

Iluminación LED exterior en el sector de servicios públicos y privados

Guía práctica: diseño y criterios
de compra



Consorcio PremiumLight-Pro:



Austria

Austrian Energy Agency
www.energyagency.at



República Checa

SEVEn, The Energy Efficiency Center
www.svn.cz



Energy piano

Dinamarca

Energy piano, consultora independiente



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Portugal

Institute for Systems and Robotics,
University of Coimbra
<https://isr.uc.pt/>



Reino Unido

Energy Saving Trust
www.energysavingtrust.org.uk



Alemania

co2online gGmbH
www.co2online.de

POLITECNICO MILANO
DIPARTIMENTO DI ENERGIA



Italia

Politecnico Milano
www.energia.polimi.it



España

Asociación Ecoserveis
www.ecoserveis.net



Polonia

Foundation for Energy Efficiency
www.fewe.pl

Colaboran:



Federación de Instaladores
<http://www.fegicat.com/es>



EnerAgen
<http://www.eneragen.org>



Asesores luminotécnicos
<http://asselum.com/>



Generalitat de Catalunya
<http://territori.gencat.cat>



CERC Ingeniería
<http://www.cerc.es/>



Diputación de Huelva
<http://www.diphuelva.es/>

Edición: octubre de 2018

Depósito legal: B 16095-2018

Publicado y producido por:

Österreichische Energieagentur (Austrian Energy Agency)

Mariahilfer Straße 136, A-1150 Viena
office@energyagency.at
<http://www.energyagency.at>
Editor jefe: Peter Traupmann

Adaptación Española:

Asociación Ecoserveis

C/Girona, 25 08010 Barcelona
www.ecoserveis.net
info@ecoserveis.net

Reimpresión permitida parcialmente con la referencia correspondiente.

La Agencia Austriaca de la Energía (Austrian Energy Agency) ha compilado los contenidos de este estudio aplicando los máximos criterios de rigurosidad. Sin embargo, la institución no asume ninguna responsabilidad en cuanto a los fallos de exactitud o de actualidad en el contenido.

Los autores del documento tienen la total y exclusiva responsabilidad del contenido del mismo. Este documento no refleja necesariamente la opinión de la Unión Europea. Ni EASME ni la Comisión Europea son responsables del uso de la información aquí contenida.

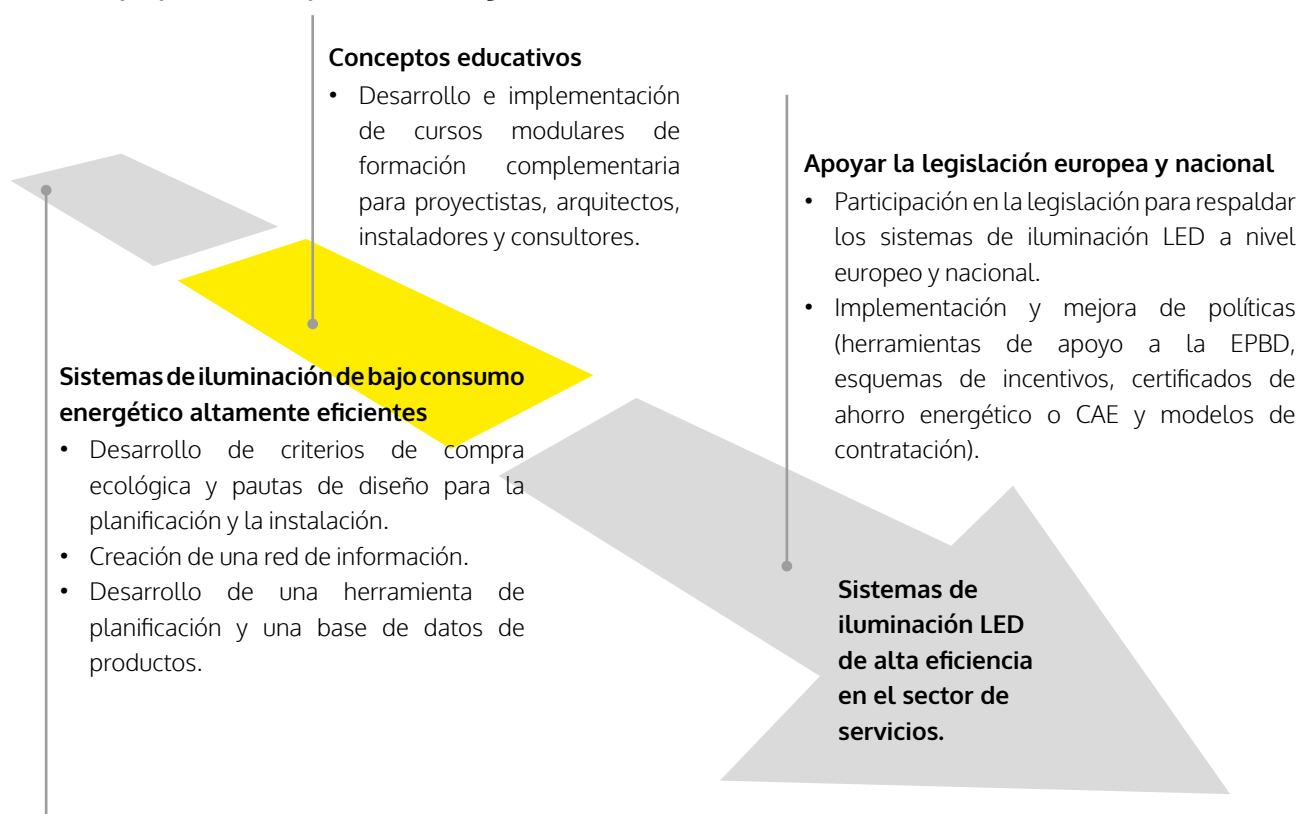
Acerca de PremiumLight-Pro

PremiumLight-Pro es un proyecto H2020 de la UE (2016-19) que proporciona información sobre la implementación de sistemas de iluminación LED (por sus siglas en inglés, *Light-Emitting Diode*, «diodo emisor de luz») de bajo consumo. Su finalidad es diseñar políticas de iluminación interior y exterior para el sector de servicios público y privado, en colaboración con organismos del mercado eléctrico vinculados tanto al lado de la oferta como al de la demanda. Entre estas directrices se incluyen:

- Criterios de compra
- Guías de iluminación interior y exterior
- Recopilación de casos de buenas prácticas
- Plataforma de información
- Herramientas de planificación específicas y base de datos de productos
- Ejecución de cursos de formación modulares dirigidos a arquitectos, instaladores, ingenierías, municipios, etc.

PremiumLight-Pro también da soporte al continuo desarrollo de la normativa europea, incluyendo el ecodiseño, etiquetado y la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios o EPBD. Asimismo, respalda el desarrollo de herramientas políticas legislativas a nivel nacional; por ejemplo, herramientas de apoyo a la EPBD, esquemas de incentivos energéticos, certificados de ahorro energético y modelos de contratación. Esta guía se actualiza a lo largo del tiempo con nueva información. Para ver si hay una nueva versión de la guía puede visitar www.premiumlightpro.es.

Servicios proporcionados por Premium Light-Pro



En términos generales, se pretende destacar que existe un alto potencial para proporcionar un importante ahorro de energía mediante la implementación de las políticas adecuadas para facilitar la inclusión en el mercado de sistemas de iluminación LED altamente eficientes.

Índice de contenidos

Acerca de PremiumLight-Pro	3	3.3.4 Atenuación	29
Acrónimos y abreviaturas	5	3.3.5 Consideraciones	30
1. Introducción	6	4. Adquisición de sistemas de iluminación	31
1.1 Los beneficios de la iluminación LED	6	4.1 Introducción	31
1.2 Recursos adicionales	6	4.2 Directrices generales	33
2. Calidad, seguridad y eficiencia en el alumbrado vial	7	4.2.1 Especificación del sistema de iluminación	33
2.1 Introducción	8	4.2.2 Funciones de control de iluminación y sistemas de comunicación	33
2.1.1 Criterios de calidad	8	4.2.3 Medición del consumo de energía	34
2.1.2 Criterios de seguridad	12	4.3 Criterios de selección	34
2.1.3 Criterios de eficiencia	12	4.3.1 Conocimiento y experiencia del equipo de diseñadores e instaladores	34
2.1.4 Vida útil	13	4.3.2 Capacidad de los licitadores	34
2.1.4 Protección del cielo nocturno	14	4.3.3 Cumplimiento de las normas EN e ISO	34
2.2 Norma Europea EN 13201	15	4.3.4 Controladores y fotometría: criterios y precauciones	35
2.2.1 Selección de clases de iluminación	15	4.4 Requisitos técnicos (obligatorios y de adjudicación)	37
2.2.2 Requisitos de rendimiento, métodos de medición y cálculo	16	4.4.1 Criterios relacionados con la energía	37
2.2.3 Indicadores de rendimiento energético	17	4.4.2 Criterios de calidad y diseño	38
2.2.4 Ejemplo: carreteras en áreas urbanas	18	4.4.3 Marca de conformidad	41
2.2.5 Ejemplo: carreteras en áreas rurales	19	4.4.4 Costes del ciclo de vida/CTP	42
3. Componentes y diseño de la iluminación	21	4.4.5 Asuntos contractuales	42
3.1 Componentes del sistema de iluminación	21	4.4.6 Disminución de residuos y recuperación de materiales	43
3.1.1 Sistemas ópticos	22	4.5 Criterios de adjudicación de PremiumLightPro: ponderación y calificación	43
3.1.2 Sistemas de soporte	25	Bibliografía	45
3.1.3 Sistemas eléctricos	26	Lista de figuras	46
3.2 Sistemas de control de iluminación vial	26	Lista de tablas	47
3.2.1 Control autónomo	26	Apéndice. Criterios de adquisición para alumbrado público LED	48
3.2.2 Control centralizado	25		
3.2.3 Control dinámico	27		
3.3 Estrategias de control de iluminación vial	28		
3.3.1 Temporizador astronómico	28		
3.3.2 Aprovechamiento de luz natural	29		
3.3.3 Detección de tráfico	29		

Acrónimos y abreviaturas

AECI	Indicador del Consumo de Energía Anual
AFV	<i>Abrupt Failure Value</i> (tasa de fallo)
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
CCT	Temperatura de color correlacionada
CCV	Coste del Ciclo de Vida
Cd	Candela, unidad del sistema internacional de intensidad luminosa
CE	Comisión Europea
CEI	Comisión Electrotécnica Internacional
CIE	Comisión Internacional de la Iluminación
CPE	Contratación Pública Ecológica
CTP	Coste total de propiedad
DALI	Interfaz de Iluminación direccionable digitalmente
Duv	Distancia cromática al lugar planckiano
ECEEE	Consejo Europeo para una Economía de Energía Eficiente
EPA	Agencia de Protección Ambiental Danesa
EPBD	Directiva de eficiencia energética en edificios
ESE	Empresa de Servicios Energéticos
GLS	Lámpara incandescente no direccional
HCL	<i>Human Centric Lighting</i> (luz centrada en el ser humano)
IEA SSL	<i>International Energy Agency 4E Solid State Lighting Annex</i>
IRC	Índice de reproducción cromática
K	Kelvin, unidad de temperatura de color correlacionada
LED	Diodo emisor de luz
LEF	Factor de potencia en las luminarias
LFC	Lámpara Fluorescente Compacta
LFL	Tubos Fluorescentes Lineales
LiFi	Comunicación inalámbrica de alta velocidad basada en modulación de luz LED de alta frecuencia
LLMF	Factor de mantenimiento del flujo de la lámpara
LMF	Factor de mantenimiento de la luminaria
lm	Unidad del Sistema Internacional para el flujo luminoso: lumen
LOR	<i>Light Output Ratio</i>
LSF	Factor de supervivencia de la lámpara
lux	Unidad del Sistema Internacional para la iluminancia. 1 lux = 1 lm/m ²
PDI	Indicador de Densidad de Potencia
PIR	Sensor infrarrojo pasivo
PVD	Pantalla de Visualización de Datos
Ra	Medida del índice de reproducción cromática
RVA	<i>Red Green Blue</i> (mezcla de colores en las lámparas LED)
SDCM	<i>Standard Deviation Colour Matching</i> (desviación estándar de correspondencia de colores)
ta	Temperatura ambiente nominal: temperatura máxima sostenida para la operación normal de la luminaria
tq	Temperatura ambiente de calidad nominal: temperatura más alta sostenida para un nivel de rendimiento definido
W	Vatio: un julio por segundo (tasa de conversión o transferencia de energía)



1. Introducción

1.1 Los beneficios de la iluminación LED

La tecnología LED avanza rápidamente y ofrece un gran potencial de ahorro de energía. El aumento de la eficacia y la mejora del diseño de luminarias y control de la iluminación permite mejorar la optimización de diferentes condiciones de iluminación, incluyendo vías de tráfico. Si bien la implementación de iluminación LED para espacios exteriores está empezando a hacerse realidad en el mercado, su uso en las calles de las ciudades europeas no se ha extendido. Existe un gran potencial para mejorar la implementación de la tecnología LED, así como para mejorar las políticas locales y nacionales relacionadas con su aplicación.

La iniciativa PremiumLight-Pro apoya el desarrollo de dichas políticas entre otras mediante:

- La creación de guías sobre la compra, diseño, implementación e instalación de luminaria LED tanto en interiores como en exteriores del sector público y privado.
- La prestación de servicios de: educación, capacitación e información para diseñadores, arquitectos, instaladores y consultores;
- La divulgación de buenas prácticas basadas en las políticas de iluminación.

Las guías proporcionadas en este documento se centran en el diseño y compra ecológica de sistemas de alumbrado vial. Están principalmente destinadas a profesionales del sector de compras y a los responsables a nivel autonómico, local y municipal a cargo de renovar o encargar nuevas instalaciones de alumbrado público. Además, las directrices pueden ser útiles para diseñadores

y planificadores de alumbrado vial, empresas contratantes, especialistas y consultores de energía.

Se recomienda utilizar esta guía en función de los antecedentes específicos y el propósito del lector. Los expertos que ya están familiarizados con los conceptos básicos de iluminación vial LED pueden, por ejemplo, consultar directamente las recomendaciones específicas de PremiumLight-Pro para los requisitos de adquisición en el capítulo 4. Los expertos menos familiarizados con los elementos básicos pueden consultar primero los capítulos 2 y 3, que recogen toda la información relevante y necesaria para entender el capítulo 4, donde se encuentran los aspectos importantes de calidad y eficiencia para el alumbrado público junto con la norma EN 13201.

1.2 Recursos adicionales

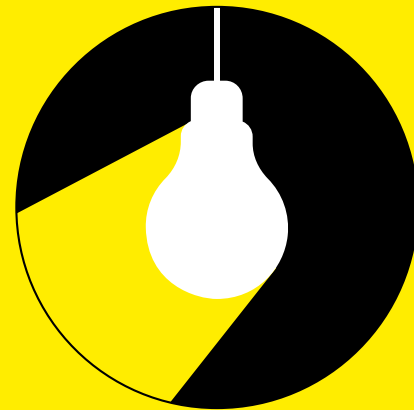
De forma complementaria PremiumLight Pro ofrece herramientas de cálculo para analizar si un producto cumple con los criterios de compra de Premium Light Pro de forma rápida y automatizada, o también para estimar y comparar los costes de ciclo de vida de una o varias luminarias.

Estas herramientas son gratuitas y pueden descargarse accediendo al siguiente enlace:

<http://www.premiumlightpro.es/iluminacion-exterior/manuales-y-descargas>



2. Calidad, seguridad y eficiencia en el alumbrado vial



2.1 Introducción

La tecnología LED puede ser una buena alternativa a los sistemas actuales de iluminación vial, si cumplen con los criterios sobre calidad del sonido, eficiencia y seguridad. Los siguientes capítulos proporcionan una visión general de los criterios esenciales y explican aspectos específicos de la tecnología LED.

2.1.1 Criterios de calidad

Los criterios de calidad describen, entre otros, aspectos esenciales como la luminancia, el color de la luz, la reproducción del color, la distribución de la luz, el parpadeo o el deslumbramiento, entre otros.

2.1.1.1 Luminancia

Para cuantificar la cantidad de luz proporcionada por un sistema de iluminación se utilizan diferentes métricas:

El flujo luminoso (medido en lumen, o lm) es la cantidad total de radiación emitida por una fuente de luz visible para el ojo humano. Como la sensibilidad del ojo humano varía para diferentes longitudes de onda (es mayor para la luz verde que para la roja o azul), el flujo luminoso se ajusta en relación a dichos parámetros.

La intensidad luminosa (medida en candela, o cd $1\text{ cd} = 1\text{ lm/sterorradián}$) representa la distribución espacial de la luz calculada como flujo luminoso en un ángulo determinado de una fuente de luz. Para el alumbrado público, la distribución espacial debe garantizar que la carretera, el mobiliario urbano y los usuarios de la vía estén adecuadamente iluminados, mientras que cualquier iluminación ascendente suele ser indeseable (ver sección 2.1.1.6).

La iluminancia (medida en lux, o lx; siendo $1\text{ lux} = 1\text{ lm/m}^2$) representa la cantidad total de luz que llega a una

determinada superficie. Los criterios mínimos se establecen para diferentes clases de carreteras, excepto para autopistas (ver sección 2.2.1). Los requisitos mínimos de iluminancia más frecuentes para carreteras con un tráfico complejo (por ejemplo, con distancias de visibilidad inferior a 60 m, o con espacio para ciclistas o peatones) tienen un rango de 7,5 a 50 lx (ver sección 3.1.1). Las recomendaciones para los requisitos de iluminancia y luminancia estándar se especifican en la EN 13201 (ver sección 2.2).

La luminancia, calculada en cd/m^2 , representa el brillo de las superficies u objetos iluminados tal como los percibe el ojo humano. La luminancia mínima para las vías de tráfico de velocidad media a alta se mueve entre 0,3 y 2 cd/m^2 . [EN 13201-2] Por ello, normalmente se encuentra dentro del llamado «rango mesópico» (entre 0,001 y 3 cd/m^2) que combina la visión a altos niveles de luz (fotópica) y a bajos niveles (escotópica). En este rango, el tiempo de reacción a los nuevos estímulos está determinado por los contrastes de iluminación y color, por lo que tanto la luminancia del área iluminada como la representación del color de la fuente de luz (ver sección 2.1.1.3) son importantes para la percepción humana y para la seguridad del tráfico. Los requisitos mínimos de luminancia se especifican para carreteras de velocidad media a alta (véase 2.2.1).



Figura 1 Diferentes definiciones de cantidad de luz.

2.1.1.2 Deslumbramiento

El deslumbramiento es un efecto visual desagradable causado por una distribución desfavorable de la luminancia o por altos contrastes, que fuerza a la vista a ajustarse rápidamente [véase también la EN 12665-1]. Normalmente, se distinguen dos tipos de efectos de deslumbramiento: (1) discapacidad por deslumbramiento, causada por una dispersión de luz en el ojo que reduce la sensibilidad al contraste e (2) incomodidad por deslumbramiento, que provoca una sensación subjetiva de incomodidad.

Si bien la susceptibilidad al deslumbramiento puede variar entre diferentes individuos (los efectos se acentuarán con la edad), se puede calcular de forma objetiva. En un ambiente muy iluminado, el ojo humano puede detectar diferencias en la luminancia hasta un cierto umbral. Si se compara este umbral con el del mismo entorno tras agregar una fuente de deslumbramiento, obtenemos el incremento del umbral.

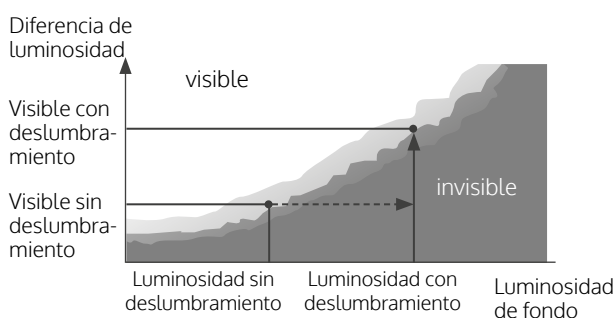


Figura 2 Incremento del umbral

La incomodidad por deslumbramiento, por otro lado, es un fenómeno subjetivo y no hay consenso sobre cómo debería calificarse, aunque la escala más utilizada en el campo de la iluminación pública automotriz es la escala de DeBoer, de 9 puntos, en la que 1 corresponde a "insoportable" y 9 a "imperceptible".

La discapacidad por deslumbramiento reduce la capacidad de percibir pequeños contrastes, y puede afectar a los conductores a la hora de identificar objetos cruciales, controlar las luces o evaluar situaciones que pueden ser críticas, entre otras. Por lo tanto, el deslumbramiento es también un peligro para el resto de usuarios de la vía. El deslumbramiento provocado por las luces de carretera LED está influenciado por los siguientes factores:

- La relación entre la iluminancia en el punto de deslumbramiento donde se encuentra el observador y la luminancia de fondo.

- El ángulo entre la fuente de deslumbramiento y el campo visual del observador.

Las fuentes de luz LED pueden proporcionar niveles de luminancia muy altos que pueden causar deslumbramiento. Por esta razón, las lámparas LED suelen estar equipadas con difusores que reducen la luminancia. Los sistemas de alumbrado público deben diseñarse de manera que se eviten niveles de luminancia muy diferentes en la fuente de luz y en las áreas iluminadas. Además, una variación constante de los niveles de iluminación puede causar fatiga visual y se debe evitar sobre todo en trayectos prolongados. Unos niveles de luminancia más altos facilitan que la vista se adapte a los faros de otros vehículos. Para mayor discusión sobre el diseño de los sistemas de alumbrado vial, consulte el Capítulo 3.

Existen diferentes tipos de incomodidad y discapacidad por deslumbramiento que nos permiten clasificar las diferentes categorías de pantallas para lámparas. Las pantallas utilizadas para la discapacidad por deslumbramiento corresponden a los niveles G1-G6 y se describen con mayor detalle en la EN 13201-2 (consulte la Tabla 1). Los tipos de pantallas para la incomodidad por deslumbramiento se especifican como D1-D6 (consulte la Tabla 2).

Tabla 1 Tipos de discapacidad por deslumbramiento (EN 13201-2 y Vejregler2015)

Tipo de pantalla	Intensidad luminosa máxima en cd/klm			Pantallas
	a 70°	a 80°	a 90°	
G1		200	50	Opcional
G2		150	30	Opcional
G3		100	20	Opcional
G4	500	100	10	Ninguna a más de 95°
G5	350	100	10	Ninguna a más de 95°
G6	350	100	0	Ninguna a más de 95°

Tabla 2 Clasificación de incomodidad por deslumbramiento (VEJ 2015)

Tipo de deslumbramiento	
D0	No se especifica
D1	7000
D2	5500
D3	4000

Tipo de deslumbramiento	
D4	2000
D5	1000
D6	500

2.1.1.3 Color, temperatura y cromaticidad de color

Las fuentes de luz a menudo emiten una amplia gama de longitudes de onda, aunque, por lo general, se percibe un solo color. Este color aparente se conoce como la «temperatura de color» de la fuente de luz. La temperatura de color corresponde a un color de referencia de un lugar planckiano conceptual que se calienta a una temperatura específica (calculada en kelvin). El sol, por ejemplo, tiene una temperatura de color de 5780 K cuando se observa al mediodía y se aproxima mucho a un radiador del lugar planckiano.



Figura 3 Temperatura de color (para hacer una recreación <https://academo.org/demos/colour-temperature-relationships/> para valores RGB).

El color de luz utilizado para el alumbrado público suele oscilar entre el ámbar, el neutro y el blanco azulado, que corresponden a temperaturas de color entre 1900 y 5000 Kelvin. Se ha demostrado que en diferentes regiones europeas se tienen preferencias diferentes con respecto a los colores, tanto para la iluminación interior como para la exterior. Por ejemplo, a nivel municipal español, los técnicos municipales prefieren iluminar las zonas exteriores con luz cálida, ya que la fría se considera desahagible.

La iluminación LED, a diferencia de varias tecnologías de iluminación antiguas, permite ajustar o seleccionar la temperatura de color de forma flexible para diversas aplicaciones. Sin embargo, se debe considerar que la temperatura de color de la fuente de luz tiene un efecto sobre la eficiencia energética del sistema de iluminación y puede causar efectos fisiológicos para los seres humanos y los animales. La luz blanca fría con una temperatura de color alta facilita una mayor eficiencia energética del sistema de iluminación. Por otro lado, un elevado nivel de luz azul en las fuentes de luz blanca fría también puede causar efectos fisiológicos a tener en cuenta (ver 2.1.1.6), tanto en seres humanos como en animales, y

contaminación lumínica por la noche. Se ha demostrado que la luz blanca favorece la percepción del ojo humano de manera más efectiva que la luz ámbar, pues se percibe una mayor intensidad. Por esa razón, se prefiere luz blanca (por ejemplo, de 4000 K) en carreteras complicadas con diferentes tipos de usuarios (automóviles, ciclistas, peatones, etc.). En contraposición, se suelen preferir temperaturas de color más bajo (luz blanca cálida) en las áreas domésticas.

En general, la selección de la temperatura de color es un aspecto importante en el diseño de la iluminación vial. La iluminación LED puede cubrir todo el espectro de temperaturas de color y, por lo tanto, permite una selección muy detallada de la temperatura de color y del color de la luz para diferentes necesidades y funciones.

Además de la temperatura de color, la cromaticidad (determinadas coordenadas de un color de luz en el espectro cromático) permite indicar la uniformidad del color de un tipo de lámpara. Estas coordenadas de color también son útiles para describir el cambio del color de la luz a lo largo del tiempo. Las diferencias del color de la luz en un lote de lámparas o durante un cierto periodo de tiempo se miden con las llamadas elipses de MacAdams, cuyo tamaño indica la consistencia del color de una lámpara o tipo de luminaria específico. Los requisitos para la consistencia cromática de un lote de lámparas y su cambio con el paso del tiempo deberían especificarse para la compra. Los requisitos mínimos para los productos vendidos en el mercado de la UE se indican en la correspondiente normativa europea. Actualmente, el requisito mínimo establecido por la legislación de diseño ecológico es una elipse MacAdams de cinco pasos.

2.1.1.4 Reproducción cromática

Las fuentes de luz con la misma temperatura de color pueden reproducir de distinta manera los colores de objetos y áreas iluminados, ya que la reproducción de color no depende de la temperatura de color de una fuente de luz, sino de las longitudes de onda espectrales emitidas por una fuente. Las fuentes de luz que proporcionan un espectro completo de longitudes de onda reproducen cualquier color de los objetos iluminados de manera muy natural, pero las fuentes de luz que sólo emiten unos colores predeterminados sólo favorecen la reproducción de dichos colores en concreto.

Un ejemplo práctico es el reconocimiento facial para los peatones, para el que es también necesario poder percibir los contrastes de color. Se ha demostrado que deben

poder reconocer rostros a 4 m de distancia para sentir mayor seguridad (consulte las clases de iluminación P, HS y SC en la sección 2.2.2), por lo que es especialmente importante en zonas con problemas de seguridad ciudadana. [LRT]

Recomendamos que el índice de reproducción cromática sea alto para aquellas situaciones que lo requieran (70 Ra suele ser suficiente en calles con un patrón simple de iluminación), aunque no es un requisito indispensable en la mayoría de casos. Se debe tener presente que, aunque el LED PC Ámbar ofrece un IRC notablemente bajo, por otro lado permite temperaturas de color muy cálidas con muy poca radiación azul.

Tanto el color de la luz (temperatura del color) como la reproducción cromática de una fuente de luz son relevantes para la visibilidad y percepción de los objetos de nuestro entorno.

Tabla 3 Índice de reproducción cromática para sistemas de alumbrado vial [BG]

Tipo de lámpara	IRC
Mercurio	40–60
Halogenuros metálicos	70–95
Vapor de sodio a baja presión (SBP)	monocromático
Vapor de sodio a alta presión (SAP)	20
LED	+80

2.1.1.5 Mantenimiento del color

El mantenimiento del color es un tema especialmente importante en la iluminación LED, ya que al envejecer los módulos LED pueden cambiar su temperatura y coordenadas del color. Los problemas relacionados con el mantenimiento del color pueden deberse a la degradación del material utilizado para encapsular las luces LED, las lentes de los LED, la contaminación u otros tipos de degradación del sistema. En la actualidad se estudian otras causas, como las temperaturas de funcionamiento elevadas, las corrientes de funcionamiento todavía más altas y la decoloración de los materiales ópticos debido a la radiación azul o ultravioleta.

Hasta el momento, solo algunos fabricantes de paquetes LED ofrecen garantías para el mantenimiento del color, y no existen procedimientos estándar para predecirla [ENG].

La desviación del color con el paso del tiempo puede especificarse y evaluarse mediante las coordenadas de color y las elipses MacAdam.

2.1.1.6 Contaminación lumínica

La iluminación artificial puede tener efectos perjudiciales en personas y animales, incluyendo la indeseada difusión de la luz en exteriores y la contaminación lumínica, que repercute de manera adversa en la salud humana, el ecosistema y la visión del cielo nocturno. Para los humanos, las consecuencias van desde la iluminación del cielo nocturno en ciudades y alrededores hasta las interrupciones del ciclo del sueño mediante la iluminación exterior en áreas residenciales. Los animales, por otro lado, usan fuentes de luz natural como ayuda para la navegación y, por lo tanto, pueden confundirse o asustarse con la iluminación artificial. En general, los seres vivos que tiene una actividad nocturna necesitan condiciones de total oscuridad para poder desarrollarla con garantías y competir de manera natural con otras especies. Muchos animales perciben unos rangos de longitudes de onda diferentes a los del ojo humano.

Las fuentes de luz LED pueden atraer menos insectos que otras fuentes de iluminación utilizadas en el alumbrado vial. Los LED «blancos cálidos», con una temperatura de color inferior o igual a 3000 K, atraen considerablemente menos insectos que los «blancos fríos», de una temperatura de color de 6000 K. Aun así, la temperatura de color más conservadora desde un punto de vista medioambiental es la conocida como PC-Ámbar, que tiene una temperatura de color de 1900 K y una tonalidad anaranjada en la luz. [SdN]

Se puede reducir la contaminación lumínica dirigiendo la luz de las luminarias sólo hacia las áreas que se busca iluminar. Las fuentes de luz LED direccionales son especialmente adecuadas para lograr una distribución optimizada de la luz. Las emisiones de luz por encima de la fuente de luz suelen no ser deseables.

La relación entre la luz emitida hacia arriba desde una luminaria con respecto al flujo total saliente se conoce como flujo hemisférico superior (FHS):

$$\text{FHS} = \frac{\text{luz emitida hacia arriba desde la luminaria}}{\text{flujo total saliente de la luminaria}}$$

Dependiendo de la distribución de luz vertical, las luminarias se dividen en cuatro tipos básicos [IIEC]:

Tabla 4 Clasificación del grado de protección contra entrada (IP).

Código IP	Primer dígito	Segundo dígito
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 las 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

[IIEC, 2015]

- Luminarias *cut-off* completas: emiten un máximo del 10% del lumen total de la lámpara en un ángulo de 80° por encima del nadir, y 0% en un ángulo de 90° por encima del nadir.
- Luminarias *cut-off*: emiten un máximo del 10% del lumen total de la lámpara en un ángulo de 80° por encima del nadir y del 2,5% en ángulo de 90° por encima del nadir.
- Luminarias *semi-cut-off*: emiten un máximo del 20% del lumen total de la lámpara perceptible en un ángulo de 80° por encima del nadir, y del 5% en un ángulo de 90° por encima del nadir.
- Luminarias *non-cut-off*: emiten luz en todas las direcciones.

Esta definición tradicional de *cut-off* incluye seis clases diferentes de intensidad luminosa en la norma EN 13201-2, con valores máximos para un ángulo de 70° y superior. Consulte la sección 2.2.2 para obtener más información sobre la EN 13201-2.

Es importante tener en cuenta la luz emitida hacia arriba una vez instalada la luminaria (FHSinst), ya que en ocasiones puede variar respecto a FHS si se inclina la luminaria, por ejemplo.

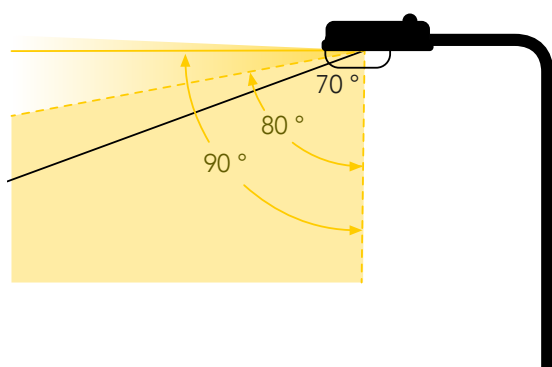


Figura 4 Definición de los parámetros cut-off

Otras opciones para reducir la contaminación lumínica:

- **Reducir la iluminancia:** Esta medida debe sopesarse en función de los requisitos de seguridad para los usuarios de las carreteras. El control de iluminación inteligente puede ajustar la iluminancia a los niveles apropiados para periodos de tiempo y situaciones específicos (consulte la sección 3.5) [JAE]. Sin embargo, apagar o reducir la iluminación más tarde en la noche (por ejemplo, entre la medianoche y las 5:30 a.m.) es poco probable que proporcione muchos beneficios para la fauna local, ya que las especies nocturnas están activas en las primeras horas de la noche, cuando los sistemas de alumbrado todavía funcionan al máximo nivel [BAT]. No obstante, una luz dinámica que sea capaz de variar la iluminancia en función del tráfico puede suponer un ahorro energético significativo y un menor impacto ambiental.
- **Cambiar el espectro:** La sensibilidad frente a diferentes colores claros varía de una especie a otra. En general, las tecnologías de iluminación que emiten un espectro reducido de luz blanca cálida, como las lámparas de vapor de sodio a baja presión (SBP), tienen un impacto ecológico menor. Con la tecnología LED, la temperatura del color puede adaptarse a las necesidades, aunque siempre debe cumplir con los requisitos de calidad y seguridad.

La tecnología LED se puede usar para crear un nivel de iluminación más uniforme. Tanto las lámparas de descarga de alta intensidad (HID) como las lámparas vapor de sodio a alta presión (SAP) o de halogenuros metálicos (MH) tienen su nivel máximo de iluminación directamente debajo de la luminaria, aunque dejan espacios oscuros entre las luminarias.

2.1.2 Criterios de seguridad

Las luminarias para alumbrado vial deben protegerse contra partículas externas, sólidas o líquidas, impactos mecánicos y fluctuaciones de voltaje para garantizar su continuo funcionamiento de forma adecuada. Para ello, se suelen indicar los requisitos de protección contra el ingreso, impactos y protección de voltaje.

2.1.2.1 Grado de protección IP

La resistencia de las luminarias contra materiales externos se indica mediante el llamado código de protección contra entrada (IP), un número de dos dígitos definido en la norma IEC 60529. El primer dígito representa la resistencia contra materiales sólidos, mientras que el segundo califica la resistencia frente a los líquidos (véase la Tabla 5).

Para iluminación vial, se recomienda emplear luminarias IP65 para garantizar una adecuada resistencia al polvo y las inclemencias del tiempo. [IEA]

2.1.2.2 Impacto mecánico

La resistencia de las luminarias a los impactos mecánicos se indica mediante su código de impacto mecánico (IK), un número definido por en las normas IEC 62262:

Tabla 5 Clasificación del impacto mecánico (IK)

Clasificación IK	Fuerza del impacto (en julios)
00	–
01	0.15
02	0.2
03	0.35
04	0.5
05	0.7
06	1
07	2
08	5
09	10
10	20

Las luminarias exteriores pueden recibir golpes de ramas de árboles sueltas u otros objetos a causa de fuertes vientos, e incluso pueden sufrir vandalismo. Por ello, se recomienda un mínimo de IK08.

2.1.2.3 Protección del voltaje

Las sobretensiones transitorias (aumentos de tensión por encima del voltaje de diseño estándar que pueden durar desde microsegundos hasta unos pocos milisegundos) pueden dañar los módulos LED y el engranaje de control. Su resistencia frente a tales fluctuaciones se mide mediante la clasificación de protección contra sobretensiones.

Si bien es cierto que la EN 61547 regula los criterios mínimos de protección contra sobretensiones para iluminación LED, también es verdad que sus especificaciones para la fase de 0,5 kV de cable neutro son demasiado simples, insuficientes para situaciones más serias como el impacto de rayos. Por este motivo, muchos proyectos de alumbrado vial exigen una protección contra las sobretensiones de hasta 10 kV. [ZVEI2]

2.1.3 Criterios de eficiencia

En comparación con la mayoría de las otras tecnologías, los LED alcanzan niveles de eficiencia energética (lumen por vatio de potencia) muy altos.

Tabla 6 Valores típicos de eficacia energética según el tipo de lámpara exterior [BG].

Tipo de lámpara	Eficiencia energética (lm / W)
Incandescente	10
Halógena	20
Vapor de Mercurio	50
Fluorescente compacta	65
Fluorescente	75
Halogenuros metálicos	90
Vapor de sodio a alta presión (SAP)	100
Vapor de sodio a baja presión (SBP)	130
LED neutro 4000°K	140
LED cálido 3000°K	130
LED PC-Ambar	95

Referencia: Tabla eficacias 2018. Generalitat de Catalunya, Departamento de Territorio y Sostenibilidad. Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático.

La eficiencia total de los sistemas LED no depende solamente de la eficacia del módulo LED, sino también de la luminaria, el sistema de control de iluminación y el diseño general del sistema de iluminación. Por esta

razón, es importante distinguir la eficacia a nivel de módulo LED, luminaria y el conjunto del sistema. Los valores de la tabla son valores típicos, pero los valores máximos podrían ser notablemente mayores para algunas tecnologías.

La eficiencia del conjunto del sistema está influenciada, entre otros, por la distribución espacial de la luz (intensidad luminosa) y la disposición geométrica de la carretera y el sistema de iluminación (véanse 3.2 y 3.3). Para evaluar la eficiencia energética a nivel de sistema de carreteras, se estableció el indicador de densidad de potencia (PDI, del inglés *Power Density Indicator*) como medida.

Mientras que el indicador de densidad de potencia proporciona información útil sobre la eficiencia energética para un determinado estado de iluminación en un sistema de alumbrado vial, los niveles de iluminación pueden cambiar durante la noche y el año dependiendo de los sistemas de control de iluminación implementados. La eficiencia energética total y el consumo de energía a lo largo de un año, por lo tanto, se expresan mejor mediante el indicador de consumo anual de energía (AECI, del inglés *Annual Energy Consumption Indicator*). La Sección 2.2.3 explica el PDI y AECI en mayor detalle.

2.1.4 Vida útil

Para medir la vida útil de los módulos LED, el estándar IEC 62722-2-1 define las siguientes métricas:

La vida nominal media L_x indica el periodo de tiempo a partir del cual el módulo LED promedio proporciona menos del x por ciento de su salida de luz inicial. Por ejemplo, $L_{80} 50\ 000$ h significa que la salida de lumen del módulo se reduce en un 20 % después de 50 000 horas de funcionamiento.

La vida nominal $L_x B_y$ indica el porcentaje (y) de los módulos LED con una salida de lumen menor que x después del periodo especificado. Según este indicador, $L_{80} B_{10}$, 50 000h significará que:

- Después de 50 000 horas de funcionamiento, el 10 % de los LED tendrá un flujo luminoso menor al 80 % del original, mientras que el 90% restante ofrecerá por lo menos el 80% de su flujo inicial.

Para poder calcular el mantenimiento del flujo luminoso y expresar el L_x , se utiliza el método aprobado por IES: ANSI/IES LM-80-15 y IES TM-21-11. El procedimiento lm-80 comprueba el mantenimiento del flujo luminoso y su

cromaticidad a lo largo del tiempo. Normalmente son ensayos con una duración de entre 6.000h y 10.000h con intervalos de 1.000h para comprobar la variación del flujo y color del LED.

Es una herramienta utilizada para luego realizar proyecciones del mantenimiento del flujo a más horas.

El TM-21-11 es un método para proyectar el mantenimiento del flujo luminoso de las fuentes de luz LED a partir de los datos obtenidos por los procedimientos que se encuentran en el documento IES LM-80-08.

La tecnología LED puede proporcionar una vida útil muy larga, pero la salida de la luz se deprecia gradualmente con el tiempo. TM-21-11 proporciona el método para determinar cuándo se alcanza el fin de la "vida útil" de un LED, un punto en el que la luz emitida por una luminaria se deprecia a un nivel en el que ya no se considera adecuada para una aplicación específica.

Para que el método de extrapolación TM21 fuera eficaz se puso la siguiente limitación: La proyección del mantenimiento del flujo luminoso L_x nunca puede superar 6 veces los datos de lm-80.

Por ejemplo, las proyecciones según TM21 que usan 10.000 horas de datos LM-80 nunca deben exceder las 60.000 horas.

Para saber más: <https://www.ies.org/about-outreach/position-statements/ps-10-18-ies-position-on-led-product-lifetime-prediction/>

El tiempo de falla abrupta F_z señala el tiempo a partir del cual el z por ciento de los LED ha fallado. Según este indicador, $F_{10} 50\ 000$ t = 35 °C significará que:

- Después de un periodo de 50 000 horas y una temperatura ambiente de 35 °C, el 10 % de las luminarias LED instaladas con los mismos módulos LED han experimentado una falla total.

Debido a la larga vida útil de la luminaria LED y sus ciclos de desarrollo cortos en comparación, debe tenerse en cuenta que los tiempos de vida nominales y los valores de falla son estimaciones estadísticas. La vida útil concreta de una luminaria puede depender de varios factores, pues la falla total y la degradación del flujo luminoso también dependen de los datos de funcionamiento eléctrico y térmico, la temperatura ambiente y otros parámetros. El proyectista debe obtener todos los

datos relevantes de los fabricantes para seleccionar una luminaria adecuada para la función prevista y crear planes de mantenimiento adecuados basados en esta información [ZVEI, 2015]. Los LED tienen una vida útil de 100 000 horas o más, aunque la vida útil del dispositivo de control de la luminaria también debe tenerse en cuenta. Esta suele expresarse como una probabilidad porcentual de falla en un periodo de tiempo, como una tasa de fallo del 0,2 % cada 1000 horas.

2.1.5 Protección del cielo nocturno

En el diseño y gestión del alumbrado exterior se deben contemplar los siguientes criterios ambientales: iluminar sólo donde y cuando sea necesario, con la dirección, los niveles y el color de luz adecuados al uso de la zona.

Entre estos preceptos, uno de los que recientemente ha cobrado mayor protagonismo es el color, debido a la proliferación en los últimos años de luz blanca con elevado componente azul, siendo ésta la más perjudicial para la biodiversidad y las observaciones astronómicas.

Asimismo, conforme a la práctica totalidad de los estudios publicados, la luz con elevada proporción en este color es la que mayor efecto negativo tiene sobre la salud. Por tal motivo, se recomienda el uso de fuentes de luz con reducidas emisiones en la banda azul.

2.1.5.1 Índice espectral G

Con objeto de poder cuantificar este parámetro, se ha desarrollado el Índice espectral G, indicador gestado en Andalucía que caracteriza las propiedades espectrales de las fuentes de luz, posibilitando su clasificación de modo cuantitativo y preciso en función de la cantidad real de luz azul emitida respecto al visible. La inclusión de este parámetro en las especificaciones técnicas de las lámparas aportará un nuevo criterio de sostenibilidad sobre el producto que se adquiere, dando información mucho

En profundidad

A efectos de su cálculo, se ha de tener en consideración que un filtro espectral F es una función de la longitud de onda λ , $F(\lambda)$, que adopta valores entre cero y la unidad y selecciona un intervalo determinado de longitudes de onda al multiplicarlo por un espectro de emisión $E(\lambda)$. De este modo, el espectro filtrado $F(\lambda) \cdot E(\lambda)$ que se obtiene queda anulado en las longitudes de onda en las que $F(\lambda)$ tenga valor nulo, resulta igual a $E(\lambda)$ donde $F(\lambda)$ valga la unidad, y adopta valores inferiores a los de $E(\lambda)$ en las longitudes de onda, si las hubiera, en las que $F(\lambda)$ presenta valores intermedios.

más fidedigna de la que proporciona la temperatura de color en Kelvin (K).

Está previsto que la consejería competente en materia de medio ambiente de Andalucía incorpore el Índice G al nuevo Reglamento para la preservación de la oscuridad natural de la noche frente a la contaminación lumínica. El objetivo es garantizar el uso de fuentes de luz con el mínimo contenido posible en el azul en horas nocturnas y en todo el territorio andaluz. Dependiendo de la zona lumínica en la que se encuentre se debe cumplir con unos valores determinados de Índice espectral G.

2.1.5.2 Descripción y cálculo del índice espectral G

El índice espectral G es un indicador que caracteriza las propiedades espectrales de las fuentes de luz, posibilitando su clasificación de modo cuantitativo y preciso en función de la relación entre la radiancia total emitida en el azul (se considera por debajo de 500nm) y la radiancia total emitida a la que es sensible el ojo humano (es decir, teniendo en cuenta la curva de sensibilidad fotópica del ojo humano).

Los fundamentos teóricos de cálculo de los cocientes, índices de cálculo, y en particular del Índice espectral G, se pueden encontrar en los siguientes documentos de reciente creación:

- [Información adicional del Índice espectral G en la web de la Junta de Andalucía \(2018\)](#).
- [Posibles riesgos de la iluminación LED \(Comité Español de Iluminación\) \(2017\)](#).

Los filtros espectrales utilizados para la obtención del índice G se definen como:

- A. L500: igual a la unidad para valores entre 0 y 500 nm, nulo para valores superiores. Por lo tanto, tiene en cuenta la radiación por debajo de 500 nm, que es la que comúnmente se considera "luz azul", y tiene mayor repercusión ambiental.
- B. V: equivalente a la curva de sensibilidad fotópica de la visión humana definida por los estándares de la *Commission Internationale de l'Éclairage*, normalizada a máximo unidad.

El procedimiento de obtención, a partir de los datos espectrales medidos en los laboratorios, es el siguiente:

Dado el espectro E de una fuente de luz y los filtros espectrales L500 y V, definidos todos ellos en función de la longitud de onda λ por las funciones $E(\lambda)$, $L500(\lambda)$, $V(\lambda)$, el índice espectral G se computa como el resultado de multiplicar por el factor -2,5 el logaritmo decimal del cociente de las integrales de los espectros filtrados, siendo el numerador $E(\lambda) \cdot L500(\lambda)$ y el denominador $E(\lambda) \cdot V(\lambda)$. Las

integrales se efectúan respecto de la longitud de onda en el intervalo 380-780nm.

El cálculo práctico del índice G se efectuará aplicando la siguiente fórmula, a partir del espectro de la fuente de luz $E(\lambda)$ tabulado con resolución (paso de la tabla) de 1nm, y de la función de sensibilidad fotópica de la visión humana $V(\lambda)$ normalizada a máximo unidad y tabulada con la misma resolución.

$$G = -2.5 \log_{10} \frac{\sum_{\lambda=380\text{nm}}^{500\text{nm}} E(\lambda)}{\sum_{\lambda=380\text{nm}}^{780\text{nm}} E(\lambda)V(\lambda)}$$

A fin de facilitar el cálculo de este nuevo indicador, la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio ha desarrollado una sencilla herramienta, disponible en su web (http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portaL_web/web/temas_ambientales/atmosfera/contaminacion_luminica/5_iluminacion/Calculo_indice_G_280518.ods).

Las recomendaciones con las que está trabajando la CMAOT son las siguientes:

Tabla 7 Índice espectral según zona lumínica

Zona lumínica	Índice espectral G
E1, E2 i E3 insertas en E1	$G \geq 2,0$
E3	$G \geq 1,5$
E4	$G \geq 1,0$

Como orden de aproximación, pero no vinculante, puesto que debería calcularse el Índice G en cada espectro, se pueden considerar los datos de la Tabla 8.

Tabla 8 Índice espectral según tecnología de iluminación

Zona lumínica	Índice espectral G	Comparación entre índice espectral G / CCT (K) para distintos tipos de fuentes de luz	
		Cumplen	No cumplen
E1, E2 y E3 insertas en E1	$G \geq 2,0$	PC ámbar: 4,9 / 1727 Vapor de sodio baja presión: 3,8 / 1834 Vapor de sodio alta presión: 2,2 / 2010 Incandescente: 2,1 / 2554 Fluorescente: 2,05 / 3000 LED: 2,1 / 2244 LED: 2,02 / 2500	LED: 1,9 / 2340 LED: 1,6 / 2680 Incandescente: 1,5 / 2574
E3	$G \geq 1,5$	LED: 1,6 / 3000	Fluorescente: 1,46 / 2569 Halogenuros metálicos: 1 / 2719 LED: 1,2 / 3000
E4	$G \geq 1,0$	LED: 1,6 / 4000	Halogenuros metálicos: 0,4 / 4700 LED: 0,8 / 4000

2.2 La norma europea EN 13201

El objetivo principal del alumbrado vial es garantizar la seguridad de las carreteras en las horas de poca luz natural. Un buen sistema permite que los usuarios de la vía distingan personas, obstáculos y fuentes de peligro cercanas o en la carretera. Esto les permite actuar en consecuencia, lo que significa una reducción efectiva de los accidentes graves en la oscuridad.

Los criterios de calidad para el alumbrado vial se establecen en la norma europea EN 13201 «Iluminación vial», que incluye los siguientes apartados:

- PD CEN/TR 13201-1:2014: *Guidelines on selection of lighting classes* (Directrices para la selección de clases de iluminación).
- EN 13201-2:2015: *Performance requirements* (requisitos de rendimiento).
- EN 13201-3:2015: *Calculation of performance* (Cálculo del rendimiento).
- EN 13201-4:2015: *Methods of measuring lighting performance* (métodos para medir el rendimiento de iluminación).
- EN 13201-5:2015: *Energy performance indicators* (indicadores de rendimiento energético).

2.2.1 Selección de clases de iluminación

En la PD CEN/TR 13201-1:2014 se establecen un sistema de parámetros que describe de forma detallada las situaciones de iluminación más frecuentes en el tráfico rodado. Gracias a este estándar europeo, se pueden determinar los requisitos de iluminación según las características específicas de cada carretera. Para identificar las clases de iluminación, descritas en cuanto a requisitos de iluminación cualitativa y cuantitativa, se utilizan varios

parámetros de iluminación como la geometría de la zona de tráfico, el uso de la vía y los factores ambientales.

La PD CEN/TR 13201-1:2014 utiliza un procedimiento de selección para establecer las clases de iluminación de M1 a M6, de C0 a C6, y de P1 a P6, pero no ofrece directrices para seleccionar las clases HS, SC y EV, disponibles para cada país a nivel nacional.

Los criterios de selección para cada subclase, señalada con un dígito, se basan en la geometría de la carretera, el tráfico y el entorno. Los criterios efectivos, de acuerdo a la PD CEN/TR 13201-1:2014, incluyen:

- Velocidad de proyecto o velocidad de diseño
- Velocidad de desplazamiento (para la clase de iluminación P)
- Volumen de tráfico
- Composición del tráfico
- Separación de calzada
- Densidad de tráfico en una intersección
- Vehículos aparcados
- Luminosidad ambiental
- Reconocimiento facial (para la clase de iluminación P)
- Conducción

Ciertos parámetros, como el volumen del tráfico, la composición del tráfico y la luminosidad ambiental, pueden variar de una temporada a otra o entre diferentes horas de la noche. Por lo tanto, partes de la carretera pueden corresponder a una clase de carretera diferente.

[PD CEN/TR 13201-1:2014; EN 13201-2:2003; EN 13201-2:2015]

2.2.2 Requisitos de rendimiento, métodos de medición y cálculo

La segunda parte de la EN 13201 proporciona los parámetros para las diferentes clases de iluminación, estableciendo un conjunto de requisitos fotométricos que dependen de: (1) las necesidades y requisitos de los usuarios de la carretera y (2) los tipos de vía en cada caso.

Las clases de iluminación simplifican el desarrollo y la aplicación de productos de alumbrado vial y su mantenimiento en los estados miembros de la UE. Para armonizar ampliamente los requisitos, las clases de iluminación se establecieron sobre la base de las normas nacionales de los Estados miembros y las normas CIE 115: 2010.

La segunda parte introduce métricas adicionales que establecen los criterios mínimos o máximos para cada subclase.

Las carreteras de clase M (autopistas) son rutas para el tráfico motorizado con una velocidad de conducción media o alta. Para cumplir los criterios de la normativa, se debe garantizar: (1) una luminancia promedio mínima en la superficie de la carretera; (2) una uniformidad mínima de la luminancia en la superficie de la carretera, con valores mínimos adecuados a condiciones secas y húmedas; (3) una uniformidad mínima de luminancia a lo largo de la parte central de las vías; (4) un máximo de deslumbramiento; (4) que la iluminación fuera de la calzada no disminuya con demasiada rapidez.

Las carreteras de clase C (de dos carriles o redes secundarias) representan áreas donde los vehículos motorizados suelen encontrarse otros usuarios de la carretera (peatones o ciclistas) o deben conducir por zonas de tráfico complicado, como intersecciones de carreteras complejas, rotondas, áreas de espera, etc. Aunque los sistemas de iluminación para las carreteras de la clase C necesitan cumplir con una uniformidad mínima, el resto de criterios para las carreteras de clase M no son en su mayoría aplicables o al tipo C. Por ejemplo, muchas áreas no tienen definida una franja clara donde se calcule cómo disminuye la iluminación más allá de la calzada. En cambio, se exige que mantengan una iluminación horizontal promedio en el área en la carretera. Las carreteras de clase C, a diferencia de las de clase M, no disponen de criterios obligatorios para minimizar el deslumbramiento. Aun así, el Anexo C de EN 13201-2 ofrece criterios de carácter informativo.

Las carreteras de clase P y HS están destinadas a peatones y ciclistas en aceras, carriles bici, carriles de emergencia, áreas separadas o a lo largo de la calzada de una carretera, así como en caminos residenciales, calles peatonales, estacionamientos, patios de recreo, etcétera. Los criterios para esta clase incluyen: (1) una iluminación promedio mínima y (2) una luminancia mínima constante en el área de la carretera. En caso de que el reconocimiento facial sea importante, deben cumplirse los criterios adicionales para la iluminación del plano vertical, en un punto, y la iluminación mínima semicilíndrica, en un plano sobre el área de la carretera. Como alternativa a la clase P, la clase HS basa sus criterios en la uniformidad general de la luminancia de la superficie de la carretera, así como en la luminancia hemisférica promedio.

Las carreteras de clase SC son un tipo adicional para áreas peatonales donde el reconocimiento facial y la sensación de seguridad son especialmente importantes. Exigen unos niveles mínimos de iluminación semicilíndrica.

Tabla 9 Ejemplos D_p (en $[W/(lx \cdot m^2)]$) / D_e (medido en $[(kWh)/m^2]$) valores para una vía de dos carriles para el tráfico motorizado.

Clases de iluminación	Tipo de lámpara				
	Mercurio	Halogenuro metálico	Vapor de sodio de alta presión	Vapor de sodio de baja presión	LED
M1		45/5.0		34-41/4.0-5.3	25-32/3.0-3.8
M2	100/10.8	50/4.6		31-40/3.2-4.2	24-27/2.4-2.5
M3	84/6.0	47/3.6	40/2.8-3.1	34-38/2.5-2.6	23-25/1.5
M4	90/5.0	60/3.1	41-47/2.3-2.5	34-42/1.8-2.4	23/1.1
M5	86/3.2	30/0.9	47/1.7	38-45/1.1-1.6	24/0.8
M6	85/1.9	37/0.6		45-49/0.2-1.2	20-27/0.4-0.5

Las carreteras de clase EV son un tipo adicional para áreas de intercambio donde las superficies verticales necesitan percibirse con claridad.

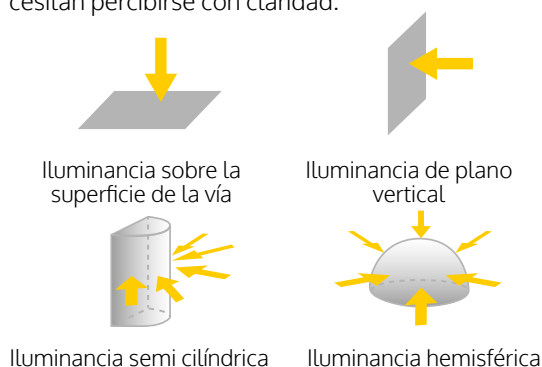


Figura 5 Tipos de criterios de iluminación

El anexo informativo A de la EN 13201-2 introduce seis clases diferentes de intensidad luminosa para reducir el deslumbramiento cuando no es posible calcular la métrica normal (incremento del umbral). Las clases $G^* 1$, $G^* 2$ y $G^* 3$ corresponden a los conceptos tradicionales de «*semi cut-off*» y «*cut-off*», mientras que $G^* 4$, $G^* 5$ y $G^* 6$ corresponden a «*full cut-off*». Consulte la definición de estos términos en la sección 2.1.1.4.

La EN 13201-3 describe los métodos y procedimientos matemáticos que se deben utilizar para calcular las características de rendimiento de iluminación definidas en la EN 13201-2.

La EN 13201-4 describe los métodos para medir el rendimiento de la iluminación. Hay cuatro tipos básicos de situaciones en las que se deberían realizar medidas:

- En la fase de prueba final, se deben tomar medidas para verificar el cumplimiento de los requisitos estándar o las especificaciones del diseño.
- A intervalos predeterminados, durante la vida útil del alumbrado vial para cuantificar la degradación del rendimiento de la iluminación y determinar la necesidad de mantenimiento.
- Continuamente o en intervalos predeterminados, para ajustar el flujo luminoso de las luminarias si la

carretera tiene luces adaptables (la luminancia o iluminación se regula según el volumen de tráfico, el tiempo, el clima u otros factores ambientales).

2.2.3 Indicadores de rendimiento energético

La EN 13201-5 describe las dos métricas de rendimiento energético: (1) el indicador de densidad de potencia (PDI) DP , cuya unidad es el $W/(lx \cdot m^2)$ y (2) el indicador de consumo anual de energía (AECI) DE , cuya unidad es el Wh/m^2 , ambas introducidas en el capítulo anterior. Cuando se realice el asesoramiento del rendimiento energético de un sistema de iluminación en particular, siempre se deben utilizar estos indicadores en conjunto.

El indicador de densidad de potencia establece la manera de calcular el rendimiento energético de una determinada instalación de alumbrado vial y permite comparar diferentes configuraciones y tecnologías para un mismo proyecto de alumbrado vial. Puesto que diferentes ubicaciones tienen geometría y condiciones ambientales diferentes, los valores de PDI sólo pueden utilizarse para comparar diferentes configuraciones de la misma instalación. Para calcular el indicador de densidad de potencia de cualquier área es necesario conocer:

- La potencia total del sistema (P) en el sistema de iluminación, ya sea toda la instalación o una parte representativa, que incluye la potencia operativa de todos los puntos de iluminación individuales (fuentes de luz y cualquier equipo de dispositivos asociado) y de dispositivos que no forman parte de los puntos de iluminación individuales pero que son necesarios para su funcionamiento, como los sistemas de control centralizado y los interruptores.
- La iluminación horizontal media mantenida \bar{E} (en lx) de cada subárea, así como el tamaño de cada subárea. Se excluyen las zonas de césped utilizadas para calcular la rapidez con la que la iluminación aparece más allá de la calzada. La iluminancia se puede deducir de mediciones ya llevadas a cabo para seleccionar la clase de iluminación de la carretera.

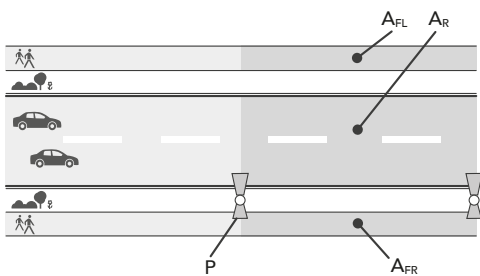


Figura 6 Ejemplo de un diseño para calcular el PDI o AECl.

La ecuación completa para calcular el PDI es:

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \times A_i)}$$

En esta ecuación, \bar{E}_i es la iluminancia horizontal promedio mantenida en la subárea; A_i es el tamaño de la subárea "i" iluminada por la luminaria instalada (en [m²]); y n es el número de subáreas a iluminar. Para las clases de alumbrado vial que no utilizan la iluminancia horizontal promedio mantenida (es decir, todas excepto M), se puede encontrar más información en la sección 4.2 de la EN 13201-5 que ofrece pautas de conversión.

Ya que la clase de iluminación suele cambiar con las estaciones y durante la noche, el PDI debe calcularse por separado para cada clase. Para comparar las diferencias de consumo de energía entre dos casos, durante todo un año de funcionamiento, es necesario calcular el AECl. Por esa razón hay que dividir el año en períodos operacionales a los que se aplican diferentes valores para P. La ecuación completa para calcular el AECl es:

$$D_e = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \times t_j)}{A}$$

En esta ecuación, P_j es la potencia total del sistema asociada con el j^{th} período de funcionamiento (en W); t_j es la duración del j^{th} perfil del período de funcionamiento cuando se consume la potencia P_j (en h); A es el tamaño del área iluminada por la misma disposición de iluminación (en m²), y m es el número de períodos con diferentes valores de potencia de funcionamiento P_j . La duración acumulada total de las t_j debe sumar un año. Deben incluirse también en el cálculo los períodos de tiempo en los que la iluminación está inoperativa, por ejemplo durante el día, ya que incluso en estos periodos el sistema sigue consumiendo energía de reserva.

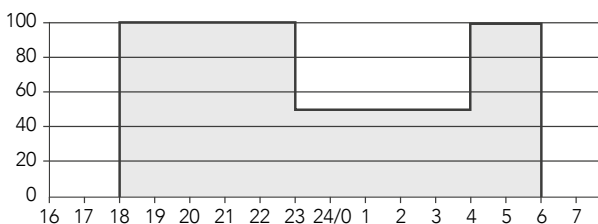


Figura 7 Ejemplo de salida de luz según la hora: potencia máxima durante la noche y a primeras horas de la mañana, potencia media a altas horas de la noche.

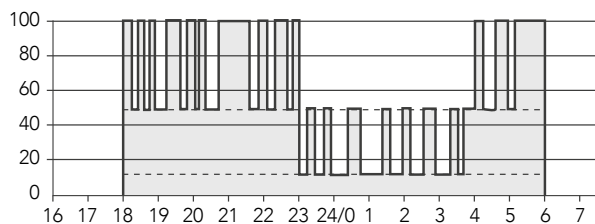


Figura 8 Salida de luz según la hora, con detectores de movimiento que detectan vehículos y personas: potencia máxima cuando se detecta movimiento.

El anexo A de la EN 13201-5 incluye una muestra de valores PDI y AECl para una amplia gama de clases de iluminación, anchuras de calzada y tipos de lámparas, basada en productos de iluminación disponibles en 2014. A continuación, se muestran algunos ejemplos de valores para una anchura de calzada de 7 m.

El anexo C de la EN 13201-5 ofrece un método simplificado para comparar sistemas de iluminación de clase M, en función de la iluminancia horizontal media mantenida \bar{E} . El anexo D presenta un esquema con información sobre el indicador de rendimiento energético.

2.2.4 Ejemplo: carreteras en áreas urbanas

La siguiente sección ilustra cómo aplicar la norma EN 13201 para diferentes situaciones de iluminación en términos de clasificación y requisitos de la carretera. El primer ejemplo es en un centro urbano que incluye un cruce peatonal y un carril para bicicletas. La calle es muy estrecha lo que causa congestiones de tráfico severas durante las horas de tráfico intenso (horas pico).

Según la PD CEN/TR 13201-1:2014, es una zona de intensa confluencia y tráfico porque hay un paso de peatones y, por lo tanto, la mejor clase de iluminación será la C, para zonas donde la situaciones de tráfico es compleja).



Figura 9 Ubicación céntrica

Tabla 10 Elección de la iluminación para una ubicación céntrica (Norma EN13201-1:2014).

Parámetro	Opciones	Descripción*	Ponderación V_w *
Velocidad de diseño o límite de velocidad	Muy alta	$v \geq 100$ km/h	3
	Alta	$70 < v < 100$ km/h	2
	Moderada	$40 < v \leq 70$ km/h	0
	Baja	$v \leq 40$ km/h	-1
Volumen de tráfico	Alto		1
	Moderado		0
	Bajo		-1
Composición del tráfico	Mixto con alto porcentaje de no motorizado		2
	Mixto		1
	Solo motorizado		0
Separación de carriles	No		1
	Sí		0
Vehículos aparcados	Presentes		1
	Ausentes		0
Luminosidad ambiental	Alta	Vitrinas, vallas, campos deportivos, manifestaciones, áreas de servicio, almacenes	1
	Moderada	Situación normal	0
	Baja		2
Maniobras	Muy difíciles		2
	Difíciles		1
	Fáciles		0

* Los valores indicados en la columna son un ejemplo. Se puede adaptar el método o utilizar valores de ponderación más adecuados a escala nacional.

La Tabla 10 debe ser usada para determinar la clase de iluminación exacta.

- Límite de velocidad: en horas punta el tráfico es bastante lento (≤ 40 km/h), lo que da un valor de ponderación igual a -1.
- Volumen de tráfico: dado que el volumen de tráfico es alto, el valor de ponderación es 1.
- Composición del tráfico: el paso peatonal y el carril bici dan una composición de tráfico mixto. Esto comporta un valor de ponderación de 1.
- Separación de la calzada: no existe tal separación, por lo tanto, el valor de ponderación es 1.
- Vehículos estacionados: en general, no hay vehículos estacionados, por lo que el valor de ponderación es 0.
- Luminosidad ambiental: en las horas punta el área tiene una luminosidad clara y alta, por lo que el valor de ponderación es 1.
- Conducción: se considera difícil debido al paso de peatones por lo que el valor de ponderación es 1.

La suma de todos los factores de ponderación «VWS» es 4, lo que proporciona la clase de iluminación final C2 ($C = 6 - VWS$).

Según la Tabla 2 de la EN 13201-2, se producen los siguientes requisitos para las horas punta de mañana y tarde:

- Iluminancia horizontal media mínima mantenida \bar{E} : 20 lx

- Uniformidad general mínima de la luminancia de la superficie de la carretera $U_0 = 0.4$
- El anexo informativo C de la EN 13201-2 también sugiere un incremento del umbral máximo f_{T1} de 15% (véase 2.1.1.2, que trata el deslumbramiento y el incremento del umbral).

2.2.5 Ejemplo: carreteras en áreas rurales

El segundo ejemplo es una vía entre dos pueblos. La iluminación del camino no es obligatoria. Sin embargo, si se planifica el alumbrado vial, por ejemplo para reducir los accidentes, la clase de iluminación y los criterios mínimos deben establecerse con anterioridad.



Figura 10 Ubicación rural

La situación no está clasificada como área de conflicto ya que bicicletas y peatones circulan por la vía junto a la carretera y la velocidad promedio de los usuarios principales es bastante alta, por lo que esta vía pertenece a la clase de iluminación M, para tráfico motorizado.

Tabla 11 Elección de la clase de iluminación para una área rural (Norma EN 13201)

Parámetro	Opciones	Descripción*		Ponderación V_w^*
Velocidad de diseño o límite de velocidad	Muy alta	$v \geq 100$ km/h		2
	Alta	$70 < v < 100$ km/h		1
	Moderada	$40 < v \leq 70$ km/h		-1
	Baja	$v \leq 40$ km/h		-2
Volumen de tráfico	Alto	Autopistas, vías de múltiples carriles	Vías de dos carriles	1
	Moderado	35 – 65 % de la capacidad máxima	15 – 45 % de la capacidad máxima	0
	Bajo	< 35 % de la capacidad máxima	< 15 % de la capacidad máxima	-1
Composición del tráfico	Mixto con un alto porcentaje no motorizado			2
	Mixto			1
	Sólo motorizado			0
Separación de carriles	No			1
	Sí			0
Densidad de intersección		Intersección/km	Intercambios, distancia entre puentes, km	
	Alta	> 3	< 3	1
		≥ 3	≤ 3	0
Vehículos aparcados	Presentes			1
	Ausentes			0
Luminosidad ambiental	Alta	Vitrinas, vallas, campos deportivos, señales, áreas de servicio, almacenes		1
	Moderada	Situación normal		0
	Baja			-1
Maniobras de conducción	Muy difíciles			2
	Difíciles			1
	Fáciles			0

* Los valores indicados son un ejemplo. Se puede adaptar el método o usar valores de ponderación más adecuados a escala nacional.

Aun así, para determinar la clase de iluminación exacta, se debe usar la Tabla 1 del estándar PD CEN/TR 13201-1:2015 (Tabla 11).

- Límite de velocidad: la velocidad promedio de los usuarios principales de la carretera se encuentra entre 70 y 100 km/h, por lo que el valor de ponderación es 1.
- Volumen de tráfico: en este ejemplo asumiremos un volumen moderado de tráfico que conduce a un valor de ponderación de 0.
- Composición del tráfico: como hay un carril destinado a bicicletas y peatones, en la carretera sólo hay vehículos motorizados y el valor de ponderación es 0.
- Densidad en los puntos de intersección: hay menos de 3 intersecciones por km, así que la densidad es moderada y el valor de ponderación correspondiente es 0.
- Vehículos estacionados: no hay vehículos estacionados, por lo que el valor de ponderación es 0.
- Luminosidad ambiental: el brillo ambiental y, por lo tanto, también la luminosidad ambiental son bajos, por lo que el valor de ponderación será -1.
- Conducción: dado que no hay muchas intersecciones y sólo hay vehículos motorizados, la conducción son fáciles y el valor es 0.

El número final de la clase de iluminación que se utilizará se calcula con $M = 6 - VWS$. Con un valor de ponderación general de 1, corresponde a la clase de iluminación M5.

Según los estándares, esto requiere:

- Luminancia mínima mantenida en la superficie de la carretera \bar{L} : 0,5 cd/m².
- Uniformidad general mínima de la luminancia de la superficie de la carretera: $U_0 = 0,4$
- Uniformidad longitudinal mínima de la luminancia de la superficie de la carretera: $U_0 = 0,4$
- Uniformidad general mínima de la luminancia de la superficie de la carretera: $U_{0w} = 0,15$ (condiciones húmedas)
- Incremento de umbral: $f_{II} = 15 \%$
- Ratio iluminación en los alrededores $R_{EI} = 0,3$ (obsérvese que se refiere sólo al lado de la carretera, y por tanto no incluye la vía combinada para bicicletas y peatones, sino que esta es independiente y tendrá su propia clase de iluminación y criterios).

3. Componentes y diseño de la iluminación



3.1 Componentes del sistema de iluminación

Los componentes del sistema de alumbrado vial se pueden dividir en tres amplias categorías:

- Sistemas ópticos que incluyen luminarias (incluidos reflectores, refractores y lentes), lámparas o fuentes de luz y el equipo de control.
- Sistemas de soporte compuestos por postes y sus cimientos.
- Sistemas eléctricos que incluyen instalaciones de suministro, control y medición de energía.

3.1.1 Sistemas ópticos

3.1.1.1 Luminarias, lámparas y fuentes de luz

Para distinguir los términos «luminarias», «lámparas» y «fuentes de luz» se hace referencia a las definiciones previstas en las recientes regulaciones de la UE 874/2012 (etiquetado energético de lámparas eléctricas y luminarias) y 1194/2012 (requisitos de diseño ecológico aplicables a las lámparas direccionales, a las lámparas LED y a sus equipos):

- Una «luminaria» es un aparato que distribuye, filtra o transforma la luz transmitida desde una o más lámparas e incluye todas las piezas necesarias para soportar, fijar y proteger las lámparas y, cuando sea necesario, los auxiliares de circuito junto con los medios para conectarlos a la fuente de electricidad.
- Una «lámpara» es una unidad cuyo rendimiento se puede evaluar independientemente y que consiste en una o más fuentes de luz. Puede incluir componentes adicionales necesarios para el arranque, el suministro de energía o el funcionamiento estable de la unidad o para distribuir, filtrar o transformar la radiación óptica, en los casos en que dichos componentes no puedan eliminarse sin dañar permanentemente la unidad.
- El término «fuente de luz» hace referencia a una superficie u objeto diseñado para emitir radiación óptica

principalmente visible producida por una transformación de la energía. La expresión «visible» se refiere a una longitud de onda de 380–780 nm.

En este contexto, una luminaria puede contener una o más lámparas, mientras que una lámpara puede estar equipada con una o más fuentes de luz.

3.1.1.2 Lámparas

Desde el punto de vista físico, todas las tecnologías de lámparas utilizadas hoy en día para el alumbrado vial transforman la energía eléctrica en luz visible. Las lámparas de descarga de alta intensidad han dominado el alumbrado vial durante décadas. La tecnología LED está reemplazando a todos los tipos de lámparas, en particular en los nuevos sistemas de iluminación vial. Las lámparas de vapor de sodio de alta presión (SAP) siguen siendo una opción relevante sobre todo en autopistas o vías similares. Las lámparas son muy eficientes en cuanto a energía, pero ofrecen una baja reproducción cromática, aunque esto no es un problema en ciertos casos. Se espera que las lámparas de halogenuro metálico y las lámparas de descarga de baja presión sean reemplazadas por LED a medio plazo.

En las lámparas LED, la luz se produce por el llamado efecto de electroluminiscencia. Al igual que en otros diodos, los electrones van del ánodo al cátodo y emiten un fotón cuando caen a un nivel de energía más bajo.

La longitud de onda de la luz emitida, y por tanto su color, depende de los materiales utilizados. Para el alumbrado vial se suelen utilizar LED azules que proporcionan luz blanca cuando se encapsulan en un recubrimiento de fósforo (véase el revestimiento amarillo en la Figura 11, y la Figura 12 que ilustra diferentes principios para la generación de luz blanca basada en el recubrimiento de fósforo). Los LED de emisión azul actuales tienen la mayor eficiencia de todos los tipos de LED, con una relación

de conversión de potencia del 55 %. El 45 % restante se transforma en calor. Como una temperatura de unión (temperatura del material semiconductor LED) elevada reduce tanto la eficacia como la vida útil, es necesario un buen diseño térmico. Para disipar el calor, el chip LED y la copa del reflector están montados en un disipador de calor. Este disipador de calor a su vez debe transferir el calor a la luminaria, lo que disipa el calor en el ambiente.

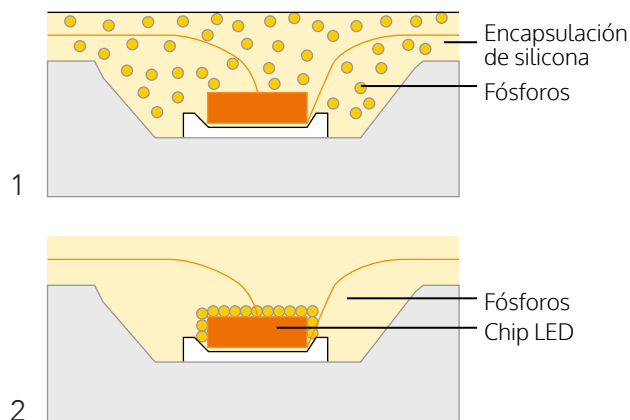


Figura 11 Fósforo suspendido en encapsulado de silicio (izquierda) y revestimiento de fósforo (derecha).

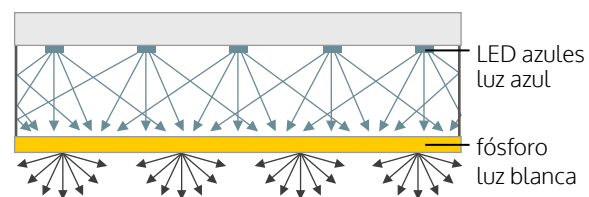


Figura 12 Módulo LED de fósforo remoto que crea luz blanca.

Otro tipo de LED son los LED orgánicos (OLED) que utilizan una capa plana de moléculas orgánicas en lugar de semiconductores como sustancia emisora de luz. A pesar de que existen muchas aplicaciones interesantes para los OLED, como los televisores planos de alta gama, y que la tecnología avanza rápidamente, todavía no son adecuados para el alumbrado vial.

Dado que el flujo luminoso de un LED individual es bastante bajo en comparación con el lux requerido para el alumbrado vial, varios chips LED se ensamblan en una placa de circuito y se pueden combinar con componentes adicionales. Por lo tanto, se deben distinguir varios niveles de integración. Las siguientes definiciones relacionadas con LED se pueden encontrar en los Reglamentos de la Comisión 874/2012 y 1194/2012:

- "Diodo emisor de luz (LED)" es una fuente de luz que consiste en un dispositivo de estado sólido que incorpora una unión p-n. La unión emite radiación óptica cuando es excitada por una corriente eléctrica.
- Un «paquete de LED» es un paquete que tiene uno o más LED. Puede incluir un elemento óptico e interfaces térmicas, mecánicas y eléctricas;
- Un «módulo LED» es un conjunto que no tiene tapa e incorpora uno o más paquetes de LED en una placa de circuito impreso. Puede tener componentes eléctricos, ópticos, mecánicos y térmicos, interfaces y equipos de control;
- Una «lámpara LED» es una lámpara que incorpora uno o más módulos LED. Puede estar equipada con una tapa;

Esta distinción está en línea con la segmentación de los productos LED comúnmente establecidos dentro de la industria de la iluminación [RL], excluyendo el nivel 2 (Tabla 10).

Tabla 12 Niveles de integración de los LED

Nivel de integración	Descripción
Nivel 0	Chip LED
Nivel 1	Paquete LED que incluye conexión eléctrica, conexión y protección mecánicas, dispositivo de disipación de calor y componentes ópticos básicos.
Nivel 2	Montaje de varios LEDs (clúster LED) en una placa de circuito impreso.
Nivel 3	Módulo LED (o motor LED). Un módulo con un clúster LED, disipador de calor, controlador eléctrico y, en ocasiones, un dispositivo óptico. El módulo LED funciona como una lámpara.
Nivel 4	Luminaria compuesta por un módulo LED (nivel 3) y carcasa y óptica secundaria
Nivel 5	Sistema de iluminación LED que incluye funciones de control.

La temperatura de funcionamiento del chip LED es un aspecto crucial que influye sobre todo en la eficacia y la vida útil. Los datos de rendimiento de los chips LED se indican para una temperatura de 25°C. Sin embargo, las temperaturas reales en condiciones de funcionamiento normales pueden alcanzar fácilmente los 60–90 °C y provocar una caída de la salida del lumen de hasta un 40 %. Sin embargo, los LED azules se ven menos afectados por el aumento de las temperaturas de funcionamiento (con una disminución del flujo de 5–20 % a 80 °C de temperatura del chip).

La vida útil de las fuentes de luz LED puede exceder las 100 000 h (véase L80 en el capítulo 2.1.4), pero depende mucho de la temperatura de funcionamiento real y de la eficacia de la gestión térmica de la luminaria, asegurando una disipación de calor suficiente.

Comúnmente y en contraste con otras tecnologías de iluminación, los módulos LED están fijados a la luminaria y no están diseñados para ser reemplazados como componentes estandarizados, lo cual dificulta una posible reparación y el reemplazo a largo plazo. Varios profesionales de la industria se han dedicado a establecer un estándar abierto llamado Zhaga para la interoperabilidad e intercambiabilidad de los módulos LED y las luminarias, ofrecidos por diferentes proveedores. Sin embargo, los productos certificados con Zhaga (motores LED, módulos y luminarias) sólo representan de momento un nicho del mercado en general.

Los LED no pueden funcionar con la corriente alterna (AC) y necesitan un engranaje de control («controlador»), cuya función principal es proporcionar una tensión continua estabilizada. Dependiendo de la calidad del controlador, las pérdidas de potencia pueden variar entre el 10 y el 30 % de la potencia nominal de la fuente de luz. Los controladores de baja calidad pueden tener pérdidas de hasta el 50 % y pueden reducir la vida útil de la fuente de luz [RL]. Una función secundaria importante del controlador es la atenuación, que se analiza en la sección 3.3.4.

3.1.1.3 Luminarias

La luminaria es el aparato de iluminación completo que consta de la carcasa, así como de todas las piezas necesarias para el montaje y el funcionamiento, incluidas las lámparas, las piezas de control, los engranajes, el

cableado, etc. Las fuentes de luz LED generalmente se montan en luminarias planas diseñadas específicamente para que se haga un uso óptimo de sus propiedades ópticas. Existen otros tipos de luminarias LED pensadas y diseñadas a partir del modelo de luminarias clásicas y que se utilizan para reemplazarlas. Estos diseños generalmente no hacen uso de sistemas ópticos optimizados y sistemas de disipación de calor disponibles para tecnología LED. No obstante, su aplicación puede seguir siendo adecuada para ubicaciones en las que no es factible la renovación integral del sistema de iluminación.

El estándar de prueba para luminarias utilizadas por los fabricantes es IEC 60598-2-3, que proporciona recomendaciones generales para las luminarias y sus cubiertas. Las luminarias deben ser resistentes a la corrosión o estar protegidas de la corrosión con los acabados apropiados. Las luminarias contienen elementos ópticos como reflectores, refractores y lentes que crean la distribución de luz deseada y aseguran el control del deslumbramiento y la limitación de la contaminación lumínica.

Los reflectores se utilizan para redirigir la salida de luz. Los espejos del reflector crean múltiples imágenes de la fuente de luz, soportando así un patrón de luminancia relativamente uniforme en la superficie iluminada. Además, los reflectores permiten minimizar la contaminación lumínica o el deslumbramiento (véanse 2.1.1.2 y 2.1.1.6).

Los refractores o lentes prismáticos redirigen la luz de la lámpara y el reflector y brindan protección adicional contra daños. Se usan con mayor frecuencia en luminarias estilo cobra.



Figura 13 Tipos de luminaria LED.

Las lentes permiten un mayor control direccional de la luz y se instalan directamente en los LED. Al igual que los otros componentes mencionados, admiten la redirección de la luz, la reducción del deslumbramiento y la protección de entrada (véase 2.1.2.1).

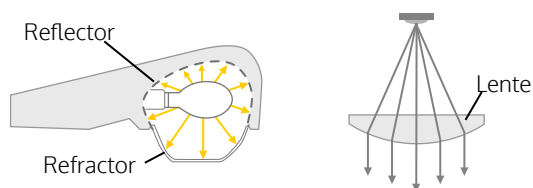


Figura 14 Reflector, refractor y lente en alumbrado vial.

En las luminarias LED modernas, se pueden instalar refractores de tipo lente avanzados en cada LED individual, lo que permite modificar la distribución de la luz mediante el cambio o la atenuación de los LED con diferentes lentes. Esto permite una mayor flexibilidad en el ajuste de la distribución de la luz al espaciado de la luminaria, el ancho de la carretera, las propiedades de reflexión de la superficie de la carretera y las condiciones climáticas, que son cambiantes [RL].

El Informe técnico CIE 115: 2010 ofrece clases de intensidad luminosa para luminarias, que definen los criterios para valores máximos de intensidad luminosa para diferentes ángulos de elevación. La clasificación incluye los niveles G1 a G6, que representan criterios cada vez más estrictos para ángulos más altos (y por lo tanto, reduce la contaminación lumínica y el deslumbramiento), [CIE].

Los componentes de una luminaria deben ser modulares para que se puedan reemplazar las partes en caso de fallo o por si es necesario sustituir un componente idéntico o compatible para evitar tener que sustituir toda la luminaria. Como se ha explicado en la sección anterior, la disipación de calor es especialmente importante para las luminarias LED. Además de garantizar una buena conducción de calor entre la lámpara y la luminaria, la disipación del calor se mejora mediante:

- El volumen de la luminaria: cuanto mayor es el volumen, menor es la temperatura dentro de la luminaria.
- Las propiedades de conducción de calor de la carcasa de la luminaria, que determinan como de rápido se transfiere el calor al aire circundante: la mayoría de los metales proporcionan características de disipación de calor adecuados, mientras que los plásticos son aislantes térmicos y, por lo tanto, generalmente inadecuados para luminarias LED.
- Aletas de enfriamiento: se pueden usar para mejorar la transferencia de calor en el entorno, ya que aumentan el área de la superficie de la luminaria.

Las luminarias generalmente se clasifican por su temperatura ambiente máxima (T_a), en la que pueden funcionar de forma segura. Si no se proporciona ningún valor de T_a , están diseñados para una temperatura ambiente máxima de 25 °C.

Marca de conformidad y marcas de calidad para luminarias de alumbrado vial

CE

Cualquier producto comercializado dentro de la Unión Europea debe cumplir con todas las directivas pertinentes de la UE. Con la marca CE, una empresa confirma de forma legal y vinculante que producto cumple las reglamentaciones pertinentes. Desde 1997, se debe colocar una marca CE en todos los productos comercializados en Europa que se vean afectados por las directivas de mercado CE.

La marca CE (*Communautés Européennes*, Comunidad Europea) no es una marca de prueba como ENEC u otras marcas nacionales de calidad, sino una marca de conformidad. El símbolo CE no lo emite un instituto de pruebas (de terceros), sino el propio fabricante.

Las autoridades de control reconocen un producto con marcado CE (sin necesidad de realizar más pruebas) como comercializable. El cumplimiento sólo se verifica mediante de controles puntuales o en caso de que se sospeche que los productos no los cumplen.

Para luminarias de alumbrado vial, la marca de cumplimiento CE satisface la siguiente legislación:

- Directiva 2014/35/UE, de baja tensión, sobre la armonización de las legislaciones de los estados miembros sobre la comercialización de equipos eléctricos diseñados para su uso dentro de determinados límites de tensión
- Directiva 2014/30/UE, de refundición, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en cuanto a compatibilidad electromagnética

ENEC

La marca ENEC (*European Standard Electric Certification*) es una marca de seguridad europea con condiciones de prueba uniformes en toda Europa. El Acuerdo ENEC describe el procedimiento para el otorgamiento y el uso de una marca comúnmente acordada para ciertos equipos eléctricos que cumplen con los estándares europeos. En la actualidad, los siguientes 20 países han firmado el acuerdo: Austria, Bélgica, Chequia, Dinamarca, Finlandia,

Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Noruega, Portugal, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Reino Unido.

El símbolo ENEC confirma que el producto cumple con los requisitos correspondientes de la Unión Europea. La marca ENEC puede ser otorgada por un organismo nacional de certificación que sea parte del Acuerdo ENEC. El número después de la marca ENEC indica qué centro de prueba ha sido certificado y en qué país (por ejemplo, ENEC 03 para Italia).

Las condiciones de prueba conjunta están estipuladas en la serie de normas EN 60598. Para garantizar la calidad del producto garantizada por la marca ENEC, los fabricantes también deben tener un sistema de garantía de calidad.

Un producto con marca ENEC de otro país europeo se trata como si hubiera sido certificado por el organismo nacional de inspección en su propio país. Esto simplifica la libre circulación de mercancías en el área económica europea, incluida Suiza, y cada vez más en Europa oriental.

3.1.2 Sistemas de soporte

Los postes deben cumplir con la norma EN 12767, «Seguridad pasiva de estructuras de soporte para equipamiento vial», que especifica los criterios para minimizar los riesgos de los ocupantes del vehículo en caso de colisión. La norma clasifica las estructuras de soporte del equipamiento vial en tres categorías de seguridad pasiva:

- **Alta absorción de energía (HE, por sus siglas en inglés)**
- **Baja absorción de energía (LE, por sus siglas en inglés)**
- **Sin absorción de energía (NE, por sus siglas en inglés)**

Las estructuras de soporte que absorben energía ralentizarán significativamente el vehículo durante una colisión y reducirán el riesgo de colisiones secundarias. Las estructuras que no absorben energía permitirán que el vehículo continúe con reducciones leves en la velocidad, lo que reduce el riesgo para los ocupantes en la colisión inicial, pero lo aumenta en colisiones secundarias, incluso con otros usuarios de la vía pública. El tipo de poste seleccionado para un tramo de carretera en particular lo puede elegir la propia organización responsable de la

administración tras evaluar las necesidades locales. Por ejemplo, pueden instalarse postes HE en áreas urbanas para reducir el riesgo secundario para otros usuarios de la vía pública.

Se especifican cuatro niveles de seguridad para los ocupantes para las estructuras de soporte. El nivel 4 representa las estructuras de soporte no perjudiciales que sólo deberían causar daños menores. Los otros tres niveles se establecen mediante pruebas de impacto con turismos ligeros con velocidades de 35, 50, 70 y 100 km/h. Los datos de las pruebas se utilizan para deducir la gravedad de la aceleración (ASI, por sus siglas en inglés) y las medidas teóricas de velocidad de impacto de la cabeza (THIV), que describen el peligro para los pasajeros..

Los mástiles de luz estacionarios suponen una vida útil de varias décadas. Los de acero están galvanizados, aunque en el pasado llevaban anticorrosivos para asegurar la protección contra la oxidación. Las versiones de acero inoxidable solo se utilizan en áreas específicas. Las instalaciones eléctricas o de otro tipo se revisan e intercambian con mucha más frecuencia que el mismo mástil. Los factores ambientales como el sol, la lluvia y el viento tienen poco impacto sobre las piezas. Sin embargo, fuertes tormentas, grandes cantidades de nieve o incluso cortinas de hielo pueden representar una amenaza para los postes.

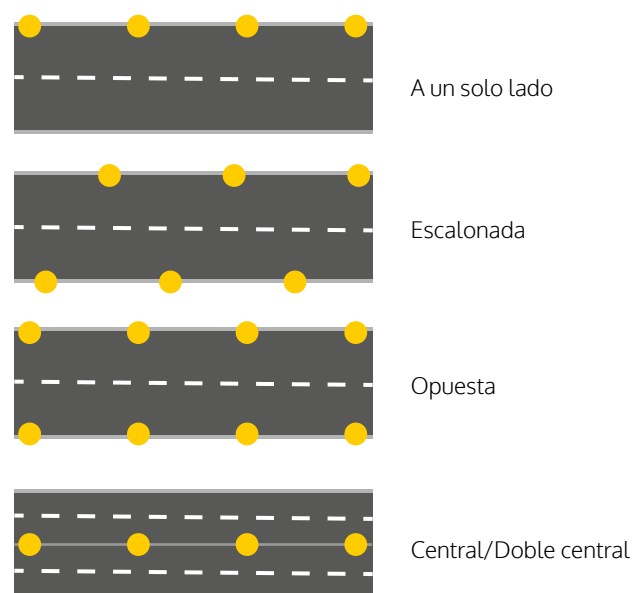


Figura 15 Disposición de las luminarias.

La disposición de los mástiles y su altura son decisiones técnicas basadas en la geometría de la carretera, las características del sistema, las condiciones del terreno de la vía, las características físicas del mástil, las condiciones

ambientales, el espacio disponible para el mantenimiento, el presupuesto, la estética y los objetivos de iluminación. Las colocaciones más comunes se muestran a continuación.

La disposición elegida determina la altura mínima de montaje de la luminaria. Se determina como un factor del ancho efectivo de la vía y se mide desde la posición horizontal de la luminaria hasta el lado más alejado de la carretera.

- En la disposición un solo lateral, el ancho efectivo de la carretera puede ser igual a la altura de montaje de la luminaria. Además, a diferencia de las otras disposiciones, la luminancia de la superficie de la carretera no será igual en ambos carriles de la carretera.
- En la disposición escalonada, el ancho efectivo de la carretera puede ser hasta 1,5 veces la altura de montaje de la luminaria. La uniformidad de luminancia longitudinal suele ser baja y crea un patrón alterno de secciones brillantes y oscuras, aunque en las estaciones más húmedas se cubre todo el camino mejor que con la disposición de un lateral.
- En la disposición opuesta, el ancho efectivo de la carretera puede ser de cerca de 2 a 2,5 veces la altura de montaje de la luminaria. Si la disposición se usa en una autovía con una reserva central de al menos un tercio de la calzada, o si la reserva central incluye otras obstrucciones visuales significativas (árboles o pantallas), se convierte en dos colocaciones a un solo lateral y debe tratarse como tal.
- En la disposición en el centro, las luminarias se cuelgan de los cables de luz que atraviesan la carretera, usualmente entre edificios. El ancho efectivo de la vía puede duplicar la altura de montaje de la luminaria.
- En la disposición doble en el centro, con dos luminarias instaladas una detrás de otra, el ancho efectivo de la carretera puede ser igual a la altura de montaje de las luminarias. Siempre que la reserva central no sea demasiado amplia, ambas luminarias pueden contribuir a la luminancia de la superficie de la carretera en cualquier carril, haciendo que esta disposición sea generalmente más eficiente que la disposición opuesta. Sin embargo, la opuesta puede proporcionar una iluminación ligeramente mejor en condiciones húmedas.

La decisión sobre la posición exacta de los postes y la altura de montaje de la luminaria es parte del proceso de diseño y suele realizarse con un software especializado. El objetivo no es sólo mantener un mínimo de luminancia, sino también un mínimo de uniformidad de luminancia, que depende de la distribución de la intensidad luminosa

de las luminarias en la instalación de alumbrado vial. Muchos productos LED están diseñados como reemplazo de las luminarias existentes (usando los postes preexistentes). Esta medida impide sacar el máximo provecho de los diseños modernos de luminarias LED que son susceptibles de distribuciones de intensidad luminosa mucho más uniformes que las similares luminarias de vapor de sodio de alta presión o halogenuro metálico [LRT4].

3.1.3 Sistemas eléctricos

El conductor de protección debe estar conectado a las tapas de la caja metálica, los conductos metálicos, los postes de metal, así como a cualquier vara de tierra suplementaria instalada en los cimientos del poste.

La resistencia de los alambres y cables de un circuito de alumbrado vial particular hará que el voltaje baje, lo que provoca un funcionamiento ineficiente. Para garantizar que todas las luminarias de un circuito en particular reciban un nivel mínimo de suministro de tensión, la caída de tensión entre el punto de alimentación y las luminarias más lejanas no debe superar el 3%.

El gabinete de servicio debe ser un gabinete hermético a la lluvia sellado con una junta de montaje [IIEC].

3.2 Sistemas de control de iluminación vial

El control activo de los sistemas de iluminación vial permite un importante ahorro de energía, pero los ahorros potenciales deben sopesarse frente a la complejidad y los costes adicionales. Según el tipo de gestión, existen tres tipos de sistemas de control de iluminación: control autónomo, control centralizado y control dinámico.

3.2.1 Control autónomo

Con control autónomo de la iluminación vial, las luminarias están preprogramadas, normalmente por el fabricante, con períodos de tiempo fijos para el funcionamiento. Esta es la solución más simple y barata, ya que no requiere más control ni sistemas de red. Sin embargo, como la programación suele ser limitada, a menudo no se puede ajustar el control los fines de semana y días festivos. Además, los temporizadores internos pueden no ser precisos y las actualizaciones del sistema requieren cambios en cada poste de luz. Como alternativa, los sensores pueden detectar la luz ambiental en cada poste y

decidir si activar las lámparas, aunque esto supone gastos adicionales.

3.2.2 Control centralizado

En el control centralizado de la iluminación vial, un sistema central envía la señal de control a todas las luminarias dentro de un grupo, normalmente a través de una señal enviada por la línea de alimentación. En comparación, esta configuración es simple y económica, pero permite cierta flexibilidad para ajustar la iluminación a las necesidades cambiantes. Por ejemplo, un sensor de luz central puede decidir cuándo encender todas las luces de un grupo determinado, lo cual, a diferencia de la gestión estrictamente basada en la hora, permite ajustarse a las condiciones climáticas locales. Dichos sensores deben limpiarse con regularidad para garantizar un buen funcionamiento [BFE]. Otras opciones incluyen la atenuación en función de la hora, que reduce o apaga la luz de ciertas lámparas en momentos y áreas específicas, por ejemplo a altas horas de la noche cuando se espera un bajo volumen de tráfico. Si bien la reducción de los costos de energía y la contaminación lumínica (véase 2.1.1.6) puede ser significativa, puede incrementar los riesgos de los usuarios de la vía pública si su capacidad para evitar obstáculos se ve afectada. Por lo tanto, las aplicaciones específicas deben evaluarse cuidadosamente.

El flujo de información es unidireccional. Aunque el nodo central puede determinar el estado de los grupos de lámparas, no recibe información sobre su estado individual u otras condiciones locales.

Tanto los sistemas de control centralizados como los dinámicos requieren la implementación de sistemas TIC de diversos grados de complejidad. Brindan opciones adicionales para ahorrar energía, pero también requieren recursos adicionales y experiencia para la implementación y el mantenimiento. La complejidad añadida aumenta los riesgos de fallos del sistema [HCS], razón por la que los compradores y planificadores deben considerar si disponen de experiencia y soporte después de la implementación, e incluso si es con poca antelación.

3.2.3 Control dinámico

Una gestión dinámica del alumbrado vial ofrece un mayor grado de control. Se pueden controlar las lámparas en grupos o de forma individual, y el servidor de control central puede recopilar información sobre su estado según las opciones instaladas (fallos, consumo de energía, temperatura ambiente o de funcionamiento, luz

ambiental, tráfico y presencia de peatones). Los cambios en la programación también pueden realizarse en el servidor de control central sin cambios en el *hardware* físico.

Sin embargo, esta flexibilidad adicional conlleva una complejidad añadida y costes adicionales. El software de control debe implementarse y mantenerse, y los operadores locales deben estar capacitados en su uso. Además, aumenta el riesgo de fallos de programación. Las lámparas se deben instalar con sistemas a prueba de fallas que garanticen la seguridad básica del tránsito durante la noche, incluso cuando no se reciben comandos erróneos del sistema de control [BFE].

Los sistemas de gestión inteligente de vanguardia suelen estar controlados por un mando central, por lo general un servidor en las oficinas de las autoridades locales, que controla un alto número de lámparas y envía órdenes que determinan el estado de las lámparas individuales. Los sistemas de control de la lámpara no reciben estas órdenes directamente, sino que pasan primero a través de concentradores que luego transmiten los mensajes a las redes de área local que consisten en un número limitado de lámparas y los accionadores de control [PE].

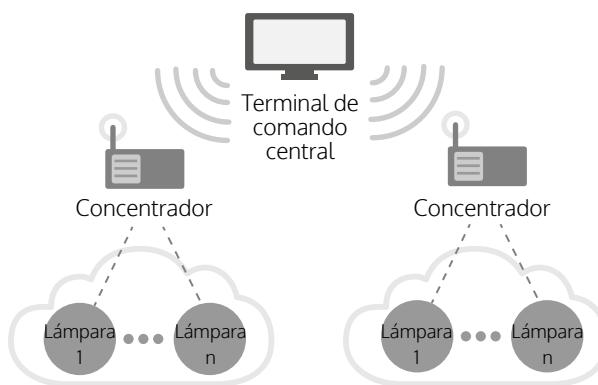


Figura 16 Arquitectura del sistema de control de iluminación vial.

Dos conceptos influyen en la arquitectura del sistema de control: la tecnología de comunicación, sobre cómo se transmite la información, y el protocolo de comunicación, sobre cómo se codifica la información.

En un sistema de alumbrado vial hay dos capas de comunicación que se deben unir con tecnología de comunicación: el centro de comando a concentradores y los concentradores a lámparas individuales. Pueden transmitir información por cable o como señales inalámbricas.

La comunicación por cable entre el centro de mando y los concentradores suele usar protocolos de comunicación

Ethernet estándar [PE]. Aunque los cables de Ethernet son teóricamente viables, implican costes adicionales. En cambio, las redes locales para el alumbrado vial utilizan cables eléctricos (PLC), que modulan las señales de su línea de alimentación para intercambiar información.

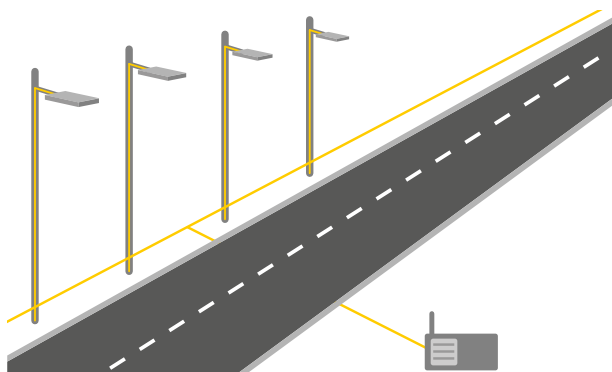


Figura 17 Comunicación mediante cable eléctrico.

La comunicación inalámbrica entre el centro de mando y los concentradores requiere que se puedan unir grandes distancias a través de señales inalámbricas. Los protocolos adecuados incluyen Wi-Fi (802.11), GPRS (Servicios generales de radio por paquetes) o WiMax.

Las señales inalámbricas entre los concentradores y las lámparas individuales pueden implementarse como una red, con lo cual la falta de visibilidad directa no interrumpe la conexión entre nodos individuales. La intensidad de la señal puede aumentarse a través de repetidores. Los protocolos adecuados para esta capa incluyen:

- DALI (por sus siglas en inglés: interfaz de iluminación direccionable digitalmente): un estándar adoptado por la IEC diseñado para controlar los circuitos de balasto utilizados para la supervisión del equipo de iluminación. Sólo puede controlar un máximo de 64 nodos.
- ZigBee, una alternativa de bajo coste, baja potencia y baja velocidad de datos para redes inalámbricas. Tiene deficiencias en términos de retrasos en los paquetes y puede ralentizar el rendimiento de la red.
- 6LoWPAN (IPv6 sobre redes inalámbricas de área personal de baja potencia). Este estándar no define un protocolo de enrutamiento específico para un sistema en particular, lo que permite más flexibilidad pero requiere un esfuerzo adicional para definir los protocolos [SEN].



Figura 18 Comunicación inalámbrica.

3.3 Estrategias de control de iluminación vial

A lo largo de los años se han desarrollado diversas estrategias con diferentes niveles de complejidad para el control de la iluminación vial, cada una con sus propias ventajas y desventajas. Algunos incluso pueden combinarse para estrategias más complejas.

3.3.1 Temporizador astronómico

Los temporizadores astronómicos tienen información precisa sobre los horarios de salida y puesta del sol para cualquier posición geográfica. Se pueden calcular de antemano con un gran nivel de precisión para períodos de tiempo prolongados. Sin embargo, las estrategias de control de iluminación basadas en temporizadores astronómicos podrían no tener en cuenta aspectos geográficos específicos, como grandes colinas o montañas que bloquean el sol al amanecer o al atardecer. Además, los temporizadores astronómicos no pueden hacer predicciones sobre las condiciones meteorológicas, como las tormentas, que podrían requerir iluminación artificial incluso durante el día.

Los temporizadores astronómicos podrían establecer un esquema simple de encendido/apagado para la iluminación que especifique el momento de activación en la noche y la desactivación en la mañana. Alternativamente, podría especificar períodos más tarde en la noche durante los momentos en los que se espera menos tráfico durante el cual la iluminación permanece activa pero a una intensidad operativa reducida.

Una de las principales ventajas de los temporizadores astronómicos es que no requieren ningún sistema de TIC complejo para funcionar.

3.3.2 Aprovechamiento de luz natural

En contraste con el uso de temporizadores astronómicos, las estrategias de aprovechamiento de luz natural utilizan fotosensores para detectar la luz ambiental y ajustar la iluminación artificial si los niveles de luz ambiental disminuyen o aumentan más allá de ciertos valores de umbral. Este enfoque funciona especialmente bien con la atenuación, como veremos a continuación, y puede ajustarse a períodos prolongados de crepúsculo, así como a las inclemencias del tiempo. Sin embargo, los fotosensores requieren una limpieza regular para garantizar su correcto funcionamiento. Además, debe decidirse si un único fotosensor controlará la iluminación de un área grande o si se instalará un sensor para cada grupo de lámparas, o incluso para cada lámpara. La primera opción reduce la complejidad del sistema y representa un único punto de error para el sistema, aunque no puede reflejar todas las condiciones localizadas, como las áreas especialmente oscuras o los sistemas meteorológicos más pequeños. La segunda opción permite más flexibilidad, pero también requiere comprar una gran cantidad de sensores adicionales y un mayor mantenimiento para mantener los sensores limpios.

Los fotosensores pueden integrarse en una infraestructura de TIC más grande, que según su configuración permitirá la supervisión en tiempo real de la iluminación de la carretera. De este modo, cualquier problema de iluminación insuficiente se puede identificar rápidamente para abordarlo.

3.3.3 Detección de tráfico

En muchas carreteras el tráfico es bajo, especialmente a altas horas de la noche. Por lo tanto, se pueden obtener ahorros de grandes energía reduciendo su nivel de iluminación de acuerdo con los requisitos estipulados en EN 13201. Con el fin de garantizar que los usuarios de la vía puedan circular por ella de forma segura, se pueden instalar sistemas de detección de tráfico que aumentan el nivel de iluminación cuando es necesario. La tecnología más común para detectar tráfico, ya sean vehículos motorizados, ciclistas o peatones, son sensores de movimiento. Los tipos de detectores de movimiento incluyen los siguientes:

Los detectores de movimiento ultrasónicos detectan el cambio en las ondas sonoras que se recuperan de un objeto en movimiento. Este tipo de sensor no requiere un campo visual. Es económico, puede detectar objetos independientemente de sus materiales y se ve poco

afectado por flujos de aire de hasta 10 m/s (36 km/h). Sin embargo, tienen un rango de detección bajo y pueden verse afectados por la humedad y las altas temperaturas.

Los detectores de movimiento por radar detectan cambios en las microondas que se recuperan de un objeto en movimiento, similar a las pistolas de radar. Son capaces de detectar incluso pequeños movimientos y no se ven afectados por la temperatura ambiente de los objetos. Sin embargo, son caros y pueden causar una detección falsa debido a movimientos fuera de la zona especificada.

Los sensores infrarrojos detectan el calor de un objeto o una persona en relación con su entorno. Son sensores puramente pasivos y, por lo tanto, no emiten sonido o radiación para recopilar información, aunque podrían provocar una falsa detección por aire caliente, lluvia u objetos calientes.

Los sistemas de detección de movimiento también se pueden combinar para que las desventajas de un tipo sean compensadas por las capacidades de otro.

Una vez que los sensores detecten la necesidad de una iluminación adicional, el sistema debe garantizar que se cumplan los requisitos habituales para la clase de alumbrado vial en cuestión (véase 2.2.1), lo cual significa que un sensor de movimiento acoplado a un poste de luz concreto no debe usarse sólo para activar esa lámpara, sino también una o más lámparas adyacentes para que los individuos que conforman el tráfico no se vean afectados por condiciones de iluminación rápidamente cambiantes.

Cualquier sistema basado en detector de movimiento que abarque áreas no exclusivamente peatonales requiere casi siempre de integración en una configuración ICT más grande. No obstante, esto conlleva el beneficio adicional de recopilar datos informáticos sobre el tráfico que pueden ser útiles para los controladores de tráfico, planificadores urbanos, servicios de emergencia y otras agencias.

3.3.4 Atenuación

Dependiendo del tráfico, el clima y las condiciones de iluminación ambiental, puede que no sea necesario hacer las lámparas funcionen a plena potencia durante toda la noche. Al combinar el temporizador astronómico adecuado, el aprovechamiento de luz natural y los esquemas de detección de tráfico con atenuación, se

puede lograr un gran ahorro de energía; en algunos proyectos se lograron ahorros de hasta el 85 %. Además, el aumento y disminución gradual de la iluminación reduce el deslumbramiento de la incomodidad para los residentes cercanos. Los LED son especialmente adecuados para estrategias basadas en atenuación, ya que se atenúan con suavidad y casi sin complicaciones técnicas, mientras que otros tipos de lámparas utilizadas en iluminación vial no pueden atenuarse, producir cambios de color drásticos cuando lo hacen, como las lámparas de mercurio a alta presión o las lámparas de halogenuros metálicos, o tienen atenuación limitada.

3.3.5 Consideraciones

El control dinámico del alumbrado vial y las estrategias avanzadas de control, como por ejemplo el aprovechamiento de luz natural y la detección del tráfico, están cambiando rápidamente ciertas áreas de la tecnología y, por consiguiente, requieren una consideración especial y atenta en cuanto a los posibles obstáculos y limitaciones para su buena implementación.

Las leyes, regulaciones y estándares nacionales y locales para el alumbrado vial suelen desestimar los últimos desarrollos tecnológicos. Por lo tanto, se debe cuidar que los sistemas de control de iluminación propuestos cumplan con todos los requisitos legales. Una preocupación adicional es la responsabilidad: si el sistema falla debido a algunos defectos técnicos, debe quedar claro qué parte es responsable de los fallos.

Dado que el control dinámico del alumbrado vial puede resultar de una complejidad considerable, el licitador encargado de implementarlo debería estar a cargo del soporte y mantenimiento, lo que probablemente requerirá contratos de servicio extendido y es especialmente importante si la solución implementada incluye sistemas y componentes de múltiples licitadores que necesitan integración y actualización ocasionales. Se recomienda como criterio para la selección del licitador que tenga experiencia probada con sistemas dinámicos de alumbrado vial.

Las luminarias deben estar programadas con un estado «predeterminado» al que se puede revertir en caso de que reciba o no señales de control erróneas. Este estado predeterminado debería representar un control básico de iluminación basado en el tiempo que cumpla con los estándares legales sin ninguna característica dinámica. Además, en caso de fallo total del sistema, los operadores designados deberían poder poner el sistema de

iluminación completo o algunas secciones en estado predeterminado, con poca antelación y sin la intervención de expertos externos.

4. Adquisición de sistemas de iluminación



4.1 Introducción

El siguiente capítulo está dedicado a los criterios de compra de iluminación vial de alta calidad con eficiencia energética. En el anexo de este folleto también se proporciona una tabla completa del conjunto de criterios recomendados de adquisición de PremiumLight-Pro.

El conjunto de requisitos aconsejados por PremiumLight-Pro incluye los criterios básicos para la selección

del licitador (en adelante, criterios de selección), los requisitos técnicos obligatorios para todos los licitadores y los criterios de adjudicación. Para los criterios de adjudicación, se propone un enfoque de puntuación. Además, se proporcionan las especificaciones técnicas generales y asuntos contractuales que suelen exigirse para las licitaciones. La Tabla 11 a continuación muestra una descripción general del conjunto de especificaciones y requisitos. En el apéndice puede consultar las tablas completas con los correspondientes criterios.

Tabla 13 Requisitos mínimos y criterios de adjudicación de PremiumLight-Pro

A) Especificaciones técnicas generales	
Diseño del sistema de carreteras	<p>El diseñador deberá proporcionar el plano de calles y caminos del lugar en el que se instalará el sistema de alumbrado vial o algunos componentes del mismo. Las características del sistema se basarán en el estándar EN 13201 y las normas nacionales correspondientes. El licitador deberá proporcionar de acuerdo con la norma EN 13201 o según necesidades específicas los siguientes datos, entre otros:</p> <ul style="list-style-type: none">• Los niveles de iluminancia• Los niveles de uniformidad• Los factores de mantenimiento del sistema de iluminación
Características del control de iluminación	<p>El comprador deberá ofrecer una de las siguientes tres opciones:</p> <ul style="list-style-type: none">• No cree necesario tener un control de la iluminación para el sistema de iluminación porque la atenuación del sistema no se considera apropiado para el sistema.• Es plenamente consciente de las opciones de control o atenuación de iluminación adecuadas para el sistema de iluminación en cuestión y especifica con detalle los requisitos para un sistema de control de iluminación.• No es capaz de indicar las condiciones óptimas para el control de iluminación, pero solicita al licitador que haga una oferta para un sistema regulable junto con un cálculo transparente de CCV.
Medición del consumo de energía	<p>El comprador deberá especificar una de las siguientes tres opciones:</p> <ul style="list-style-type: none">• No considerará la medición del consumo de energía porque no la considera apropiada para el sistema de iluminación específico.• Es plenamente consciente de las opciones de medición adecuadas para el sistema de iluminación en concreto y especifica con detalle los requisitos teóricos para la medición.• No es capaz de indicar la medición óptima para el sistema, pero solicita al licitador que ofrezca una medición adecuada junto con un cálculo transparente de CCV.

B) Criterios de selección

	Requisitos obligatorios	Criterios de adjudicación
Know-how y experiencia del equipo de diseño e instalación	✓	
Capacidad del responsable para entregar dentro del plazo fijado	✓	
Cumplimiento de las normas ISO y EN	✓	

C) Requisitos técnicos y de adjudicación

Criterio energético a nivel del sistema	Requisitos obligatorios	Criterios de adjudicación
Consumo anual de energía o indicador de densidad de potencia	(✓)	✓
Factor de potencia	✓	✓
Características de control de iluminación (como se ha especificado en las especificaciones técnicas generales)		✓
Medición del consumo de energía (como se ha especificado en las especificaciones técnicas generales)		✓
Criterios energéticos a nivel de componentes (sólo para proyectos en los que se prevé el reemplazo de componentes)	Requisitos obligatorios	Criterios de adjudicación
Eficiencia energética de la luminaria	✓	✓
Eficiencia energética del módulo LED	✓	✓
Eficiencia energética del controlador		
Criterios de diseño y de calidad	Requisitos obligatorios	Criterios de adjudicación
Color claro (temperatura de color)	✓	
Reproducción cromática		✓
Consistencia y mantenimiento del color	✓	✓
Luminancia y iluminancia	✓	
Distribución de luz, uniformidad de iluminancia	✓	✓
Contaminación lumínica (FHS)	✓	
Protección contra discapacidad e incomodidad por deslumbramiento	✓	✓
Grado de protección IP (Ingress Protection)	✓	
Grados de protección IK	✓	
Protección según estándares IEC	✓	
Protector de sobretensión	✓	
Marca de conformidad para todos los componentes (ENEC, regulaciones nacionales)	✓	
Vida útil	✓	✓
Garantía	✓	✓
Disponibilidad de repuestos	✓	✓
Fácil de reparar y reciclar	✓	✓
Diseño		✓
Criterios de calidad sólo aplicables para proyecto exclusivos de luminarias		
Tiempo de vida de la luminaria	✓	✓
Vida útil del módulo LED	✓	✓
Tiempo de vida del controlador	✓	✓

D) Criterios de coste		
Coste total de propiedad (opción recomendada)		✓
Coste de inversión (opción de retorno)		✓
E) Problemas de contratación		
Puesta en servicio de sistemas de iluminación y controles	✓	
Correcta instalación	✓	
Reducción y recuperación de residuos	✓	

4.2 Directrices generales

La tabla A incluye algunas directrices generales que deben considerarse esenciales durante la etapa inicial del proceso de licitación. Se deberán especificar los requisitos de acuerdo con la norma EN 13201 o bien en función de necesidades específicas como los niveles de iluminancia, de uniformidad y los factores de mantenimiento del sistema de iluminación.

Asimismo se deben indicar las características del control de iluminación y de medición del consumo de energía.

4.2.1 Directriz del sistema de iluminación

Como primera fase preparatoria del proceso de adquisición, el comprador o responsable deberá indicar el sistema vial para el que se diseñará el sistema de iluminación. Los tipos de calle se especificarán según los estándares internacionales (EN 13201) o, si así se prefiere, las normas nacionales o locales.

4.2.2 Funciones de control de iluminación y sistemas de comunicación

Durante la etapa inicial del proceso es necesario evaluar y determinar si se considera implementar funciones de control de iluminación y de qué tipo. Son preferibles las opciones de control simples como una funcionalidad mínima para la mayoría de los tipos de sistemas de iluminación vial, pero las funciones integrales de control inteligente tan sólo pueden ser apropiadas en casos específicos. Se debe especificar una funcionalidad de control de iluminación adecuada para el tipo de vía en concreto. La evaluación de las diferentes opciones puede requerir el apoyo de consultores independientes porque las funciones de control inteligente también tienen que coincidir con los aspectos de seguridad y calidad. Varias opciones técnicas se describen en el tercer capítulo y deben evaluarse en relación a los costes del ciclo de vida.

Además, se deben cumplir los siguientes requisitos en términos de compatibilidad y comunicación:

Comunicación

Requisitos de PremiumLight-Pro:

Se debe disponer de un sistema de comunicación capaz de comunicarse con el equipo de control de las luminarias individuales. La comunicación por línea de potencia (PLC, por sus siglas en inglés) representa el nivel mínimo de tecnología capaz de cumplir este criterio, pero se pueden aplicar sistemas de comunicación más avanzados. El equipo de control debe ser programable y enviar notificaciones en caso de fallo del equipo.

Compatibilidad con la funcionalidad de control

Requisitos de PremiumLight-Pro:

Las luminarias deben ser compatibles con la atenuación y otras características de control (por ejemplo, el interruptor, control de movimiento, control de luz diurna, etc.).

Requisitos opcionales:

Las luminarias pueden estar equipadas con sistemas integrados de control de flujo. Esto garantiza que la luminaria tenga una salida de flujo constante a lo largo de su vida útil a pesar de la disminución gradual de la salida de flujo de los LED a lo largo del tiempo.

Verificación

El licitador deberá proporcionar la documentación que describa el método e interfaz de regulación.

Como requisitos opcionales, es conveniente que los sistemas TIC implementados para la gestión de iluminación sean modificables, modulares y abiertos. La capacidad de modificación garantiza que el sistema de control de iluminación se pueda actualizar o ampliar cuando sea necesario, lo que permite funcionalidades adicionales que no forman parte del sistema original durante la instalación. La modularidad requiere el cumplimiento de las normas

para los componentes básicos del sistema de TIC y las interfaces entre los bloques de construcción, lo que permite cambios en una parte del sistema sin revisar el sistema en su conjunto. Entre los criterios útiles para determinar el momento de realizar la modificación y la apertura se incluyen:

- Programa de actualizaciones
- Escalabilidad del sistema
- Límites del sistema y limitaciones inherentes
- Interfaces del módulo y estandarización de las interfaces de software
- Interoperabilidad e intercambiabilidad de módulos
- Accesibilidad a la red, la infraestructura y a los datos compartidos con el sistema
- Conectividad del sistema a otros sistemas, funciones y dominios relevantes

4.2.3 Medición del consumo de energía

Paralelamente a la necesidad de especificar las funciones de control, también se debe aclarar la forma de medición de la energía, en relación a lo cual las opciones y recomendaciones generales sobre la medición se tratan en el tercer capítulo. La evaluación de un sistema de iluminación en términos de mantenimiento y funcionamiento optimizados, los costes de electricidad y el consumo de energía requieren una medición adecuada. Los valores de AECl sólo se pueden verificar a través de mediciones. Además, la medición permite una rápida detección de fallos y de la necesidad de mantenimiento y se puede hacer a diferentes niveles del sistema y de complejidad. Las opciones apropiadas se deben considerar y comparar.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

Cuando las opciones de control de iluminación y medición estén seleccionadas según los requisitos del proyecto, la funcionalidad específica se describirá en la propuesta de licitación. Los costes y beneficios del control de iluminación y medición se incluirán en el cálculo total de CCV / CTP.

Verificación

Los licitadores deberán ofrecer diferentes opciones de medición y anunciar sus costes y beneficios de acuerdo con las consideraciones de CTP o CCV.

4.3 Criterios de selección

Los criterios de selección especifican los requisitos básicos que debe cumplir de forma general el licitador. Los

criterios incluyen, entre otros, los conocimientos especializados y la capacidad y certificación de dicho licitador.

4.3.1 Conocimiento y experiencia del equipo de diseñadores e instaladores

El diseño y la instalación del sistema de iluminación pueden ser realizados por diferentes empresas o alternatively por un único licitador. En ambas situaciones, los licitadores deberán confirmar que las tareas de diseño e instalación serán realizadas por un equipo con suficiente experiencia profesional.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

El licitador, o los expertos asignados al proyecto, ha completado con éxito un mínimo de cinco proyectos relevantes de iluminación vial con tecnología LED en los últimos tres años. Los proyectos de referencia deben ser de una envergadura o complejidad comparable al proyecto planificado.

Verificación

El licitador especificará las personas responsables del proyecto y proporcionará información sobre las cualificaciones educativas y profesionales, la experiencia pertinente y los certificados relacionados. Además, el licitador deberá proporcionar un listado de los proyectos de alumbrado pertinentes que haya diseñado e implementado en los últimos tres años. En caso de que parte del trabajo deba ser subcontratado, se deberá proporcionar información similar de los subcontratistas. La envergadura de los proyectos, por ejemplo, se puede especificar en función al número de puntos de iluminación.

4.3.2 Capacidad de los licitadores

Requisitos de PremiumLight-Pro:

El licitador deberá mostrar y confirmar la capacidad para la ejecución del proyecto dentro del plazo especificado.

Verificación:

El licitador deberá especificar los recursos dedicados al proyecto y el cronograma concreto del proyecto.

4.3.3 Cumplimiento de las normas EN e ISO

Requisitos de PremiumLight-Pro:

El licitador debe mostrar y confirmar la capacidad de llevar a cabo el proyecto dentro del plazo especificado.

Verificación:

El licitador deberá indicar y confirmar el cumplimiento de las normas pertinentes especificadas.

4.3.4 Controladores y fotometría: criterios y precauciones

Un sistema de iluminación óptimo debe estar diseñado para facilitar el desarrollo exitoso de una actividad, tanto si se lleva a cabo en un espacio interior (oficinas, escuelas) como en una zona de tránsito (pasillos o carreteras). También puede ser útil para facilitar la visualización o destacar diferentes espacios o elementos, como la fachada de un edificio o las obras de un museo.

Para realizar un buen estudio de iluminación necesitamos tener claros algunos aspectos: ¿Cuánta luz necesitamos? ¿Cómo entregamos la luz correctamente para no contaminar o deslumbrar demasiado? ¿Qué tipo de color necesitamos? ¿Qué impacto negativo puede tener esa luz en los seres humanos? ¿Y en la fauna y flora?

Para resolver todas estas preguntas debemos escoger productos con información técnica muy bien detallada y que cumpla con normas o procedimientos técnicos estándares, sin ofrecer información confusa o valores sobrestimados de forma engañosa para potenciar un único producto.

¿Qué información necesitamos saber?

Los procedimientos para la medición de fotometría para la tecnología LED se pueden encontrar en la norma americana IES lm79-08 y la europea EN13032-4. Ambas indican los instrumentos, procedimientos de medición y condiciones del laboratorio para poder realizar las medidas de forma correcta.

Datos a entregar en las fotometrías

1 Flujo luminoso (lm) del conjunto de la lámpara o luminaria. Para luminarias y lámparas con fuentes de luz LED no reemplazables sólo hay que medir y entregar el flujo total del conjunto y no el del chip LED. No es correcto entregar el flujo luminoso como la suma de los flujos de los chips LED. Consecuentemente, el rendimiento o LOR (Relación entre el flujo luminoso de lámpara y luminaria) es 100% y no es significativo indicarlo. Para luminarias con lámparas LED reemplazables, por ejemplo, con lámparas con casquillo E-27 sí se puede utilizar el parámetro LOR.

2 Eficacia luminosa (lm/W). Cociente obtenido entre el flujo luminoso total medido en el ensayo de fotometría de la luminaria o lámpara entre la energía consumida del conjunto completo, incluyendo el controlador o driver. Al considerar todo el conjunto como un todo y no una suma de partes, nunca se puede considerar la eficacia con el flujo de la suma de los chips LED ni sin el consumo sin el equipo auxiliar. El parámetro siempre ha de entregarse como un producto final.

3 Matriz de intensidades (cd). Se basa en el conjunto de valores de intensidad luminosa en candelas recogidas de las medidas en el ensayo de fotometría mediante goniómetro. Para las medidas en tecnología LED se utiliza un sistema de coordenadas C- γ en valores absolutos (cd) en vez de relativo (cd/Klm), ampliamente utilizado en ensayos de luminarias con lámparas. La consistencia de los datos de distribución fotométrica depende en gran medida del número de planos C y ángulos Gamma (γ). Para luminarias en iluminación general y alumbrado público se recomiendan los siguientes pasos angulares: $\Delta C = 15^\circ$, $\Delta \gamma = 5^\circ$.

Para la correcta medición del parámetro ULOR o FHS (Flujo hemisferio superior), necesario para el análisis de la contaminación lumínica de una luminaria de exterior, es necesario medir siempre todos los ángulos gamma (γ) entre 0° y 180° , a pesar de que a simple vista no se esté emitiendo ningún flujo luminoso hacia arriba. No medir correctamente esta zona en un ensayo de fotometría puede acarrear realizar un proyecto de iluminación erróneo, con efectos desastrosos de contaminación luminosa.

Distribución polar de intensidades luminosas. La curva polar es una de las gráficas más utilizada para las fotometrías de iluminación genérica y vial. Es la representación de dos secciones del sólido fotométrico. Con ella podemos deducir rápidamente hacia dónde enviar la intensidad luminosa y con qué intensidad. En proyectos muy técnicos, donde la uniformidad es muy importante, es primordial conocer dónde enviamos la luz.

En la siguiente imagen, la curva roja representa el eje 0° - 180° y es el eje perpendicular al eje principal de la fuente de la fuente de luz de la luminaria.

La curva azul representa el eje 90° - 270° y es el eje paralelo al eje principal de la fuente de luz. La intersección de ambos ejes es el centro fotométrico de la luminaria.

¿Lumen o lux?

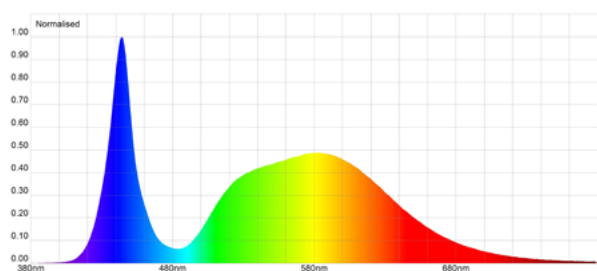
Al realizar un proyecto de iluminación, por ejemplo según la norma UNE EN 12464/1:2012, el parámetro más importante es la iluminancia (lux). A pesar de ello, en las fichas técnicas no se suelen indicar estos valores. La diferencia entre el flujo luminoso y la iluminancia consiste en que el primero (lumen) es un parámetro de cantidad que no varía según la altura del montaje; mientras que la iluminancia es la cantidad de luz percibida en una situación y espacio concretos.

La iluminancia puede ser el valor de lux en una mesa de trabajo, una calle, una fachada, pero siempre en una situación concreta. Dependiendo de donde se instale una luminaria (a diferentes alturas o inclinaciones) los valores de iluminancia cambiarán y, por lo tanto, si además de los lúmenes (que figuran en la etiqueta técnica) damos parámetros en luxes tendremos que especificar siempre el caso concreto.

Parámetros de color

Los principales datos de color que hay que entregar en un producto de iluminación son los siguientes:

1 La distribución de potencia espectral. Se define como la concentración, en función de la longitud de onda, de cualquier cantidad radiométrica o fotométrica (por ejemplo, energía radiante, flujo radiante, intensidad radiante, radiancia, irradiancia, etc). Es útil para ver los tipos de longitudes que tenemos y analizar, por ejemplo, los efectos perjudiciales de la luz azul en el ser humano.



2 Temperatura de color correlacionada (CCT). Se define a partir de la comparación de su color, en el rango de 380nm-780nm, con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. Por este motivo, la CCT se expresa en grados Kelvin [°K], a pesar de no reflejar expresamente una medida de temperatura. La CCT es una forma simplificada de clasificar una fuente de luz blanca por su tono. Por convenio se identifican las CCT cálidas, por debajo de los 3500°K (apariencia amarillenta) y frías, o

aquellas que presentan una CCT por encima de los 4500 °K (apariencia blanco azulado).

3 Índice de reproducción cromática (Ra). Para cuantificar la calidad de la luz, la CIE definió en la CIE 13.3:1995 el Ra. Este se calcula como la media de 8 mediciones de la muestra comparadas con 8 valores referencias de diferentes colores normalizados. Ra es una medida de la fidelidad de los colores que se verán al iluminar con la fuente de luz bajo prueba. Cuanto más cercana esté a 100, más fielmente reproducirá los colores reales.

Métodos de medida del color

En la norma para tecnología de estado sólido SSL o LED UNE EN 13032-4 y CIE S 025 se indican 3 formas distintas de medir los parámetros colorimétricos, todas con posibles resultados diferentes pero válidos.

- A lo largo de una dirección específica, se puede elegir medir el color en una dirección concreta por ejemplo con un medidor portátil.
- Como una distribución direccional y promediada espacialmente ponderada a la irradiancia utilizando un gonió-espectroradiómetro.
- Como valores promediados espacialmente medidos con una esfera integradora.

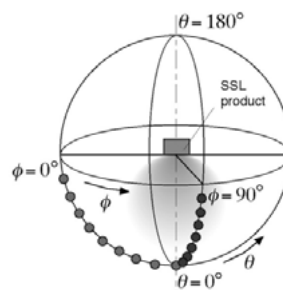


Figura 19 Geometría para la medida de cromaticidad usando un goniómetro (la imagen muestra el caso de un producto SSL que emite luz sólo en direcciones descendentes)

A pesar de que los 3 métodos son diferentes y la norma los da como válidos, pueden existir diferencias entre los valores medidos. Realizando una medición puntual, por ejemplo, en el eje óptico de una luminaria LED, puede dar valores de CCT más altos que los medidos en una esfera integradora donde la medida es un promedio del color de todas las direcciones. Estas discrepancias se deben aceptar dentro de unas tolerancias lógicas y comparar siempre los parámetros de color mediante el sistema elegido para medir el color.

4.4 Requisitos técnicos (obligatorios y de adjudicación)

Los requisitos técnicos abarcan los requisitos de calidad y energía que se especifican en parte como criterios obligatorios y como criterios de adjudicación.

4.4.1 Criterios relacionados con la energía

4.4.1.1 Eficacia de la luminaria

Los siguientes requisitos especifican la eficacia mínima para luminarias LED. La eficacia de la luminaria varía con la temperatura de color de la fuente de luz. Por esa razón, se proponen diferentes requisitos de eficacia para diferentes niveles de temperatura de color. En particular, las luminarias con una temperatura de color muy baja, por ejemplo de ≤ 2000 K, proporcionan una eficacia comparativamente baja. Los requisitos para la eficacia de la luminaria se actualizarán cada año y los niveles para el año 2019 se especificarán durante el otoño de 2018.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

Los siguientes requisitos de eficiencia para luminarias se indican para 2017 y 2018:

- 4000 K: ≥ 120 lm/W
- 2700–3000 K: ≥ 105 lm/Watt
- ≤ 2000 K: ≥ 80 lm/Watt

Luminarias con muy baja CCT (tipo ámbar) sólo se deben utilizar para funciones o áreas sensibles. Su aplicación se debe justificar bien (áreas suburbanas, áreas con aspectos específicos conservación de la naturaleza).

Los criterios PremiumLight-Pro están solamente pensados para la iluminación LED y no se consideran los niveles de eficacia de las tecnologías tradicionales.

Verificación

El licitador deberá indicar y confirmar la eficacia de los componentes en la documentación técnica de la licitación. El flujo luminoso y la potencia se especificarán de acuerdo con las normas pertinentes.

4.4.1.2 Indicador de consumo de energía anual e indicador de densidad de potencia

El indicador de consumo anual de energía (AECI) y el indicador de densidad de potencia (PDI) son los principales criterios para la evaluación del consumo y la eficiencia energética del sistema de iluminación.

El cálculo de AECI y PDI se basa en datos de componentes de *hardware* y se requiere la verificación de la información del producto para demostrar su exactitud. El AECI abarca aspectos tales como la atenuación, el exceso de iluminación o de salida de luz constante (CLO) en la EN 13201-5:2016, y por lo tanto es el indicador preferible en muchas situaciones.

En esta primera versión de los criterios PremiumLight-Pro, AECI y PDI sólo se incluyen como criterios de adjudicación y no se especifican requisitos mínimos.

Más adelante se indica un posible enfoque si el comprador desea especificar los requisitos mínimos obligatorios.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

El licitador calculará el PDI y AECI como se indica en la norma EN 13201-5:2016 y en el capítulo 2 de este documento:

Indicador de densidad de potencia (PDI)

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \times A_i)}$$

Indicador de consumo de energía anual (AECI)

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \times t_j)}{A}$$

DP (PDI): indicador de densidad de potencia

DE (AECI): Indicador de consumo de energía anual

P: potencia (W)

E-i: iluminancia horizontal media mantenida (lx)

A: área iluminada (m²)

El licitador calculará el PDI y AECI de forma transparente y los verificará con las mediciones de un segmento de carretera determinado. El AECI suele incluir opciones de atenuación.

Verificación

El licitador deberá calcular y proporcionar los valores AECI y PDI de forma clara, de acuerdo con la norma EN 13201-5:2016. El licitador deberá suministrar el archivo fotométrico de las luminarias y los parámetros de los componentes necesarios para el cálculo de AECI y PDI. Además, se proporcionarán las especificaciones técnicas de la fuente de luz basadas en métodos de medición de última generación, incluidas las normas europeas armonizadas. En los casos en que se aplica la atenuación, se especificarán los supuestos de conformidad con la norma EN 13201-5:2016 (véase el capítulo 2 de la PP13

para más información sobre los indicadores de rendimiento energético).

Criterio alternativo para los compradores que buscan establecer un requisito de eficiencia energética mínima para el sistema

PremiumLight-Pro no incluye los requisitos de rendimiento mínimo obligatorios a nivel de sistema de iluminación. Aunque sí señala un posible enfoque que los compradores interesados en los requisitos a nivel del sistema pueden utilizar. Actualmente, el enfoque está propuesto y discutido por la UE CPE y los requisitos mínimos propuestos para PDI y AECI se calculan sobre la base de los parámetros de iluminancia, luminancia, eficacia de luminarias, mantenimiento del sistema y factor de atenuación (Proyecto UE-CPE, de agosto de 2017, de CCI Sevilla). Sugerimos un enfoque ligeramente simplificado que con relación a la anchura del camino:

$$PDI < M/(\eta \times F_m \times 0.07 \times RW)$$

$$AECI < M \times PDI \times F_{dim} \times E_m \times T \times 1 \text{ kW}/1000 \text{ W}$$

F_m: Factor de mantenimiento del sistema de iluminación

RW: Anchura del camino

F_{dim}: Factor de atenuación

E_m: Iluminancia

T: Tiempo (h)

η: Eficacia de la luminaria

M: Factor de ajuste:

- M = 1.3 para los sistemas de iluminación existentes donde las posiciones de los puntos de luz y postes existentes no se pueden cambiar.
- M = 1.2 para nuevos sistemas de iluminación.

Se usan dos diferentes factores de ajuste M = 1.2 o 1.3 dependiendo de si se ha instalado nuevamente el sistema de iluminación completo (se puede seleccionar la posición de los postes y las luminarias) o si se utilizan postes ya existentes.

4.4.1.3 Factor de potencia

La relevancia del factor de potencia para el rendimiento relacionado con la energía global de los sistemas de iluminación se explica en el capítulo 2. Para PremiumLight-Pro se recomiendan dos requisitos diferentes que cubren el factor de potencia a plena carga y en situación atenuado en 50% de carga.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

Factor de potencia a plena carga: $\cos \phi \geq 0.9$

Para sistemas regulables: factor de potencia al 50% de carga: $\cos \phi \geq 0.8$

Verificación

El licitador deberá especificar y confirmar el factor de potencia en la documentación técnica de la licitación. El factor de potencia se informa de acuerdo con la legislación relevante de ecodiseño y las normas pertinentes relacionadas.

4.4.2 Criterios de calidad y diseño

4.4.2.1 Color de la luz, reproducción cromática y consistencia del color

Temperatura del color (color claro)

Para la selección del color de la luz (temperatura del color) se debe considerar el tipo de camino/carretera y el área específica de aplicación. El color claro para el alumbrado público involucra diferentes temperaturas de color para diferentes áreas de aplicación en su mayoría (más comúnmente entre 3000K y 4000K). La investigación ha demostrado que la luz blanca apoya la percepción del ojo humano de manera más efectiva que la luz amarillenta en iluminación representativa, perceptual y de ocio. La luz blanca aparece como más brillante en comparación con el blanco amarillento. Sin embargo, en cuanto a seguridad y tránsito no está claro que la visión mesópica (nocturna) sea óptima y fácil de implementar en zonas urbanas. Para obtener más detalles sobre la temperatura del color, consulte el capítulo 2 (p. 10).

Debido a las diferentes necesidades, no se puede especificar ningún requisito estándar para el color de la luz, pero la selección de la temperatura del color depende del área de aplicación y las diferentes preferencias. Por lo tanto, PremiumLight-Pro solo brinda recomendaciones generales.

Recomendación de PremiumLight-Pro:

- Temperatura de color para las áreas domésticas y principalmente las áreas peatonales igual o inferior a 3000 K
- Temperatura de color de las carreteras principales, autopistas y áreas con tráfico mixto igual o inferior a 4000 K

Reproducción del color

Además de la temperatura del color, la reproducción cromática es muy importante para la percepción de diferentes objetos y colores. Con respecto a esta última no se

pueden establecer requisitos estrictos, pero se pueden proponer recomendaciones.

Recomendación de PremiumLight-Pro:

- Para los casos que necesiten justificadamente un Índice de Reproducción Cromática alto, recomendamos que el CRI sea por lo menos $R_a > 70$.
- Para otras aplicaciones, no hay un requisito de IRC mínimo, dado que no se ha demostrado que un aumento de este reduzca la siniestralidad.

Consistencia y mantenimiento de color

La consistencia del color especifica la desviación del color de la luz partiendo del color de luz estándar (punto específico en el sistema de coordenadas del color). El mantenimiento de la consistencia del color describe la desviación del color a lo largo del tiempo. Ambas desviaciones están especificadas por las llamadas elipses MacAdams (para más detalles, ver el capítulo 2).

Requisitos de PremiumLight-Pro:

- La consistencia del color de la fuente de luz o luminaria en el momento en que el sistema se ponga en funcionamiento deberá estar dentro de 5. A cinco pasos en la MacAdams Ellipse.
- La consistencia del color de la fuente de luz o la luminaria durante la vida útil de la luminaria debe ser de 6 pasos en la MacAdams Ellipse

Verificación

El licitador especificará y confirmará los parámetros en la documentación técnica de la licitación. Los parámetros se declararán de acuerdo con las normas y legislación apropiadas.

4.4.2.2 Luminancia e iluminancia

Los niveles de luminancia e iluminancia se deben especificar de acuerdo con las necesidades para los tipos de vía específicos y deben seguir los requisitos especificados en EN13201.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

- La iluminación debe especificarse de acuerdo con los requisitos de la norma EN13201
- La luminancia debe especificarse de acuerdo con los requisitos de la norma EN13201

4.4.2.3 Contaminación lumínica

La contaminación lumínica se define como la emisión de luz que no es compatible con la tarea de iluminación específica, sino que aclara las áreas donde la iluminación

no es deseable, como el cielo nocturno, las viviendas, etc. (véase la página 10). Como se explica en el segundo capítulo, la contaminación lumínica debe evitarse cuanto sea posible a través de un diseño de iluminación apropiado. La iluminación indeseable del ambiente reduce la eficiencia de la iluminación y puede tener efectos negativos tanto en personas como en animales.

El indicador más importante para la contaminación lumínica es el flujo hemisférico superior (FHS), que es la cantidad de luz emitida por encima del plano horizontal en la posición de la luminaria. Por consiguiente, definimos FHS_{inst} como el flujo hemisférico superior una vez instalada la luminaria, que en ocasiones puede ser mayor que FHS dependiendo de la colocación de ésta.

Es importante saber que en España existe una categorización de las zonas de protección lumínica definida en Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior (RD 1890/2008).

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

Figura 20 Clasificación de zonas de protección contra la contaminación luminosa. Fuente: https://www.ceisp.com/fileadmin/pdf/Downloads/Protocolo_Auditoria_Octubre08.pdf

Por los cuales existe un valor máximo de FHS:

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO FHS _{INST}
E1	≤ 1%
E2	≤ 5%
E3	≤ 15%
E4	≤ 25%

Figura 21 Valores límite del flujo hemisférico superior instalado. Fuente: https://www.ceisp.com/fileadmin/pdf/Downloads/Protocolo_Auditoria_Octubre08.pdf

Como ejemplo de buenas prácticas, destacamos el mapa de la Generalitat de Catalunya donde se ha zonificado todo el territorio siguiendo con las categorías mostradas. Podemos encontrarlo aquí: <http://sig.gencat.cat/visors/pcl.html>. En él podemos identificar las distintas zonas de manera rápida y visual, siguiendo con el decreto 190/2015, que es de obligado cumplimiento en Cataluña.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

- El FHS de la luminaria debe ser del 0 % para todas las clases de vía y situaciones de iluminación en las que ningún otro valor sea explícitamente deseable.

Así se evita la iluminación innecesaria del cielo y el entorno. La tecnología LED suele permitir una distribución de luz más precisa y, por lo tanto, una reducción de la contaminación lumínica. Los requisitos para FHS entre otros se han especificado en la guía técnica CIE 126:2007. También se recomienda tener en cuenta la guía CIE 150:2017 sobre la limitación de los efectos de la luz intrusiva en instalaciones de iluminación exterior (*Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations, Second Edition*).

Para las luminarias de cabeza de cobra de descarga de alta intensidad tradicionales había una compensación entre las lentes de tipo refractor de caída y las lentes de vidrio plano. En la actualidad, para sistemas de iluminación LED sólo se recomiendan unidades de vidrio plano que permiten una distribución de luz más precisa y eficiente. Las unidades de vidrio plano suelen emitir menos luz hacia arriba y ofrecer un mejor control de la entrada de luz por ventanas residenciales y un menor ángulo de deslumbramiento.

Verificación

El licitador deberá proporcionar el archivo fotométrico que debe incluir información sobre la relación de salida de luz ascendente.

4.4.2.4 Protección contra deslumbramientos

El deslumbramiento es un parámetro de calidad importante para el alumbrado vial ya que afecta directamente a la seguridad y la comodidad. Existe una clasificación estándar de diferentes niveles de deslumbramiento para la discapacidad producida por el deslumbramiento y la incomodidad por deslumbramiento (véase el capítulo 2 para las definiciones). Para ambos parámetros se establecen seis clases: G1-G6 para discapacidad por deslumbramiento y D1-D6 para la incomodidad por deslumbramiento).

Requisitos de PremiumLight-Pro:

- En relación con la discapacidad por deslumbramiento se recomiendan productos con una clase de protección G4 o superior. En general, se usarán sistemas con una pantalla plana.
- Con respecto a la incomodidad por deslumbramiento, se recomiendan productos con una clase de

deslumbramiento D6 para carreteras locales y áreas residenciales y D5 para las calles peatonales.

- Algunas pautas nacionales e internacionales, como por ejemplo las directrices danesas sobre iluminación vial, recomiendan niveles similares de clases de deslumbramiento.

Verificación

El licitador debe indicar la clase de deslumbramiento de los productos.

4.4.2.5 Requisitos de protección para luminarias

Protección contra ingreso

La calidad de la luz y la salida del lumen se ven afectadas por la cantidad de suciedad y agua que ingresa a la luminaria. Por lo tanto, la luminaria deberá proporcionar una protección de ingreso suficiente que se indica mediante la denominada clasificación IP, de acuerdo con la CIE 154:2003. El IP también es relevante para el factor de mantenimiento de la luminaria. El Reglamento CE nº 245/2009 sobre diseño ecológico señaló el IP65 como punto de referencia para las clases de carretera de ME1 a ME6 y de MEW1 a MEW6 (IP65: sin ingreso de polvo, protección completa contra contacto y proyección de agua que cubre todas las condiciones climáticas típicas).

Requisitos de PremiumLight-Pro:

- Para la protección contra ingreso, se aplicará el IP65 para todas las clases de carretera.

Protección contra impactos

Normalmente se usan diferentes clases de calificación de impacto para diferentes tipos de vías y situaciones. Por ejemplo, en Dinamarca se aplican clases de protección contra impactos entre IK06 e IK10 [VEJ].

Requisitos de PremiumLight-Pro:

- La luminaria debe tener una clasificación de protección contra impactos superior a IK07.

Verificación

El licitador debe confirmar todos los requisitos a nivel de luminaria con la información adecuada sobre el producto y las declaraciones pertinentes de acuerdo con los reglamentos y normas de la UE.

Protección eléctrica (IEC)

La protección eléctrica garantiza un aislamiento suficiente de las piezas en caso de fallo.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

- Todas las luminarias deben tener protección eléctrica de clase II.

La protección de clase II asegura que haya dos capas de aislamiento que ofrezcan protección contra las partes activas en caso de fallo. Es bastante común y se recomienda para instalaciones de iluminación [p. ej. WB y VEJ].

Protección contra sobretensiones (IEC)

La protección contra sobretensiones garantiza una protección contra daños por alto voltaje.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

- La instalación debe tener protección de sobretensión de 10 kV

Este indicador garantiza que la lámpara tenga una protección completa, excepto frente a una sobretensión transitoria extrema. La protección contra la sobretensión de > 4 kV se aplicada con frecuencia.

Verificación

El licitador debe indicar el nivel de tensión y la protección contra sobretensiones.

4.4.3 Marca de conformidad

Las marcas de conformidad aseguran que los componentes del sistema de iluminación cumplan con los estándares esenciales para productos eléctricos. El distintivo CE es sigue siendo obligatorio para cualquier producto comercializado en la UE y, por lo tanto, no se menciona explícitamente como un requisito especial.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

Todos los componentes del sistema de iluminación deben tener las siguientes marcas de conformidad:

- ENEC (*European Norm Electromechanical Certification*)

Verificación

Para todos los componentes, el licitador debe presentar una declaración de conformidad.

4.4.3.1 Vida útil, garantía y reparabilidad

Vida útil de la luminaria y del módulo LED

La duración mínima de la vida útil de la luminaria se especifica como requisito LxBy (véase el capítulo 2). PremiumLight-Pro considera que la vida útil se debe indicar como un valor L80B10.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

- La luminaria tendrá una vida útil nominal de al menos $L_{80}B_{10} = 60\,000$ h.

PremiumLight-Pro cubre sólo los criterios de tecnología LED, sin incluir los criterios de vida útil de las lámparas de alta presión. Las pautas de topstreetlight.ch, por ejemplo, recomiendan una vida útil de la luminaria LED de al menos 100 000 h. [SES]

Verificación

El licitador deberá proporcionar las especificaciones técnicas de la luminaria según los métodos de medición de última generación, como las normas europeas armonizadas si estas están disponibles. Si es posible, proporcionar informes de laboratorios independientes al fabricante.

Vida útil del equipo de control

Los supervisores de los equipos de control tienden a ser una fuente de fallos y, por lo tanto, afectan de manera significativa la necesidad de mantenimiento y reparación. Un equipo de control de alta calidad permite una vida útil de 100 000 horas, mientras que los productos de baja calidad pueden alcanzar sólo 30 000 horas o incluso menos.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

La tasa de fallos del equipo de control será inferior al 0,1% por 1 000 horas y la después de 100 000 horas será inferior al 10 %.

Verificación

El licitador deberá proporcionar las especificaciones técnicas del equipo de control según los métodos de medición de última generación, como las normas europeas armonizadas si estas están disponibles.

Garantía

La garantía del sistema de iluminación y los componentes del sistema, así como la reparabilidad, son características esenciales que respaldan la vida útil esperada de la instalación de iluminación. Una vida útil prolongada puede justificar una mayor inversión inicial para mejorar

la eficiencia de instalaciones de alumbrado vial LED de alta calidad.

Las reparaciones y el mantenimiento en general deben ser posibles sin equipo propio.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

El período de garantía o contrato de servicio debe cubrir un mínimo de diez años e incluir:

- a Reemplazo sin coste de luminarias, equipos de control y fuentes de luz defectuosas, incluida la disminución del lumen por debajo de los niveles especificados.
- b Reemplazo completo de lotes de luminarias si más del 10 % de las unidades en el lote son defectuosas.

La garantía debe excluir los siguientes casos:

- c Luminarias defectuosas debido a vandalismo, accidentes, rayos o tormentas.
- d Lámparas y luminarias utilizadas bajo condiciones anormales, por ejemplo, si se ha utilizado un voltaje de línea incorrecto).

Reparabilidad y disponibilidad de repuestos.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

- La disponibilidad de piezas de repuesto se garantizará por un período de diez años. Con respecto a la reparabilidad, la fuente de luz (lámpara o módulo LED) y los elementos auxiliares deben ser fácilmente accesibles y reemplazables in situ (es decir, a la altura de montaje de la luminaria) y reparables con herramientas estándar.

Algunas comunidades exigen una disponibilidad de piezas de repuesto incluso mayor, por ejemplo de quince años [Ciudad de Viena].

Existe cierta tendencia a que los módulos LED se integren en las luminarias y, por lo tanto, no puedan ser reemplazados por módulos nuevos. Sin embargo, en base a las actuales estrategias de economía circular y de las estrategias que favorecen una vida útil prolongada del producto, la sustitución de los módulos LED debe ser obligatoria.

Verificación

La garantía o el acuerdo de servicio se deben especificar en la oferta indicando las partes cubiertas por los acuerdos de servicio y la garantía. Se proporcionará una lista de piezas de repuesto junto con un manual y un diagrama de la luminaria que ilustre el acceso, desmontaje y montaje de las piezas.

4.4.4 Costes del ciclo de vida/CTP

El mejor método para evaluar el ahorro de los nuevos sistemas de iluminación LED es mediante el coste del ciclo de vida. Si bien los costes de compra pueden ser más altos que los de los sistemas de iluminación tradicionales, los costes totales, que incluyen el funcionamiento y el mantenimiento, suelen ser menores. Un enfoque de evaluación del ciclo de vida o el CTP permite soluciones más caras en cuanto a la inversión inicial pero más rentables a lo largo de la vida útil del sistema.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

El licitador calculará el coste del ciclo de vida o CTP respectivamente para la instalación de alumbrado vial utilizando un método especificado por el comprador. Se recomienda emplear uno de los siguientes enfoques:

- El método del valor presente como se describe en el informe técnico CIE 115:2010, pág. 24. [CIE].
- El método de costes anuales promedio como se describe en el informe técnico CIE 115:2010, pág. 24. [CIE].
- El método descrito por Requirement ID:10677:1 de la Agencia Nacional Sueca de Contratación Pública (*Uphandlingsmyndigheten*) [UM].

Los cálculos de CTP incluirán parámetros como coste laboral, costes de electricidad, precio de compra, vida útil prevista de las luminarias o costes de mantenimiento (tiempo para limpiar una luminaria en una limpieza grupal, para reparar una luminaria en un reemplazo puntual, frecuencia de limpieza de las luminarias, etc.).

Verificación

Los licitadores deberán proporcionar un cálculo CCV/CTP basado en un método de cálculo de costes aceptado que deberá especificar el comprador.

4.4.5 Asuntos contractuales

Varios requisitos a considerar en la licitación no son técnicos ni se utilizarán para la evaluación de la licitación, sino que pertenecen a las especificaciones contractuales.

Instalar correctamente el sistema de iluminación es un requisito básico para un funcionamiento seguro y eficiente. Los criterios de adquisición deben incluir requisitos de instalación e información y documentación para el mantenimiento.

4.4.5.1 Instalación y calibración adecuadas

Para garantizar unos niveles adecuados de iluminación y calidad de iluminación de acuerdo con los estándares

correspondientes, es esencial la correcta instalación correcta del sistema de iluminación. Para ello, se deben cumplir los siguientes requisitos:

Instalación correcta

Requisitos de PremiumLight-Pro:

El licitador deberá:

- Asegurarse de que todos los equipos de iluminación, incluidas lámparas, luminarias, controles de iluminación y sistemas de medición, estén instalados tal y como se especifica en el diseño.
- Proporcionar documentación sobre todos los equipos de iluminación instalados en la que se confirme que cumplen con las especificaciones originales.
- Realizar mediciones para un segmento de carretera escogido de forma aleatoria por las que se certifique el cumplimiento del sistema de iluminación con las especificaciones y los estándares relevantes. Entre otros, el PDI y el AECl se calcularán en función a dichas mediciones a lo largo de una semana de acuerdo con la EN 13201 y un cálculo con tolerancia de $\pm 10\%$.
- Verificar los criterios de contaminación lumínica realizando mediciones del ángulo de la pluma para un conjunto de luminarias seleccionadas al azar (máx. $\pm 2^\circ$ de tolerancia).

Verificación

El licitador debe proporcionar todos los documentos y resultados de mediciones especificados.

Calibración

Requisitos de PremiumLight-Pro:

El licitador se asegurará de que los controles del sistema de iluminación funcionen correctamente y el consumo de energía no sea superior al especificado en el diseño del sistema de iluminación. También debe verificar que los siguientes tipos de funciones de control estén calibrados y funcionen correctamente:

- Sistemas de control sensibles a la luz del día
- Control basado en el tráfico
- Temporizadores

Verificación

El contratista debe ajustar el sistema de acuerdo con los requisitos y especificaciones y proporcionar la documentación relacionada. El licitador deberá proporcionar toda la información y documentación para el funcionamiento y el mantenimiento de las funciones de control.

Información y documentación sobre mantenimiento, reemplazo y recalibración

Requisitos de PremiumLight-Pro:

Una documentación completa debe asegurar que el operador del sistema de iluminación esté equipado con toda la información relevante esencial para un funcionamiento y mantenimiento eficientes. El licitador debe proporcionar instrucciones sobre:

- desmontaje para luminarias,
- reemplazo de fuentes de luz (tipos y procedimientos),
- funcionamiento y la recalibración de los controles de iluminación y ajuste de los tiempos de desconexión.

Verificación

El licitador proporcionará toda la documentación pertinente y las instrucciones para el personal responsable.

4.4.6 Disminución de residuos y recuperación de materiales

Es un asunto esencial para la mayoría de las instalaciones de alumbrado vial, ya que casi todos los nuevos sistemas que se instalan reemplazan a los antiguos. Se deben recoger cantidades significativas de desechos y se pueden recuperar diversos compuestos.

Requisitos de PremiumLight-Pro:

Durante el desmontaje y la nueva instalación, todos los componentes pertinentes deberán separarse y recuperarse de conformidad con la Directiva RAEE de la UE, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. [WEE].

Verificación

El licitador debe informar sobre cómo se separarán los residuos y se recuperarán los materiales durante el desmontaje del sistema antiguo y la instalación del nuevo.

4.5 Criterios de adjudicación de PremiumLightPro: ponderación y calificación

En la sección anterior se especifican los criterios mínimos obligatorios y los criterios de adjudicación. Para los criterios de adjudicación también enumerados en la Tabla 12, se aplica una puntuación que permite clasificar las ofertas, aunque para calcular la puntuación total se requiere una ponderación de diferentes tipos de criterios. La siguiente sección propone un posible concepto de ponderación.

Las Tablas 12 y 13 muestran la ponderación propuesta para los criterios de adjudicación. Ambos enfoques muestran conceptos para proyectos con y sin cálculo de CTP.

En proyectos a los que se puede aplicar un enfoque sólido de CTP que abarque los principales parámetros relacionados con los costes de inversión, funcionamiento y mantenimiento, sólo se deben incluir algunos parámetros adicionales como calidad, diseño, garantía y fin de la vida útil (véase la Tabla 12). Dado que el consumo energético y el mantenimiento se incluyen en los costes de electricidad y mantenimiento la ponderación de los criterios de CTP es consecuentemente alto en comparación.

Cuando no se evalúa la CTP de energía, los costes de mantenimiento y de inversión se evalúan por separado

La ponderación de los criterios suele adaptarse a las necesidades locales. La ponderación presentada aquí debe considerarse como opcional.

Tabla 14 Ponderación de los criterios de adjudicación para proyectos que incluyen información de CTP

Criterios de adjudicación		Ponderación [%]
Criterios de coste basados en el coste total de propiedad (CTP).		50
CTP	Costes de inversión	15
	Costes de electricidad	20
	Costes de mantenimiento	15
Criterios de calidad y diseño		30

Criterios de adjudicación	Ponderación [%]
Calidad de la luz	20
Diseño	10
Garantía y método de reciclaje	20
Garantía	10
Disponibilidad de repuestos y método de reciclaje	10
Total	100

Tabla 15 Ponderación de los criterios de adjudicación para proyectos que no incluyen información de CTP

Criterios de adjudicación	Ponderación [%]
Criterios de coste	25
Costes de inversión	25
Criterios de calidad y diseño	35
Calidad de iluminación y vida útil	25
Diseño	10
Criterios energéticos	20
AECEI o PDI o eficiencia de los componentes (dependiendo del tipo de proyecto, se utilizará el indicador más apropiado; algunos tipos de proyectos sólo aceptan el PDI o la eficiencia de los componentes)	20
Criterios de funcionamiento, mantenimiento y fin de la vida útil	20
Facilidad de mantenimiento y reparación	10
Garantía y disponibilidad de repuestos	10
Total	100

Bibliografía

- BAT – Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World (2016). C. Voigt, T. Kingston (editores). Springer Open
- BFE – Energieeffiziente Straßenbeleuchtung mit LED (2016). Energie Schweiz, BFE
- BG – Beleuchtungstechnik Grundlagen (2016). Baer, Barfuß, Seifert. HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin
- CIE – CIE 115:2010 Technical Report “Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic”, Commission Internationale De L’Eclairage
- Comisión Europea (2015a): Preparatory Study on Light Sources for Ecodesign and/or Energy Labelling Requirements (‘Lot 8/9/19’), Final report Task 3: Use of Light Sources
- Comisión Europea (2015b): Preparatory Study on Light Sources for Ecodesign and/or Energy Labelling Requirements (‘Lot 8/9/19’), Final report Task 4: Technologies EN 13201-1:2014 – Street lighting. Guidelines on selection of lighting classes;
- EN 13201-2:2015 – Street lighting – Part 2: Performance requirements;
- EN 13201-3:2015 – Street lighting – Part 3: Calculation of performance;
- EN 13201-4:2015 – Street lighting – Part 4: Methods of measuring lighting performance;
- EN 13201-5:2015 – Street lighting – Part 5: Energy performance indicators;
- ENG – Engineering: Progress in Understanding Color Maintenance in Solid-State Lighting Systems (2015). Maryam Yazdan Mehra, Willem Dirk van Driela, G. Q. (Kouchi) Zhang, Volume 1, Issue 2, 2015, Págs. 170–178
- GPP – Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Street Lighting and Traffic Signals (2016); Technical report and criteria proposal (primera versión)
- IIEC – International Institute for Energy Conservation (2015): Energy Efficiency Guidelines for Street Lighting in the Pacific; Bangkok
- LRT – An examination of the fundamentals of street lighting for pedestrians and drivers (2004). P Raynham. Lighting Res. Technol. 36, 4 2004 págs. 307–316
- LRT2 – A smart LED luminaire for energy savings in pedestrian street lighting (2015). E Juntunen, E Tetri, O Tapaninen, S Yrjänä, V Kondratyev, A Sitomaniemi, H Siirtola, EM Sarjanoja, J Aikio, V Heikkinen. Lighting Res. Technol. 2015; Vol. 47: 103–115
- PE – The design and implementation of an energy efficient street lighting monitoring and control system (2012). Electrical Review, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 11a
- RO – Lighting (2014).D.C. Pritchard. Routledge
- RL – Street lighting (2015): Fundamentals, Technology, and Application. Wout van Bommel, Springer
- SdN – Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft (2013). BfN-Skripten 336, Bundesamt für Naturschutz, M. Held, F. Hölker, B. Jessel (editores)
- SEN – Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol (2016). F J Bellido-Outeiriño, F J Quiles-Latorre, C D Moreno-Moreno, PMC
- SES – Straßenbeleuchtung (2016). Effiziente Systeme – Empfehlungen für Gemeindebehörden und Beleuchtungsbetreiber. topstreetlight.ch
- VEJ – Handbook Street Lighting – Construction and Planning (2015). Vejregler, Denmark
- WEEE – Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)
- ZHA – Zhaga Interface specification book 1 (2015): overview and common information, Edition 1.7
- ZHA5 – Zhaga Interface Specification Book 5 (2014): Socketable LED Light Engine with Separate Electronic Control Gear, Edition 1.2
- ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2016): Leitfaden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung Begriffe, Definitionen und Messverfahren: Grundlagen für Vergleichbarkeit, Frankfurt am Main
- ZVEI2 – Überspannungsfestigkeit in Leuchten der Schutzklasse II für die Straßenbeleuchtung (2014). Informationspapier, Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie
- ZVEI3 – Information zum Dimmen von LED-Lichtquellen (2014). ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., 2014

Lista de figuras

Figura 1 - Diferentes definiciones de cantidad de luz.

Figura 2 - Incremento del umbral.

Figura 3 - Temperatura de color (para hacer una recreación ver <https://academo.org/demos/colour-temperature-relationship/> para valores RGB).

Figura 4 - Definición de los parámetros cut-off.

Figura 5 - Tipos de criterios de iluminancia.

Figura 6 - Ejemplo de un diseño para calcular el PDI o AECI.

Figura 7 - Ejemplo de salida de luz según la hora: potencia máxima durante la noche y a primeras horas de la mañana, potencia media a altas horas de la noche.

Figura 8 - Salida de luz según la hora, con detectores de movimiento que detectan vehículos y personas: potencia máxima cuando se detecta movimiento.

Figura 9 Ubicación céntrica.

Figura 10 Ubicación rural.

Figura 11 Fósforo suspendido en encapsulado de silicio (izquierda) y revestimiento de fósforo (derecha).

Figura 12 Módulo LED de fósforo remoto que crea luz blanca.

Figura 13 Tipos de luminaria LED.

Figura 14 Reflector, refractor y lente en alumbrado vial.

Figura 15 Disposición de las luminarias.

Figura 16 Arquitectura del sistema de control de iluminación vial.

Figura 17 Comunicación mediante cable eléctrico.

Figura 18 Comunicación inalámbrica.

Figura 19 Geometría para la medida de cromaticidad usando un goniómetro.

Figura 20 Clasificación de zonas de protección contra la contaminación luminosa. Fuente: https://www.ceisp.com/fileadmin/pdf/Downloads/Protocolo_Auditoria_Octubre08.pdf

Figura 21 Valores límite del flujo hemisférico superior instalado. Fuente: https://www.ceisp.com/fileadmin/pdf/Downloads/Protocolo_Auditoria_Octubre08.pdf

Lista de tablas

Tabla 1 -Tipos de discapacidad por deslumbramiento (EN13201-2 y Vejregler2015).

Tabla 2 Clasificación de incomodidad por deslumbramiento (VEJ 2015)

Tabla 3 Índice de reproducción cromática para sistemas de alumbrado vial [BG]

Tabla 4 Clasificación del grado de protección contra entrada (IP).

Tabla 5 Clasificación del impacto mecánico (IK).

Tabla 6 Valores típicos de eficacia energética según el tipo de lámpara exterior [BG].

Tabla 7 Índice espectral según zona lumínica

Tabla 8 Índice espectral según tecnología de iluminación

Tabla 9 Ejemplos D_p (en $[W/(lx \cdot m^2)]$) / D_e (medido en $[(kWh)/m^2]$) valores para una carretera de dos carriles para el tráfico motorizado.

Tabla 10 Elección de la iluminación para una ubicación céntrica (Norma EN13201-1:2014).

Tabla 11 Elección de la clase de iluminación para una área rural (Norma EN 13201)

Tabla 12 Niveles de integración de los LED

Tabla 13 Requisitos mínimos y criterios de adjudicación de PremiumLight-Pro

Tabla 14 Ponderación de los criterios de adjudicación para proyectos que incluyen información de CTP

Tabla 15 Ponderación de los criterios de adjudicación para proyectos que no incluyen información de CTP

Apéndice. Criterios de adquisición para alumbrado público LED



Los criterios de compra de PremiumLight-Pro recomendados en este apéndice están diseñados para ayudar y pautas para la adquisición de sistemas de iluminación LED eficientes y de alta calidad destinados a la iluminación vial. La guía incluye las siguientes secciones:

- a** Elementos generales y características relacionadas con la especificación de los sistemas de iluminación vial, incluidas características del control, medición, etc.
- b** Criterios de selección, que especifican los requisitos generales para la selección del licitador.
- c** Criterios técnicos relativos a la calidad, la eficiencia y la seguridad del sistema de iluminación, incluidos los requisitos obligatorios y los criterios de adjudicación que se utilizarán con un enfoque de puntuación.
- d** Aspectos contractuales: requisitos relativos a la instalación y calibración del sistema.

Los criterios están dirigidos principalmente a expertos en adquisiciones y a los encargados de la toma de decisiones a

nivel autonómico, local y municipal que están a cargo de poner en marcha instalaciones de alumbrado público nuevas de renovarlas. Estos criterios pueden ser también útiles para diseñadores y planificadores de alumbrado vial, empresas contratistas y especialistas y consultores de energía.

Además, el documento contiene dos posibles enfoques para ponderar los criterios de adjudicación. El enfoque preferido está relacionado con el concepto de coste total de propiedad (CTP).

Estos criterios también se pueden descargar como un documento independiente desde la página web del Proyecto, en la sección Manuales y descargas del apartado dedicado a la iluminación exterior: <http://www.premiumlightpro.es/iluminacion-exterior/manuales-y-descargas/>



A Elementos generales para las especificaciones técnicas de los sistemas de alumbrado público

A.1	Especificación de calles, caminos y especificaciones técnicas relacionadas (iluminancia, uniformidad, factor de mantenimiento).	<p>El comprador deberá especificar las calles y caminos para los cuales se diseñará el sistema de iluminación vial o se adquirirán los componentes de iluminación. El sistema se debe especificar según la norma EN13201 y las normas nacionales relacionadas.</p> <p>Para las especificaciones se deben tener en cuenta las situaciones variables que ofrecen espacio para el control y la atenuación de la iluminación. El comprador deberá especificar, entre otros:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Niveles de iluminancia, • Niveles de uniformidad, • Factores de mantenimiento del sistema de iluminación según la EN 13201 o las necesidades específicas. 	
A.2	Funciones del control de iluminación	<p>El comprador deberá especificar una de las siguientes tres opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No tiene en consideración las características del control de iluminación porque no considera oportuno controlar o atenuar el sistema de iluminación específico. • Es plenamente consciente de las opciones adecuadas para el control y atenuación de la iluminación en el sistema de iluminación específico e indica los requisitos detallados para un sistema de control de iluminación. • No se ve en condiciones de especificar características óptimas de control de iluminación para el sistema de iluminación, pero solicita al licitador una oferta para un sistema regulable acompañado de un cálculo transparente de CCV. 	Las características de control de iluminación se evaluarán en función a cada proyecto y, cuando corresponda, los requisitos especificados.
A.3	Medición del consumo de energía	<p>El comprador deberá especificar una de las siguientes tres opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No se tiene en consideración ninguna medida de consumo eléctrico porque no considera apropiado cuantificarlo en el sistema de iluminación específico. • Es plenamente consciente de las opciones de medición adecuadas para el sistema de iluminación específico e indica los requisitos detallados para el concepto de medición. • No se ve en condiciones de determinar una medición óptima del consumo del sistema, pero solicita al licitador una oferta para medirlo adecuadamente y un cálculo transparente de CCV. 	La adecuación de las características de medición se debe comprobar en cada licitación.

B Criterios de selección

	Criterio	Requisito	Requisito obligatorio	Comentario
B.1	Conocimientos y experiencia del equipo de diseño y el equipo de instalación	Un mínimo de cinco proyectos de iluminación relevantes en los últimos tres años, de envergadura similar a la licitación.	✓	La experiencia puede incluir proyectos previos en otras compañías.
B.2	Capacidad del licitador para completar el proyecto dentro del periodo de tiempo especificado	La capacidad del licitador debe ser satisfactoria para la envergadura y el calendario del proyecto.	✓	Debe especificarse según la envergadura y el calendario del proyecto.

	Criterio	Requisito	Requisito obligatorio	Comentario
B.3	Cumplimiento de las normas EN u otras normas relevantes	El licitador debe cumplir con las normas relevantes. Por ejemplo, debe cumplir con la norma EN 13201.	✓	Puede que los requisitos incluyan diferentes estándares nacionales.

C Criterios técnicos (requisitos obligatorios y criterios de adjudicación)

Criterio energético					
	Criterio	Requisito	Requisito obligatorio	Criterio de adjudicación	Comentario
C.1	Indicador de densidad de potencia (PDI) e indicador del consumo de energía anual (AECI)	<p>Indicador de densidad de potencia (PDI):</p> $D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \cdot A_i)}$ <p>Indicador de consumo de energía anual (AECI):</p> $D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \times t_j)}{A}$ <p>D_p (PDI): indicador de densidad de potencia D_E (AECI): indicador de consumo de energía anual P: potencia (W) E_i: iluminancia horizontal promedio mantenida (lx) A: zona iluminada (m²)</p>	(✓)	✓	<p>El PDI y el AECI se basan en la norma EN 13201-5: 2016 y en el borrador CPE de la UE sobre iluminación vial. Se utilizarán como un criterio de adjudicación que el licitador debe calcular de forma transparente y verificar con mediciones en determinados segmentos de carretera. El comprador que desee calcular los niveles de referencia aproximados, que los licitadores no deberían exceder, pueden utilizar fórmulas simplificadas para el cálculo de referencia como propone la CPE de la UE (Borrador 2017).</p> <p>PDI < M/(η × Fm × 0,07 × RW) AECI < M × PDI × Fdim × Em × T × 1 kW/1000 W</p> <p>Fm: Factor de mantenimiento del sistema de iluminación RW: Ancho de la vía Fdim: Factor de atenuación Em: Iluminancia T: Tiempo (h) η: Eficacia de la luminaria M: Factor de ajuste:</p> <ul style="list-style-type: none"> • M = 1,3 para los sistemas de iluminación existentes cuyos puntos de luz y postes ya existentes no se pueden cambiar de posición • M = 1,2 para sistemas de iluminación nuevos
C.2	Eficiencia energética de la luminaria	<p>Eficacia mínima (2017-2018):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura cromática ≥ 4000 K: ≥ 120 lm/W • Temperatura cromática 2700-3000 K: ≥ 105 lm/W • Temperatura cromática ≤ 2000 K: ≥ 80 lm/W 	✓	✓	<p>Valores objetivo revisados una vez al año. En casos excepcionales donde se requiere una temperatura cromática especialmente baja por razones ecológicas, es aceptable una eficacia menor > 75 lm/W. Por ejemplo, actualmente los LED especiales de baja temperatura se ofrecen alrededor de 2000 K o menos para aplicaciones donde la preservación del medio ambiente es importante.</p>
C.3	Eficiencia energética del módulo LED	Eficacia mínima: 160 lm/W	✓	✓	Los valores objetivo se revisan una vez por año.

Criterio energético

	Criterio	Requisito	Requisito obligatorio	Criterio de adjudicación	Comentario
C.4	Factor de potencia	Carga completa: $\cos \phi \geq 0.9$ 50 % carga (atenuación): $\cos \phi \geq 0.8$	✓		
C.5	Funciones de control de iluminación	Opcional: de igual manera que si se indicara como especificación técnica.		✓	Las opciones para las características de control de iluminación se evaluarán para cada proyecto y se indicarán los requisitos si se considera oportuno.
C.6	Medición del consumo de energía	Opcional: de igual manera que si se indicara como especificación técnica.		✓	Se comprobará la adecuación de las características de medición a cada licitación.

Criterios de calidad y diseño

	Criterio	Requisito	Requisito obligatorio	Criterio de adjudicación	Comentario																					
C.7	Temperatura cromática	Áreas domésticas, principalmente peatonales: ≤ 3000 K Carreteras principales, autopistas y áreas con tráfico mixto: ≤ 4000 K	✓		La temperatura de color recomendada se indicará en función a la clase de vía.																					
C.8	Reproducción cromática	Casos que justifiquen un requerimiento de una buena reproducción cromática: $R_a \geq 70$ Para el resto de aplicaciones: No hay requisito		✓	El nivel de reproducción de color recomendado debe indicarse en función a la clase de vía.																					
C.9	Consistencia cromática	La consistencia cromática debe ser de un máximo de 5 elipses de MacAdam al ponerse en funcionamiento.	✓																							
C.10	Luminancia e iluminancia	De acuerdo con EN13201	✓		De acuerdo con los requisitos del estándar.																					
C.11	Distribución luminosa (uniformidad de la distribución de luz)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de vía</th> <th>U_o</th> <th>U_l</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>0.4</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>0.4</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>0.4</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>M4</td> <td>0.4</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>M5</td> <td>0.35</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>M6</td> <td>0.35</td> <td>0.4</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de vía	U _o	U _l	M1	0.4	0.7	M2	0.4	0.7	M3	0.4	0.6	M4	0.4	0.6	M5	0.35	0.4	M6	0.35	0.4	✓		De acuerdo con la norma EN 13201. La U _l (uniformidad longitudinal) sólo es relevante en tramos de carretera largos e ininterrumpidos.
Tipo de vía	U _o	U _l																								
M1	0.4	0.7																								
M2	0.4	0.7																								
M3	0.4	0.6																								
M4	0.4	0.6																								
M5	0.35	0.4																								
M6	0.35	0.4																								

Criterios de calidad y diseño

	Criterio	Requisito	Requisito obligatorio	Criterio de adjudicación	Comentario
C.12	Contaminación lumínica	FHS = 0 %. FHS = flujo hemisférico superior	✓		Un FHS distinto puede ser apropiado en casos específicos, pero debe estar justificado. Recordar que una vez instalada la luminaria, FHSinst puede ser distinto de FHS
C.13	Protección contra el deslumbramiento (discapacidad e incomodidad por deslumbramiento)	Discapacidad por deslumbramiento: G4 o superior Incomodidad por deslumbramiento: G6 o G5	✓		Véanse, por ejemplo, las directrices para el alumbrado público en DK, Vejregler 2015.
C.14	Protección contra el ingreso (clasificación IP)	Requisito mínimo: IP 65 para todas las clases de vía	✓		Una categoría inferior puede ser aceptable si está justificada.
C.15	Protección contra impactos (clasificación IK)	Requisito mínimo: IK 07 para todos los tipos de vía	✓		El nivel puede ajustarse para determinadas aplicaciones.
C.16	Protección IEC	Clase II	✓		
C.17	Protección contra sobretensión	10 kV	✓		
C.18	Marca de conformidad para todos los componentes	ENEC y reglamentos nacionales	✓		
C.19	Durabilidad	Luminarias $L_{80}B_{10} \geq 60\,000$ h	✓	✓	
C.20	Garantía	El período de garantía o contrato de servicio debe cubrir un mínimo de diez años	✓	✓	<p>aTodas las fuentes de luz, los equipos de control o las luminarias defectuosas deben reemplazarse sin ningún coste. Si la luminaria proporciona menos salida lumínica que la especificada inicialmente, se considerará como defectuosa.</p> <p>bCada lote de lámparas o luminarias se reemplazará por completo en caso de que el número de unidades defectuosas en el lote sea superior al 10%.</p> <p>Condiciones no previstas:</p> <p>cLuminarias defectuosas debido a vandalismo, accidentes, rayos o tormentas</p> <p>dLámparas y luminarias que han estado en funcionamiento durante mucho tiempo bajo condiciones anormales (por ejemplo, con un voltaje de línea incorrecto) en la medida en que el fabricante lo pueda demostrar.</p>

Criterios de calidad y diseño

	Criterio	Requisito	Requisito obligatorio	Criterio de adjudicación	Comentario
C.21	Disponibilidad de repuestos de las partes del sistema	Las piezas de repuesto para los componentes del sistema de iluminación estarán disponibles por un mínimo de 15 años.	✓	✓	
C.22	Facilidad de reparación y reciclaje	La fuente de luz (lámpara o módulo LED) y los elementos auxiliares de la luminaria son de fácil acceso, reemplazables y de sustitución realizable in situ, es decir, a la altura de montaje de la luminaria.	✓	✓	Deben especificarse los criterios y niveles de evaluación.
C.23	Diseño	Los criterios de diseño deben especificarse individualmente y ser evaluados por un jurado.		✓	Debe evaluarse por un jurado.

Criterios para proyectos que sólo necesitan reemplazar componentes del sistema

	Criterio	Requisito	Requisito obligatorio	Criterio de adjudicación	Comentario
C.24	Tiempo de vida de la luminaria	Luminarias ≤ 25 W: $L_{80}B_{10} \geq 50.000$ h Luminarias > 25 W: $L_{80}B_{10} \geq 100.000$ h	✓	✓	
C.25	Vida útil del módulo LED	$L_{80}B_{10} \geq 100.000$ h	✓	✓	
C.26	Vida útil del controlador y tasa de fallo	Tasa de fallo del 0,1 % por 1000 h	✓	✓	

Criterios de coste

	Criterio	Requisito	RO	CC	Comentario
C.27	Costes del ciclo de vida (CCV) (opción 1: preferida)	El cálculo de los costes del ciclo de vida es obligatorio para todos los proyectos donde proceda.		✓	El licitador proporcionará un cálculo transparente de los costes del ciclo de vida respecto al cálculo del costo total de propiedad (CTP). Si las ofertas se basan en cálculos de CTP, el criterio de adjudicación AECl se incluirá en la evaluación de los costes de CTP.
C.28	Costes de inversión (opción 2: alternativa)	Criterio de adjudicación para proyectos en los que no pueden evaluarse los costes del ciclo de vida respecto al CTP.		✓	Si las ofertas no pueden basarse en cálculos de CTP, se evaluarán los criterios de adjudicación «AECl» y los «costes de inversión» de forma paralela.

D Problemas contractuales (instalación, puesta en servicio)

D.1	Instalación correcta	<p>El contratista debe asegurarse de que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El sistema de iluminación se ha instalado tal y como se ha solicitado o indicado • Se entrega un cronograma de equipos de iluminación instalados con facturas adjuntas de fabricantes o notas de entrega • Se constata que el equipo se ha instalado como se especificó originalmente. <p>Para un segmento de carretera seleccionado al azar por el facilitador, el contratista seleccionará dos postes para los cuales se debe suministrar un certificado de medición que certifique que el sistema de iluminación para este segmento de carretera cumple con los requisitos especificados en EN 13201-2.</p> <p>Para este segmento de carretera, también se medirán o calcularán la potencia máxima (W) y el consumo de energía (kWh) durante un período de una semana. En base a estos datos y a las mediciones de iluminancia EN 13201-2 previas, se calcularán el PDI y el AECl y se verificará con el diseño (máximo +/- 10 % de tolerancia).</p> <p>Para limitar la contaminación lumínica, se medirá el ángulo de la pluma de un conjunto de luminarias en el segmento de carretera seleccionado y se comparará con las especificaciones de diseño (máximo +/- 2° de tolerancia).</p>	Adaptado de acuerdo con Contratación Pública Ecológica
D.2	Puesta en funcionamiento de los sistemas y controles de iluminación	<p>El contratista debe asegurarse de que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los sistemas y controles de iluminación nuevos o renovados funcionan correctamente y no utilizan más energía de la solicitada o indicada. • Se calibran los controles vinculados a la luz solar para garantizar que apaguen la iluminación cuando la luz solar sea la adecuada. • Se verifica que los sensores de tráfico detectan vehículos, bicicletas y peatones según su aplicación. • Los temporizadores o las escenas de control en el software se deben configurar con tiempos de desconexión adecuados para satisfacer las necesidades visuales sin un aumento excesivo en el consumo de energía. <p>Si después de la puesta en marcha, hay partes del sistema de iluminación que no parecen cumplir con todos los requisitos y especificaciones anteriores, el contratista deberá ajustar y/o recalibrar los sistemas.</p>	Adaptado de acuerdo con Contratación Pública Ecológica
D.3	Reducción y recuperación de desechos		El licitador debe implementar las medidas adecuadas para reducir y recuperar los desechos que se producen en la instalación del nuevo sistema de iluminación o el reacondicionamiento del sistema de iluminación. Todas las lámparas, luminarias y componentes electrónicos sustituidos deberán separarse y recuperarse de acuerdo con la directiva RAEE.

Ponderación de los criterios de adjudicación

Para la evaluación de los criterios de adjudicación, se requiere un enfoque de ponderación. La siguiente sección proporciona dos opciones para un posible concepto de ponderación, uno de los cuales implica un enfoque de CTP.

En los proyectos donde se puede aplicar un enfoque de CTP sólido, ya se incluyen aspectos principales como el funcionamiento y el mantenimiento, y sólo se deben añadir algunos parámetros adicionales como la calidad, el diseño, la garantía y el fin de la vida útil (primera tabla).

Los aspectos de consumo y mantenimiento de energía, por ejemplo, ya se incluyen en los costes de electricidad y mantenimiento y debe evitarse contabilizarlos por duplicado, por lo que el CTP tiene una gran parte del peso total. La ponderación de los criterios generalmente debe adaptarse a las necesidades y a los requisitos locales. Por lo tanto, el enfoque recomendado aquí es sólo una opción posible.

Ponderación de los criterios de adjudicación para proyectos con información CTP

Criterio de adjudicación		Ponderación (%)
Criterios de coste basados en el coste total de propiedad (CTP)		50
CTP	Costes de inversión	15
	Costes de electricidad	20
	Costes de mantenimiento	15
Criterios de calidad y diseño		30
Calidad de iluminación		20
Diseño		10
Garantía, diseño para reciclaje		20
Garantía		10
Disponibilidad de repuestos y diseño para reciclaje		10

Criterio de adjudicación	Ponderación (%)
Total	100

Ponderación de los criterios de adjudicación para proyectos sin información CTP

Criterio de adjudicación	Ponderación (%)
Criterios de coste	25
Costes de inversión	25
Criterios de calidad y diseño	35
Calidad de iluminación	25
Diseño	10
Criterios de energía	20
AECI o PDI o eficiencia de los componentes. Según el tipo de proyecto, se utilizará el indicador más apropiado; algunos tipos de proyectos sólo permiten utilizar la PDI o la eficiencia de los componentes.	20
Criterio de funcionamiento, mantenimiento y fin de la vida útil	20
Facilidad de mantenimiento, reparación	10
Garantía y disponibilidad de repuestos	10
Total	100



Una publicación de:

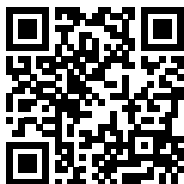


www.premiumlightpro.es



Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación de la Unión Europea, Horizonte 2020, en virtud del acuerdo de subvención N° 695931.

Visita la web de PremiumLight Pro:



Descarga esta guía en formato digital



Versión en español

