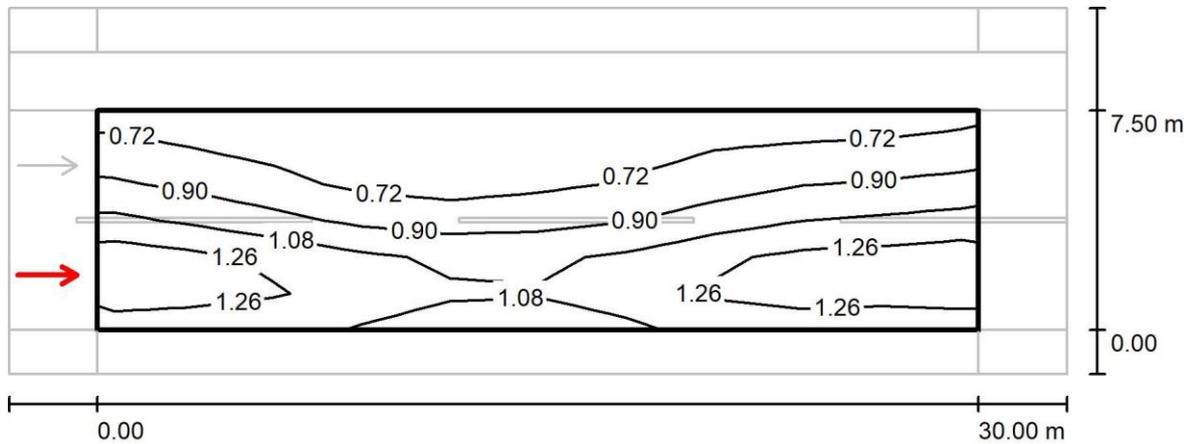
<b>6.875</b>	19	16	13	11	9.18	9.23	11	14	16	19
<b>5.625</b>	22	18	14	9.67	7.93	8.01	9.83	14	18	22
<b>4.375</b>	25	19	14	9.08	7.15	7.27	9.23	14	19	25
<b>3.125</b>	27	20	14	9.00	7.08	7.20	9.27	14	20	27
<b>1.875</b>	<u>29</u>	22	15	9.42	7.27	7.38	9.68	15	22	28
<b>0.625</b>	24	19	14	8.97	<u>6.91</u>	6.99	9.19	14	19	24
<b>m</b>	<b>1.500</b>	<b>4.500</b>	<b>7.500</b>	<b>10.500</b>	<b>13.500</b>	<b>16.500</b>	<b>19.500</b>	<b>22.500</b>	<b>25.500</b>	<b>28.500</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 10 x 6 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
15	6.91	29	0.464	0.242

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Calzada 1/ Observador 1 / Isolíneas (L)**



Valores en Candela/m<sup>2</sup>, Escala 1 : 258

Trama: 10 x 6 Puntos

Posición del observador: (-60.000 m, 1.875 m, 1.500 m)

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070, Revestimiento de la calzada (húmedo): W3, q0 (húmedo): 0.200

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	U0 (húmedo)
Valores reales según cálculo:	0.97	0.60	0.77	9	0.15
Valores de consigna según clase MEW4:	≥ 0.75	≥ 0.40	/	≤ 15	≥ 0.15
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Calzada 1/  
Observador 1 / Tabla (L)**



<b>6.875</b>	0.69	0.64	0.62	0.60	0.58	0.63	0.66	0.67	0.67	0.70
<b>5.625</b>	0.82	0.75	0.67	0.60	0.60	0.67	0.70	0.81	0.80	0.86
<b>4.375</b>	0.99	0.90	0.77	0.68	0.69	0.76	0.80	0.96	1.00	1.02
<b>3.125</b>	1.20	1.13	1.03	0.95	0.92	0.95	1.04	1.17	1.19	1.24
<b>1.875</b>	1.48	1.42	1.30	1.18	1.14	1.17	1.27	1.43	1.42	1.46
<b>0.625</b>	1.24	1.23	1.16	1.08	1.02	1.04	1.16	1.27	1.22	1.23
<b>m</b>	<b>1.500</b>	<b>4.500</b>	<b>7.500</b>	<b>10.500</b>	<b>13.500</b>	<b>16.500</b>	<b>19.500</b>	<b>22.500</b>	<b>25.500</b>	<b>28.500</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Candela/m².

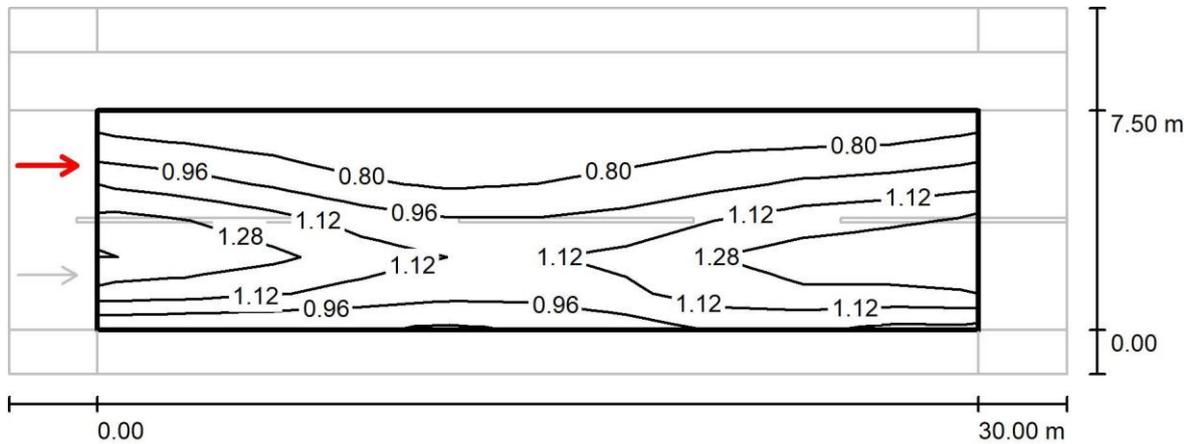
Trama: 10 x 6 Puntos

Posición del observador: (-60.000 m, 1.875 m, 1.500 m)

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070, Revestimiento de la calzada (húmedo): W3, q0 (húmedo): 0.200

	$L_m$ [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	U0 (húmedo)
Valores reales según cálculo:	0.97	0.60	0.77	9	0.15
Valores de consigna según clase MEW4:	$\geq 0.75$	$\geq 0.40$	/	$\leq 15$	$\geq 0.15$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Calzada 1/ Observador 2 / Isolíneas (L)**



Valores en Candela/m<sup>2</sup>, Escala 1 : 258

Trama: 10 x 6 Puntos

Posición del observador: (-60.000 m, 5.625 m, 1.500 m)

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070, Revestimiento de la calzada (húmedo): W3, q0 (húmedo): 0.200

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	U0 (húmedo)
Valores reales según cálculo:	1.01	0.64	0.73	8	0.19
Valores de consigna según clase MEW4:	≥ 0.75	≥ 0.40	/	≤ 15	≥ 0.15
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Calzada 1/  
Observador 2 / Tabla (L)**



<b>6.875</b>	0.74	0.72	0.69	0.66	0.65	0.70	0.72	0.74	0.70	0.75
<b>5.625</b>	0.94	0.87	0.76	0.69	0.71	0.77	0.78	0.88	0.87	0.94
<b>4.375</b>	1.19	1.12	0.99	0.86	0.84	0.89	0.93	1.07	1.12	1.16
<b>3.125</b>	1.45	1.38	1.25	1.14	1.07	1.10	1.17	1.30	1.33	1.40
<b>1.875</b>	1.41	1.37	1.26	1.16	1.11	1.15	1.24	1.40	1.39	1.43
<b>0.625</b>	0.99	0.97	0.94	0.90	0.88	0.93	1.03	1.14	1.07	1.08
<b>m</b>	<b>1.500</b>	<b>4.500</b>	<b>7.500</b>	<b>10.500</b>	<b>13.500</b>	<b>16.500</b>	<b>19.500</b>	<b>22.500</b>	<b>25.500</b>	<b>28.500</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Candela/m².

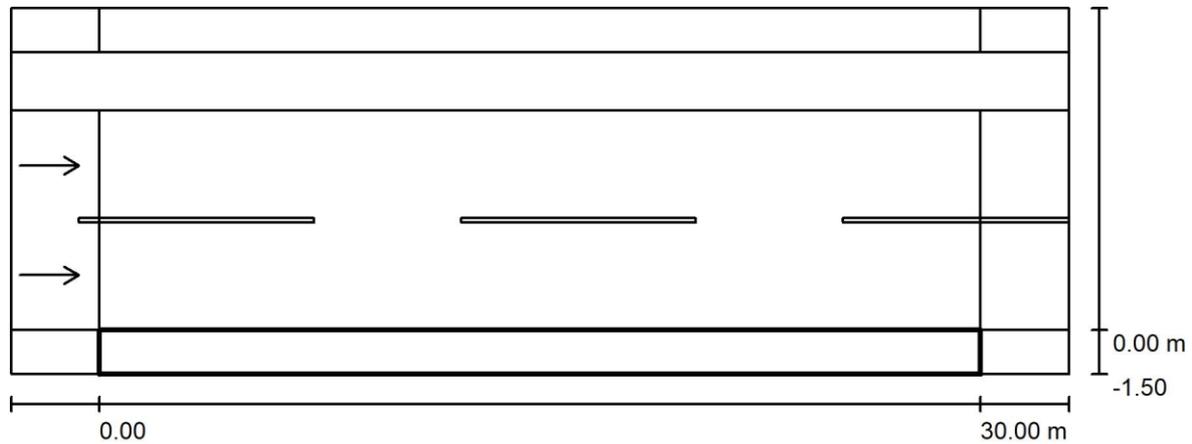
Trama: 10 x 6 Puntos

Posición del observador: (-60.000 m, 5.625 m, 1.500 m)

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070, Revestimiento de la calzada (húmedo): W3, q0 (húmedo): 0.200

	$L_m$ [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	U0 (húmedo)
Valores reales según cálculo:	1.01	0.64	0.73	8	0.19
Valores de consigna según clase MEW4:	$\geq 0.75$	$\geq 0.40$	/	$\leq 15$	$\geq 0.15$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Camino peatonal 1 / Sumario de los resultados**



Factor mantenimiento: 0.85

Escala 1:258

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.

Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Valores reales según cálculo:

$E_m$  [lx]  
8.33

U0  
0.59

Valores de consigna según clase:

$\geq 7.50$

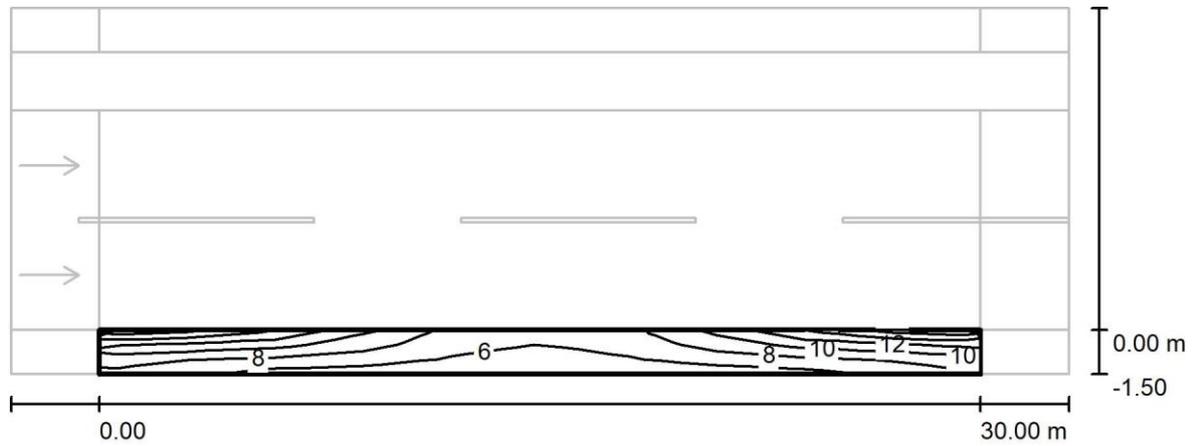
$\geq 0.40$

Cumplido/No cumplido:

✓

✓

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Camino peatonal 1 / Isolíneas (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 258

Trama: 10 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
8.33	4.92	15	0.591	0.330

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Camino peatonal 1 / Tabla (E)**



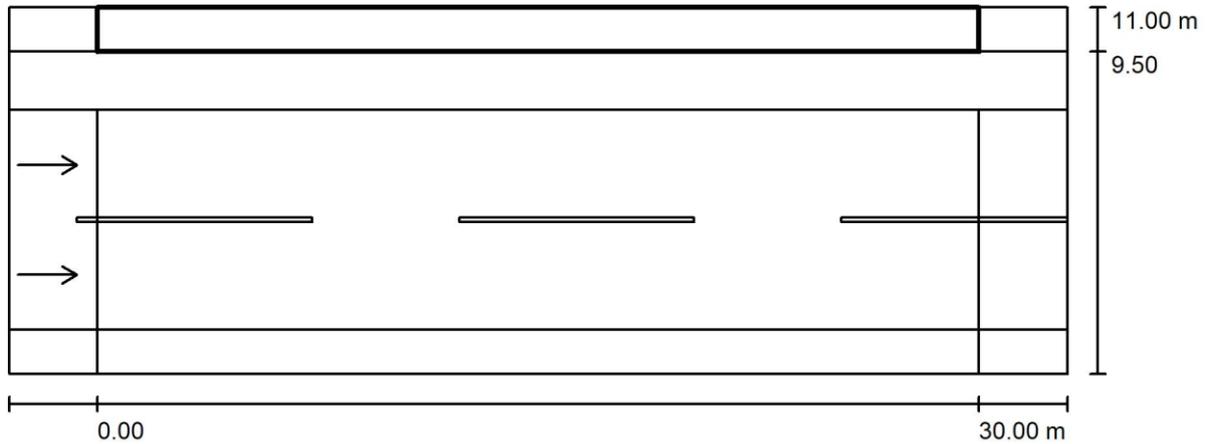
<b>1.250</b>	<u>15</u>	14	11	7.94	6.20	6.25	8.10	11	14	<u>15</u>
<b>0.750</b>	9.27	8.79	9.02	6.97	5.65	5.68	7.03	8.90	8.77	9.41
<b>0.250</b>	7.87	6.51	6.15	5.69	<u>4.92</u>	4.93	5.58	6.02	6.70	8.00
<b>m</b>	<b>1.500</b>	<b>4.500</b>	<b>7.500</b>	<b>10.500</b>	<b>13.500</b>	<b>16.500</b>	<b>19.500</b>	<b>22.500</b>	<b>25.500</b>	<b>28.500</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 10 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
8.33	4.92	15	0.591	0.330

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Camino peatonal 2 / Sumario de los resultados**



Factor mantenimiento: 0.85

Escala 1:258

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.

Clase de iluminación seleccionada: CE5 (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Valores reales según cálculo:

$E_m$ [lx]	U0
11.56	0.81

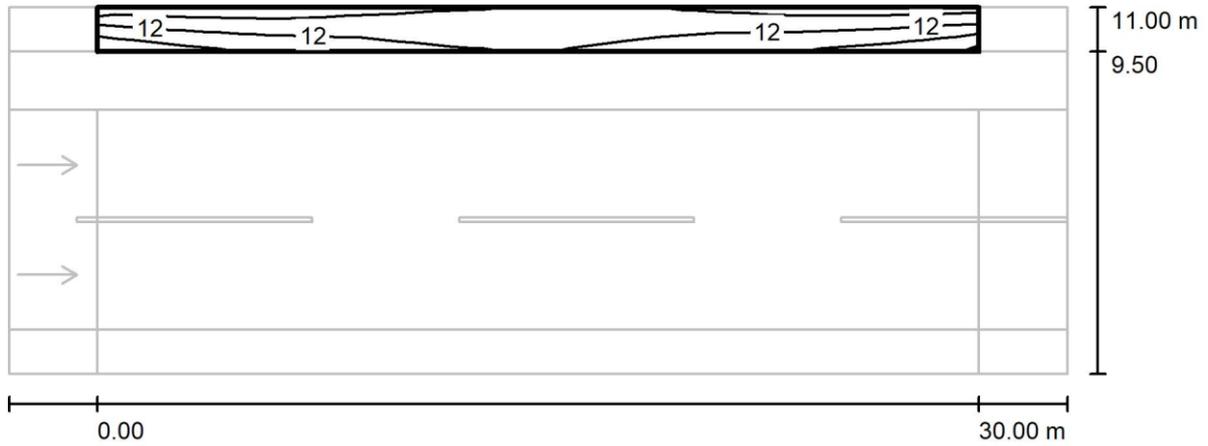
Valores de consigna según clase:

$\geq 7.50$	$\geq 0.40$
-------------	-------------

Cumplido/No cumplido:

✓	✓
---	---

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Camino peatonal 2 / Isolíneas (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 258

Trama: 10 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
12	9.36	15	0.810	0.633

**Avenida Vilariño (2 luminarias\_Báculos\_9m) / Recuadro de evaluación Camino peatonal 2 / Tabla (E)**



<b>1.250</b>	9.86	<u>9.36</u>	9.63	10	10	10	11	10	9.69	10
<b>0.750</b>	12	11	11	11	11	11	12	12	12	13
<b>0.250</b>	14	13	13	12	12	12	13	13	13	<u>15</u>
<b>m</b>	<b>1.500</b>	<b>4.500</b>	<b>7.500</b>	<b>10.500</b>	<b>13.500</b>	<b>16.500</b>	<b>19.500</b>	<b>22.500</b>	<b>25.500</b>	<b>28.500</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 10 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
12	9.36	15	0.810	0.633