

Guía sobre tecnología



LED en el alumbrado

Madrid Ahorra con Energía



Fundación de la Energía
de la Comunidad de Madrid
www.fenercom.com



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid

www.madrid.org

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

www.madrid.org

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

www.fenercom.com

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

Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid
dgtecnico@madrid.org
Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid
fundacion@fenercom.com

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

Depósito Legal: M-16865-2015

Imprime: BOCM

Presentación

En los últimos años el sector de la iluminación ha experimentado un gran avance gracias a la aparición de aplicaciones cada vez más eficientes y variopintas basadas en la tecnología LED.

Los LED constituyen una tecnología avanzada y novedosa, cuyo punto más destacable respecto a cualquier otro tipo de tecnología de iluminación es la eficacia luminosa, que actualmente se sitúa entre 80-90 lm/W siendo la previsión alcanzar en los próximos años los 150 lm/W. Por ello, los dispositivos de iluminación basados en esta tecnología favorecen el ahorro y eficiencia energética contribuyendo así a la consecución del objetivo del horizonte 2020.

Cabe destacar también la elevada vida útil de las lámparas LED, lo que unido al bajo consumo de energía eléctrica permiten un retorno de la inversión en un periodo de tiempo muy reducido, sobre todo en el sector terciario e industrial. Otros puntos importantes de la tecnología LED son la ausencia de radiaciones ultravioletas e infrarrojas, la escasa generación de calor, el encendido instantáneo, el buen rendimiento de color y la posibilidad de regulación de la luz que permite una gestión total de la instalación de alumbrado.

Sin embargo, es fundamental que se garantice la calidad de los LED y equipos auxiliares mediante especificaciones técnicas que cumplan los requisitos establecidos en las pertinentes normas técnicas, tanto en lo que afecta a las definiciones y métodos de medición, como a los valores límite exigibles, ajustándose al diseño ecológico requerido por la Unión Europea.

Para asegurar dichas garantías y, teniendo en cuenta que los Estados Miembros son los responsables de controlar, entre otros parámetros, el rendimiento y la seguridad de los productos que se venden en el mercado de la Unión Europea (UE) con el "mercado CE" y etiquetado de eficiencia energética, resulta necesario el establecimiento de un sistema eficaz de vigilancia del mercado para que se puedan comercializar en la UE productos LED de alta calidad.

Además de todo esto, es importante facilitar la inclusión en el mercado de esta tecnología y para ello se debe animar al sector, a realizar actividades de forma-

ción para que los ciudadanos sean capaces de seleccionar un equipo adecuado a sus necesidades y requisitos. El seleccionar incorrectamente una lámpara LED solo conlleva al malestar del usuario y por consiguiente al perjuicio de la tecnología en general. En este sentido, la propia Administración está realizando esfuerzos en llevar a cabo actuaciones para facilitar una correcta elección de este tipo de equipos pero es fundamental el apoyo del sector de la iluminación para transmitir dicha información correctamente.

Por todo esto, esta guía pretende ser un instrumento para todo tipo de usuarios, tanto para el que no conoce la tecnología como para el usuario avanzado, ya que se difunden desde los conceptos más básicos hasta los últimos avances tecnológicos del sector, así como otros aspectos relacionados con la gestión de la iluminación y la normativa específica, con el fin de aportar una visión global del estado actual de implantación de esta tecnología y contribuir a su desarrollo. Todo lo anterior forma parte de la campaña **Madrid Ahorra con Energía** promovida por la Administración Autonómica y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

Carlos López Jimeno

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

Presentación

La exposición de motivos de la Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, generación y renovación urbana, pone de relieve la distancia que separa a nuestro parque edificado de las exigencias europeas respecto a la eficiencia energética de los edificios y, a su través, de las ciudades.

Por ello, entre otras actuaciones, debe contemplarse la intervención sobre las instalaciones técnicas, para lo cual los nuevos sistemas LED, tanto de iluminación interior como de alumbrado exterior, no solamente aportan ventajas sustanciales en la disminución del consumo de energía eléctrica, sino que además contribuyen a incrementar la calidad de la luz en beneficio de las personas.

Esta Guía Técnica expone y divulga el estado actual y las aplicaciones de la tecnología LED, en aras a la colaboración de la Comunidad de Madrid en el cumplimiento del mandato europeo de reducción del consumo energético y consiguiente limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Pilar Vázquez Sánchez
Presidenta de ANFALUM

Prólogo

En la Unión Europea (UE) el 40% del consumo total de energía corresponde a los edificios donde, entre otros equipamientos, se encuentra la iluminación interior. Obviamente la reducción del consumo de energía constituye una parte importante de las medidas necesarias para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

No debe olvidarse que casi el 58% de nuestros edificios se construyeron con anterioridad a la primera normativa que introdujo en España unos criterios mínimos de eficiencia energética: la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas de los edificios.

Según el Libro Verde: Iluminemos el Futuro (Comisión Europea 15-12-2011), en la UE la proporción que representa la iluminación interior en el consumo total de electricidad varía considerablemente en función del tipo de edificios, y puede llegar a ser:

- Un 30% en oficinas.
- Un 20-30% en hospitales.
- Un 10-15% en escuelas.
- Un 10-12% en edificios residenciales.
- Un 15% en industrias.

No es descabellado considerar que en una edificación, la climatización (calefacción y aire acondicionado) factura aproximadamente entre el 70 y el 75% del consumo de electricidad, mientras que la iluminación cuenta con un 20 o 25% y el resto corresponde a otros consumidores, (aparatos electrodomésticos, ordenadores, etc.).

La iluminación representa el 19% del consumo mundial de electricidad y el 14% de la UE, mientras que la totalidad del alumbrado exterior supone en nuestro país un 1,35% del consumo total de energía eléctrica. Correspondiendo al alumbrado de autopistas y carreteras un 0,40%.

La Unión Europea (UE), ha dispuesto una serie de hitos en el paquete 20-20-20 Energía y Cambio Climático, que establece para los países miembros tres objetivos obligatorios: la reducción del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero y la elevación de la contribución de las energías renovables al 20% del consumo, junto a la mejora de la eficiencia energética en un 20%.

En todo caso, las medidas que se adoptan para reducir el consumo de energía en la UE permitirán cumplir el Protocolo de Kioto y, como se ha señalado anteriormente, restringir para el año 2020 las emisiones de los gases referidos en un 20% como mínimo con respecto a los niveles del año 1990.

Se destaca que la Directiva 2010/31/UE, de 19 de mayo, y su transposición parcial al ordenamiento español mediante el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, establece que después del 31 de diciembre de 2018 los edificios nuevos de titularidad pública que se construyan, serán edificios de consumo de energía casi nulo. Igualmente dicha normativa dispone que los edificios nuevos a construir a partir del 31 de diciembre de 2020, también serán edificios de consumo de energía casi nulo.

Por otra parte, la Directiva 2012/27/UE, de 25 de octubre, que determina un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética, obliga a rehabilitar y renovar anualmente un porcentaje significativo de los edificios para mejorar el ahorro energético.

Dado que en España el porcentaje que representa la rehabilitación y renovación de edificios en relación con el total de la construcción, es uno de los más bajos en la Unión Europea (UE), 13 puntos por debajo de la media europea que alcanza aproximadamente un 41,7% del sector de la construcción, el esfuerzo a llevar a cabo en materia de eficiencia energética tiene que ser muy superior al de la UE.

La utilización, en los nuevos edificios así como en las renovaciones y rehabilitaciones de los existentes, de la tecnología LED mediante luminarias dotadas de *drivers* regulables (sistema 1-10 V), conjuntamente con fotocélulas de luminosidad constante y sensores de presencia, permitirá alcanzar ahorros energéticos del orden del 70% respecto a las soluciones actuales basadas en lámparas de descarga.

Además, si todas las instalaciones del edificio (iluminación, climatización, persianas, toldos. Electrodomésticos, equipos de audio y video, etc.) se controlan y regulan mediante un sistema de gestión técnica centralizada común, se consigue el mayor ahorro energético posible.

Otro tanto cabe decir de las instalaciones de alumbrado exterior (urbano, ornamental, parques y jardines, carreteras, túneles y pasos inferiores) que merced a la implantación del sistema LED, tanto en las nuevas instalaciones como en las remodelaciones y renovaciones, asociados a sensores y telegestión o control y regulación inteligente (*Smart Lighting*), se puede llegar a ahorrar en el consumo de energía eléctrica en torno a un 85%.

De todo lo anterior se desprende la urgente necesidad de divulgar la tecnología LED en todos los ámbitos relacionados con la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior, para ayudar a la consecución de los objetivos fijados por la UE, que es la finalidad de ésta Guía Técnica promovida por la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Economía y Hacienda, así como la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, con la colaboración técnica de la Asociación Española de Fabricantes de Iluminación (ANFALUM).

Resulta prioritario para la Guía Técnica informar a las Autoridades, propietarios y usuarios de los edificios, inversores, industria, consultores, prescriptores, proyectistas y técnicos en general, sobre el estado del arte de los sistemas LED actuales, mediante una metodología expositiva con rigor técnico y cierto contenido didáctico, pero evitando incidir en exceso en los conceptos teóricos y primando el enfoque práctico ligado a la realidad de las instalaciones.

Esta Guía Técnica consta de cuatro bloques o partes diferenciados, el primero de ellos constituido por siete capítulos que desglosan las definiciones básicas, tales como los parámetros fotométricos (flujo, intensidad y eficacia luminosa), colorimétricos (temperatura, rendimiento y uniformidad del color), proceso de triaje selectivo (*binning*), vida y sistemas de alumbrado (tipos de LED, luminarias, *drivers*, control y regulación).

Sentadas las bases, el segundo bloque formado por tres capítulos exponen la legislación, reglamentación y normativa, ventajas de la iluminación LED y las aplicaciones de dichos sistemas de alumbrado.

La tercera parte con un total de ocho capítulos considera, con la debida profundidad y planteamiento práctico, las instalaciones de iluminación interior mediante sistemas LED en lugares de trabajo (industrias), oficinas, escuelas y centros de enseñanza, hospitales y centros de salud, tiendas y centros comerciales, hoteles y restaurantes, edificios residenciales (viviendas) y, finalmente, el alumbrado de emergencia.

El cuarto bloque, compuesto de cinco capítulos, contempla las instalaciones de alumbrado exterior en sus modalidades de alumbrado urbano, ornamental, de parques y jardines, carreteras, túneles y pasos inferiores, incluida una gestión inteligente.

En las instalaciones de alumbrado de carreteras, túneles y pasos inferiores, se debe compaginar siempre el ahorro en el consumo de energía eléctrica con la imprescindible seguridad vial, por lo que en la exposición de éste último bloque no se soslaya la selección de los tramos de carreteras a iluminar, ni la reducción de los niveles de iluminación en las mismas, así como en los túneles; muy al contrario, se recomiendan las intensidades de tráfico (IMD) para su alumbrado, al tiempo que se aconsejan los niveles mínimos de iluminación que, al permitir probabilidades de visión suficientes, garantizan la seguridad de dichas infraestructuras.

La presente Guía Técnica, que al día de la fecha reúne el estado de la tecnología LED aplicable a la iluminación, se publica en 2015 declarado AÑO INTERNACIONAL DE LA LUZ por la ONU y la UNESCO.

Alfredo Berges Valdecantos
Director General de ANFALUM

Autores

En la elaboración de la Guía Técnica han colaborado los Servicios Técnicos de las siguientes Empresas:

- AIRFAL.
- C & G CARANDINI, S.A.
- ELT- ESPECIALIDADES LUMINOTÉCNICAS
- ERCO ILUMINACION S.A.
- ETI ELECTRO-TRANSFORMACION INDUSTRIAL S.A.
- GRUPO LLEDO S.A.
- HAVELLS SYLVANIA SPAIN, S.A.
- ILUMINACIÓN DISANO, S.A.
- LEC.
- NORMAGROUP, S.A.
- OSRAM S.A.
- RTR LIGTHING, S.L.
- SCHREDER SOCELEC S.A.
- TOSHIBA EUROPA GmbH, SUCURSAL EN ESPAÑA
- TRIDONIC IBERIA, S.L.
- TRILUX ILUMINACION S.L.
- ZEMPER.

Con la coordinación e intervención de D. Ricardo Pomatta (Director técnico de ANFALUM), D. José Ignacio Urraca Piñero (Asesor técnico de ANFALUM) y D. Manuel Almazán García (Técnico de apoyo de la Fundación de la Energía) y de la inestimable ayuda de Emilio Hernanz Secretario de ANFALUM.

Madrid Mayo de 2015

Índice

Capítulo 1. Introducción a la iluminación con LED	19
1.1. La tecnología LED	19
1.1.1. La nueva fuente de luz	19
1.1.2. Conocimientos básicos sobre la tecnología LED	20
1.2. Definiciones básicas de los LED	26
1.2.1. Prestaciones de los LED	26
1.2.2. Generación de luz blanca	36
1.2.3. Colores de los LED	39
1.2.4. Vida de las fuentes de luz	41
1.2.5. Regulación de los LED	47
1.3. Características de los LED	48
1.3.1. Diferencia entre chip de LED y sistema de iluminación	50
1.3.2. Estándares de los sistemas de iluminación LED	51
1.3.3. Ventajas de la tecnología LED	53
1.4. Ventajas de la tecnología LED	54
1.4.1. Introducción	54
1.4.2. Eficiencia de una luminaria	55
1.4.3. Eficiencia del LED	57
1.4.4. Eficiencia de la fuente de luz y de la luminaria LED	60
1.4.5. Lámparas tradicionales en relación con los LED	62
1.4.6. Proyecto de iluminación eficiente con LED	64
Capítulo 2. Sistema de alumbrado LED	71
2.1. Tipos de LED	71
2.1.1. Sistemas de alumbrado LED	71
2.1.2. Tipos de LED	72
2.1.3. LED: concepto y producto final	73
2.1.4. La elección del LED óptimo	74
2.1.5. Fabricantes de LED	75
2.1.6. OLED	75
2.1.7. Ventajas y desventajas de OLED	78
2.2. Luminarias de alumbrado LED	79
2.2.1. Luminarias para alumbrado exterior	80

2.2.2.	Luminarias para alumbrado interior	84
2.2.3.	Conclusiones	86
2.3.	<i>Drivers</i> y control de alumbrado	87
2.3.1.	Fuente de alimentación o <i>driver</i>	87
2.3.2.	Componentes del sistema de control	90
2.3.3.	Control y regulación de la luz	93
2.3.4.	Procedimientos avanzados de control de la iluminación	95
2.3.5.	Regulación 1–10 V	97
2.3.6.	Regulación mediante pulsador <i>touch control</i>	99
2.3.7.	Regulación DALI	99
Capítulo 3.	Normativa, ventajas y aplicaciones de los LED	103
3.1.	Legislación, reglamentación y normativa	103
3.1.1.	Actos jurídicos de la Unión Europea	103
3.1.2.	Directiva 2009/125/CE	104
3.1.3.	Reglamento (CE) nº 244/2009	111
3.1.4.	Reglamento (CE) nº 245/2009	112
3.1.5.	Reglamento (UE) nº 1194/2012	113
3.1.6.	Directiva 2010/30/UE	121
3.1.7.	Reglamento (UE) nº 874/2012	123
3.1.8.	Directiva 2012/27/UE	134
3.1.9.	Directiva 2010/31/UE	135
3.1.10.	Normativa de aplicación a los LED	136
3.2.	Ventajas de la Iluminación LED	149
3.2.1.	Introducción	149
3.2.2.	Prestaciones de los LED	150
3.2.3.	Criterios de calidad de la iluminación LED	152
3.2.4.	Ventajas e inconvenientes de los LED	159
3.2.6.	Recomendaciones para la iluminación LED	181
3.3.	Aplicaciones de los sistemas de alumbrado LED	185
3.3.1.	Salud y bienestar	185
3.3.2.	Arte/museos	187
3.3.3.	Tiendas/retail	189
3.3.4.	Oficinas	191
3.3.5.	Industria	193
Capítulo 4.	Iluminación interior	197
4.1.	Iluminación de lugares de trabajo	197
4.1.1.	Iluminación de lugares de trabajo en interiores	197
4.1.2.	Criterios y condiciones del diseño	198

4.1.3.	Tipos de alumbrado de actividades industriales	221
4.1.4.	Sistemas de regulación y control	228
4.1.5.	Conservación de las instalaciones de alumbrado	230
4.1.6.	Ejemplo práctico – cálculos luminotécnicos de una nave industrial	233
4.1.7.	Iluminación de lugares de trabajo en exteriores	235
4.1.8.	Iluminación de instalaciones deportivas	238
4.1.9.	Alumbrado industrial con tecnología LED	239
4.2.	Alumbrado de oficinas	252
4.3.	Iluminación de escuelas y centros de enseñanza	256
4.3.1.	Introducción	256
4.3.2.	Niveles de iluminación y eficiencia energética	257
4.3.3.	Iluminación de la pizarra	259
4.3.4.	Salas de proyecciones	260
4.3.5.	Aulas para el trabajo en ordenadores	260
4.3.6.	Diseño de la iluminación	262
4.3.7.	La luz y la salud	263
4.4.	Alumbrado de hospitales y centros de salud	268
4.4.1.	Alumbrado de hospitales con luminarias LED	268
4.4.2.	Índice de deslumbramiento (UGR)	273
4.4.3.	Índice de reproducción cromática	274
4.4.4.	Iluminancia media mantenida	275
4.4.5.	Eficiencia energética	275
4.4.6.	Conclusiones	276
4.5.	Iluminación de tiendas y centros comerciales	277
4.5.1.	Introducción	277
4.5.2.	Gramática de la luz	280
4.5.3.	Planificación de la iluminación	283
4.5.4.	Tecnología LED en <i>retail</i>	287
4.6.	Iluminación de hoteles y restaurantes	290
4.6.1.	Objeto de la iluminación	290
4.6.2.	Proyecto de iluminación	292
4.6.3.	Entrada y recepción	298
4.6.4.	Pasillos	300
4.6.5.	Escaleras y ascensores	302
4.6.6.	Habitaciones y suites	303
4.6.7.	Cuartos de baño	306
4.6.8.	Restaurantes	307
4.6.9.	Salones de desayuno	310
4.7.	Iluminación de Viviendas	311
4.7.1.	Introducción	311

4.7.2.	Factores previos	312
4.7.3.	Niveles de iluminación	314
4.7.4.	Tipos de iluminación	316
4.7.5.	Conjunto de luminarias – fuentes de luz	326
4.7.6.	Medidas a implantar	328
4.8.	Alumbrado de emergencia	329
4.8.1.	Introducción	329
4.8.2.	Alumbrado de emergencia	330
4.8.3.	Suministros y fuentes propias de energía	331
4.8.4.	Alumbrado de emergencia y seguridad	332
4.8.5.	Luminarias para alumbrado de emergencia	335
4.8.6.	Responsable del alumbrado de emergencia	335
4.8.7.	El alumbrado de emergencia con LED	336
Capítulo 5.	Alumbrado exterior	339
5.1.	Alumbrado urbano	339
5.1.1.	Introducción	339
5.1.2.	Alumbrado exterior LED	341
5.1.3.	Alumbrado urbano	342
5.1.4.	Fometría del sistema LED	345
5.1.5.	Tipología de alumbrado urbano	353
5.1.6.	Calidad de la luz de los LED	362
5.1.7.	Iluminación ornamental	364
5.2.	Alumbrado de parques y jardines	368
5.2.1.	Introducción	368
5.2.2.	Eficiencia energética de los LED	369
5.2.3.	Consideraciones sobre el alumbrado de parques y jardines	372
5.2.4.	Vida de los LED	374
5.2.5.	Espacios verdes y vías con plantación de árboles	374
5.2.6.	Mantenimiento del sistema LED	376
5.3.	Alumbrado de carreteras	377
5.3.1.	Introducción	377
5.3.2.	Selección de tramos de carretera a iluminar	380
5.3.3.	Prescripciones de las luminarias LED	384
5.3.4.	Reducción de niveles de iluminación en carreteras	388
5.3.5.	Apagado de instalaciones de alumbrado de carreteras	393
5.3.6.	Reposición de instalaciones existentes por tecnología LED	394
5.3.7.	Aprovechamiento de la tecnología LED	396
5.4.	Alumbrado de túneles y pasos inferiores	397
5.4.1.	Normativa de aplicación	397
5.4.2.	Alumbrado de túneles y pasos inferiores	400

5.4.3.	Medidas de ahorro en alumbrado de túneles	408
5.4.4.	Alumbrados de seguridad y de emergencia	415
5.4.5.	Comportamiento de los LED	416
5.5.	Gestión del alumbrado exterior: <i>smart lighting</i>	419
5.5.1.	Introducción	419
5.5.2.	Tipos de sensores	422
5.5.3.	Sistemas de control	423
Capítulo 6.	Casos prácticos	427
6.1.	Instalación de iluminación por LED de la fuente de Cibeles	427
6.1.1.	Introducción	427
6.1.2.	Diagnóstico de la instalación – Instalación de iluminación tradicional	428
6.1.3.	Cambio de instalación de iluminación tradicional a LED	429
6.2.	Proyecto: Soto del Real	434
6.3.	Proyecto: Sabadell	436

1.1. La tecnología LED

1.1.1. La nueva fuente de luz

Un LED (*light emitting diode*) es un dispositivo semiconductor que emite luz casi monocromática cuando se polariza de forma directa y es atravesado por una corriente eléctrica.

Es básicamente un semiconductor unido a dos terminales (ánodo y cátodo) que cuando circula corriente eléctrica produce un efecto llamado electroluminiscencia, fenómeno que transforma la energía eléctrica en radiación visible. Por tanto son fuentes de luz en estado sólido, es decir, sin filamento o gas inerte que lo rodee, ni capsula de vidrio que lo recubra como las tecnologías tradicionales.

La invención del LED data de 1956 y las primeras aplicaciones industriales comienzan en 1970. Debido a su baja eficacia luminosa en un principio eran escasas sus aplicaciones, utilizándose en los electrodomésticos, en la electrónica de entretenimiento y en la industria automovilística; después de largas investigaciones se ha conseguido que su eficacia sea superior.

Los nuevos diodos que emiten luz son semiconductores compuestos, que convierten la energía eléctrica en luz. Con un tamaño de pocos milímetros ofrecen decisivas ventajas gracias a su avanzada tecnología, que los convierten en una alternativa real a las lámparas en muchas aplicaciones.

Un diodo emisor está compuesto por varias capas de material semiconductor. Cuando se aplica tensión eléctrica en el sentido del conductor se origina una fuerte corriente, generándose luz en una fina capa, llamada capa activa. El LED emite luz casi monocromática, que depende de los materiales utilizados. Dos combinaciones de materiales, InGaAlP e InGaNg son empleados para producir LED de alta luminosidad en todos los colores del azul al rojo.

Los LED tienen diversas características como:

- Eficacia luminosa cuya evolución los sitúa actualmente en 100 lm/W y la tendencia es seguir creciendo hasta posiblemente alcanzar los 200–230 lm/W en 10 años.
- Alta eficacia de color conseguida en los colores rojo, naranja, amarillo, verde, azul y blanco, y además con buena reproducción cromática (Según el texto se denomina también Índice de Reproducción Cromática o IRC), $R_a = 80$.
- Larga vida útil que oscila entre 50.000 y 100.000 horas, lo que significa que su funcionamiento es altamente fiable.
- Resistencia a golpes y vibraciones dado que sus componentes son muy compactos, pudiendo trabajar en condiciones mecánicas adversas.
- Sin radiaciones perjudiciales ya que emiten prácticamente luz visible, evitando la radiación ultravioleta y sin apenas radiación infrarroja.
- Selección del blanco binning: es un perfeccionamiento de la clasificación ya existente de grupos de colores. Dentro de cada grupo, se hacen subgrupos más pequeños, con como máximo 3 pasos de Mac. Adams. Entre LED pertenecientes a los subgrupos que contengan sólo 1 paso de Mac Adams no se apreciará ninguna diferencia visible. Y en los subgrupos que contengan 2–3 pasos es difícil que se aprecien.
- De esta forma, se monta en cada módulo, LED pertenecientes a un mismo subgrupo para no apreciar variaciones en la temperatura de color. El rango de temperaturas, por ejemplo ± 300 K, no proporciona ningún dato sobre homogeneidad.

1.1.2. Conocimientos básicos sobre la tecnología LED

Los diodos emisores de luz están basados en semiconductores que transforman directamente la corriente eléctrica en luz. Con solo unos pocos milímetros de longitud, los LED son una alternativa muy válida a las fuentes de luz convencionales en muchas áreas de la iluminación general y están abiertos también a oportunidades y perspectivas, en otras áreas de aplicación. Un LED (light emitting diode) está formado por varias capas de material semiconductor.

Si el diodo trabaja en sentido conductor, se genera luz en una de estas finas capas, capa activa. Contrariamente a las lámparas incandescentes, que produ-

cen un espectro continuo, un LED emite luz casi monocromática. El color del LED depende de la mezcla de materiales semiconductores empleados.

Cuando se dota de energía el chip, aplicando tensión, emite luz visible cuyo color depende de la composición química del chip. Así la luz puede concentrarse o dispersarse usando lentes o difusores. Dado que la mayoría de los LED funcionan con corriente continua, deben contar con una fuente de alimentación como transformador.

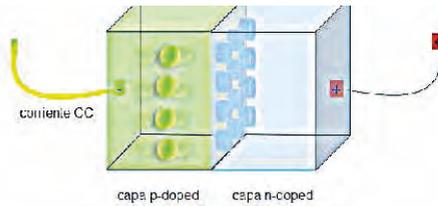


Figura 1. Chip sin tensión aplicada.

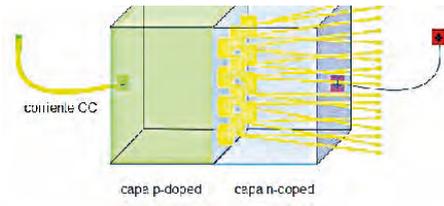


Figura 2. Chip con tensión aplicada.

Para producir luz blanca, la luz generada por un LED azul se hace pasar a través de un recubrimiento fosforescente que la transforma en luz amarilla. La concentración de esta sustancia fluorescente puede ajustarse, de modo que la luz azul primaria emitida por el diodo se mezcla con la luz amarilla de la sustancia fosforescente, para producir finalmente la luz blanca. El valor R_a resultante está en torno a 80.

La vida de un LED no termina de forma completa, como en el caso de lámparas incandescentes, sino que el flujo va depreciándose. Se suele considerar el final de vida de un LED cuando su flujo luminoso es del 50% de su valor inicial.

La eficacia luminosa de los LED sigue evolucionando de forma imparable, por ejemplo, ahora la eficacia luminosa de LED es el doble que hace dos años. La cantidad de luz generada por un LED, depende de su color, diseño y temperatura.

En comparación con fuentes de luz tradicionales, la eficacia luminosa de los LED blancos ya ha superado a la mayoría de las tecnologías tradicionales, y su potencia todavía es inferior. La rápida evolución y desarrollo de la eficacia luminosa de la tecnología LED de alta potencia, permitirá, en ciertas aplicaciones, la sustitución de fuentes de luz convencionales.

1.1.2.1. Ventajas

Comparados con las fuentes de luz convencionales la tecnología LED presenta numerosas ventajas, entre las que podemos destacar:

- Tamaño reducido: tamaño reducido, de pocos milímetros, ajustándose así a una multitud de aplicaciones.
- Alta resistencia contra golpes: alta resistencia a vibraciones e impactos, ofreciendo mayor fiabilidad que las lámparas convencionales por no haber fallos en los filamentos.
- Larga duración: larga vida útil, entre 50.000 y 100.000 horas respetando las condiciones recomendadas de funcionamiento.
- Bajo consumo: bajo consumo, ahorrando energía por la poca potencia instalada.
- Alta eficiencia en colores: elevada saturación de color, por lo que no se necesitan filtros de color. Los LED son fuentes de luz prácticamente monocromáticas que permiten obtener una amplia gama de colores.
- No radiación UV/IR: no generan radiación ultravioleta ni infrarroja, por lo que no se deterioran los materiales expuestos a la luz del LED.
- Efectividad a bajas temperaturas: Funcionamiento fiable a bajas temperaturas, hasta de -30° C.

Estas ventajas propias de las propiedades y características de la tecnología LED se traducen en importantes beneficios para los usuarios, ya que:

- Ofrecen opciones de diseño creativo para soluciones innovadoras de iluminación, gracias a la variedad de colores, sus compactas dimensiones y la versatilidad de sus productos.
- Alta rentabilidad económica merced al bajo consumo energético y a la larga vida.
- Máxima seguridad debida a la fiabilidad, incluso en condiciones ambientales adversas.

1.1.2.2. Aplicaciones

Hay mucha variedad de aplicaciones para crear soluciones de iluminación espectaculares con mecanismos de control y controladores perfectamente adaptados, por ejemplo:

Iluminación marítima (para barcos y botes), iluminación de efecto arquitectónico, iluminación de fachadas y contornos, iluminación de spas y centros de

ocio, iluminación de fosos, iluminación industrial, iluminación en bandas, exterior, señales, hostelería, etc.

Se emplean luminarias LED de alta potencia para conseguir los efectos decorativos en las fachadas, simulando rayos de luz de colores.



Figura 3. Iluminación arquitectónica.

Donde sean necesarios altos niveles de flexibilidad, flujo lumínico, resistencia y durabilidad.

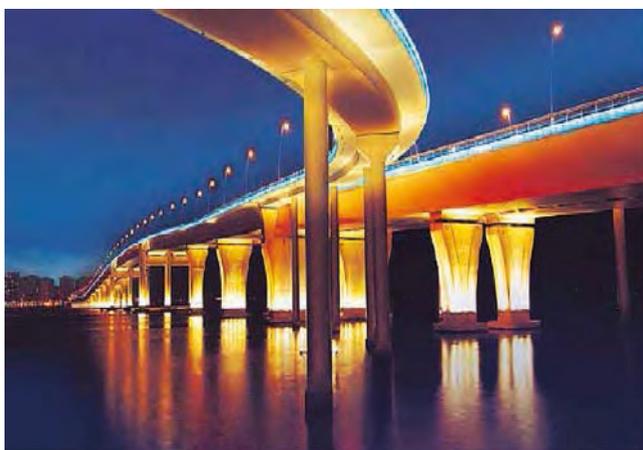


Figura 4. Iluminación exterior.

Ofrece una excepcional eficacia óptica y una fuente de luz óptima, que cumple con los estándares de iluminación vial.



Figura 5. Iluminación Vial.

No deteriora los materiales expuestos en las vitrinas.



Figura 6. Iluminación de Vitrinas.

Los puntos de luz son ideales para la iluminación general y de orientación, ya que suele necesitarse luminarias empotradas pequeñas y de bajo perfil.



Figura 7. Iluminación de señalización.

Para dar vida a los muebles, consiguiendo proporcionar a la habitación un ambiente nuevo.



Figura 8. Iluminación decorativa.

1.2. Definiciones básicas de los LED

1.2.1. Prestaciones de los LED

Las prestaciones de los LED, como las de cualquier fuente luminosa, se pueden dividir en cuatro grupos: fotométricas, colorimétricas, eléctricas y de duración o vida.

En las características fotométricas se incluye el flujo luminoso (lm), la intensidad luminosa (cd) y su distribución espacial, así como la eficacia luminosa (lm/W), que desde el inicio de la tecnología de los LED ha ido aumentando y mejorando sustancialmente.

Se debe contemplar que el flujo luminoso emitido por un LED depende de la gestión correcta de cuatro parámetros:

1. La calidad de las sustancias añadidas al silicio con la finalidad de aumentar la generación de fotones. De dicha calidad también va a depender el color de la luz emitida.
2. La intensidad de la corriente eléctrica que atraviesa el LED, que cuanto mayor sea, más elevado será el flujo emitido, aun cuando no es conveniente alimentarlos a más de 700 mA, porque se reduce mucho la vida y la eficacia luminosa (lm/W) baja.
3. La capacidad de disipación del calor, directamente ligada a la intensidad de corriente.
4. El rendimiento del sistema óptico.

* Flujo luminoso

Considerando que el flujo radiante es la potencia transmitida en forma de radiación, el flujo luminoso (φ) emitido por una fuente (lámpara o LED), es la magnitud derivada del flujo radiante valorada según su efecto sobre el observador fotométrico de la CIE, cuya unidad es el lumen.

Se utilizan dos medidas de lúmenes (lm) en función del tipo de lámpara.

Lúmenes (lámparas no direccionales) que es el flujo luminoso total emitido por una lámpara en todas direcciones, durante la unidad de tiempo.

Lúmenes útiles, que es la cantidad de flujo luminoso en un cono de 90° en la dirección frontal de la lámpara, este requisito es de nueva aplicación según normativa vigente desde septiembre de 2013.



Figura 9. Lúmenes útiles medidos dentro de un cono de 90° .

Es un aspecto importante que incorpora esta nueva normativa y que facilita la comparación entre las diferentes tecnologías de fuentes de luz.

En función de las tecnologías utilizadas y cómo se comportan las mismas a lo largo de su vida, se establece un cambio respecto a la comparación de estas fuentes de luz, y en lugar de considerar vatios, se tienen en cuenta lúmenes y por ello se obtiene la siguiente tabla que ayuda a la hora de buscar alternativas a la tradicional lámpara incandescente. Esta equivalencia varía en función del tipo de lámpara ya sea una lámpara no direccional o bien direccional.

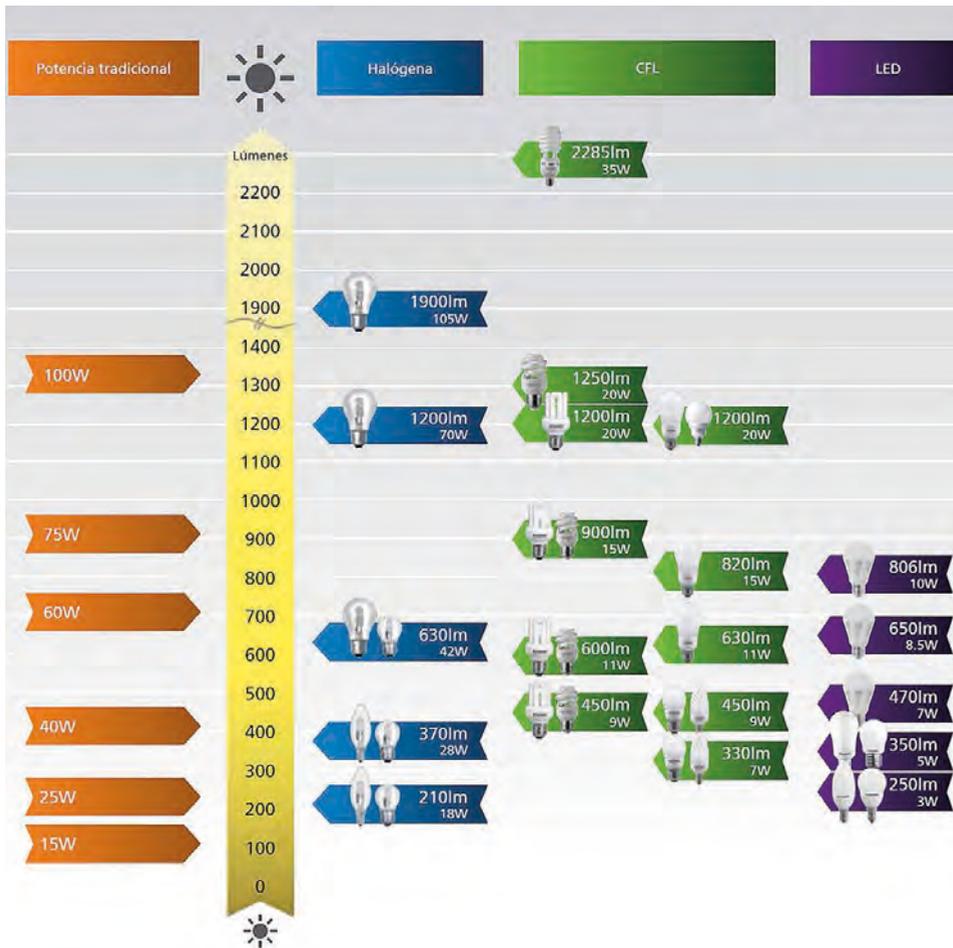


Figura 10. Lámparas no direccionales.

* Intensidad luminosa

La intensidad luminosa siempre ha estado vinculada a las lámparas direccionales, ya que por su propia definición es el cociente del flujo luminoso emitido por una fuente de luz en una dirección específica y el ángulo que contiene la emisión de la misma. La idea que transmite es concentración de luz. La intensidad luminosa se mide en candelas (cd), es decir, $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/Sr}$ (lumen/estereorradiación).

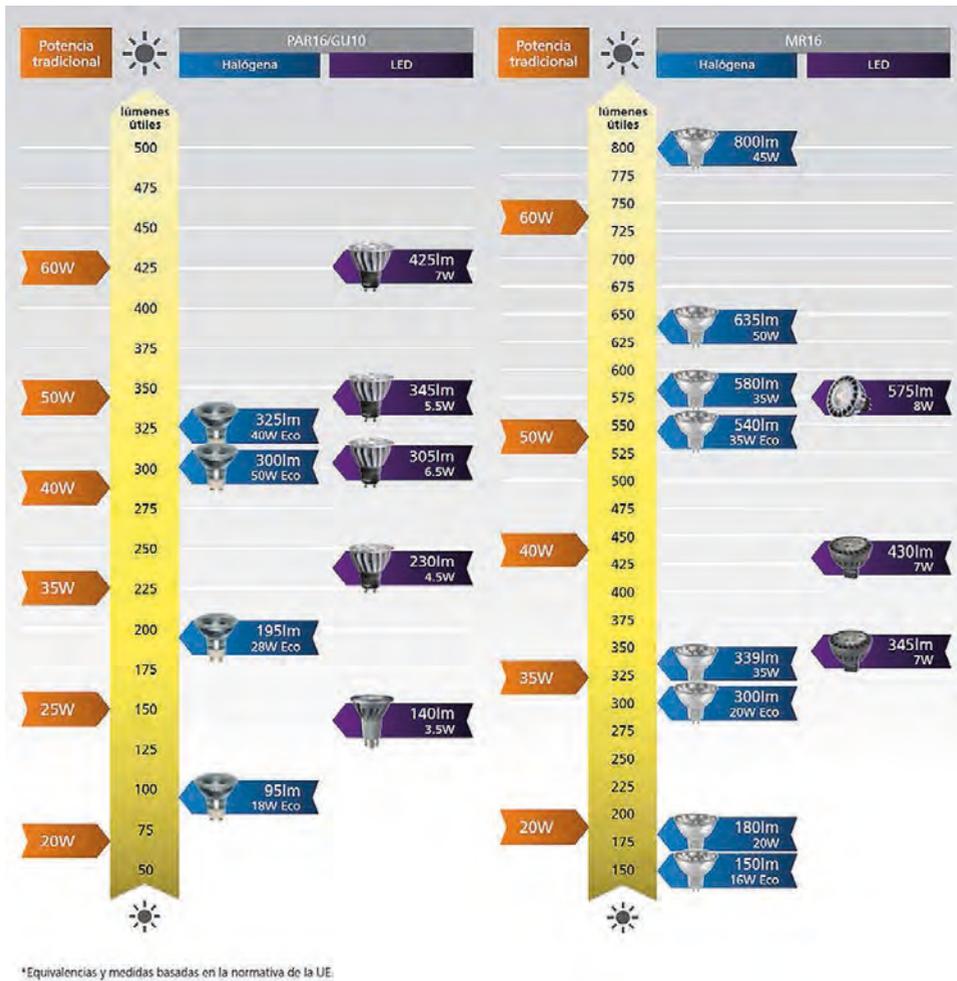


Figura 11. Lámparas direccionales.

La apertura de haz que se expresa en grados ($^{\circ}$), determina el nivel de concentración o dispersión de la luz producida por la lámpara, el haz más estrecho se utiliza para una iluminación de acento, que permite resaltar los objetos o zonas que se quieren iluminar, mientras que un haz más ancha facilita la obtención de una iluminación general, por ejemplo, de un local.

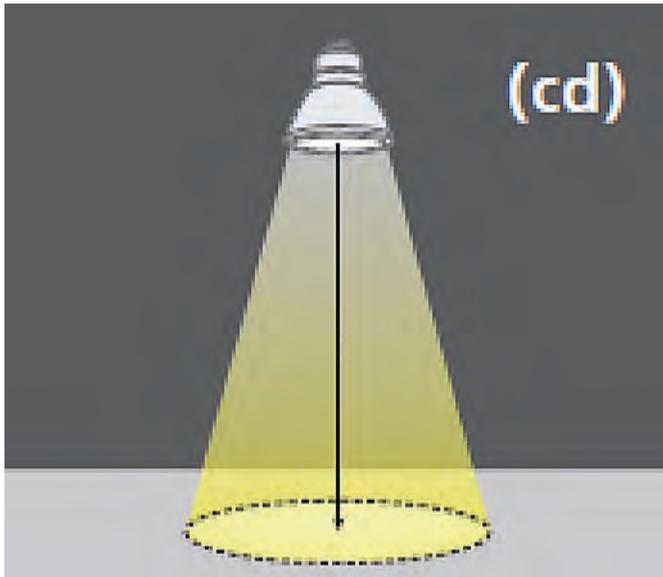


Figura 12. Ejemplo de candelas.

* Eficacia luminosa

Este indicador muestra cuán eficaz es una fuente de luz, según la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), es el cociente entre el flujo luminoso de una fuente de luz, y la potencia consumida en vatios, se expresa en lm/W.

La eficacia luminosa indica la calidad de una fuente de luz en cuanto a lúmenes generados por cada vatio consumido, aunque no es el único parámetro a tener en cuenta a la hora de valorar esa fuente de luz, se deben considerar también todos los parámetros anteriores.

1.2.1.1. Parámetros colorimétricos

Respecto a las prestaciones cromáticas de los LED debe considerarse la temperatura de color (T_c) y la reproducción cromática (R_a).

Los colores del espectro visible, así como todos los que resultan de las mezclas de distintos colores, se pueden representar por medio de coordenadas (X, Y, Z)

El diagrama de cromaticidad del espacio de color CIE 1931 representa todos los colores que puede diferenciar el ojo humano. Puesto que las tres coordenadas suman 1, es suficiente tener dos coordenadas para poder definir un color y por eso, a veces, esta tercera coordenada no se menciona.

Si se observa la figura (triángulo cromático), el área ocupada por los tonos de color no es uniforme. Los tonos verdes ocupan más espacio en el diagrama cromático CIE 1931 que los tonos azules.

* Temperatura de color

Temperatura de un radiador de Planck cuya radiación tiene la misma cromaticidad o tono de color que la de un estímulo dado. Su símbolo es T_c y la unidad K (Kelvin).

* Temperatura de color correlacionada

Temperatura de radiador de Planck cuyo color percibido, bajo condiciones especiales, es el más parecido a un estímulo dado de la misma luminosidad. Su símbolo es T_{cp} y la unidad K (Kelvin).

La temperatura de color correlacionada expresa el aspecto o tonalidad de luz que tiene la fuente luminosa (luz más cálida o más fría). Este parámetro únicamente es válido para fuentes emisoras de luz blanca.

Curiosamente a pesar de que el rojo se asocia a un color cálido y el azul a un color frío, en la curva planckniana del diagrama CIE 1931, el color azul se da a temperaturas más elevadas que el rojo. Los LED blancos se clasifican según su temperatura de color correlacionado (T_{cp}) en:

- Blanco cálido 2.700 a 3.300 K
- Blanco neutro 3.300 a 5.300 K
- Blanco frío > 5.300 K

* Rendimiento de color (R_a)

Es el efecto que una fuente de luz produce sobre el espectro cromático de los objetos que ilumina, por comparación con el aspecto que éstos tendrían con un iluminante de referencia, es decir, es la capacidad que tiene la fuente de luz de devolver la realidad de los colores que ilumina, tomando como referencia el color obtenido con una fuente patrón.

Esta capacidad se evalúa con el denominado rendimiento de color (R_a), en el que tiene una fundamental incidencia la distribución espectral de la luz.

El color que presenta un objeto depende de la distribución espectral de la luz con la que está iluminado, y de las características reflexivas de dicho objeto.

En función del valor de R_a es previsible esperar la siguiente fiabilidad en el reconocimiento de los colores:

$R_a < 60$ pobre

$60 < R_a < 80$ buena

$80 < R_a < 90$ muy buena

$90 < R_a < 100$ excelente

* Medición de color de los LED

Los LED y las lámparas de descarga emiten una radiación térmica insignificante, así que no siguen la forma de un tradicional espacio planckiano. Sin embargo, al igual que sucede con cualquier color puede representarse utilizando el diagrama de cromaticidad CIE 1931, de modo que cada color queda definido por un punto (X, Y) de éste espacio.

Los puntos de color de los radiadores térmicos están situados en la curva de este espacio a que se ha hecho referencia anteriormente. Los puntos de color de los LED y de las lámparas de descarga están situados en el exterior, pero cerca de la denominada línea curva de Planck.

A pesar de que una temperatura de color (T_c) tan sólo se puede atribuir a puntos situados en la curva planckiana, a los LED y lámparas de descarga también se les asigna una temperatura de color correlacionada (T_{cp}).

Por tanto T_{cp} es la temperatura de color de un radiador planckiano que, según la percepción humana del color, más se corresponde a la luz de la fuente, es decir, con el punto de lugar planckiano que se encuentra más cercano al punto de color de la fuente.

* Uniformidad de color

Lo esencial para iluminar con LED, está asegurado cuando durante su vida útil todos los LED funcionan dentro de una tolerancia aceptable en cuanto a desviación de color.

Para definir la “tolerancia aceptable”, los fabricantes de LED han adoptado el sistema de medición de uniformidad de color mediante las elipses de MacAdam y los pasos de SDCM (*Standard Deviation of Colour Matching*) o lo que es lo mismo, Desviación Estandar de Correspondencia de Colores.

Las diferencias de color se perciben de manera distinta por los humanos. Por ejemplo, las diferencias entre LED azules se perciben mucho mejor que las diferencias entre LED verdes.

Las elipses de MacAdam resaltan las zonas del diagrama de cromaticidad del espacio de color CIE 1931, en el que el ojo humano es incapaz de percibir ninguna diferencia en el color. Según el área de color, las elipses tienen tamaños distintos, de acuerdo con la sensibilidad al color del ojo humano en ese rango específico de colores.

Así, una elipse de MacAdam pequeña indica que en esa área de color los humanos tienen una alta sensibilidad. Cuando se seleccionan LED en esos colores, los LED tienen que encajar exactamente, pues las diferencias de color se perciben con mayor facilidad.

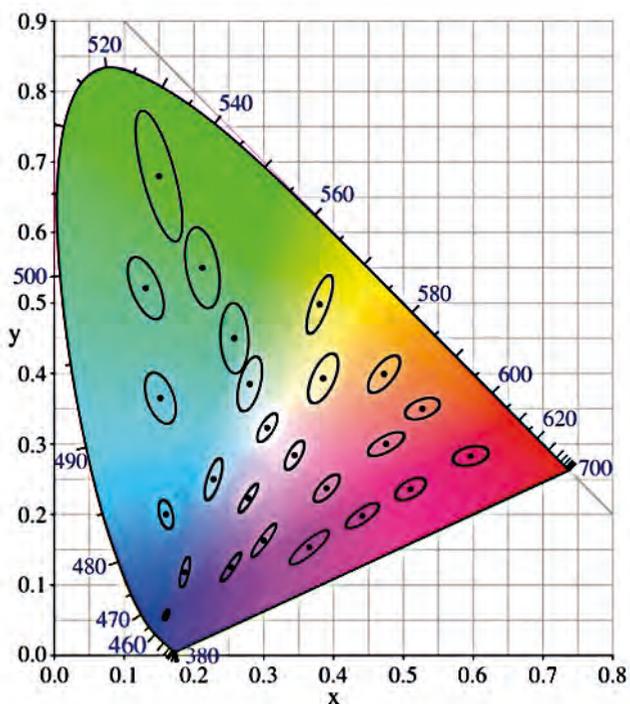


Figura 14. Elipses MacAdam.

Las elipses de MacAdam constituyen un sistema de medición del color, ya que cuantifican el nivel de variación de color posible en estos ejes antes de que el ojo humano pueda detectar algún cambio de color.

Por tanto, se pueden trazar una serie de elipses alrededor de cualquier punto deseado, y cuanto más cerca del objetivo se encuentre un LED, menos desviación de color se notará cuando dichos LED se coloquen unos al lado de los otros en una instalación de iluminación.

La distancia desde el punto deseado en cada elipse se mide en SDCM de manera, por ejemplo, que una SDCM de 1 paso significa que no existen diferencias de color entre LED, mientras que 2 ó 3 pasos implican que apenas existe alguna diferencia visible de color.

Aun cuando en el mercado se acepta hasta una uniformidad de color de 7 SDCM, se recomienda que el número de pasos de SDCM sea como máximo 5, como límite deseable de uniformidad de color.

1.2.2. Generación de luz blanca

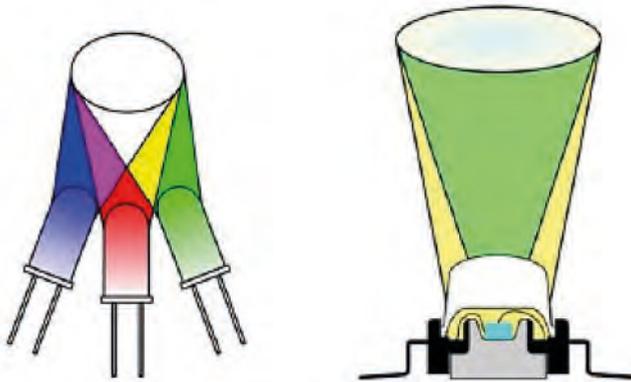
Por luz blanca se entiende todas aquellas fuentes emisoras que se sitúan en una zona determinada dentro del diagrama cromático (CIE 1931).

No existe material de LED que pueda generar luz blanca directamente, la luz blanca se consigue mezclando varios colores únicos, existen dos formas de conseguir esta luz blanca.

* Primer sistema

Utilizando a la vez diferentes tipos de LED monocromáticos y mezclando la luz emitida por un chip rojo, otro chip verde y finalmente un chip azul, cuya suma resultante es una emisión de luz blanca.

Este método se ha descartado no sólo por su coste sino también porque el rendimiento de color Ra obtenido es muy pobre.



Red-Green-Blue Mixing

- Very poor Ra
- Expensive drivers
- Colour shift with life/temp.
- Needs a lot of green

Blue Chip + Yellow Phosphor

- + Acceptable to good Ra
- + Stable colour over life
- Sometimes colour separation
- Better Ra = lower efficacy

Figura 15. Sistemas para conseguir luz blanca.

* Segundo sistema

Otro método consiste en utilizar un chip azul con una capa de fósforo amarillo, exactamente como se hace con la fluorescencia, es decir, se aplica el mismo principio. Y en función de la mezcla de los fósforos se obtienen LED con diferentes temperaturas de color.

En este segundo sistema se utiliza un solo chip azul con un recubrimiento individual por cada chip de fósforo, en este proceso de fabricación se tiene que ser muy meticuloso en la uniformidad del recubrimiento del chip azul, para evitar acumulaciones, que origine una distribución poco homogénea.

Si se emplea LED de color azul con fósforos amarillos, se obtendrá un LED blanco frío, con relativamente buena reproducción cromática con un rendimiento de color Ra en torno a 70.

En el caso de usar fósforos rojos y verdes junto al chip azul se puede obtener un LED blanco cálido de mejor reproducción cromática $R_a > 80$, pero en cambio se logrará algo menos de flujo luminoso.

Durante el proceso de fabricación resulta de especial importancia la precisión con la que se distribuye la capa de fósforos, para que el haz luminoso que produce el LED tenga una adecuada consistencia de color.

* Proceso binning

En la producción de los LED el número de parámetros del proceso es muy elevado y difícil de controlar, lo que supone que las propiedades de los LED pueden variar significativamente.

Por tanto, debido a la variación del tono de luz o temperatura de color, flujo luminoso, rango y nivel de tensión de los LED, los fabricantes se ven obligados a efectuar una selección mediante un triaje selectivo denominado *binning* en diferentes *bin*, lotes o categorías, que consiste en líneas generales en rechazar los LED cuya tensión, flujo luminoso y las características de temperatura de color no ofrecen una garantía de fiabilidad, calidad de luz.

El *binning* constituye un proceso de selección por el cual se clasifican los LED en distintos tipos y lotes, de forma que no existan variaciones entre los LED de un mismo *bin* o categoría.

En lo que respecta a la tonalidad del color los distintos *bin* o lotes se pueden establecer para diferentes temperaturas de color, mediante elipse de MacAdam con diferentes pasos, generalmente 3 SDMC ó desviación estándar 3, resultando recomendable que el número de pasos máximos SDMC sea como mucho 5, como se ha señalado anteriormente.

Se puede decir que cada *bin* lote o categoría obtenido de la producción de un concreto tipo de LED, es el color que se puede alcanzar en una carta "RAL" en pintura o "PANTONE" en tintas.

La utilización en una instalación de iluminación mediante LED de un único *bin* o lote, asegura que la uniformidad en cuanto al color de una concreta aplicación será prácticamente la misma a lo largo del tiempo.

Al día de la fecha la norma ANSI C78.377-2008 especifica las coordenadas cromáticas de los LED para iluminación interior, así como el tamaño aceptable de lotes de *binning* para los LED blancos.

En lo que incumbe al color la clasificación que se establezca, por ejemplo, en Bin 1, Bin 2, Bin 3, indica lo lejos que se encuentra respecto al parámetro a definir, cuanto menor sea el número de bin menos disperso está respecto al color.

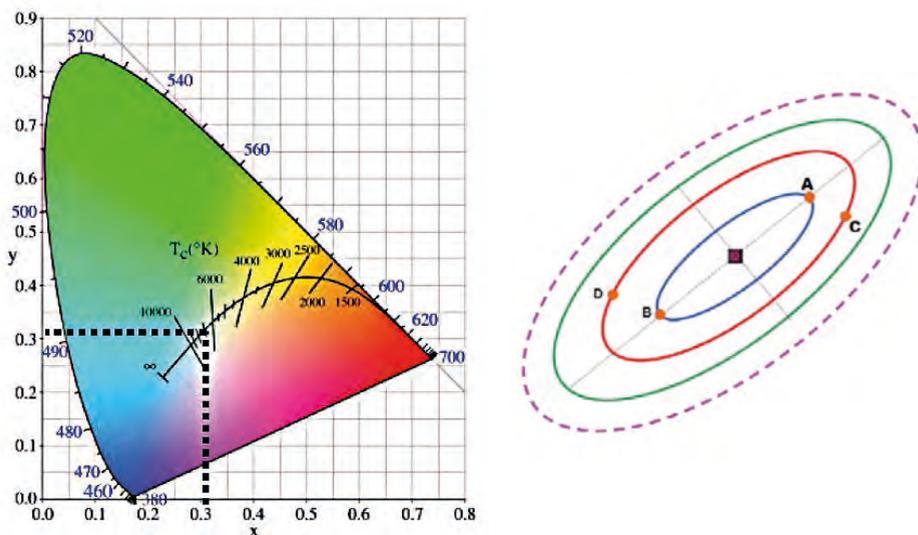


Figura 16. Clasificación mediante *binning*.

Para diferentes tipos de blanco se dispone de un número diferente de *binning*.

- Blanco frío 10.000 K – 5.000 K = 13 *binnings*.
- Blanco cálido 4.000 K – 2.500 K = 12 *binnings*.

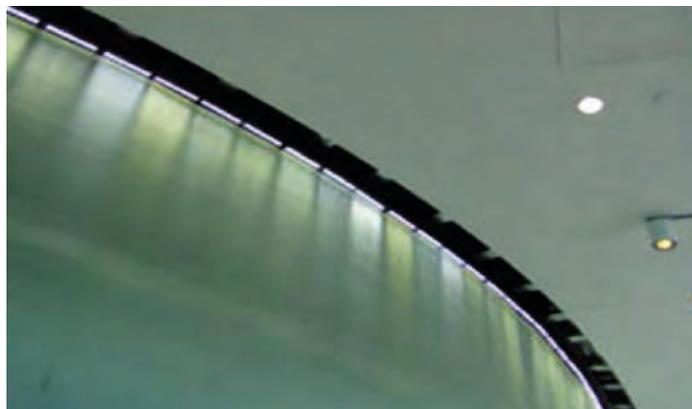


Figura 17. Ejemplo de problemas de color de LED.

1.2.3. Colores de los LED

La apariencia o tono de color hace referencia a la luz emitida por la fuente según se encuentre su espectro dentro del diagrama cromático del CIE (Comisión Internacional de Iluminación), y se conoce habitualmente como temperatura de color, que se ha definido anteriormente.

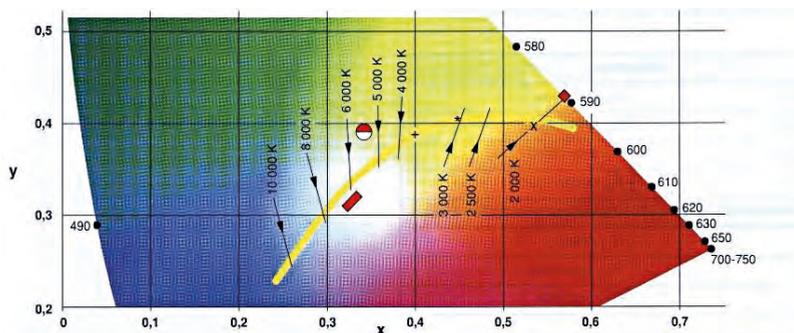


Figura 18. Temperaturas de color.

El color de los LED proviene del material que compone cada chip y cada uno de ellos se encuentra en un punto del espectro.

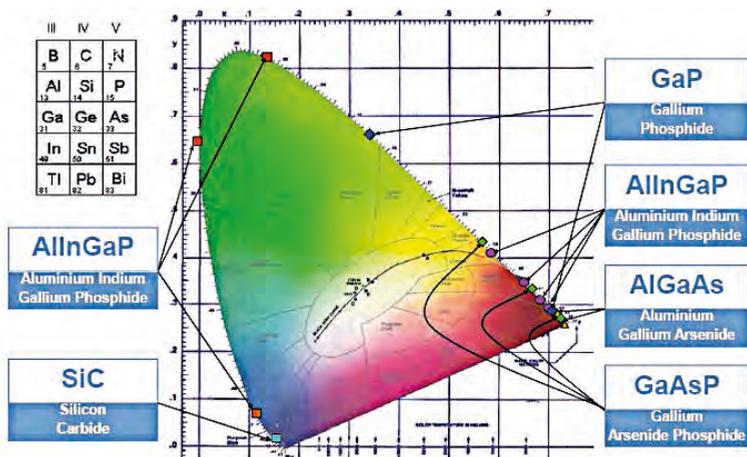
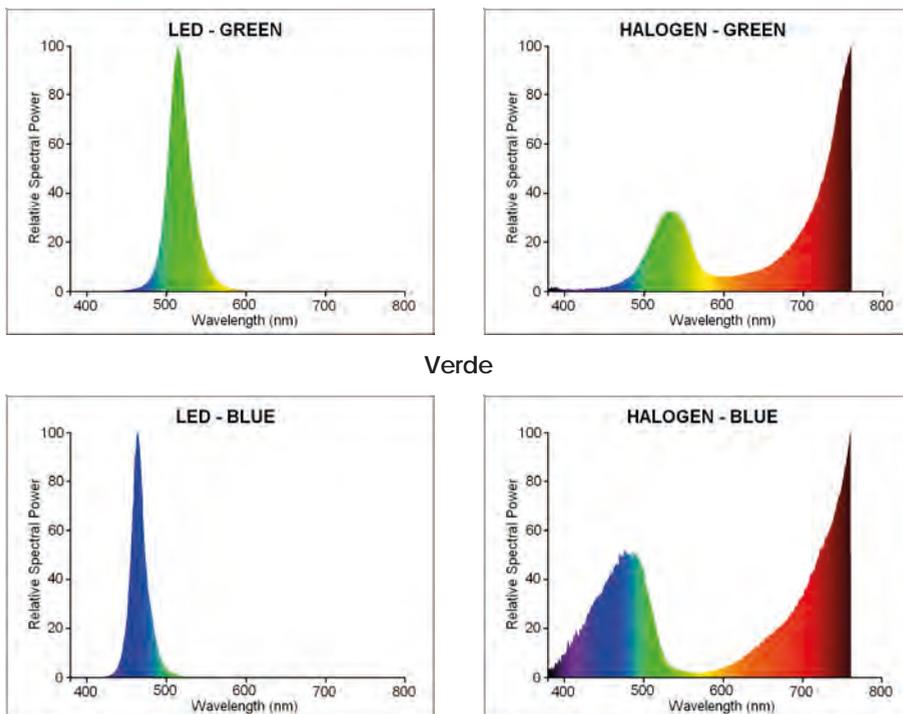
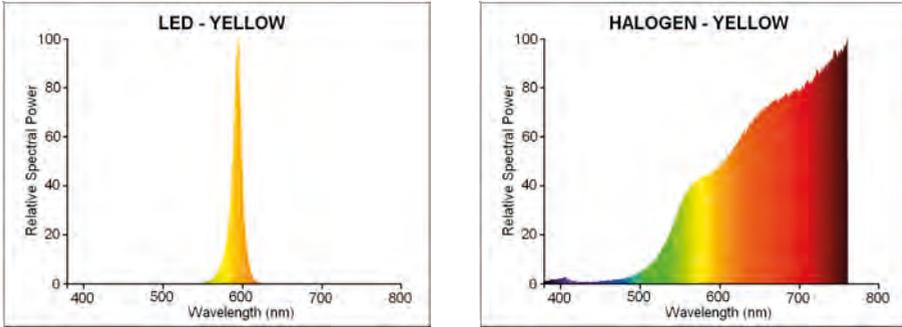


Figura 19. Color del LED en función del material que compone cada chip.

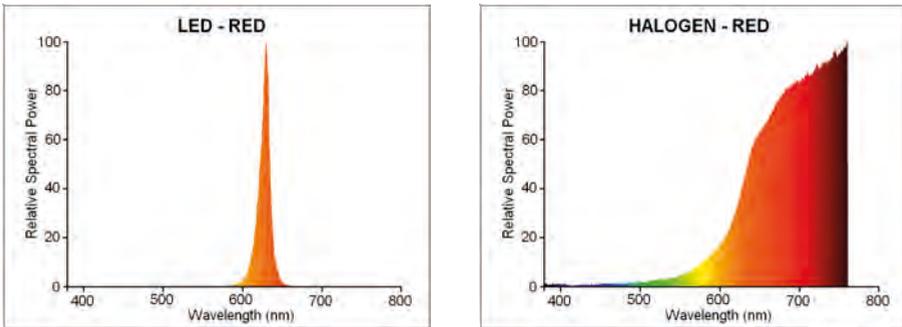


Verde

Azul



Amarillo



Rojo

Figura 20. Comparativa entre los colores resultantes de lámpara LED (izq.) con lámpara halógena (drcha.).

Otra característica importante es que los colores resultantes son muy saturados. En las gráficas se puede ver y compararlo con el color generado por lámparas halógenas.

1.2.4. Vida de las fuentes de luz

Existen diferentes parámetros que definen la vida de una lámpara. El primero de ellos es la **vida individual**, lo que nos indica el número de horas de encendido de una lámpara. No es el índice usado habitualmente.

El siguiente parámetro es el de **vida media**, y es el resultado de un estudio estadístico de una determinada población o muestra, y nos indica el tiempo transcurrido hasta que falla el 50% de la muestra o población utilizada para el ensayo.

Existe un parámetro vinculado a estos ensayos que es el número de ciclos de encendido y apagado alternando horas encendidas y horas apagadas. La duración del mismo varía en función de la tecnología de la lámpara.

Para lámparas fluorescentes, se suelen utilizar ciclos de conmutación de 3 horas y 11 horas para las lámparas de descarga de alta intensidad. Estos ciclos intentan simular los periodos reales de encendido a los que se someten las lámparas en su aplicación final, por ello se facilita información para lámparas fluorescentes para ciclos de encendido de 8 y 11 horas.

Finalmente, también se utiliza el término **vida útil**, y este es el que más ayuda a obtener un mantenimiento óptimo de una instalación, ya que tiene en cuenta dos parámetros importantes de una lámpara, la curva del flujo luminoso y la curva de supervivencia. También considerar las pérdidas de ambas curvas entre el 20% y el 30%.

En este caso la normativa exige que la vida que se facilite de los LED sea L70/F50, que significa que ha de ser vida nominal media del 50% o bien el mantenimiento del 70% del flujo luminoso, aplicando aquello que acontezca antes.

1.2.4.1. Vida Útil de los LED

Para tecnologías convencionales, la vida útil se define como el punto en el que cierto porcentaje de lámparas muestra un fallo completo de luminosidad.

Para los LED esta definición no es práctica. Una aplicación LED bien diseñada normalmente no falla completamente. En cambio, puede funcionar durante un largo período de tiempo, pero el flujo luminoso se ve reducido con el transcurso del mismo.

En consecuencia, la definición de vida útil para LED utiliza diferentes parámetros para describir su comportamiento:

Valor L (L_p):

El valor L indica el porcentaje de flujo luminoso que se ha reducido del valor original al cabo de un determinado tiempo.

La siguiente gráfica ilustra este concepto.

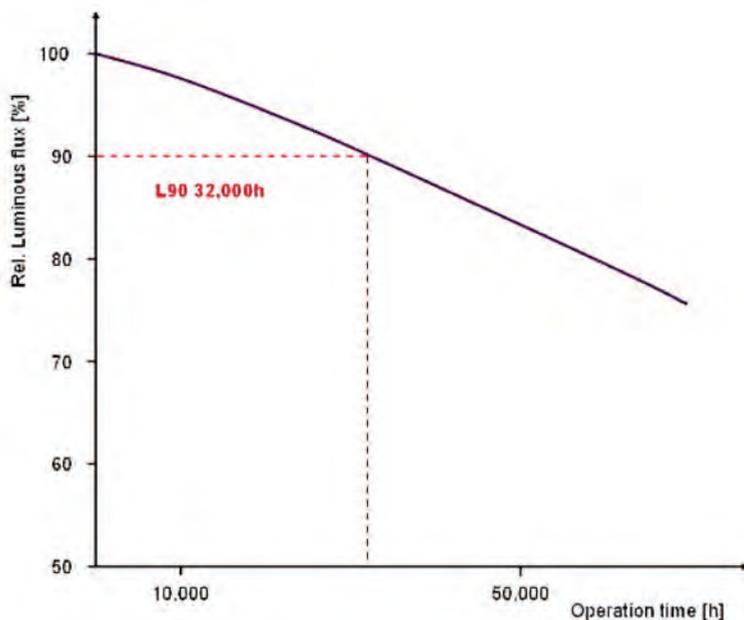


Figura 21. Flujo luminoso reducido en función del tiempo.

La línea continua representa el flujo luminoso o salida de luz. Con el paso del tiempo la emisión de luz va decayendo gradualmente. Después de 32.000 horas el valor ha caído al 90%. Esto se define como L_{90} a 32.000 horas.

Valor B (B_p)

En realidad la salida de luz no puede ser descrita como una línea simple. Hay desviaciones entre distintos módulos LED. Algunos pierden una cantidad mayor de flujo luminoso y otros menos.

La siguiente gráfica aclara esta particularidad. La línea continua muestra el comportamiento (valor L) de algunos de los módulos LED, pero dentro del área amarilla hay más valores que están por encima o por debajo de dicha línea.

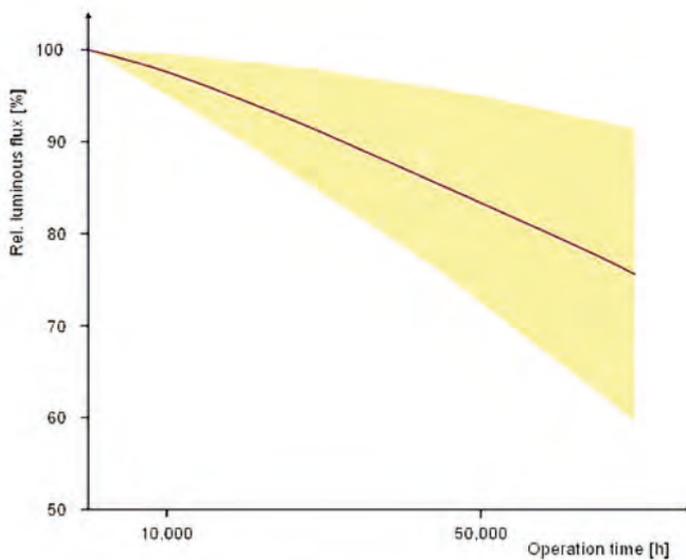


Figura 22. Desviaciones reales de la disminución del flujo luminoso en el tiempo.

Para poder describir estas variaciones se introdujo el valor B. Dicho valor B representa el porcentaje de módulos que no logran alcanzar el valor L especificado.

Las siguientes gráficas muestran el comportamiento de dos valores típicos: B_{50} y B_{10} .

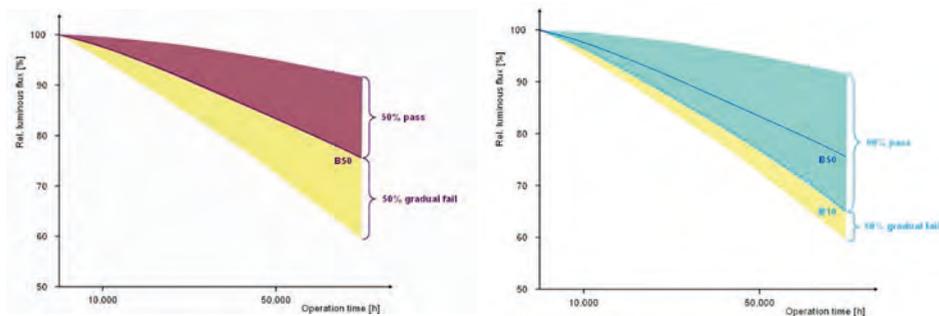


Figura 23. Valores típicos del Valor B.

Combinación de los valores L y B

La combinación de L y B se muestra en la siguiente gráfica. Se indican dos posibles descripciones para el mismo comportamiento, dependiendo del valor B que sea elegido.

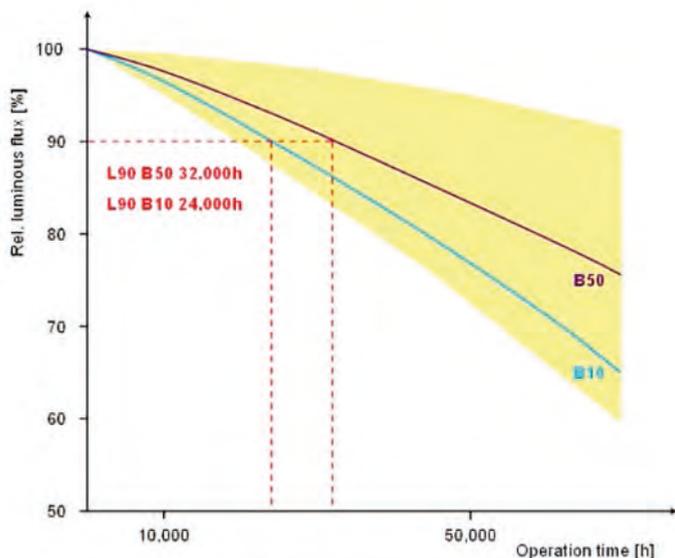


Figura 24. Los LED muestran L90 B50 a 32.000 horas ó L90 B10 a 24.000 horas.

Se definen dos valores más:

Valor C (C_p)

El valor C representa el porcentaje de fallos totales.

Valor F (F_p)

El valor F representa la fracción de fallo combinado. Es la combinación de ambos fallos, el gradual (valor B) y el total (valor C).

1.2.4.2. Diferentes disposiciones de LED

Son dos las técnicas principales para montar LED en la superficie de una placa de circuito impreso (pcb):

- Tecnología Chip on Board (COB): Los diferentes componentes del LED (chip, hilo de unión, convertidor fluorescente, prelente) se montan sobre la placa de circuito impreso.
- Tecnología de montaje en superficie (SMD): Los diferentes componentes del LED son premontados en cápsulas. La unidad se suelda a la placa de circuito impreso como una única pieza.

La decisión de cuál de las dos tecnologías debe utilizarse depende principalmente de la aplicación propuesta. Típicamente la tecnología SMD se usa más para módulos de superficie, mientras que la tecnología COB se aplica para módulos compactos.



Figura 25. Módulo SMD.



Figura 26. Módulo COB.

1.2.5. Regulación de los LED

Los LED pueden ser fácilmente regulables reduciendo la corriente eléctrica que fluye a través del LED.

Para alcanzar esta regulación se aplican dos técnicas diferentes.

- Regulación Analógica.
- Modulación de anchura de impulso (PWM).

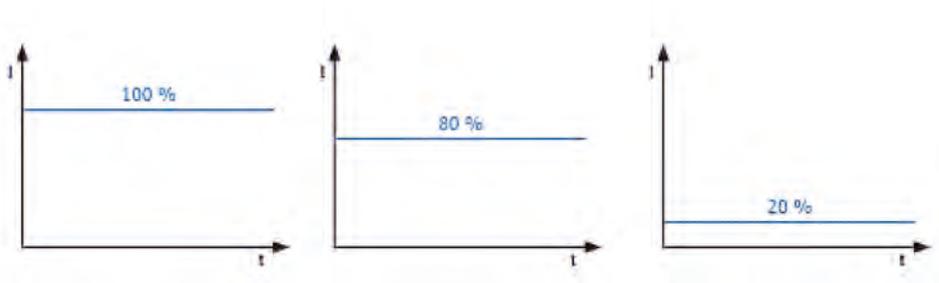


Figura 27. Regulación analógica con diferentes niveles de regulación.

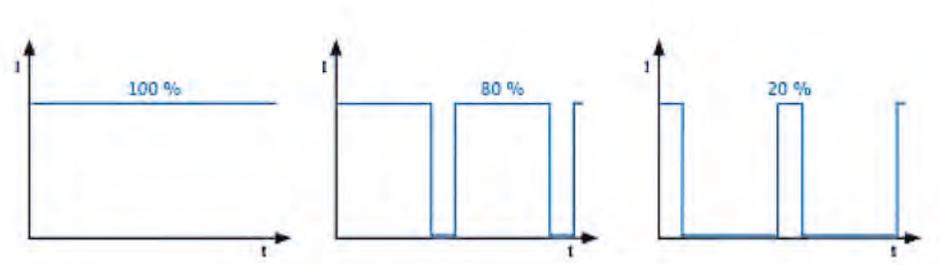


Figura 28. Regulación con PWM.

La regulación analógica significa que la amplitud de la Intensidad de paso es reducida.

Cuando se emplea la técnica PWM, la amplitud se mantiene constante, pero el flujo de intensidad es interrumpido según una determinada frecuencia PWM. Cuanto mayor sean estas interrupciones, menor será la Intensidad media efectiva a través del LED y, por tanto, también se reducirá la luminosidad percibida. El ojo

humano en general no puede percibir el parpadeo, aunque la iluminación esté de hecho siendo modulada.

Especialmente a valores de luminosidad bajos, la regulación analógica tiene sus limitaciones. En algunos casos pueden aparecer diferencias entre LED en la emisión de luz o desviaciones en cuanto a la cromaticidad establecida. La regulación PWM en cambio no tiene estas limitaciones.

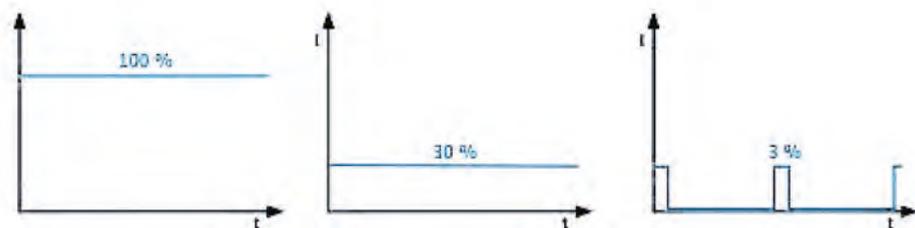


Figura 29. Regulación combinada analógica y PWM.

Para alcanzar un comportamiento optimizado de regulación ambos métodos de regulación pueden ser combinados. Por ejemplo, la regulación analógica puede ser utilizada para niveles de regulación de entre 100 y 30%. Para niveles inferiores al 30% se puede cambiar a regulación PWM sin ningún efecto. Con esta combinación los problemas de regulación analógica se evitan.

1.3. Características de los LED

Gracias a sus numerosas ventajas, la tecnología LED se está imponiendo como la mejor alternativa a la hora de elegir un sistema de iluminación eficiente y flexible. La continua innovación, la falta de visibilidad sobre los estándares y la llegada de nuevos fabricantes con ofertas muy diferentes, pueden convertir la elección en una tarea difícil. Los puntos a tener en cuenta para elegir el sistema de alumbrado adecuado son los siguientes:

La iluminación LED es una iluminación basada en un elemento electrónico muy común: el chip. Trabajar este chip requiere muchos conocimientos tanto de electrónica como en iluminación.

Tres elementos clave definen la calidad y la durabilidad de un producto de LED:

- **La calidad del chip de LED.** El proceso de fabricación de un chip de LED para la iluminación es muy delicado. Cualquier alteración en este proceso puede modificar uno de los parámetros esenciales del chip. Puede tener consecuencias sobre el flujo luminoso, la consistencia del color o la vida útil del chip. Los grandes fabricantes seleccionan sus chips para garantizar unos productos homogéneos que se comporten de la misma manera a lo largo de su vida útil. Así se evitan las variaciones de intensidad y/o de temperatura de color o los fallos prematuros de algunos productos en la misma instalación.
- **La gestión del calor.** El peor enemigo del chip de LED es el calor. Se debe tener en cuenta que el propio chip también produce calor al generar luz, dirigido hacia los equipos electrónicos que también hay que proteger para garantizar su buen funcionamiento.

Composición de un sistema de iluminación LED básico tal y como es una lámpara:

El radiador tanto disipa el calor del chip como protege el equipo electrónico



Figura 30. Disipador de calor.

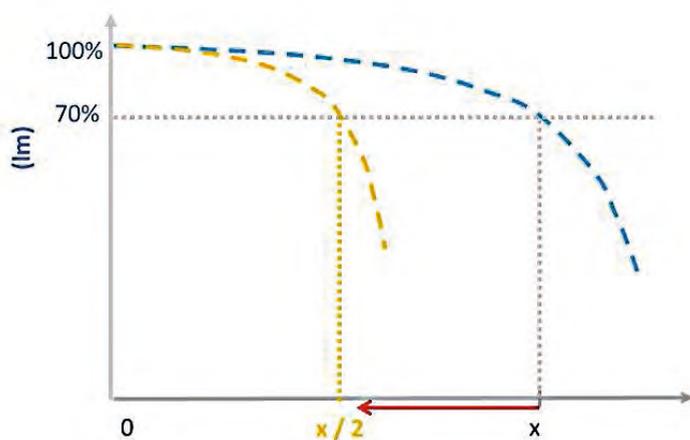


Figura 31. Ejemplo del impacto de un sistema de gestión malo sobre la duración del LED.

- **La distribución luminosa.** La luz producida por un chip de LED es muy intensa y directa. Para proponer productos con una luz homogénea y una correcta distribución de la luz, en función de la aplicación para la cual el producto de LED está diseñado, los grandes fabricantes trabajan intensamente en las ópticas primarias y secundarias del producto, al objeto de cumplir con las especificaciones y garantizar el confort de los usuarios. Una mala iluminación pueden tener un impacto sobre las personas que utilizan la instalación. Por ejemplo, en una oficina puede afectar la productividad de los trabajadores causando fatiga, falta de concentración, etc.

1.3.1. Diferencia entre chip de LED y sistema de iluminación

En el apartado anterior se ha hablado del chip de LED, demostrando que su utilización en un sistema de iluminación LED requiere un diseño específico de los puntos más delicados de la tecnología LED e implica añadir varios elementos: driver, disipador, ópticas, etc.

En la siguiente figura se puede ver la diferencia entre la eficiencia inicial o eficacia luminosa del chip de LED y la del sistema de iluminación. La eficacia se mide en lm/W.

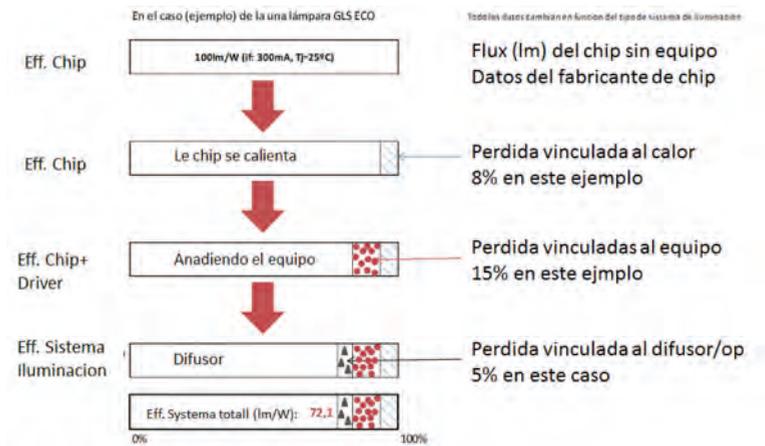


Figura 32. Eficacia real de la lámpara.

1.3.2. Estándares de los sistemas de iluminación LED

A) La vida útil de un producto de iluminación LED

La vida útil de un producto de iluminación LED se define como el tiempo que dura el producto hasta que el flujo inicial del sistema se haya degradado un 30%. Cuando se llega a este punto de degradación se considera que el producto ha llegado al final de su vida útil. Se representa mediante L70. En la siguiente figura se muestra una curva de mantenimiento de flujo a lo largo de la vida útil del producto.

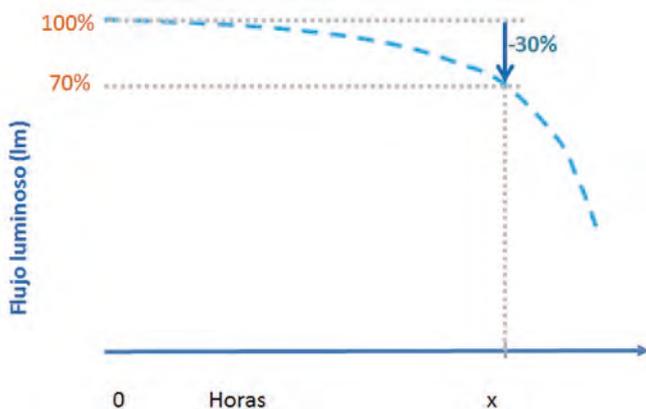


Figura 33. Disminución del flujo luminoso en función del tiempo.

B) La eficiencia energética del sistema LED

Desde septiembre de 2013 para las lámparas, y pronto para las luminarias, todos los equipos de LED deberán tener una etiqueta energética que permita conocer directamente la eficiencia energética del producto.

Siendo A++ el mejor nivel de eficiencia energética aceptado para los LED.

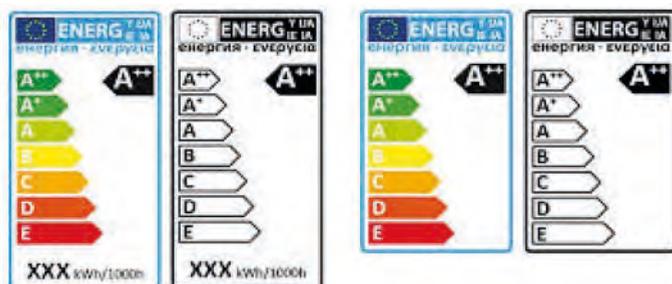


Figura 34. Ejemplo de etiqueta energética.

C) Los ciclos de encendido y apagado y la consistencia de los colores a lo largo de su vida útil

También desde septiembre de 2013, los fabricantes a través de la misma normativa europea el Reglamento (UE) nº 1194/2012, tienen que comunicar claramente o por lo menos en su página web:

- Los ciclos de encendido de las lámparas (o por lo menos la mitad de la vida útil del producto).
- La consistencia de los colores con el índice de elipses Macadam (6MCDC, siendo el máximo permitido).
- Las curvas de longitud de onda para las lámparas reflectoras.

Teniendo estos datos, se puede asegurar la calidad de una lámpara LED.

D) Las equivalencias entre LED y tecnologías tradicionales

A través de esta misma normativa Reglamento (UE) nº 1194/ 2014, se han fijado niveles de flujo luminoso útiles que tiene que alcanzar las lámparas LED reflectoras que reemplazan las tecnologías tradicionales.

Viene a completar el Reglamento (UE) nº 244/ 2009 que ya había establecido los niveles para las lámparas no direccionales.

En las tablas adjuntas se detallan estas equivalencias. Si una lámpara no alcanza los niveles descritos entonces no cumple la normativa.

- **Tabla equivalencia lamparas no direccionales tipo GLS, esferica y vela segun ErP: 244/2009**

Equivalence flux lumineux (lm) LED avec watts traditionnels des lampes traditionnelles							
136lm	249lm	470lm	806lm	1055lm	1521lm	2452lm	3452lm
15W	25W	40W	60W	75W	100W	150W	200W

- **Tabla equivalencia lamparas reflectoras segun ErP: 1194/2012**

Equivalence flux lumineux (lm) LED avec watts traditionnels des lampes traditionnelles						
	20W	25W	35W	50W	75W	100W
GU5,3	207lm		345lm	621lm		
GU10	104lm	144lm	230lm	345lm		
AR111			288lm	449lm	736lm	903lm
PAR20			230lm	345lm	575lm	
PAR30				403lm	633lm	575lm
PAR38					638lm	874lm

- Para las luminarias, hay que fijarse en el rendimiento final del sistema completo. El flujo del sistema completo que se alcanza comparandolo con el sistema completo tradicional (flujo lampara + consumo equipo + LOR de la luminaria)

1.3.3. Ventajas de la tecnología LED

A) Una tecnología segura y resistente

- Las lámparas LED funcionan muy bien hasta cuando hay vibraciones.
- También funcionan bien en ambiente muy fríos.
- No contienen mercurio.

B) Son ahorros garantizados

- En cuanto a energía, consumen hasta un 90% menos que los sistemas basados en la incandescencia y hasta un 60% menos que los sistemas de fluorescencia.
- Son mucho más eficientes.
- Permiten ahorrar en gastos de mantenimiento gracias a su larga vida.

C) Es una tecnología mucho más flexible

- Es fácilmente regulable y de muchas maneras diferentes: control de fase, 1-10 V, DALI, protocolos sin cable, etc.
- Tiene un tamaño compacto y permite diseños innovadores y atractivos.
- Se enciende de manera instantánea al 100% del flujo.

A continuación se expone un gráfico comparativo.



1.4. Ventajas de la tecnología LED

1.4.1. Introducción

Las posibilidades de nuevos diseños que aporta la iluminación con LED abren toda una gama de opciones eficientes en el desarrollo de nuevos proyectos y las ventajas que ofrecen en cuanto a consumo, prestaciones, mantenimiento y larga vida útil dejan bien claro el camino hacia este tipo de iluminación en el alumbrado general interior y exterior, posible ya en este momento en muchas situaciones y con claro potencial de mejora en un futuro muy próximo.

Cuando se habla de eficiencia energética en iluminación, se deben contemplar todos los aspectos que afectan a las prestaciones y a la calidad del sistema en cuestión, sin olvidar el objetivo del proyecto, que es proporcionar una adecuada iluminación, en cantidad y calidad, a los usuarios.

Una primera consideración consiste en comparar la eficiencia energética del sistema como tal, en términos estrictos de consumo. Pero si se desea que la comparación sea correcta, se tendrán que enfrentar prestaciones, así como tener en cuenta la adaptación del sistema al uso del espacio a iluminar y, por último reparar en las mejoras en el mantenimiento, dentro del conjunto de un Proyecto de Iluminación.

1.4.2. Eficiencia de una luminaria

Eficiencia (lm/W): es la relación entre el flujo luminoso de salida (lúmenes) y la potencia que entra al sistema (vatios).

Es un concepto simple que, sin embargo, hay que contemplar teniendo en cuenta ciertas consideraciones:

Una fuente de luz (halógena, fluorescente, LED, etc.) tiene una eficiencia o eficacia luminosa inicial, es decir, una relación entre el flujo que proporcionan y la potencia necesaria para generar ese flujo.

No obstante, en muchos casos, esa fuente de luz no puede funcionar por sí misma, sino que debe incorporar algún equipo que le proporcione las condiciones adecuadas para su arranque y correcto funcionamiento. Estos equipos tienen, a su vez, una determinada eficiencia energética, puesto que presentan siempre algún tipo de pérdida durante el proceso de adaptación de la corriente eléctrica a las condiciones que la fuente de luz necesita.

Por último, en las luminarias se integran distintos sistemas ópticos (reflectores, difusores, aletas antideslumbrantes, etc.) cuya finalidad es obtener una distribución luminosa de la luz adecuada al uso que se quiera dar a la luminaria.

Existen multitud de estos elementos y cada uno de ellos tiene su propio *rendimiento*, es decir, la cantidad de flujo que es capaz de extraer de la fuente de luz.

De esta forma, tradicionalmente se expresa la eficiencia de una luminaria mediante tres parámetros que el diseñador debe considerar:

- Flujo luminoso de las fuentes de luz (lámparas y LED).
- Potencia del sistema (lámpara o LED + equipo o driver).
- Rendimiento (en %) del sistema óptico: η .

El flujo final de salida de la luminaria se calcula como el flujo de la lámpara o LED, multiplicado por el rendimiento de la luminaria. La potencia a considerar es la que demandan la lámpara o LED y el equipo o driver en conjunto.



Figura 35. Características lámpara tradicional.

Al incorporarse las luminarias LED al mercado, surgen distintas formas de expresar sus características.

Es posible encontrar datos fotométricos para luminarias LED en la forma tradicional descrita anteriormente. Sin embargo, es muy habitual medir en laboratorio el flujo luminoso de la salida de luz del conjunto y el consumo global del sistema, en unas condiciones determinadas.

Los datos fotométricos que proporciona el fabricante en este caso vienen expresados en flujo final, o en flujo con rendimiento al 100%.



Figura 36. Datos fotométricos.

LUMINARIA LED840 34W



Flujo LED840 34W = 2.100 lm
Rendimiento de la luminaria = 100%
FLUJO FINAL = 2.100 lm
POTENCIA conjunto = 34 W
EFICIENCIA = 62 lm/W

Figura 37. Características lámparas LED.

1.4.3. Eficiencia del LED

Para evaluar correctamente la eficiencia energética de los LED es necesario comprender algunos aspectos relativos al funcionamiento de los mismos.

En primer lugar se deben considerar los factores que condicionan la eficiencia del diodo o del módulo LED y luego, cómo dependen del funcionamiento del conjunto.

Hay muchos factores que intervienen en la eficiencia del LED, pero los más notables para prescriptores y consumidores son tres:

- Método de obtención de la luz blanca.
- Atributos de la calidad del color.
- Intensidad/densidad de corriente.

1.4.3.1. Método de obtención de la luz blanca

Como se ha visto en capítulos anteriores, la luz procedente del LED no es originalmente blanca. El método utilizado para convertir la luz procedente del diodo en luz blanca determina la eficacia de este proceso.

El primer método es el de la *mezcla aditiva de colores*. En este caso, la luz blanca se produce mezclando diferentes LED que producen luz roja, verde y azul (RGB).

El segundo método es la conversión mediante el método de *fotoluminiscencia*, con una fina capa de fósforo aplicada sobre uno o varios LED.

Existen también otros métodos mixtos que buscan una mejor calidad de la luz, como la incorporación de LED rojos a los módulos con capa de fósforo.

Actualmente, la forma más eficaz y extendida es el de conversión mediante capa de fósforo. No obstante, existen investigaciones que inciden en que las expectativas de mejorar la eficacia en el futuro son mejores en los sistemas de transformación mediante la mezcla aditiva de colores, por lo que se prevé un desarrollo hacia estos sistemas o hacia sistemas híbridos.

1.4.3.2. Variaciones de eficiencia con la temperatura y rendimiento de color

Se puede observar en los productos actualmente en el mercado que los flujos, para un mismo consumo, varían al elegir distintos tonos de blanco (más cálido o más frío) o una capacidad de reproducción cromática mayor.

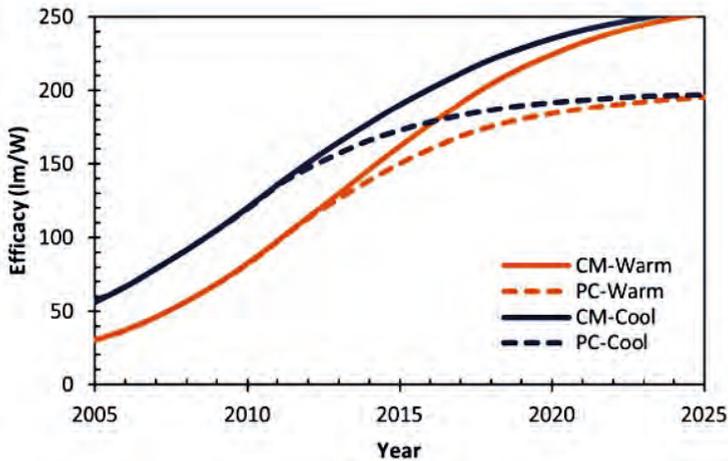


Figura 38. Evolución de la eficacia con el transcurso de los años.

Conseguir un determinado tono de blanco (Temperatura de color correlacionada T_{cp}), o un rendimiento de color (R_a) más elevado, requiere cambios en la distribución espectral de la fuente de luz. Cada color particular de la luz tiene un espectro de emisión propio y cada espectro libera un nivel de energía diferente.

Los rendimientos de color (R_a) más elevados precisan, en general, de un espectro de radiación más amplio. En consecuencia, dentro de una misma familia de productos, aquellos con mayor R_a suelen consumir más energía.

Esto significa que la eficiencia luminosa de la radiación emitida variará y, por lo tanto, es de esperar que los LED con distintas temperaturas de color, o con diversos rendimientos de color (R_a) tengan también diferentes eficiencias o eficacias luminosas.

Las investigaciones en la mejora de la eficiencia relacionada con estos dos conceptos apuntan a que, en el futuro, estas diferencias sean cada vez menores.

1.4.3.3. Intensidad eléctrica de alimentación

Como regla general, la alimentación de los LED con intensidades de corriente altas, produce flujos luminosos de salida mayores, pero a costa de una eficiencia energética menor. Este descenso de eficiencia está siendo investigado por los fabricantes con el objetivo de reducir las pérdidas.

La elección de LED de una determinada intensidad de alimentación para su instalación en una lámpara o en una luminaria LED, dependerá de la finalidad perseguida por el fabricante, en función del uso al que esté destinada.

Para iluminación general, los fabricantes utilizan LED de media o de alta potencia. Los primeros se alimentan con intensidades de corriente habitualmente inferiores a 100 mA, mientras que los segundos lo hacen con intensidades típicas de 350 mA, 500 mA, 700 mA e incluso 1.000 mA.

Tabla 1. En la tabla se representa un ejemplo para un LED de media potencia, en el que puede observarse el efecto de la intensidad de corriente sobre la eficiencia o eficacia luminosa (lm/W), a una misma temperatura ambiente.

5. Electro - Optical Characteristics

(Ta=25°C)

If (mA)	Vf (V)	Power (W)	Φ_v (lm)	lm/W
30	2.74	0.082	14.3	174
65	2.90	0.188	30.2	160
100	3.03	0.300	45.2	150
150	3.20	0.469	65.3	139
200	3.34	0.648	84	129

* Φ_v values are for representative references only.

1.4.4. Eficiencia de la fuente de luz y de la luminaria LED

En la práctica, para poder utilizar LED en la iluminación, es necesario incorporarlos en sistemas de iluminación, lámparas o luminarias completas, que proporcionen un sistema mecánico de soporte y que incluyan elementos electrónicos (driver) y/o elementos ópticos (lentes, difusores, reflectores, etc.).

La eficiencia de la fuente de luz LED depende de las condiciones de funcionamiento, por lo que la consideración por separado de la eficiencia de la fuente de luz, equipo de alimentación y sistema óptico, carece de sentido. Es necesario estudiarlos en conjunto y en condiciones de funcionamiento.

Los aspectos fundamentales que determinan la eficiencia de los LED integrados en lámparas y luminarias utilizables por el consumidor final son tres:

- Gestión térmica del sistema.

- Eficiencia del driver.
- Eficiencia del sistema óptico.

Tanto la eficiencia del driver como la del sistema óptico son aspectos que condicionan en la misma medida la eficiencia de los sistemas tradicionales, pero la gestión térmica del sistema, sin embargo, tiene mucha mayor influencia en la iluminación mediante LED.

La conversión de energía en luz dentro del LED es un proceso en el que buena parte de esa energía se transforma en calor dentro del propio diodo. Cuanto mayor sea la temperatura en el interior (T_j = temperatura en la unión), menor será la emisión de luz y, además, la duración del diodo se verá reducida, pudiendo llegar incluso a su destrucción en poco tiempo.

La norma general es que cuanto menor sea la temperatura de funcionamiento, más eficiente será el LED y mayor será su vida útil.

Un buen diseño del diodo y del chip LED en cuanto a su temperatura de funcionamiento es el primer paso hacia una lámpara o luminaria LED eficiente. Pero la integración del chip en una lámpara o en una luminaria genera unas condiciones térmicas diferentes. La forma de gestionar estas condiciones y los sistemas de disipación de calor que se proyecten son fundamentales para lograr la mayor eficiencia y vida útil.

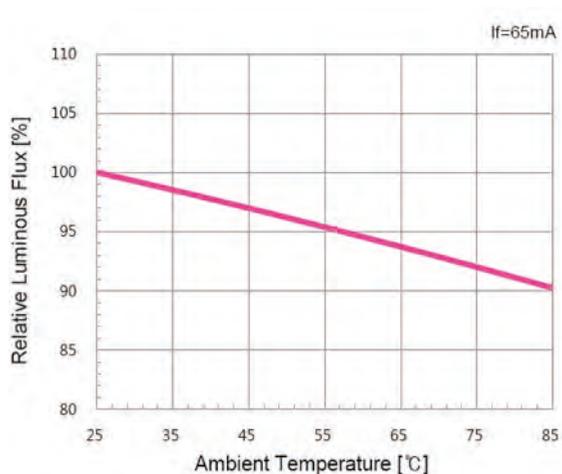


Figura 39. Ejemplo de influencia de la temperatura ambiente en un LED COB de potencia media.

El fabricante deberá aportar datos del flujo y la potencia consumida del producto final, con todos sus elementos incluidos, medidos a una temperatura dada. Es habitual hacer referencia a una temperatura ambiente de 25 °C. El incremento de temperaturas por encima de este valor supondrá un descenso del flujo y, por tanto de la eficiencia o eficacia luminosa.

Durante el proceso de adaptación de la alimentación eléctrica a las condiciones que requiere el LED para su funcionamiento se producen también pérdidas. La elección de un driver adecuado, con una eficiencia elevada y capaz de generar las condiciones eléctricas óptimas, es fundamental para minimizar estas pérdidas.

Por otro lado, la incorporación de sistemas ópticos para redirigir la luz en las direcciones deseadas o controlar el deslumbramiento, también supone ciertas pérdidas de eficiencia.

Para el estudio de la eficiencia del sistema LED, estos tres factores son inseparables. El tipo de driver influirá en la temperatura del sistema como también lo harán los sistemas ópticos utilizados. A su vez, la temperatura influirá en el funcionamiento del driver. Por este motivo los fabricantes deben proporcionar los datos de flujo final y eficiencia del sistema funcionando en conjunto, para que el consumidor tenga una referencia clara de las características de la lámpara o luminaria LED en condiciones previstas de servicio.

En general, la eficiencia es mejor en las luminarias completas y su buen funcionamiento está mejor asegurado al haberse comprobado como conjunto. Sin embargo, la elección de una u otra solución la determinarán, en cada situación concreta, el balance entre la inversión y el ahorro energético y por mantenimiento.

1.4.5. Lámparas tradicionales en relación con los LED

- **Lámparas incandescentes y halógenas:** su eficiencia o eficacia luminosa típica está entre 10 lm/W y 26 lm/W. Existen disponibles en el mercado nuevas lámparas halógenas con la eficiencia mejorada y algunas investigaciones apuntan a que pueden alcanzarse los 45 lm/W en laboratorio, pero el dato no ha sido verificado aún de forma independiente.
- **Lámparas fluorescentes:** su eficiencia varía mucho dependiendo del tipo de lámpara, de la longitud, de la potencia o de la calidad de la luz y la temperatura de color. Las eficiencias o eficacias luminosas varían desde 25 lm/W hasta 118 lm/W, sin tener en cuenta las pérdidas de los balastos.

En los últimos años la eficiencia y calidad de las lámparas fluorescentes ha mejorado considerablemente mediante distintas tecnologías. Pero, fundamentalmente, lo que ha hecho incrementar la eficiencia del sistema balasto + lámpara ha sido la incorporación de balastos electrónicos, llegándose a valores de eficiencia en torno a 110 lm/W para el conjunto balasto electrónico-lámpara fluorescente.

- **Lámparas de descarga de alta intensidad HID** (exceptuando las de vapor de mercurio): son las lámparas más eficientes presentes hoy en día en el mercado, con eficacias luminosas que alcanzan los 115 lm/W, incluyendo el equipo para halogenuros metálicos y hasta 140 lm/W para vapor de sodio. Sin embargo, estas altas eficiencias se consiguen a menudo a expensas de la calidad de la luz.
- **Las lámparas de vapor de sodio de alta intensidad** son la que ofrecen eficiencias más elevadas, pero la calidad de la luz que proporcionan en cuanto a temperatura de color o tono de luz y reproducción cromática, solo las hace aptas para determinadas aplicaciones.

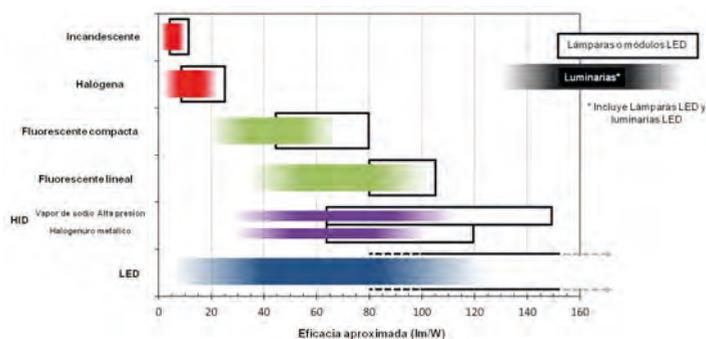


Figura 40. Comparativa entre distintas tecnologías en función del rendimiento.

- **Las lámparas de halogenuros metálicos** con tecnología cerámica ofrecen una buena calidad en la reproducción cromática de los colores que, en algunos casos, es comparable a la de las fluorescentes. La investigación continúa para mejorar la eficacia luminosa y la calidad de estas lámparas. La dificultad para la regulación de este tipo de lámpara hace que pierdan posiciones en Proyectos de Iluminación en los que la eficiencia sea prioritaria.

Algunos fabricantes de LED han alcanzado ya los 200 lm/W de emisión y se esperan mejoras en los próximos años. En su incorporación a sistemas utilizables por el consumidor (lámparas LED y luminarias LED) existen ya eficacias luminosas cercanas a los 120 lm/W, dependiendo de la temperatura de color elegida y de su rendimiento de color.

Las fuentes de luz tradicionales se basan en tecnologías maduras que han evolucionado mucho desde sus comienzos para poder ofrecer sus cualidades actuales. La investigación en la mejora de estas fuentes continúa activa, de tal forma que los fabricantes podrán ofrecer mejores prestaciones y mayores eficacias luminosas en el futuro, pero el potencial de mejora que presentan no es tan alto como en los LED, tecnología muy joven, susceptible, por lo tanto, de evolucionar mucho en los próximos años.

Como puede verse en esta tabla del DOE (*U.S. Department of Energy*), las expectativas con los LED son las de poder alcanzar 266 lm/W. Aunque estos niveles no son los que se obtendrán finalmente en una luminaria o lámpara LED, si dan una idea del potencial de mejora de esta nueva tecnología.

Tabla 2. Evolución (esperada) del rendimiento en las luces cálidas blancas LED.

Table 5.6: Summary of Warm White LED Luminaire Performance Progress Targets

Metric	2011	2013	2015	2020	Goal
Package Efficacy (lm/W)	97	129	162	224	266
Thermal Efficiency	86%	87%	88%	90%	90%
Efficiency of Driver	85%	87%	89%	92%	92%
Efficiency of Fixture	86%	87%	89%	92%	92%
Resultant luminaire efficiency	63%	66%	69%	76%	76%
Luminaire Efficacy (lm/W)	61	85	112	170	202

Notes:

1. Package efficacy projections are for the color-mixed case, per Table 5.5
2. Warm white packages and luminaires have CCT=2580-3710K and CRI=80-90.
3. All projections assume a drive current density of 35 A/cm², reasonable package life and steady-state operating temperature.
4. Luminaire efficacies are obtained by multiplying the resultant luminaire efficiency by the package efficacy values.

1.4.6. Proyecto de iluminación eficiente con LED

La normativa general a aplicar, en cuanto a eficiencia energética de las instalaciones de iluminación, es la siguiente:

- Código Técnico de la Edificación (CTE), Documento Básico HE, en su Sección HE3: Eficiencia Energética de la Instalaciones de Iluminación, para iluminación interior, y su actualización mediante Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre.
- Real Decreto 1890/2008 por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias, para iluminación exterior.

Por otro lado, la norma UNE-EN 15193 "Eficiencia energética de los edificios. Requisitos energéticos para la iluminación" establece métodos para el cálculo del consumo en edificios debido a la iluminación, teniendo en cuenta los posibles ahorros por aportación de luz diurna y por control de presencia.

Los factores para la clasificación energética de un proyecto de iluminación son:

- **VEEI:** Valor de Eficiencia Energética en Iluminación (W/m^2 por cada 100 lux). Queda definido por el CTE para iluminación interior.
- **e (m^2lux/W): Eficiencia Energética.** Definido por el RD 1890/2008, para alumbrado exterior.

Estas normativas establecen límites para estos parámetros que el proyecto de iluminación debe cumplir. Además, obligan a la incorporación de sistemas de control cuando se cumplen determinadas condiciones de proyecto.

La iluminación mediante LED ha supuesto que, en muchos casos, estos límites no solo se puedan cumplir, sino también mejorar considerablemente. Por otro lado, las posibilidades de regulación que ofrecen las luminarias LED, las hace ideales en situaciones donde el aprovechamiento de la luz diurna o el control horario o por presencia, pueden suponer ahorros energéticos notables.

Pero la eficiencia en modo alguno debe ser el único factor cuando se comparan soluciones de iluminación. Otras características relativas a los niveles de iluminación, calidad de la luz, a la flexibilidad del sistema, a la facilidad de mantenimiento o a las posibilidades de regulación son fundamentales.

Los factores anteriormente descritos como elementos de comparación entre luminarias (eficacia, flujo de salida, Ra, etc.) carecen en sí mismos de significado si la equiparación se realiza fuera del contexto del proyecto de iluminación y la aplicación concreta para el que se proponen.

Por último, es imposible hablar de eficiencia energética sin tener en cuenta el mantenimiento. La larga vida útil de las luminarias LED mejoran considerablemente los costes por mantenimiento de la instalación.

Los pasos a seguir que se recomiendan para valorar la eficiencia de una solución luminotécnica son los siguientes:

1. Definición del uso del espacio a iluminar y de las horas de utilización.
2. Concreción de los requerimientos lumínicos en sus aspectos cuantitativo y cualitativo.
3. Establecimiento de los niveles de eficiencia exigidos por la normativa aplicable.
4. Comparación del nivel cumplimiento de los factores del punto 2 para cada solución.
5. Cálculo de la potencia instalada (W y W/m²) para cada solución propuesta.
6. Comprobación de los niveles de eficiencia exigidos por la normativa aplicable.
7. Cálculo de la demanda energética anual en kWh de cada solución a comparar.
8. Mantenimiento previsto para cada solución durante el periodo de tiempo elegido para la comparación.

Cuando se hagan estimaciones económicas éstas deberán incluir: la inversión y los costes de instalación, los costes de financiación si los hubiere y el incremento de precio que puedan sufrir tanto el mantenimiento como la energía eléctrica durante el periodo de comparación estudiado.

1.4.6.1 Ejemplo de aplicación

En el ejemplo que se expone a continuación se ha considerado la reforma de un pasillo con ascensores que se repite en las diez plantas de un hotel.

La iluminación actual se realiza mediante downlights empotrados con lámparas halógenas de bajo voltaje de 50 W. La distribución lumínica es de tipo *spot*, con un ángulo cerrado que provoca una gran falta de uniformidad.

El número de horas de uso es 18 horas, 365 días al año, lo que se traduce en un total de 6.570 horas anuales.

Los pasillos tienen ventanas en uno de sus laterales.

Tabla 3. Datos de la instalación.

1- Definición del uso del espacio a iluminar y de las horas de utilización	
Pasillo de hotel con pequeño vestíbulo de ascensores. Uso: 18 horas diarias todos los días del año = 6.570 horas anuales	
2- Definición de los requerimientos lumínicos en sus aspectos cuantitativo y cualitativo	
Iluminancia, Luminancia	100 lux a nivel del suelo
Uniformidad	0,4
Deslumbramiento	UGR \leq 22
Distribución luminosa y contribución de la misma a los requerimientos del proyecto	Por ser una zona de tránsito para los usuarios, se requiere una distribución luminosa que garantice la orientación y la movilidad, de una forma segura y agradable.
Temperatura de color aconsejable	3.000 K
CRI requerido por el uso del espacio a iluminar	80
Otros criterios: estético, necesidades de protección añadida (IP)	Se requiere un especial cuidado a los criterios estéticos y de orientación, al tratarse de un hotel.
Posibilidad de regulación y contribución de la misma a la eficiencia del proyecto	Posibilidad de un sistema de control de presencia. Se estima una presencia del 75% de las horas de uso. Existe también asporte de luz natural por la presencia de ventanas en uno de los laterales.

Tabla 3. Datos de la instalación. (Continuación)

3- Definición de los niveles de eficiencia exigidos por la normativa aplicable: VEEI límite exigido por CTE
6 W/m ² .100 lux

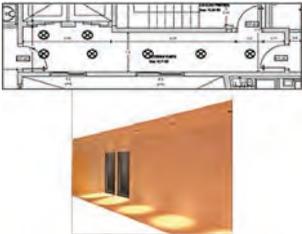
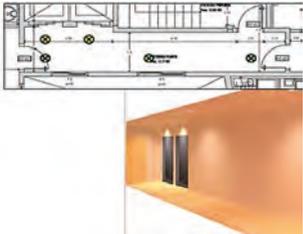
	SITUACIÓN ACTUAL	SITUACIÓN PROPUESTA
AHORRO ENERGÉTICO		
86%		

Figura 41. Comparativa situación actual y propuesta.

Tabla 4. Datos de la instalación.

	SITUACIÓN ACTUAL	PROPUESTA
Descripción	7 luminarias por planta con lámpara halógena. Potencia instalada: 53 W por luminaria	5 luminarias LED por planta. Potencia Instalada: 3 de ellas son de 18 W y 2 de 11 W
	10 plantas	10 plantas
4- Comparación del nivel cumplimiento de los factores del punto 2 para cada solución	No se cumplen todos	Se cumplen
Iluminancia, Luminancia	117 lux a nivel del suelo	154 lux a nivel del suelo
Uniformidad	0,06	0,43
Deslumbramiento	UGR <=22	UGR <=22

Tabla 4. Datos de la instalación. (Continuación)

	SITUACIÓN ACTUAL	PROPUESTA
Distribución luminosa y contribución de la misma a los requerimientos del proyecto	La distribución luminica presenta excesivo contraste que puede provocar molestias en el proceso de adaptación del ojo a los distintos niveles lumínicos. La falta de uniformidad no garantiza el tránsito seguro	La movilidad y orientación requeridas se consiguen garantizando la uniformidad general y acentuando el acceso a los ascensores
Temperatura de color aconsejable	3.000 K	3.000 K
CRI requerido por el uso del espacio a iluminar	100	80
Otros criterios: estético, necesidades de protección añadida (IP)		Se reduce el número de puntos de luz, lo que mejora el aspecto estético del techo
Posibilidad de regulación y contribución de la misma a la eficiencia del proyecto en ahorro de horas de utilización.	No existe sistema de control. Las horas de uso de la instalación no se reducen	Se propone un sistema de control por presencia y por aporte de luz natural. Se estima que el ahorro en horas de uso por este sistema es del 30%: 1.971 horas
5- Cálculo de la potencia instalada (W y W/m²)	3710 W; 29,1 W/m ²	760 W; 5,95 W/m ²

Tabla 4. Datos de la instalación. (Continuación)

	SITUACIÓN ACTUAL	PROPUESTA
6- Comprobación de los niveles de eficiencia exigidos por la normativa aplicable (VEEI)	24,9 W/m ² .100 lux	3,86 W/m ² .100 lux
7- Cálculo de la demanda energética anual en kWh de cada solución a comparar.	Horas de uso anuales: 6.570	Horas de uso anuales: 6.570-1.971=4.599
	Consumo anual=3.710 W x 6.570 h = 24.374,7 kWh	Consumo anual=760 W x 4.599 h = 3.495,2 kWh
8- Mantenimiento previsto durante el periodo de tiempo elegido para la comparación.	La vida útil de estas lámparas se estima en 3.000 horas. Por este motivo se calculan 2 reposiciones completas de lámparas al año	Vida útil de estas luminarias: 50.000 horas. No se prevén gastos por reposición en 50.000/3.495= 14 años

2.1. Tipos de LED

2.1.1. Sistemas de alumbrado LED

Los sistemas de alumbrado LED están constituidos por distintos dispositivos (luminarias, LED, drivers y sus correspondientes circuitos), que componen el producto final a instalar y que, por consiguiente, son los que demuestran las ventajas que ofrece la tecnología LED, en relación a otras técnicas convencionales de iluminación.

De hecho, un sistema de alumbrado LED mal diseñado en alguno de sus componentes o dispositivos, puede fomentar la idea de que la tecnología LED todavía no está preparada para sustituir a las técnicas tradicionales, lo cual no se ajusta a la realidad.

Antes de proseguir, se considera conveniente aclarar el concepto de sistema de alumbrado LED, que puede definirse como aquel que incorpora la tecnología LED necesaria para obtener una luminaria, que integre una fuente de luz LED con todos los dispositivos precisos para el funcionamiento y protección de los distintos componentes y, que además, disponga de todos los circuitos auxiliares indispensables, así como de una correcta conexión con la red de alimentación eléctrica.

Un sistema de alumbrado LED está compuesto por varios dispositivos como luminaria, fuente de luz (lámparas, tiras o módulos LED), equipo de alimentación (driver), que deben ajustarse a las especificaciones establecidas en la normativa vigente.

Como los sistemas de alumbrado LED no facilitan las mismas prestaciones que los propios diodos LED de forma individual o independiente, el fabricante debe suministrar datos concretos, precisos y fiables sobre las características luminotécnicas, térmicas, eléctricas y de seguridad, con la finalidad de que su producto quede totalmente caracterizado.

En este apartado se expone lo referente a los tipos de LED, mientras que en el siguiente se desarrolla lo relativo a las luminarias, y en el 2.3 se contemplan los *drivers* y el control y regulación de la luz, para finalizar con el 2.4 que se refiere a las aplicaciones de los sistemas de alumbrado LED.

2.1.2. Tipos de LED

En el campo de la iluminación se disponen de diferentes tecnologías para conseguir una fuente de luz, tradicionalmente se clasificaban por lámparas incandescentes y lámparas de descarga, que agrupaban el mayor porcentaje de las fuentes de luz, aun cuando, con un nicho más reducido, también se encuentran las lámparas de inducción.

Con los LED aparece un nuevo principio de generación de luz producida desde dispositivos en estado sólido, del acrónimo en inglés SSL (*Solid State Lighting*). Irrumpe una nueva tecnología para la generación de luz, que está avanzando de forma exponencial y, aunque aún todavía no cubre la sustitución de todas las tecnologías y fuentes de luz, sí que apunta a sustituir la gran mayoría de ellas a medio y largo plazo, ya sea a través de lámparas de sustitución directa, conocidas como lámparas retrofit, hasta la reposición completa de luminaria y punto de luz en un solo elemento.

Básicamente existen tres tipos de LED, para aplicaciones específicas y con características particulares para cada una de ellas.

Tabla 1. Tipos de LED.

LED de 3 mm y 5 mm	
	Señales publicitarias, indicadores, retroiluminación, (frigorífico, TV, etc.)
	Voltaje constante (conexión en paralelo)
LED SMD (Surface mount LED)	
	Zona inferior de armarios, pasos de peatones, luz decorativa.
	Voltaje constante 12 V/ 24 V (conexión en paralelo).
	Temperatura baja (sin reductor de calor).

Tabla 1. Tipos de LED. (Continuación)

LED de alta potencia (LED >1 W):	
	Efectos de iluminación con lente, idóneos para una variedad de aplicaciones.
	Voltaje constante 350 mA/ 700 mA (conexión en serie).
	Última tecnología disponible en el mercado.

2.1.3. LED: concepto y producto final

Sobre los tres tipos anteriores de LED se construye una arquitectura más compleja que proporciona soluciones cada vez con mayor flujo luminoso. Y que dota al diodo inicial de todos los elementos necesarios para poder iluminar.

Tabla 2. Proceso de configuración del LED.

Nivel	Nombre	Descripción	Imagen
Nivel 0	LED die	LED diodo semiconductor original	
Nivel 1	LED die in package	LED diodo encapsulado	
Nivel 2	LED Board	LED en circuito impreso	
Nivel 3	LED Module	LED en circuito impreso con interface. Puede incluir elementos adicionales, ópticas, disipador o controlador.	
Nivel 4	LED Lamp	LED en módulo incluido en lámpara bajo estándar IEC	

En una lámpara convencional, generalmente el filamento o el tubo de arco, son los factores determinantes de las prestaciones y calidad de la misma.

Pero en una lámpara de LED, un buen LED no garantiza las buenas prestaciones de la lámpara. Un LED de alta potencia moderno no puede funcionar por sí mismo. Siempre es necesario un disipador de calor, además de un controlador electrónico y lentes.

Son estos tres elementos en su conjunto los que determinan la prestación final de la lámpara, casi independientemente de qué tipo de emisor del LED se utiliza en el interior.

2.1.4. La elección del LED óptimo

El mejor LED no sólo se puede elegir en función de sus especificaciones de la hoja de datos técnicos.

Existe un gran salto cualitativo como se ha comentado anteriormente, entre las especificaciones del LED emisor y el producto acabado.

Entre otros motivos, debido a que las características que aparecen en la hoja de datos técnicos se han obtenido con un parámetro de temperatura de 25 °C, pero en ocasiones alcanzan temperaturas superiores a 100 °C.

Otra razón también a considerar, es que el rendimiento depende en gran medida de otros componentes de la lámpara como el disipador y las lentes.

Si se considera un caso concreto, para la lámpara de referencia LED ES50 Superior 345 lm:

- LED emisor de la marca A ofrece un 20% de flujo y se muestra más eficaz que el LED marca B en el laboratorio.
- Sin embargo, en una aplicación real, el LED B ofrece un 5% más de flujo y eficacia que el LED A.

Para cada construcción individual de una lámpara se tiene que elegir el mejor LED. Y esto no puede hacerse en base a las especificaciones primarias del LED, sino a su combinación con el resto de elementos constituyentes de la lámpara.

2.1.4.1. Eficacia del LED emisor respecto a la eficiencia del sistema

En 2012 la eficiencia de los LED emisores puestos en el mercado era de 100–140 lm/W. Pero la eficiencia de los conjuntos vendidos, lámparas y luminarias fue únicamente de 40–80 lm/W.

Tabla 3. Dónde han ido a parar los lúmenes del LED primario.

	Pérdida	Eficiencia final
LED Hoja técnica Eficiencia	–	100%
Depreciación Térmica	10 – 40%	60 – 90%
Pérdidas a causa de la	5 – 15%	51 – 86%
Pérdidas a causa del driver	10 – 30%	36 – 77%

Los LED primarios de diferentes fabricantes varían sólo ligeramente unos de otros.

Conclusión: El diseño del sistema de iluminación afecta al rendimiento final mucho más que la elección de los emisores LED que se utilizan en el interior de la luminaria.

2.1.5. Fabricantes de LED

El LED es un producto que requiere elevadas inversiones y tiempo en procesos de investigación y desarrollo. Y no es posible para los fabricantes de forma individual abarcar todos los tipos de LED encapsulado (LED *die in package*), por ello cada uno de ellos se ha especializado en un tipo. Es un sector que además evoluciona rápidamente.

2.1.6. OLED

Siendo un tipo de LED cabe mencionar en capítulo aparte el OLED (*Organic Light Emitting Diode*). Compuesto por un diodo que se fundamenta sobre una capa electroluminiscente, esta capa está constituida por una película de componentes orgánicos que, al recibir una estimulación eléctrica, reaccionan y emiten luz.

Cuando se habla de electroluminiscencia, hay que remontarse a los años 50 descubierta por Bernanose y sus colaboradores.

Se encuentran posteriores apariciones en artículos de difusión científica, pero el aspecto importante es el descubrimiento de la alta conductividad en polímeros orgánicos, que aportan todas las características de éstos, como flexibilidad, de peso reducido y totalmente ajustable. Pero aún no es una realidad como ha pasado a ser ya el LED en lámparas retrofit, es decir, en lámparas que sustituyen de forma directa a lámparas construidas en otras tecnologías menos eficientes. No obstante, igual que ha sucedido con la tecnología LED, el OLED se considera una de las tecnologías que revolucionarán la industria de la iluminación.

Un OLED está compuesto por dos capas orgánicas finas: una capa de emisión de luz y otra de conducción, estas capas se encuentran entre otras dos capas, una de las cuales hace de cátodo y otra la de ánodo.

Por regla general estas capas están fabricadas con polímeros que en determinadas condiciones son conductores de la electricidad.



Figura 1. Composición de un OLED.

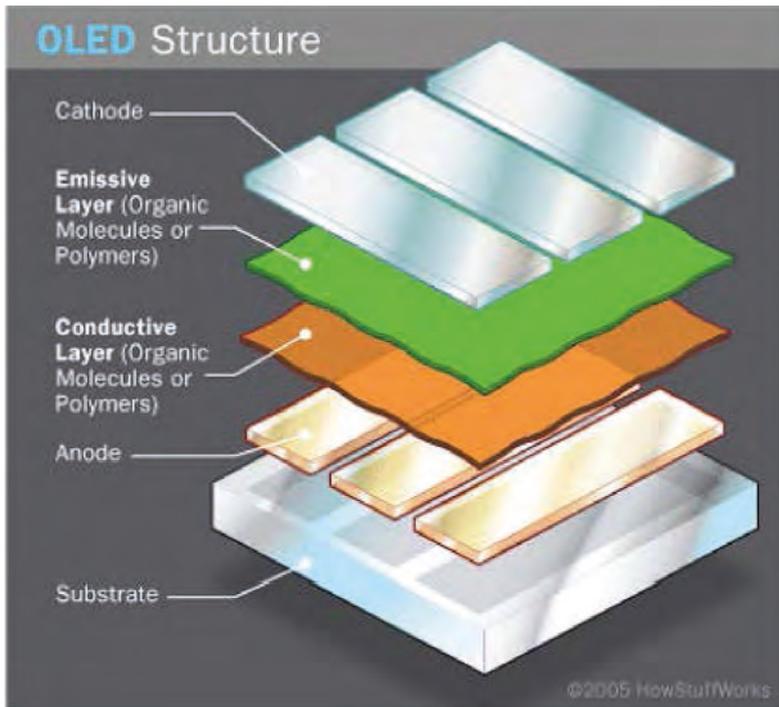


Figura 2. Estructura del OLED.

De nuevo aquí la elección de los materiales orgánicos y su estructuración determinarán las características de funcionamiento del dispositivo, y se hablaría de color emitido, temperatura de color y grados Kelvin; tiempo de vida y eficacia, todos ellos conceptos base de la iluminación.

Se consideran dos tipos de tecnologías principales en la generación de luz con OLED: Generación mediante moléculas (SM-OLED) y generación mediante polímeros (PLED).

* SM-OLED (*Small-molecule OLED*)

Los SM-OLED se basan en una tecnología desarrollada por la compañía Eastman Kodak. La producción de pantallas con pequeñas moléculas requiere una deposición en el vacío de las moléculas que se consigue con un proceso de producción de elevado coste. Típicamente se utilizan sustratos de vidrio para hacer el vacío, pero esto quita la flexibilidad a las pantallas aunque las moléculas sí lo sean.

* PLED (*Polymer Light-Emitting Diodes*)

Los PLED o LEP (*Light-Emitting Polymers*) se basan en un polímero conductor electroluminiscente que emite luz cuando una corriente eléctrica lo recorre. La película de sustrato utilizada es una película muy delgada y se obtiene una pantalla de gran intensidad de color, para la que se necesita muy poca energía en comparación con la luz emitida. En esta tecnología no es necesario el vacío y los polímeros pueden aplicarse sobre el sustrato mediante una técnica derivada de la "impresión de chorro de tinta".

El sustrato usado puede ser flexible, como un plástico PET. Esta tecnología permite una reducción de costes importante.

* TOLED (*Transparent OLED*)

Los TOLED usan un terminal transparente para crear pantallas que pueden emitir en su cara de delante, en la de atrás, o en ambas consiguiendo ser transparentes. Los TOLED pueden mejorar enormemente el contraste con el entorno, haciendo mucho más fácil el poder ver las pantallas con la luz del sol. Este tipo de OLED podría permitir objetos totalmente polivalentes desde el punto de vista funcional, como ventanas que en un momento dado fueran fuentes de luz.

2.1.7. Ventajas y desventajas de OLED

Las principales ventajas del OLED se refieren a su estructura, ya que son más finos, más ligeros y más flexibles que los LED. Todos estos aspectos son muy importantes a la hora del diseño de lámparas, pero principalmente de luminarias.

Además, los OLED son más brillantes que los LED y se pueden fabricar de cualquier tamaño y son totalmente adaptables a la necesidad que se desee satisfacer. Aplicado al campo de las luminarias, permite diseñar cualquier tipo de ellas totalmente personalizadas.

Respecto a las desventajas, en estos momentos se concentran en general en la vida útil, ya que para los OLED azules la vida se evalúa alrededor de las 14.000 horas, mientras que para los rojos y verdes el abanico se encuentra aproximadamente entre las 46.000 y las 230.000 horas.

Sin duda alguna el principal inconveniente de los OLED radica en que actualmente los procesos de fabricación son de costes muy elevados, y tampoco es de desdeñar que el agua y el oxígeno los pueden dañar con cierta facilidad.

2.2. Luminarias de alumbrado LED

Como se ha explicado en el capítulo anterior 3.1, las luminarias LED constituyen uno de los dispositivos o componentes fundamentales de los sistemas de alumbrado LED.

Se debe distinguir entre dos tipos de luminarias LED, las utilizadas para alumbrado exterior y las que se instalan en iluminación interior, tal y como se representan en las figuras siguientes:



Figura 3. Luminaria para alumbrado exterior.



Figura 4. Luminaria para alumbrado interior.

2.2.1. Luminarias para alumbrado exterior

Inicialmente, se debe puntualizar que la responsabilidad del instalador, no es la misma según el tipo de instalación a realizar. Es decir, no es igual la sustitución directa de una lámpara LED en una luminaria LED, que la adecuación o adaptación de una luminaria convencional existente a iluminación LED.

En relación a este tema, se pueden diferenciar tres posibles tipos de instalaciones de alumbrado exterior:

- **Luminaria de nueva instalación:** luminaria en la que, como su propio nombre indica, todos sus componentes son proporcionados por el fabricante, y no se utiliza ninguna parte mecánica, eléctrica o electrónica de una anterior luminaria propiedad de un cliente.



Figura 5. Luminaria alumbrado exterior nueva instalación.

- **Luminaria modificada (*re-lamping*):** luminaria en la que se sustituyen las actuales lámparas descarga, vapor de sodio, halógenos metálicos, etc., por lámparas LED de “conexión directa”.



Figura 6. Luminaria alumbrado exterior modificada (*re-lamping*).

- **Luminaria modificada (*retrofit*):** luminaria en la que se modifica su diseño original, lo cual puede implicar modificaciones mecánicas y/o eléctricas que varíen, en mayor o menor grado, las especificaciones iniciales de fabricante original.



Figura 7. Luminaria alumbrado exterior modificada (*retrofit*).

Por otra parte, y según se especifica en el Real Decreto 1890/2008 de 14 de Noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, en el apartado 9 de su instrucción técnica complementaria ITC-*EA* 02, las instalaciones de alumbrado vial, alumbrado específico, alumbrado ornamental y alumbrado de señales y anuncios luminosos, con potencia instalada superior a 5 kW, deberán reducir sus niveles de iluminación y, por tanto, incluir dispositivos o sistemas para regular el nivel luminoso, salvo que por razones de seguridad, a justificar en el proyecto o memoria técnica de diseño, no resultara recomendable efectuar dicha reducción de los niveles de iluminación.

Aplicando la anterior normativa, la necesidad de incluir o no estos dispositivos de regulación será determinada por el proyectista o instalador y, en función del tipo de instalación proyectada, se le solicitará al fabricante las correspondientes luminarias con o sin regulación luminosa.

Según el apartado indicado de la ITC-*EA*-02, dichos sistemas de regulación podrán permitir la disminución del flujo emitido hasta el valor de servicio mínimo

que admite la fuente de luz, siempre que se mantengan los criterios de uniformidad de luminancia/iluminancia y deslumbramientos establecidos a tal efecto. En la elección del sistema idóneo, deberán tenerse en cuenta las variaciones de tensión de la red, sus características, estado de las líneas de alimentación de los puntos de luz, secciones, equilibrio de fases, etc.

El Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, aprobado por Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre, y sus correspondientes instrucciones técnicas complementarias, no hacen mención a la tecnología LED, que se ha incorporado en la *Guía Técnica de Aplicación de dicho Reglamento*, en Mayo de 2013, Revisión 1.1.

* Luminarias de nueva instalación

Estas luminarias, en materia de seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética, etc., deben cumplir con la normativa vigente y deben disponer obligatoriamente de la declaración de conformidad CE emitida por el fabricante. Para aumentar la seguridad e independencia de los fabricantes, a la anterior declaración de conformidad, debe añadirse la correspondiente certificación del producto emitida por un organismo externo acreditado.



Figura 8. Luminaria alumbrado exterior nueva instalación.

Por parte del proyectista o instalador, será necesario la redacción del correspondiente proyecto o en su defecto, memoria técnica de diseño de la instalación,

plan de mantenimiento y calificación energética, según se establece en el Real Decreto 1890/2008 de 14 de Noviembre (para nuevas instalaciones, modificaciones y/o ampliaciones superiores al 50% de la potencia o luminarias instaladas, e instalaciones existentes, cuando mediante un estudio de eficiencia energética, la Administración Pública competente lo considere necesario).

Dicha documentación deberá ofrecer las garantías necesarias para que las características lumínicas del proyecto sean coherentes con las prestaciones que finalmente proporcione la instalación finalizada. Se recomienda que la información incluida en esta memoria técnica, cumpla con lo especificado en la mencionada *Guía de Aplicación del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior*, y en el documento *Requerimientos Técnicos Exigibles para Luminarias con Tecnología LED (CEH-DAE) Rev 1*.

Para el caso de luminarias modificadas, el tema es más complejo ya que hay que analizar en cada caso, el límite en la responsabilidad para el fabricante, proyectista e instalador. En los siguientes apartados se trata esta cuestión más detalladamente.

✳ **Luminarias modificadas (re-lamping)**

En las luminarias modificadas por *re-lamping*, puesto que la lámpara LED de "conexión directa" tiene una certificación o marcado CE propio, no se estima necesario una nueva certificación de la luminaria al completo.

Por consiguiente, el fabricante no debe asumir ninguna responsabilidad extra, más allá del cumplimiento de la normativa vigente para la lámpara LED de "conexión directa" a añadir la luminaria original.

Por parte del proyectista o instalador, será necesario la redacción del correspondiente proyecto o en su defecto, la memoria técnica de diseño de la instalación, plan de mantenimiento y calificación energética, según se dispone en el Real Decreto 1890/2008, de 14 de Noviembre, (para nuevas instalaciones, modificaciones y/o ampliaciones superiores al 50% de la potencia o luminarias instaladas, e instalaciones existentes, cuando mediante un estudio de eficiencia energética, la Administración Pública competente lo considere necesario).

* Luminarias modificadas (*retrofit*)

En el caso de luminarias modificadas por *retrofit*, donde la aportación del fabricante que realiza la adaptación de la luminaria original es más elevado, se hace necesario un análisis más detallado en cuanto a responsabilidades, certificaciones y cumplimiento de normativa.

Si bien en este tipo de luminarias, las modificaciones son mayores, la responsabilidad del fabricante que realiza la adaptación o modificación, debe ser equivalente a lo indicado en las luminarias modificadas por *re-lamping*. El fabricante debe proporcionar la declaración de conformidad CE que verifica que los dispositivos/módulos a añadir, cumplen con la legislación y normativa vigente.

Por su parte, el instalador tendrá la responsabilidad en cuanto a las acciones derivadas de la propia instalación de dicha tecnología LED en la luminaria original (desconexión o puenteo de un dispositivo existente, etc.).

Además, y tal y como se ha especificado para apartados anteriores, el proyectista o instalador deberá redactar el proyecto o en su defecto, la memoria técnica de diseño de la instalación con las modificaciones realizadas sobre la luminaria original, incluyendo el plan de mantenimiento y calificación energética, según se establece en el Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre.

Siempre que sea posible, el fabricante proporcionará información acerca de los márgenes de temperatura entre los que su producto funciona correctamente y cumple con el plazo de garantía correspondiente. No obstante, es aconsejable que el cliente proporcione al fabricante, un modelo de la luminaria a modificar, para que este último pueda verificar/validar la compatibilidad de la luminaria al completo y asegurar así el cumplimiento de las condiciones de garantía de su producto.

2.2.2. Luminarias para alumbrado interior

Con respecto a las luminarias e instalaciones de alumbrado interior, reseñar que buena parte de lo especificado para el alumbrado exterior (luminarias nuevas, modificaciones por *retrofit* o *re-lamping*), es igualmente aplicable aquí.



Figura 9. Luminaria alumbrado interior.

El fabricante de luminarias de nueva instalación, debe asegurar que sus productos, cumplen con la normativa vigente en materia de seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética, etc., y que disponen obligatoriamente del marcado CE.



Figura 10. Luminaria alumbrado interior.

Igualmente, es conveniente que el fabricante proporcione al cliente información adecuada acerca de los dispositivos que son compatibles con su producto, evitando así problemas futuros y aumentando la confianza en la seguridad y fiabilidad de la nueva instalación.

Por parte del proyectista o instalador, será necesaria la redacción del correspondiente proyecto o en su defecto, la memoria técnica de diseño de la instalación, plan de mantenimiento y calificación energética, según se determina en el Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, actualizado por Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre y en las normas UNE-EN 12464-1 y UNE-EN 12193.

En relación con el tema de la regulación lumínica para instalaciones de alumbrado interior, en lo que concierne a la eficiencia energética debe aplicarse al respecto lo dispuesto en la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía" del Código Técnico de la Edificación. Es de señalar que dicha Orden Ministerial constituye la transposición parcial al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2010/31/UE, de 19 de mayo, en lo relativo a los requisitos de eficiencia energética de los edificios.

2.2.3. Conclusiones

En este capítulo, se ha tratado de delimitar las responsabilidades que deben asumir el fabricante, proyectista e instalador, en los distintos tipos de instalaciones de alumbrado exterior e interior con tecnología LED, en lo que respecta a las luminarias y lámparas LED.

Se ha definido todo lo relacionado con las certificaciones para cada tipo de luminaria e instalación.

Por último, y no por ello menos importante, se desea recalcar que es necesario desarrollar una normativa en una dirección que implique lo siguiente:

- Un aseguramiento en la calidad del producto, para evitar problemas de contactos eléctricos indebidos, sobre-temperaturas y EMC, sobre todo en adaptaciones de luminarias convencionales.
- Una delimitación clara en el tema de las responsabilidades del fabricante, proyectista e instalador para todos los tipos de instalaciones de iluminación LED.
- Una definición que evidencie cuáles son las certificaciones que se le deben exigir al fabricante.
- Una concepción clara de cuándo debe redactarse un proyecto o en su defecto, una memoria técnica por parte del proyectista o instalador, para los distintos tipos de instalaciones de iluminación LED.

2.3. Drivers y control de alumbrado

2.3.1. Fuente de alimentación o driver

Un LED no se conecta directamente a la corriente, sino que necesita una fuente de alimentación o *driver*, que se ocupa de transformar la tensión que recibe de la red eléctrica adaptándola a las necesidades de la luminaria LED.

Es de señalar que los LED trabajan con corriente continua y, por lo tanto, si se quiere que funcionen en una instalación de corriente alterna (la existente en los edificios y en la mayoría de las instalaciones), necesita de un controlador o fuente de alimentación (*driver*) que convierta la corriente alterna en continua y adapte el voltaje (tensión) de salida a las necesidades del LED.



Figura 11. Ejemplo de *driver*.

Los LED debido a su baja impedancia actúan a una tensión de corriente baja, por lo que a una tensión elevada no solo no funcionarían sino que se quemarían, ya que la corriente de salida de una instalación eléctrica supera con creces los miliamperios que necesita un LED para emitir luz. El driver es el dispositivo encargado de rebajar la intensidad sin desperdiciar energía, manteniendo la tensión constante y atenuando la generación de calor.

Los LED son muy sensibles a las alteraciones de corriente, por lo que se precisa que el driver establezca la tensión, lo que a su vez estabilizará el flujo luminoso emitido por los LED (intensidad y color) y la temperatura de los mismos, dada la importancia de la disipación del calor para optimizar la vida útil de los LED. Por tanto, el driver es esencial dado que de él depende en gran medida el aprovechamiento real de la energía eléctrica consumida por los LED.

2.3.1.1. Fuente de alimentación de corriente constante

El driver suministra una corriente constante que fluye a través del módulo LED, haciendo que la luminosidad de todos ellos sea la misma. La tensión en la salida vendrá fijada por el número de LED conectados.



Figura 12. Módulos de LED conectados entre sí.

Los LED estarán conduciendo el 100% del tiempo y a través de ellos fluirá la misma intensidad de corriente, produciendo, como se ha señalado anteriormente, la misma luminosidad en todos ellos.

El driver permite la conversión de energía desde la red a la forma requerida por la carga, de la manera más eficiente posible. La energía que se entrega a la carga siempre es menor que la demandada a la red, debido a las pérdidas que se originan en cualquier dispositivo de este tipo y que se convierten en calor.

Conseguir que esta pérdida de energía sea la menor posible es la meta de todo fabricante de drivers, es decir, acercarse lo más posible a un 100% de eficiencia.

Una fuente de alimentación o driver puede estar diseñado con una o varias etapas intermedias. El número de éstas determinará las prestaciones del equipo, eficiencia, rizado de la corriente en la salida, factor de potencia, etc.

2.3.1.2. Circuito eléctrico y gestión térmica

En los módulos LED alimentados en corriente constante el conexionado eléctrico interno se basa en la concatenación de los LED en serie formando una rama, de modo que la conexión en paralelo de varias ramas configuran finalmente el módulo LED.

Cada tipo de LED posee una corriente típica de funcionamiento, determinada por el fabricante para asegurar:

- Alargar su vida útil, ya que la temperatura del LED es más baja cuanto menor es la corriente que lo atraviesa.
- Obtener el flujo luminoso y el color deseados, dado que si se alimenta a una corriente diferente estos dos parámetros se verán modificados.

Para una correcta utilización de los módulos LED, es necesario prestar especial atención a los resultados térmicos de la luminaria.

Una buena gestión térmica basada en un correcto diseño del módulo y de una adecuada disposición y montaje en la luminaria, permite alcanzar la máxima fiabilidad y óptimo funcionamiento.

Singularmente, la temperatura ambiente tiene una influencia directa en la eficacia del sistema LED y la vida media de los módulos, incluso puede incidir directamente sobre la temperatura de color y apariencia de la luz emitida.

La temperatura de los módulos LED depende básicamente de:

- La temperatura de funcionamiento del propio diodo LED, (T_j) o temperatura de la unión, que será más alta a medida que la intensidad eléctrica que lo atraviesa se acerque al valor máximo admitido por el módulo.

- La temperatura ambiente (T_a) que rodea el módulo LED.
- La disposición térmica entre el módulo LED y la luminaria o el apoyo dentro de ella.

2.3.1.3. Métodos de regulación

Bajo la premisa de un uso inteligente de la luz, los sistemas de regulación y control ofrecen una iluminación que se adapta a las necesidades de cada instalación y situación, creando ambientes adecuados para cada momento y proporcionando un alto grado de confort, al tiempo que un elevado ahorro de energía.

No debe olvidarse que la disminución en el consumo energético, además de un ahorro económico, tiene un efecto muy positivo desde el punto de vista ecológico ya que el menor consumo de energía supone, tanto la reducción de emisiones de CO_2 a la atmósfera con su repercusión en el cambio climático, como un uso sostenible de los recursos naturales y de las fuentes de energía.

Respecto a los métodos de regulación hay que señalar la regulación por recorte al inicio o al final de la fase, que se realiza sin la necesidad de una línea de control adicional, conectando un regulador en serie entre la línea de alimentación y el equipo. El regulador recorta parte de la onda sinusoidal de la tensión de red para obtener una regulación del flujo luminoso entre el 1 y el 100%.

Dependiendo como se realiza el corte de la tensión de red se puede distinguir la regulación al inicio de fase, mediante recorte en la onda de red en el flanco de subida desde el inicio, y la regulación al final de fase, merced al recorte de la onda de red en el flanco de bajada desde el final, seccionando hacia atrás (corte de fase en el apagado).

Existen otros métodos de control y regulación como el 1–10 V, regulación DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*), etc. a los que se hará mención más adelante.

2.3.2. Componentes del sistema de control

Además de la fuente de luz que se pretende controlar, los sistemas de gestión de alumbrado están compuestos por otros componentes adicionales.

Entre estos componentes se encuentran los equipos, accionamientos o elementos de mando, sensores, controladores, adaptadores, repetidores, convertidores, pasarelas y las herramientas de configuración y monitorización.

* Equipos

Los equipos de iluminación, drivers para módulos LED, balastos electrónicos para lámparas fluorescentes y de descarga, transformadores para lámparas halógenas, son los componentes encargados de hacer funcionar las fuentes de luz de forma correcta.

Estos equipos, para poder integrarse en un sistema de gestión de alumbrado deben ser regulables por el método de control elegido.

* Accionamientos o elementos de mando

Son los componentes mediante los cuales el usuario interactúa con el sistema de gestión del alumbrado, permitiendo encender, apagar o regular la luz voluntariamente de forma manual y directa.

En este grupo se encuentran los pulsadores, los mandos relativos y paneles de control.

* Sensores o detectores

Son dispositivos capaces de detectar magnitudes físicas o químicas y transformarlas en señales que pueden ser procesadas.

En los sistemas de gestión de alumbrado destacan los detectores de presencia y las fotocélulas, merced a los cuales el encendido, apagado o regulación de la luz se realiza de forma automática dependiendo de la presencia de personas y el nivel de la luz natural en la estancia.

* Unidades de control o controladores

Son los componentes encargados de recibir toda la información procedente del resto de componentes del sistema, procesarla y generar los comandos de control para distribuirlos de forma inteligente.



Figura 13. Equipo de control LED.

* Repetidores

Son componentes que amplifican el nivel o la potencia de las señales débiles, por lo que en los sistemas de gestión de alumbrado se deben utilizar cuando se precisan mayores distancias de cableado o mayor número de equipos conectados de lo permitido.

* Adaptadores, convertidores, pasarelas

Estos componentes son necesarios cuando se quieren conectar entre sí componentes que no utilizan el mismo protocolo de comunicación.

Su misión es convertir una señal en otra para permitir la comunicación entre diferentes dispositivos.

Existen desde simples adaptadores que convierten una señal eléctrica para comunicar unos escasos componentes, hasta pasarelas que permiten comunicar entre sí sistemas con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación.

* Herramientas de configuración y de monitorización

Para los sistemas de gestión de alumbrado más avanzados, se precisan herramientas software que permiten el direccionamiento, la programación, la parametrización y la monitorización de los mismos.

* Una solución para cada aplicación

Las instalaciones de gestión del alumbrado tendrán una menor o mayor complejidad según la solución escogida para cada uno de ellos; del método de control adoptado, el número y tipo de componentes, la interconexión entre ellos y la integración con sistemas de control de edificios.

Existe una gran variedad de posibilidades, como las soluciones más sencillas compuestas por luminarias individuales, dotadas de equipos regulables y fotocélulas conectados directamente entre ellos, que regulan la luz independientemente del resto del alumbrado.

También se encuentran incluidos los sistemas de gestión del alumbrado más avanzados, integrados en el control inteligente de edificios, que controlan luminarias en diferentes salas y en distintas plantas con múltiples usos, pudiendo crear diferentes ambientes adaptados a cada situación y reportar información de su estado en cada momento.

2.3.3. Control y regulación de la luz

Los sistemas de control de alumbrado permiten automatizar la gestión de la iluminación de cualquier instalación, con el objetivo de conseguir en cada momento la correcta cantidad de luz allí donde se necesita.

Estos sistemas se basan tanto en la capacidad de automatizar el encendido y el apagado selectivo de circuitos (*switching*), como en la posibilidad de regular la cantidad de luz aportada por las luminarias (*dimming*).

Un sistema de control de iluminación, como se ha señalado anteriormente, está compuesto por un conjunto de dispositivos que proveen información al sistema, una lógica programable basada en eventos y/o en las entradas recogidas por las sondas para la toma de decisiones, así como un conjunto de actuadores para conmutar y regular la iluminación.

Los dispositivos de obtención de información pueden ser de varios tipos:

- Sensores de luz ambiental.
- Sensores de luz exterior.
- Sensores de presencia.
- Teclados para que el usuario indique sus preferencias, siguiendo diferentes ciclos.
- Reloj astronómico, para adecuar la iluminación en función de las horas del día.

La lógica programable decide qué luz y cuánta intensidad debe suministrarse en función de los datos recogidos por las entradas.

Los actuadores son los encargados de convertir las ordenes generadas por la lógica programable en los encendidos y regulación de la intensidad adecuada. Una de las opciones más sencillas de implantar consiste en la utilización de encendidos selectivos de luminarias. Se trata de aprovechar la propia separación de las luminarias por circuitos para distribuirlas. De esta forma es posible regular la cantidad total de la luz aportada simplemente conmutando cada uno de los circuitos por separado.

El sistema es relativamente fácil de instalar y de menor coste. Permite una implementación de ahorro de costes y constituye una automatización de los métodos utilizados muchas veces en espacios comerciales.

Sin embargo, este sistema no es muy cómodo desde el punto de vista de los usuarios, ya que por un lado no se consigue una solución tan homogénea de distribución de luz y además provoca cambios bruscos en la iluminación en el momento del encendido y apagado.

La utilización de regulación por encendido puede ser una buena solución para el establecimiento de sistemas de regulación en instalaciones existentes.

Por el contrario la regulación variable, con un coste más elevado, posibilita crear soluciones de mayor confort visual para los usuarios, tanto por una distribución constante de la luz, como por el hecho de evitar los encendidos bruscos.

2.3.4. Procedimientos avanzados de control de la iluminación

Existen muchas ocasiones en las que se requiere una mezcla de una o varias de las combinaciones anteriores, y el sistema debe utilizar todos los distintos inputs para tomar la decisión adecuada.

Como ejemplo se puede citar la regulación de un edificio de oficinas.

- En horario de apertura los locales deberán tener la luz necesaria para realizar las funciones propias de cada espacio, aprovechando el aporte de luz natural, pero permitiendo que, en algunos espacios —como las salas de reuniones o despachos—, se puedan configurar escenas especiales para el uso de material audiovisual.

Los sensores de presencia detectan la existencia de personas en los diferentes lugares y mantienen la luz encendida, hasta al menos 15 minutos después de la última detección (luz diurna + horario + presencia + personalización de escenas por usuario).

- Durante la noche, el vigilante realiza rondas, así que los pasillos por donde pasa se van encendiendo a su paso, pero con unos niveles de 200 lux y se desconectan pasados unos minutos desde la última detección.

Si entra en cualquier espacio, se puede programar el sistema para que un determinado número de luminarias se enciendan con el nivel apropiado y se apaguen a los pocos minutos de detectar el último movimiento.

2.3.4.1. Modos de dimerización. Protocolos

Concurren diversos protocolos distintos para el control de la iluminación, que a continuación se describen:

- **DMX 512.** Protocolo estandarizado y muy utilizado para la iluminación de espectáculos y conciertos. Permite direccionar hasta un total de 512 dispositivos en un mismo BUS (Universo) y con una velocidad mínima de 25 Hz. Requiere un cable de control que recorre en forma de BUS las distintas luminarias.

- **0-10 V.** Sistema de control analógico basado en un cable de dos hilos con polaridad adicional al de potencia, y que regula la potencia de la luminaria utilizando la variación de voltaje de la línea. A una misma línea de control se conectan varios equipos, pero al ser un protocolo analógico no existe el direccionamiento de equipos, por lo que todas las luminarias que se conectan a un mismo cable se regulan con la misma intensidad.
- **DALI/DSI.** Protocolos de regulación basada en un cable de control de dos hilos sin polaridad. DALI es una versión mejorada de DSI. Permite direccionar un máximo de 64 equipos por red DALI. El protocolo es bidireccional y posibilita obtener el estado de la luminaria y detectar los fallos.

2.3.4.2. Elementos de dimerización. Dimmers

Cada tipo de luminaria precisa un elemento de dimerización distinto, tal y como se expone seguidamente:

- **Lámpara de fluorescencia.** Necesitan balastos electrónicos dimerizables. Habitualmente se utilizan versiones con 1–10 V y DALI/DSI, aunque existen algunos fabricantes que producen luminarias para tubos fluorescentes con control para DMX.
- **Lámparas de incandescencia.** Se utilizan dispositivos llamados DIMMERS, que varían la onda de la señal eléctrica para regular el voltaje. En la actualidad hay dispositivos controlables por DMX o por 1–10 V.
- **Luminarias LED.** Requieren drivers especiales dimerizables mediante pulsos. Existen versiones DMX, DALI y 1–10 V.

2.3.4.3. Sistemas de gestión

Se debe distinguir entre dos tipos de sistemas de gestión:

- Sistemas autónomos.
- Sistemas de BMS.

* Sistemas autónomos. DALI

DALI, es un sistema de gestión de iluminación, basado en la utilización del protocolo DALI sobre un bus de dos hilos que une las luminarias. El sistema admite direccionar un máximo número de 64 equipos, incluyendo tanto los actuadores, como las luminarias. Faculta integrar en el BUS, sensores de luminosidad, presencia y pulsadores. El protocolo facilita tanto el control individual de cada luminaria, como el control por escenas preprogramadas.

* Sistemas de BMS

Son sistemas más complejos utilizados para la gestión global de un edificio, permitiendo centralizar en un único sistema la iluminación, climatización, alarmas, etc.

Existen varios sistemas de gestión de edificios.

- **Sistemas propietarios.** Basados en productos y protocolos propietarios. Habitualmente vinculados a un único fabricante.
- **LomWork y BacNet.** Sistemas de BMS basados en un patrón de interoperabilidad para la estandarización de sistemas BMS. Consiste en integrar mediante un único protocolo productos de múltiples fabricantes. Son sistemas basados en una programación central que es capaz de recibir las señales de los sensores y comunicarse merced a los dispositivos dimmer, mediante pasarelas a DMX, DALI y 1-10 V. Los sistemas dejan configurar consolas de administración que facilitan centralizar la configuración y la gestión de incidencias.
- **KNX.** Sistema basado en un protocolo abierto y estándar denominado KNX, como una evolución de EIB. Permite la fácil interoperabilidad de los distintos sensores y actuadores. Se configura mediante el envío de telegramas entre uno y otros dispositivos, programando en cada uno de ellos, como se debe comportar a la hora de recibir un telegrama. La integración con la iluminación se realiza mediante pasarelas DALI, 1-10 V.

2.3.5. Regulación 1-10 V

El sistema 1-10 V faculta la regulación del flujo luminoso entorno del 1 al 100%, mediante una señal analógica que llega a los equipos a través de una línea de

control adicional de dos hilos, que poseen una polaridad positiva y negativa respectivamente, que se debe respetar a la hora de tender el correspondiente cableado.

La señal analógica tiene un valor de tensión continua entre 1 V y 10 V, obteniéndose el mínimo de luz con 1 V o cortocircuitando la entrada de control del equipo. Se alcanza el máximo nivel de luz en 10 V o dejando la entrada de control en circuito abierto.

Con la línea de control solamente se puede llevar a cabo la regulación del flujo luminoso, el encendido y el apagado de la luz, que puede tener lugar en cualquier punto de la regulación, y que se realiza mediante un interruptor colocado en la línea de alimentación del equipo. Ambas líneas, la de control y la de alimentación, se encuentran separadas eléctricamente entre sí.

La curva de regulación que representa la relación entre la tensión en la línea de control y el flujo luminoso, está definida por la norma internacional IEC 60929 y muestra una relación prácticamente lineal en el rango de 3 V a 10 V.

Para obtener una respuesta adaptada a las prestaciones del ojo humano, se pueden utilizar potenciómetros de control logarítmicos.

En los equipos de iluminación con regulación 1–10 V la potencia de control es generada por éstos. A través de los bornes de control del equipo se suministra una corriente al controlador que debe estar comprendida entre 10 μ A y 2 mA. La máxima intensidad de corriente por la línea de control se obtiene con la tensión de 1 V y la mínima con 10 V.

Este sistema de regulación es unidireccional, es decir, la información fluye en un único sentido, desde el controlador hacia el equipo de iluminación, no generando el equipo ningún tipo de feedback hacia el control.

La regulación 1–10 V no permite un direccionamiento vía *software* de los equipos, teniendo que ejecutarse la creación de grupos de forma cableada. Este sistema se puede integrar en sistemas de control de edificios.

La longitud de cableado de la línea de control está restringida por la caída de tensión que se produce a lo largo de la misma, por lo que la máxima distancia está limitada por el número de equipos a controlar conectados. Estos últimos fijan la intensidad de corriente por la línea y la sección del cable usado.

2.3.6. Regulación mediante pulsador *touch control*

Touch Control es un sistema gracias al cual se consigue la regulación del flujo luminoso de una forma fácil y económica. Utiliza la tensión de red como señal de control, aplicándola a través de un pulsador estándar normalmente abierto, en una línea de control sin necesidad de controladores específicos.

El sistema *Touch Control* posibilita realizar las funciones básicas de un sistema de regulación mediante el accionamiento de un pulsador libre de potencia. Según la duración de la pulsación tiene lugar el encendido/apagado o regulación de la luz.

El encendido y el apagado de la iluminación se consigue mediante una pulsación corta o *clic*, mientras que la regulación del flujo luminoso entre el nivel máximo y el mínimo alternativamente, se logra gracias a una pulsación continuada.

Es un interfaz de regulación unidireccional, o lo que es lo mismo, la información fluye en un único sentido, sin que genere el equipo tipo alguno de feedback.

La regulación *Touch Control* no facilita un direccionamiento vía software de los equipos, teniendo que efectuarse la creación de grupos de forma cableada. Este sistema no se puede integrar en sistemas de control de edificios.

La longitud del cableado y el número de equipos que se pueden conectar teóricamente son ilimitados, en la práctica a distancias superiores a 25 metros y mayor número de equipos conexonados, puede aparecer un asincronismo en el encendido y dimado simultáneo de diferentes puntos de luz.

Debido a sus características, el uso de este método de regulación está indicado para oficinas individuales, pequeñas salas de conferencias o habitaciones, rellanos de escaleras y áreas reducidas en general.

2.3.7. Regulación DALI

Como indica el significado de este acrónimo *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI), es un interfaz de comunicación digital y direccionable para sistemas de iluminación.

Este sistema es un estándar internacional determinado de acuerdo con la norma IEC 62386, que asegura la compatibilidad e intercambiabilidad entre equipos de diferentes fabricantes.

Es un interfaz de regulación bidireccional con una estructura maestro–esclavo, donde la información discurre desde un controlador que opera como maestro, hacia los equipos de iluminación que actúan solamente como esclavos, ejecutando los comando o respondiendo a las solicitudes de información recibidas.

La comunicación mediante las señales digitales se efectúa a través de un bus o línea de control de dos hilos, que pueden poseer polaridad positiva y negativa, aunque la mayoría de los equipos están diseñados libres de polaridad para que la conexión sea indiferente.

No se necesitan cables especiales apantallados, pudiendo realizarse el cableado conjunto de la línea de alimentación y del bus DALI con una misma manguera estándar de cinco hilos.

A diferencia de otros sistemas de regulación, la creación de grupos no se tiene que realizar de forma cableada, por lo que todos los equipos se conectan en paralelo al bus, sin tener en cuenta la agrupación de los mismos, evitando exclusivamente una topología en bucle o anillo cerrado.

No se necesitan relés mecánicos para el encendido y apagado del alumbrado, ya que se lleva a efecto utilizando comandos vía la línea de control. Tampoco se precisan resistencias de terminación del bus.

En consecuencia, el interfaz DALI ofrece una simplicidad de cableado, así como una flexibilidad en el diseño de la instalación de alumbrado y en la correspondiente regulación del mismo.

La máxima caída de tensión a lo largo de la línea no puede ser superior a 2 V con la corriente máxima del bus de 250 mA. Por tanto, la máxima distancia de cableado depende de la sección de cable, pero en ningún caso debe ser superior a 300 metros.

Una vez realizado el cableado, se efectúa la configuración del sistema de iluminación DALI vía software. Se pueden crear hasta 16 escenas diferentes, direccionado los equipos de forma individual hasta un máximo de 64, por grupos hasta también un máximo de 16, o de forma simultánea mediante un comando "broadcast". La configuración se puede cambiar en cualquier momento sin necesidad de volver a cablear.

El sistema DALI posee una curva de regulación logarítmica ajustada a la sensibilidad del ojo humano, definida en la norma internacional IEC 62386. El rango de

regulación posible está establecido entre 0,1% y el 100%. El fabricante del equipo es el que determina el nivel mínimo.

El tiempo necesario para pasar de un nivel luminoso a otro, denominado "fade time" y la velocidad de cambio de la luz, llamada "fade rate", también son parámetros configurables vía software.

El sistema DALI se encuentra situado en la franja comprendida entre los complejos y costosos, pero potentes sistemas de control de edificios que ofrece una funcionalidad total, y los sistemas de regulación más económicos y sencillos como es el sistema 1-10 V.

Este interfaz puede utilizarse tanto en aplicaciones elementales, como puede ser el control de una luminaria o una pequeña sala de forma independiente, como en aplicaciones de alto nivel, integrándose por medio de pasarelas en sistemas de control inteligente de edificios.

3.1. Legislación, reglamentación y normativa

3.1.1. Actos jurídicos de la Unión Europea

Los instrumentos para la ejecución de la política medioambiental y de eficiencia energética de la Unión Europea son los actos jurídicos típicos, constituidos por el derecho originario o primario (los tres tratados constitutivos, sus tratados modificativos y las sucesivas Actas de Adhesión de nuevos miembros), y el derecho derivado o secundario integrado por una serie de actos típicos (directivas, reglamentos, decisiones, recomendaciones, resoluciones o dictámenes), y actos atípicos o programas de acción que corresponden a una política y estrategia a llevar a cabo en un determinado periodo de tiempo.

Las Directivas están dirigidas a los Estados miembros y solamente obligan a éstos en cuanto al resultado, de modo que las autoridades nacionales eligen la forma y los medios para alcanzarlo, mediante la transposición a la legislación de cada país, en nuestro caso bajo la modalidad de Ley, Real Decreto, etc., publicados en el Boletín Oficial del Estado.

El Reglamento por su parte, es vigente directamente en todos los Estados miembros una vez aprobado y publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea, de manera que no requiere ningún acto legal de recepción o refrendo (leyes, decretos etc.) por los Estados miembros, que deben aplicar el Reglamento con carácter inmediato y forzoso.

Las Decisiones, a diferencia de las Directivas y Reglamentos, no son actos legales dirigidos a la generalidad; por el contrario regulan casos particulares como es el supuesto, por ejemplo, de la lista de residuos.

Tampoco precisan su incorporación a la legislación nacional y son de inmediata aplicación y obligatorias desde su publicación en el Diario Oficial de la Unión Europea.

Las Recomendaciones, Comunicaciones, Resoluciones y Dictámenes carecen de fuerza jurídica vinculante y se adoptan fundamentalmente para establecer orientaciones generales y opiniones.

3.1.2. Directiva 2009/125/CE

Efectuadas las anteriores aclaraciones, en lo referente a la iluminación LED, la Directiva 2009/125/CE, que deroga la Directiva 2005/32/CE, instaura un marco para el establecimiento de prescripciones de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía (PUE), que representan una gran proporción del consumo de recursos naturales y de energía en la Comunidad Europea y tienen otros impactos importantes en el medio ambiente.

Según la Directiva 2009/125/CE, se entiende por diseño ecológico la integración de los aspectos medioambientales en el diseño del producto, con el fin de mejorar su comportamiento respecto al medio ambiente a lo largo de todo un ciclo de vida, o etapas consecutivas e interrelacionadas de un producto, desde el uso de su materia prima hasta la eliminación final.

Para ello se considera que la mejora de la eficiencia energética, incluida la posibilidad de utilización más eficiente de la electricidad por parte de los usuarios finales, contribuye fundamentalmente a lograr los objetivos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad, a la vista de la necesidad urgente de contribuir a la consecución de los compromisos establecidos en el marco del Protocolo de Kioto y en la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

En este sentido, las exigencias de diseño ecológico deben establecerse teniendo en cuenta los objetivos y prioridades del Sexto Programa de Acción Comunitario en materia de medio ambiente.

Los productos relacionados con la energía que cumplan las reglas de diseño ecológico asumidas en las medidas de ejecución de la Directiva 2009/125/CE, deben llevar el "marcado CE" y la información asociada para poder introducirlos en el mercado interior y permitir su libre circulación.

Precisamente en interés del mercado interior, debe disponerse de normas armonizadas a nivel comunitario, cuyo cumplimiento tiene que aportar conformidad con los requerimientos correspondientes, dado que uno de los principales

cometidos de las normas armonizadas debe consistir en ayudar a los fabricantes a llevar a efecto las medidas de ejecución adoptadas con arreglo a la Directiva 2009/125/CE.

Se considera norma armonizada según la Directiva 2009/125/CE, toda especificación técnica adoptada por un organismo de normalización reconocido con arreglo a un mandato de la Comisión Europea, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la Directiva 98/34/CE.

Las medidas de ejecución son aquellas adoptadas de acuerdo con la Directiva 2009/125/CE, por las que se establecen requisitos de diseño ecológico necesarios para determinados productos o aspectos medioambientales de los mismos.

La utilización a gran escala de la tecnología LED está contribuyendo de forma importante a la consecución del crecimiento inteligente, sostenible e integrador que persigue la Estrategia Europa 2020 y, en especial, a la de su objetivo de mejora de la eficiencia energética, de suerte que antes de que finalice el año 2020, la eficiencia energética deberá aumentar un 20% en comparación con los niveles de 1990.

Asimismo, la Directiva 2009/28/CE, relativa al fomento del uso de la energía procedente de fuentes renovables, establece como objetivos obligatorios nacionales alcanzar una cuota del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía, así como un 10% procedente también de fuentes renovables en el consumo de combustibles para el transporte en la Comunidad Europea para el año 2020.

3.1.2.1. Mercado CE

El “mercado CE” significa que el producto cumple con los requisitos recogidos en las Directivas, Reglamentos, Decisiones y Normas armonizadas que les puedan afectar.

El “mercado CE” no es una marca de calidad o seguridad, según se viene utilizando por terceros países, sino una marca para el uso por las autoridades nacionales de los Estados miembros, que posibilita y controla los movimientos de mercancías y productos de la Unión Europea.

Según la Directiva 2005/32/CE, derogada por la Directiva 2009/125/CE, se define la “comercialización” como la primera puesta a disposición de un producto

que utiliza energía (PUE) en el mercado comunitario con vistas a su distribución o utilización en la Comunidad Europea, mediante pago o de manera gratuita y con independencia de la técnica de venta.

Es de señalar que la Directiva 2009/125/CE adopta idéntica definición pero bajo el epígrafe “introducción en el mercado”.

Los referidos preceptos de diseño ecológico están cubiertos por las medidas de ejecución aplicadas en virtud de lo dispuesto en la mencionada Directiva, que dichos productos obligatoriamente deberán cumplir y que se materializan, entre otras normativas, en los siguientes reglamentos:

- Reglamento (CE) nº 244/2009, de 18 de marzo. Relativo a los requisitos de diseño ecológico para lámparas de uso doméstico no direccionales.
- Reglamento (CE) nº 859/2009, de 18 de septiembre. Modifica el Anexo II del Reglamento (CE) nº 244/2009.
- Reglamento (CE) nº 245/2009, de 18 de marzo. Relativo a los requisitos de diseño ecológico para lámparas fluorescentes sin balastos integrados, para lámparas de descarga de alta intensidad y para balastos y luminarias que puedan funcionar con dichas lámparas.
- Reglamento (UE) nº 347/2010, de 21 de abril. Modifica el Reglamento (CE) nº 245/2009.
- Reglamento (UE) nº 1194/2012, de 12 de diciembre. Relativo a los requisitos de diseño ecológico aplicables a las lámparas direccionales, a las lámparas LED y a sus equipos.

Antes de comercializar o introducir en el mercado o bien poner en servicio un producto cubierto por las medidas de ejecución, cuyos Reglamentos se han detallado, deberá colocarse el “marcado CE” y expedirse una declaración de conformidad CE, mediante la cual el fabricante o su representante autorizado garantice y declare que el producto cumple todas las disposiciones pertinentes de la medida de ejecución aplicable.

Según la Directiva 2009/125/CE se considera fabricante a toda persona física o jurídica que comercialice o introduzca en el mercado, o bien ponga en servicio productos cubiertos por esta Directiva. Dicha puesta en servicio es la primera utilización de un producto para su fin pretendido, por parte del usuario final en la Comunidad Europea (CE).

El representante autorizado es toda persona física o jurídica establecida en la Comunidad Europea que haya recibido del fabricante un mandato escrito para llevar a cabo en su nombre la totalidad o parte de las obligaciones y trámites relacionados con la Directiva 2009/125/CE.

La declaración de conformidad CE incluirá los elementos que se concretan en el Anexo VI de la Directiva 2009/125/CE y se referirá a la medida de ejecución adecuada.

En razón a ello los productos que llevan el “mercado CE” deben cumplir obligatoriamente las cláusulas del Reglamento que les afecte.

Si el fabricante no está establecido en la Comunidad y no cuenta con un representante autorizado, el importador tendrá las siguientes obligaciones:

1. Garantizar que el producto introducido en el mercado y/o puesto en servicio cumple lo dispuesto en la Directiva 2009/125/CE, así como la medida de ejecución aplicable (Reglamento).
2. Conservar y proporcionar la declaración de conformidad CE y la documentación técnica.

De conformidad con la Directiva 2009/125/CE, importador es toda persona física o jurídica establecida en la (CE) que introduce en el mercado comunitario un producto de un tercer país en el ejercicio de su actividad profesional.

Los Estados miembros aprobarán todas las medidas apropiadas para garantizar que los productos cubiertos por las medidas de ejecución, únicamente pueden introducirse en el mercado o ponerse en servicio si cumplen dichas medidas y llevan el “mercado CE”.

3.1.2.2. Evaluación de la conformidad

Los procedimientos de evaluación de la conformidad se concretarán en la medida de ejecución y permitirán a los fabricantes elegir entre el control interno del diseño, previsto en el Anexo IV de la Directiva 2009/125/CE, y el sistema de gestión habilitado en el Anexo V de dicha Directiva.

Los Estados miembros presumirán la conformidad de un producto que lleve el “mercado CE”, con todas las disposiciones pertinentes de la medida de ejecución aplicable.

También, los Estados miembros considerarán que los productos que cumplan determinadas normas armonizadas, cuyos números de referencia hayan sido publicadas en el Diario Oficial de la Unión Europea, se ajustan a todas las estipulaciones exigibles de la medida de ejecución aplicable a la que se refieren las aludidas normas armonizadas.

De acuerdo con el artículo 8 de la Directiva 2009/125/CE, el Reglamento (UE) nº 1194/2012, debe especificar los procedimientos de evaluación de la conformidad que sean aplicables.

Con objeto de facilitar los controles de conformidad, los fabricantes deben incluir en la documentación técnica que prevén los Anexos V y VI de la Directiva 2009/125/CE aquella información que se relacione con las especificaciones determinadas en el Reglamento (UE) nº 1194/2012.

3.1.2.3. Normas armonizadas

En consonancia con el artículo 10 de la Directiva 2009/125/CE, los Estados miembros garantizarán la adopción de medidas adecuadas que posibiliten consultar a las partes interesadas a nivel nacional, en la preparación y posterior seguimiento de las normas armonizadas que deberán satisfacer las disposiciones específicas de las medidas de ejecución aplicables, en afinidad a lo precisado en la citada Directiva.

Dichas normas armonizadas resultan esenciales para establecer métodos de medición y control y, en el caso de exigencias de diseño ecológico, las mencionadas normas armonizadas también contribuyen considerablemente a orientar a los fabricantes para precisar el perfil ecológico de un producto, en congruencia con los preceptos de las medidas de ejecución aplicables.

Se considerará que los productos a los que se hayan aplicado normas armonizadas, cuyas referencias se hayan publicado en el "Diario Oficial de la Unión Europea", se ajustan a los requisitos pertinentes de la medida de ejecución aplicable a que se refieren dichas normas.

Esta presunción de conformidad se entiende que se limitará al ámbito de las normas armonizadas aplicadas, y a los requisitos pertinentes de la medida de ejecución aplicable cubiertos por tales normas armonizadas.

En lo concerniente a los módulos LED y luminarias LED resulta trascendente aplicar el mismo conjunto de criterios normalizados y, por lo tanto, comparables siempre que se pretenda evaluar las afirmaciones, datos y condiciones formuladas por los fabricantes, de modo que los usuarios soliciten que dichos módulos y luminarias LED estén garantizados mediante el cumplimiento de regulaciones técnicas que se adapten a los nuevos requerimientos exigidos en las normas armonizadas.

Entre las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) se singularizan las siguientes:

- IEC 62717. Módulos LED para Iluminación General. Requisitos de funcionamiento (exigencias de las prestaciones).
- IEC 62722-1. Luminarias LED para Iluminación General. Requisitos de funcionamiento (especificaciones Generales).

Se subraya que consiste en tener disponibles los datos fotométricos de las luminarias, incluidos todos los componentes o accesorios ópticos con los cuales han sido especificadas, a saber:

- El rendimiento normalizado y flujo total de la luminaria.
- La distribución de la intensidad luminosa.
- IEC 62722-2-1. Luminarias LED para Iluminación General. Requisitos de funcionamiento (especificaciones particulares).

Se hace hincapié en que las tres normas han sido elaboradas simultáneamente para garantizar la máxima uniformidad en el establecimiento de los criterios de calidad y sistemas de medición.

La vida útil de las luminarias LED es, en la mayoría de los casos, mucho más larga que el tiempo previsto en los ensayos y, en consecuencia, los datos, prescripciones y manifestaciones realizadas por los fabricantes sobre la vida útil de sus productos no se puede verificar con suficiente seguridad.

Por ello, se debe tener en cuenta que las referidas normas IEC no corroboran ni rebaten las manifestaciones de los fabricantes sobre la vida útil de los productos más allá del 25% de la vida útil nominal (con un máximo de 6.000 horas).

Por tanto, para validar una información sobre vida útil de un producto LED, es necesario extrapolar los datos de los ensayos.

Actualmente se está considerando un método general para proyectar datos de las mediciones más allá del tiempo limitado de la prueba.

3.1.2.4. Real Decreto 187/2011, de 18 de Febrero

El Real Decreto 1369/2007, de 19 de octubre, que transponía la Directiva 2005/32/CE posteriormente derogada por la Directiva 2009/125/CE, estableció los requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía.

Este Real Decreto 187/2011 incorpora al ordenamiento jurídico español la Directiva 2009/125/CE, al tiempo que refunde en un solo texto el Real Decreto 1369/2007, en la parte compatible con la Directiva 2009/125/CE, y la concreta transposición de esta última Directiva.

De acuerdo con el artículo 4 del Real Decreto 187/2011, las autoridades competentes para la aplicación del mismo serán las correspondientes de las Comunidades Autónomas, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria y demás disposiciones aplicables en materia de Industria.

Los requisitos de acreditación y vigilancia del mercado, relativos a la comercialización de los productos, se encuentran regulados en el Reglamento (CE) nº 765/2008, de 9 de julio, que deroga el Reglamento (CE) nº 339/1993 con efectos desde el 1 de enero de 2010, al tiempo que modifica la Directiva 2001/95/CE, referente a la seguridad general de los productos.

El Reglamento (CE) nº 765/2008 debe considerarse complementario de la Decisión nº 768/2008/CE, de 9 de julio, sobre un marco común para la comercialización de los productos.

El artículo 17 del Real Decreto 187/2011, de 18 de febrero establece el régimen sancionador de forma que los incumplimientos de lo establecido en este Real Decreto y en las correspondientes medidas de ejecución se sancionarán, según corresponda, conforme a lo dispuesto en el título V de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria y, en su caso, en sus normas reglamentarias de desarrollo.

3.1.3. Reglamento (CE) nº 244/2009

Con este Reglamento se aplica la Directiva 2005/32/CE, posteriormente derogada por la Directiva 2009/125/CE, y se establecen, los requisitos de diseño ecológico para lámparas de uso doméstico no direccionales, también cuando se comercializan para usos no domésticos o cuando se integran en otros productos.

Se define como "lámpara para uso doméstico", la lámpara destinada a la iluminación de una estancia doméstica, sin incluir las lámparas para usos especiales.

Asimismo, se considera "lámpara para usos especiales" la lámpara no destinada a la iluminación de una estancia doméstica debido, bien a sus parámetros técnicos, o porque la correspondiente información sobre el producto indica que es inadecuada para la iluminación de una estancia doméstica.

Según el artículo 1 del Reglamento (CE) nº 244/2009, no se aplicarán los requisitos establecidos en dicho Reglamento a las siguientes lámparas:

1. Lámparas con unas determinadas coordenadas cromáticas (x, y).
2. Lámparas direccionales.
3. Lámparas con un flujo luminoso inferior a 60 lm o superior a 12.000 lm.
4. Lámparas con determinadas características en la radiación emitida.
5. Lámparas fluorescentes sin balasto integrado.
6. Lámparas de descarga de alta intensidad.
7. Lámparas incandescentes con unos concretos casquillos y tensión.

Los requisitos obligatorios de diseño ecológico que fija el Reglamento (CE) nº 244/2009 son aplicables a los productos comercializados en la Unión Europea (UE) allá donde estén instalados o se utilicen y, por tanto, dichos requisitos no pueden depender de la aplicación dada al producto (como la iluminación doméstica).

No obstante, los productos contemplados en este Reglamento están diseñados básicamente para la iluminación total o parcial de las estancias domésticas.

Las lámparas LED están incluidas en el Reglamento (CE) 244/2009, cuya prescripción de eficacia y de funcionalidad, así como de información están considerados en el Anexo II del referido Reglamento.

3.1.3.1. Reglamento (CE) nº 859/2009

Modifica el Reglamento (CE) nº 244/2009 en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico sobre radiación ultravioleta de las lámparas de uso doméstico no direccionales.

Por tanto, el Anexo II del Reglamento (CE) nº 244/2009 queda modificado de forma que el cuadro 5, se sustituye por el nuevo cuadro del Anexo del Reglamento (CE) nº 859/2009.

3.1.4. Reglamento (CE) nº 245/2009

Con este Reglamento también se aplica la Directiva 2005/32/CE, posteriormente derogada por la Directiva 2009/125/CE, y se establecen los requisitos de diseño ecológico para lámparas fluorescentes sin balastos integrados, para lámparas de descarga de alta intensidad, y para balastos y luminarias que puedan funcionar con dichas lámparas, incluso cuando estén integradas en otros productos que utilizan energía.

Este Reglamento (CE) nº 245/2009 también fija criterios de referencia indicativa para productos destinados a ser utilizados en iluminación de oficinas y alumbrado de vías públicas.

Los productos sujetos a este Reglamento (CE) nº 245/2009 están destinados a su uso para formas de iluminación en general, entendiéndose por tal el alumbrado básicamente uniforme de una zona sin tener en cuenta necesidades específicas en determinados puntos, lo que significa que dichos productos contribuyen a aportar iluminación artificial en sustitución de la luz natural para una visión humana normal.

Las lámparas para usos especiales como las utilizadas en pantallas de ordenadores, fotocopiadoras, aparatos para el bronceado, iluminación de terrarios y otras aplicaciones similares, no están reguladas por el Reglamento (CE) nº 245/2009.

Los productos que lleven el "marcado CE" deben cumplir obligatoriamente los requisitos determinados en el presente Reglamento (CE).

Los balastos y las lámparas de vapor de sodio a baja presión no se incluyen en el Reglamento (CE) nº 245/2009, que respecto a los balastos para lámparas fluorescentes es una extensión de la Directiva 2000/55/CE, derogada por este Regla-

mento (CE). La diferencia estriba en que el IEE (índice de eficiencia energética) no se basa en la potencia del sistema (como sucedía en la Directiva 2000/55/CE), sino en la eficiencia del balasto.

3.1.4.1. Reglamento (UE) nº 347/2010

Modifica el Reglamento (CE) nº 245/2009 relativo a los requisitos de diseño ecológico para lámparas fluorescentes sin balasto integrado, para lámparas de descarga de alta intensidad y para balastos y luminarias que puedan funcionar con dichas lámparas.

Por tanto, se modifican los Anexos I, II, III y IV del Reglamento (CE) nº 245/2009, de conformidad con lo dispuesto en el Anexo del Reglamento (UE) nº 347/2010.

3.1.5. Reglamento (UE) nº 1194/2012

Este Reglamento de 12 de diciembre de 2012 aplica la Directiva 2009/125/CE en lo que afecta a los requisitos de diseño ecológico para la comercialización de los productos eléctricos de iluminación siguientes:

- Lámparas direccionales.
- Lámparas de diodos emisores de luz (LED).
- Equipos diseñados para su instalación entre la red y las lámparas, incluidos los dispositivos de control de éstas y los mandos y luminarias (distintos de los balastos y de las luminarias para lámparas fluorescentes y de descarga de alta intensidad).

El Reglamento (UE) nº 1194/2012 determina las especificaciones de diseño ecológico de las referenciadas lámparas y equipos, incluso cuando se hallen integrados en otros productos.

Entre las definiciones del artículo 2 del Reglamento, se reproducen las siguientes:

- **Paquete LED**

Ensamblaje con uno o más LED. El ensamblaje puede ir provisto de un elemento óptico y de interfaces térmicas, mecánicas y eléctricas.

- **Módulo LED**

Ensamblaje sin casquillo que incorpora uno o más paquetes LED en una tarjeta de circuito impreso. El ensamblaje puede ir provisto de componentes eléctricos, ópticos, mecánicos y térmicos, de interfaces y de mecanismos de control.

- **Lámpara LED**

Lámpara que incorpora uno o más módulos LED. La lámpara puede estar provista de un casquillo.

- **Mecanismos de Control de la Lámpara**

Dispositivo situado entre la alimentación desde la red eléctrica y una o más lámparas y cuya función está relacionada con el funcionamiento de dichas lámparas; por ejemplo, puede transformar la tensión de alimentación eléctrica, reducir la intensidad de la lámpara o lámparas al valor requerido, proporcionar tensión de cebado y corriente de precalentamiento, evitar el encendido en frío, corregir el factor de potencia o reducir las interferencias radioeléctricas.

Este dispositivo puede estar diseñado de forma que pueda conectarse con otros mecanismos de control de lámparas para desempeñar esas funciones. El término no incluye:

- Los aparatos de mando.
- Las fuentes de alimentación que entran en el ámbito de aplicación del Reglamento (CE) nº 278/2009.

- **Aparato de Mando**

Dispositivo electrónico o mecánico que controla o monitoriza el flujo luminoso de la lámpara por medios distintos de la conversión de potencia, como por ejemplo los interruptores temporizadores, los sensores de presencia, los sensores de luz y los dispositivos de regulación en función de la luz del día.

Además, los reguladores de corte de fase también se consideran aparatos de mando.

- **Mecanismo de Control de la Lámpara Externo**

Dispositivo no integrado, diseñado para su instalación como elemento externo de la carcasa de la lámpara o de la luminaria, o para ser extraído de la carcasa sin daños a la lámpara o la luminaria de forma irreversible.

3.1.5.1. Prescripciones de diseño ecológico

Los productos de iluminación (lámparas direccionales, lámparas LED, y equipos) deberán cumplir los requerimientos de diseño ecológico establecidos en el Anexo III del Reglamento (UE) n° 1194/2012, excepto si se trata de productos para usos especiales definidos en el artículo 2 de dicho Reglamento.

En concordancia con lo establecido en el apartado 1.1 del Anexo III del Reglamento (UE) n° 1194/2012, los requisitos de eficiencia energética de las lámparas direccionales son los que a continuación se exponen.

El índice de eficiencia energética (IEE) de la lámpara se calcula mediante la siguiente fórmula y se redondea al segundo decimal:

$$IEE = P_{cor} / P_{ref}$$

donde:

- P_{cor} es la potencia asignada (P_{rated}) medida en la tensión de entrada nominal y corregida, en su caso, de acuerdo con el cuadro de factores de corrección.
- P_{ref} es la potencia de referencia que se obtiene del flujo luminoso útil de la lámpara (ϕ_{use}) aplicando la fórmula siguiente:
 - Para $\phi_{use} < 1.300$ lúmenes : $P_{ref} = 0,88 \sqrt{\phi_{use}} + 0,049 \phi_{use}$
 - Para $\phi_{use} \geq 1.300$ lúmenes : $P_{ref} = 0,07341 \phi_{use}$

Tabla 1. Cuadro de factores de corrección.

ÁMBITO DE APLICACIÓN DE LA CORRECCIÓN	POTENCIA CORREGIDA (P_{COR})
Lámparas que funcionan con mecanismo de control de lámpara LED externo	$P_{rated} \times 1,10$
Lámparas con protección antideslumbramiento	$P_{rated} \times 0,80$

El índice de eficiencia IEE máximo de las lámparas direccionales se establece en la tabla siguiente:

Tabla 2. Índice de eficiencia energética IEE máximo.

FECHA DE LA APLICACIÓN	ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (IEE) MÁXIMO			
	Lámparas de filamento de tensión de suministro de red	Otras lámparas de filamento	Lámparas de descarga de alta intensidad	Otras lámparas
Etapas 1	Si $\varphi_{\text{use}} > 450$ lm IEE = 1,75	Si $\varphi_{\text{use}} \geq 450$ lm, IEE = 1,20 Si $\varphi_{\text{use}} < 450$ lm, IEE = 0,95	IEE = 0,50	IEE = 0,50
Etapas 2	IEE = 1,75	IEE = 0,95	IEE = 0,50	IEE = 0,50
Etapas 3	IEE = 0,95	IEE = 0,95	IEE = 0,36	IEE = 0,20

φ_{use} se define de la siguiente manera:

- En el caso de las lámparas direccionales con un ángulo de haz luminoso $\geq 90^\circ$ distintas de las de filamento y con una advertencia en el embalaje acorde con el punto 3.1.2 j) del Anexo III del Reglamento nº 1194/2012: flujo luminoso asignado a un cono de 120° (φ_{120°).
- Otras lámparas direccionales: flujo luminoso asignado en un cono de 90° (φ_{90°).

3.1.5.2. Exigencias de funcionalidad

Los requisitos de funcionalidad para las lámparas LED no direccionales y direccionales son los siguientes:

Tabla 3. Requisitos de funcionalidad para lámparas LED no direccionales y direccionales.

PARÁMETROS DE FUNCIONALIDAD	REQUISITOS A PARTIR DE LA ETAPA 1 (Salvo indicación en contrario)
Factor de supervivencia de la lámpara (FSL) a las 6.000 h	A partir del 1 de Marzo de 2014 $\geq 0,90$
Factor de mantenimiento del flujo luminoso de la lámpara (FMFL) a las 6.000 h	A partir del 1 de Marzo de 2014 $\geq 0,80$
Número de ciclos de conmutación antes de producirse un fallo	≥ 15.000 si la vida asignada es ≥ 30.000 h En los demás casos: \geq mitad de la vida asignada a la lámpara expresada en h.
Tiempo de encendido	$< 0,5$ seg.
Tiempo de calentamiento de la lámpara hasta el 95% del flujo (Φ)	≤ 2 seg
Porcentaje de fallos prematuros	$\leq 5\%$ a las 1.000 h
Rendimiento del Color (Ra)	≥ 80 ≥ 65 si la lámpara está destinada para su uso en exteriores o para aplicaciones industriales
Invariabilidad del Color	Variación de las coordenadas de cromaticidad dentro de una elipse de Mac Adam de 6 etapas o menos
Factor de potencia de la lámpara (FP) para lámparas con mecanismo de control integrado.	$P \leq 2$ w ningún requisito $2 \text{ w} < P \leq 5 \text{ w}$: FP $> 0,4$ $5 \text{ w} < P \leq 25 \text{ w}$: FP $> 0,5$ $P > 25 \text{ w}$: FP $> 0,9$

siendo:

- **Ángulo de Haz Luminoso**

Ángulo entre dos líneas imaginarias que cortan un plano a través del eje del haz óptico, de modo que estas líneas por el centro del frente de la lámpara y por una serie de puntos en los que la intensidad luminosa equivale al 50% de la intensidad del haz central, considerada esta como el valor de la intensidad luminosa medida en el eje del haz óptico.

- **Factor de Supervivencia de la lámpara (FSL)**

Fracción determinada del número total de lámparas que siguen funcionando en un momento dado en condiciones y con una frecuencia de conmutación definidas.

- **Factor de Mantenimiento del Flujo Luminoso de la Lámpara (FMFL)**

Proporción entre el flujo luminoso emitido por la lámpara en un momento dado de su vida útil y el flujo luminoso inicial.

- **Vida Útil de la Lámpara**

Periodo de funcionamiento después del cual la fracción del número total de lámparas que siguen funcionando corresponde al factor de supervivencia de la lámpara (FSL), en condiciones y con una frecuencia de conmutación definidas.

En el caso de las lámparas LED, la vida útil de las lámparas es el periodo de funcionamiento comprendido entre el comienzo de su uso y el momento en el que solo sobreviva el 50% del total de lámparas, o en el que el factor de mantenimiento del flujo luminoso medio de la muestra haya caído por debajo del 70%, aplicándose el primero de estos dos criterios que se cumpla.

- **Compatibilidad**

Existe cuando un producto está destinado a ser implantado en una instalación, insertado en otro producto o conectado a él a través de un contacto físico o de una conexión inalámbrica.

- **Invariabilidad del Color**

Desviación máxima de las coordenadas de cromaticidad (x , y) de una lámpara individual con respecto a un punto central de cromaticidad (c_x , c_y), expresada como el tamaño (en etapas) de la eclipse de Mac Adam formada alrededor del punto central de cromaticidad (c_x , c_y).

El Reglamento (UE) nº 1194/2012 en su Anexo III dispone como especificaciones de eficiencia energética de los mecanismos de control de la lámpara lo siguiente:

- A partir de la Etapa 2 (1 de Septiembre de 2014), la potencia en modo sin carga de los mecanismos de control de la lámpara, que estén destinados para su uso entre la red de suministro eléctrico y el interruptor de encendido y apagado de la carga de la lámpara, no deberá exceder de 1 W.
- A partir de la Etapa 3 (1 de Septiembre de 2016) el límite será de 0,5 W. En el caso de los mecanismos de control de la lámpara con una potencia de salida (P) superior a 250 W, el límite de la potencia en modo sin carga se multiplicara por $P/250$ W.
- A partir de la etapa 3, la potencia en modo de espera de los mecanismos de control de lámpara no excederá de 0,5 W.
- A partir de la etapa 2, la eficiencia de los mecanismos de control de las lámparas halógenas será por lo menos de 0,91 con una carga del 100%.

Los requerimientos de funcionalidad de los equipos diseñados para su instalación entre la red de suministro y las lámparas son los relacionados en el apartado 2.3 del Anexo III del Reglamento (UE) nº 1194/2012.

3.1.5.3. Condiciones de información del producto

En lo que atañe a las condiciones de información sobre el producto para lámparas direccionales, se cumplirá lo preceptuado en el apartado 3.1 del Anexo III del mentado Reglamento.

Se concreta que los puntos l) y m) del apartado 3.1.2 del Anexo III del citado Reglamento, determinan lo siguiente:

- l) Solo podrá indicarse que la lámpara pertenece a un tipo que figura en la primera columna del cuadro 6 del Anexo III, si el flujo luminoso de la lámpara en un cono de 90° (Φ_{90°), no es inferior al flujo luminoso de referencia que se indique en ese mismo cuadro para la mínima potencia en vatios de las lámparas de dicho tipo.

El flujo luminoso de referencia se multiplicará por el factor de corrección del cuadro 7 y, además, en el caso de las lámparas LED, por el factor de corrección del cuadro 8.

- m) Las declaraciones de equivalencia referentes a la potencia de un tipo de lámpara sustituida, solamente podrán recogerse si dicho tipo de lámpara está en el cuadro 6 del Anexo III y si su flujo luminoso en un cono de 90° (Φ_{90°) no es inferior al flujo luminoso de referencia correspondiente de ese mismo cuadro.

El flujo luminoso de referencia se multiplicará por el factor de corrección del cuadro 7, y además, en el caso de lámparas LED, por el factor de corrección del cuadro 8.

Los valores intermedios del flujo luminoso y de la potencia equivalente declarada de la lámpara (con redondeo el vatio más próximo) se calcularán por interpolación lineal entre los dos valores adyacentes.

Los cuadros 7 y 8 del Anexo III del Reglamento (UE) n° 1194/2012 son los siguientes:

Tabla 4. Cuadro 7. Factores de multiplicación para el mantenimiento del flujo luminoso.

TIPO DE LÁMPARA	FACTOR DE MULTIPLICACIÓN DEL FLUJO LUMINOSO
Lámparas Halógenas	1
Lámparas fluorescentes compactas	1,08
Lámparas LED	1 + 0,5 (1-FMFL) Donde FMFL es el factor de mantenimiento del flujo luminoso al final de la vida útil nominal

Tabla 5. Cuadro 8 factores de multiplicación para las lámparas LED.

ÁNGULO DE HAZ LUMINOSO DE LAS LÁMPARAS LED	FACTOR DE MULTIPLICACIÓN DEL FLUJO LUMINOSO
20° ≤ ángulo del haz	1,00
15° ≤ ángulo del haz < 20°	0,90
10° ≤ ángulo del haz < 15°	0,85
ángulo del haz < 10°	0,80

Las reglas complementarias de información sobre el producto para las lámparas LED que sustituyan a las lámparas fluorescentes sin balasto integrado, sobre el producto para los equipos que no sean luminarias diseñadas para su instalación entre la red de suministro y las lámparas y, finalmente, sobre el producto para los mecanismos de control de lámparas, serán respectivamente las especificadas en los apartados 3.2, 3.3 y 3.4 del Anexo III del Reglamento (UE) nº 1194/2012, de 12 de Diciembre.

Los Estados miembros aplicarán el procedimiento de verificación que dispone el Anexo IV del Reglamento (UE) nº 1194/2012, al desempeñar las tareas de vigilancia del mercado contempladas en el apartado 2 del artículo 3 de la Directiva 2009/125/CE.

3.1.6. Directiva 2010/30/UE

Esta Directiva de 19 de mayo de 2010 se refiere a la indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada.

El ámbito de aplicación de la Directiva 92/75/CEE, derogada por la Directiva 2010/30/UE, se limita a los aparatos domésticos. La ampliación del ámbito de aplicación de la Directiva 92/75/CEE a los productos relacionados con la energía, puede intensificar las potenciales sinergias entre las medidas legislativas vigentes y, en particular, la Directiva 2009/125/CE.

Esta Directiva 2010/30/UE debe entenderse sin perjuicio de la aplicación de la Directiva 2009/125/CE.

Ambas Directivas, junto a otros instrumentos de la Unión Europea (UE), forman un marco jurídico más amplio que, en el contexto de un planteamiento global, permitirá conseguir mayores ahorros de energía y beneficios medioambientales.

Si se suministra una información exacta, pertinente y comparable entre el consumo de energía de los productos relacionados con la misma, se debe orientar la elección del usuario final en favor de los productos que generen un consumo menor de energía y otros recursos esenciales durante su utilización, lo cual estimulará a los fabricantes a adoptar medidas para lograr dichos objetivos en los productos que fabriquen.

Se entiende por otros recursos esenciales: el agua, los elementos químicos o cualquier otra sustancia que el producto consuma para su uso normal.

La información desempeña un papel fundamental en el funcionamiento de las fuerzas del mercado y, a este respecto, es preciso introducir una etiqueta uniforme para todos los productos de un mismo tipo, así como proporcionar a los compradores potenciales una información complementaria normalizada en relación con el coste energético y el consumo de otros recursos esenciales por parte de estos productos.

Se define como información complementaria cualquier otra información relativa al rendimiento y características de un producto que haga referencia a su consumo de energía o de otros recursos esenciales, o bien sirva para evaluar los mismos, basada en datos mensurables.

Además, se deben adoptar medidas para que estas informaciones sean suministradas también a los usuarios finales potenciales que no vean expuesto el producto y no tengan, por consiguiente, la posibilidad de conocer la etiqueta.

En todo caso, para ser eficaz y tener éxito, la etiqueta debe ser simple, concisa y fácilmente reconocible para el usuario final.

Para poder alcanzar sus objetivos, la Directiva 2010/30/UE establece disposiciones detalladas que son compatibles con el Reglamento (CE) nº 765/2008, de 9 de julio, al que se ha hecho referencia anteriormente.

Esta Directiva 2010/30/UE, debe abarcar los productos relacionados con la energía que tengan una incidencia directa o indirecta en el consumo de cualquier forma de energía durante su utilización.

La incidencia directa corresponde a la de los productos que consumen energía durante su utilización, mientras que la incidencia indirecta es la de los productos que no consumen energía, pero contribuyen a la conservación de la energía durante su utilización.

Los productos relacionados con la energía cuya utilización tenga una incidencia directa o indirecta significativa en el consumo de energía o, en su caso, de recursos esenciales y que ofrezcan posibilidades suficientes de mejora de rendimiento energético, deben estar regulados por un acto delegado cuando la disposición de información por medio del etiquetado, pueda estimular al usuario final a comprar productos más eficientes.

Algunos Estados miembros aplican políticas de contratación pública que obligan a las autoridades contratantes a adquirir productos eficientes energéticamente. Otros Estados miembros establecen asimismo incentivos para fomentar dichos productos.

Los incentivos, cuya naturaleza deciden libremente los Estados miembros y utilizan para el fomento de productos eficientes, podrían constituir ayudas Estatales.

En todo caso, la promoción de los productos eficientes energéticamente merced al etiquetado, la contratación pública y los incentivos, no deben ir en detrimento del comportamiento medioambiental general ni del funcionamiento de dichos productos.

3.1.7. Reglamento (UE) nº 874/2012

Este Reglamento (UE) nº 874/2012, de 12 de Julio implanta la Directiva 2010/30/UE relativa a la indicación del consumo de energía de los productos y su información normalizada, en lo que incumbe al etiquetado energético de las lámparas eléctricas.

Al objeto de utilizar el etiquetado para mejorar la eficiencia energética de otras tecnologías de lámparas distintas a las de uso doméstico, entre ellas las lámparas de uso profesional, el Reglamento (UE) nº 874/2012 debe contemplar también las lámparas direccionales, las lámparas de muy baja tensión, los LED y las lámparas que se emplean mayoritariamente para iluminación profesional, como las lámparas de descarga de alta intensidad.

Desde la primera Directiva del etiquetado en el año 1992 se ha incrementado considerablemente la eficiencia energética de muchos aparatos, cuestión que impulsó la Directiva 2010/30/UE que reemplazaba a la Directiva 92/75/CE, derogaba la Directiva 98/11/CE e introducía nuevas clases de eficiencia: A+, A++, A+++ y cuya implementación se llevó a efecto mediante el Reglamento (UE) nº 874/2012, siendo de aplicación sus requisitos desde el 1 de Septiembre de 2013. Se hace notar que la clase A+++ podrá introducirse en un plazo más largo por medio de una actualización o revisión futura.

Frecuentemente las luminarias se venden junto con lámparas que pueden estar incorporadas o no. El Reglamento (UE) nº 874/2012 debe garantizar, que los consumidores estén informados acerca de la compatibilidad de la luminaria con

las lámparas, así como de la eficiencia energética de las lámparas incluidas con la luminaria.

Es importante recalcar que la etiqueta energética para las luminarias no hace alusión a la eficiencia energética de la luminaria, sino se refiere a las características de la lámpara y/o módulo LED que es compatible con la luminaria donde se instalan.

En el caso de lámparas, el Reglamento (UE) n° 874/2012 obliga a determinar el índice de eficiencia energética y la clase consiguiente para cada lámpara, incluyendo las lámparas LED y los módulos LED, mientras que para las luminarias se fijará, como se ha apuntado antes, la clase de eficiencia de las lámparas y módulos LED compatibles con la luminaria, si las hubiese.

3.1.7.1. Aspectos relevantes del reglamento

Entre los aspectos preponderantes del Reglamento (UE) n° 874/2012, se destacan los siguientes:

- **Lámparas no direccionales.**
 - Nuevas clases energéticas A+ y A++.
 - Supresión de las clases energéticas F y G.
 - El número total de clases está limitado a 7.
 - Los límites para las clases A e inferiores seguirá siendo el mismo.
 - Nuevas clases energéticas A+ y A++ para los LED.
 - No se limita a las lámparas de uso doméstico, sino que también se refiere a las que se emplean principalmente para aplicaciones profesionales (por ejemplo las lámparas HID).
- **Lámparas direccionales.**
 - Nuevas clases de etiquetado energético A++ a E.
 - La misma tecnología de generación de luz debe pertenecer a la misma clase que su equivalente no direccional.

- La clasificación se basa en distintas evaluaciones.
- **Luminarias comercializadas al usuario final.**
 - La etiqueta de las luminarias ofrece información sobre las lámparas compatibles con la luminaria y la eficiencia energética de las lámparas incluidas en la luminaria, si las hubiera.
 - Para luminarias suministradas con módulos LED no recambiables por el usuario final, la etiqueta informa de dicha condición.
 - La etiqueta de las luminarias no ofrece información sobre la eficiencia energética de la luminaria.
 - Si la luminaria se presenta en el punto de venta, debe ir provista de la etiqueta.
 - La etiqueta debe exhibirse con la luminaria y no forma parte de los requisitos de embalaje.

Se entiende como “usuario final” la persona física que compra o se prevé que va a comprar una lámpara eléctrica o luminaria con una finalidad que no sea comercial, industrial, artesanal ni profesional.

Se define como “propietario final” la persona o entidad que posee un producto durante la fase de uso del ciclo de vida del mismo, o cualquier persona o entidad que actúa en representación de aquella.

Por otra parte, un “punto de venta” es el lugar físico donde se expone el producto o se oferta para su venta, alquiler o alquiler con derecho a compra al usuario final.

Las lámparas recambiables por el usuario son aquellas que el usuario final puede cambiar, mientras que los módulos LED no recambiables son aquellos que no están diseñados para ser cambiados por el usuario final.

3.1.7.2. Productos incluidos y excluidos de aplicación

El Reglamento (UE) nº 874/2012 establece requisitos relativos al etiquetado y a la información suplementaria que acompañará a las lámparas eléctricas como:

- Lámparas de filamento.
- Lámparas fluorescentes.
- Lámparas de descarga de alta intensidad (HID).
- Lámparas LED y módulos LED.
- Luminarias diseñadas para funcionar con dichas lámparas y comercializadas a los usuarios finales, incluso cuando están integradas en otros productos que no dependan del consumo de energía para cumplir su finalidad principal durante el uso (como el mobiliario).

A este tenor, el referido Reglamento establece con carácter exhaustivo una serie de productos excluidos de la aplicación de los requisitos recogidos en el mismo, cuya exposición se efectúa seguidamente.

Se excluyen del ámbito de aplicación del Reglamento (UE) nº 874/2012 los siguientes productos:

1. Lámparas y módulos LED cuyo flujo luminoso sea inferior a 30 lúmenes (lm).
2. Lámparas y módulos LED comercializados para funcionar con pilas.
3. Lámparas y módulos LED comercializados para aplicaciones cuya finalidad principal no es la iluminación, como ejemplo:
 - a) Emisión de la luz como agente en procesos químicos o biológicos (como la polimerización, la terapia fotodinámica, la horticultura, el cuidado de los animales de compañía, productos anti-insectos).
 - b) Captación y proyección de imágenes (como dispositivos para la producción de destellos fotográficos, fotocopiadoras, video-proyectores).
 - c) Calefacción (como lámparas infrarrojas).
 - d) Señalización (como lámparas de aeropuerto).

Dichas lámparas y módulos LED no están excluidos cuando se comercializan para iluminación.

4. Lámparas y módulos LED comercializados como parte de una luminaria y no destinados a ser retirados por el usuario final, excepto cuando se ofrezcan para la venta, alquiler o alquiler con derecho a compra, o bien

se presenten por separado al usuario final, por ejemplo como piezas de repuesto.

5. Lámparas y módulos LED comercializados como componentes de un producto cuya principal finalidad no es la iluminación. No obstante, cuando se ofrezcan para la venta, alquiler o alquiler con derecho a compra, o bien cuando se presenten por separado, por ejemplo como piezas de repuesto, se incluirán en el ámbito de aplicación de este Reglamento (UE) nº 874/2012.
6. Lámparas y módulos LED que no cumplan con las exigencias que se harán aplicables en 2013 y 2014 de acuerdo con los Reglamentos de ejecución de la Directiva 2009/125/CE.
7. Luminarias diseñadas para funcionar exclusivamente con las lámparas y módulos LED incluidos en los apartados 1 a 3 de ésta relación.

También están descartadas de la aplicación del Reglamento (UE) nº 874/2012 las lámparas destinadas a medios de transporte, en virtud de lo dispuesto en el artículo 1.3.b de la Directiva 2010/30/CE.

Los productos de iluminación que funcionan con baterías están exentos del ámbito de aplicación del Reglamento (UE) nº 874/2012, incluso aunque figuren como aplicables en el Reglamento nº 1194/2012.

Los artículos 3 y 4 del Reglamento (UE) nº 874/2012, regulan las responsabilidades de los proveedores y distribuidores respectivamente.

El Anexo I de dicho Reglamento define exhaustivamente las etiquetas presentadas en un punto de venta para lámparas eléctricas y luminarias.

3.1.7.3. Luminarias no destinadas a su comercialización al usuario final

Según la interpretación del Reglamento (UE) nº 874/2012 que realiza *Lighting Europe*, los productos no destinados a ser comercializados al usuario final son aquellos que, por su complejidad, dimensiones, destino final, flujo luminoso en lúmenes y/o potencia nominal, puede considerarse que se sitúan por encima de la gama normal de aplicaciones domésticas. Los productos que cumplan dichas condiciones no se considerarán en el ámbito de aplicación de este Reglamento.

El Reglamento (CE) nº 244/2009 en su artículo 1 apartado c establece que no se aplicarán los requisitos establecidos para lámparas de uso doméstico, a las lámparas con un flujo luminoso inferior a 60 lm o superior a 12.000 lm.

Por tanto, basado en ello Lighting Europe considera que las luminarias que utilicen lámparas con un flujo superior a 12.000 lúmenes no corresponden al usuario final.

Tomando como base lo anterior, *Lighting Europe* considera fuera del ámbito de aplicación del Reglamento (UE) nº 874/2012, las siguientes luminarias y aplicaciones de iluminación, dado que se estima no están destinadas a ser comercializadas al usuario final:

- Luminarias para alumbrado vial.
- Luminarias para alumbrado de túneles.
- Luminarias para iluminación de pabellones deportivos.
- Productos de iluminación específicos para oficinas (por ejemplo, luminarias empotrables, de suspensión, etc.).
- Iluminaciones para fábricas y tiendas (por ejemplo, luminarias para montaje en línea continua).
- Luminarias para alumbrado de almacenes.
- Luminarias para iluminación de emergencia (incluyendo tanto las de emergencia autosuficientes, como los receptores de sistemas de control de batería).
- Las luminarias diseñadas para operar exclusivamente en lámparas y módulos LED con un flujo luminoso inferior a 30 lúmenes, así como las diseñadas para operar en baterías y/o comercializadas para aplicaciones cuya finalidad principal no es la iluminación.

Cuando se pueda considerar que una luminaria no está destinada a ser comercializada al usuario final, se excluirá del ámbito de aplicación del Reglamento (UE) nº 874/2012 y, por tanto, no resultará obligatoria la incorporación de la etiqueta, sin que dicho Reglamento especifique si en tal caso está prohibido el uso de una etiqueta para la luminaria.

3.1.7.4. Clases de eficiencia para lámparas y módulos LED

Los Anexos VI y VII del citado Reglamento (UE) nº 874/2012 fijan las clases de eficiencia energética para lámparas no direccionales y direccionales, así como para módulos LED, que se establecen mediante el cálculo del índice de eficiencia energética (IEE) de acuerdo con la siguiente expresión:

$$IEE = P_{cor} / P_{ref} ; \text{ y se redondea al segundo decimal.}$$

donde:

P_{cor} es la potencia asignada (P_{rated}) en el caso de los modelos sin mecanismo de control externo, y la potencia asignada (P_{rated}) corregida conforme a los dispuesto en el cuadro del citado Anexo VII en el caso de los modelos con mecanismo de control externo.

La potencia asignada de las lámparas se mide a la tensión de entrada nominal.

P_{ref} es la potencia de referencia obtenida del flujo luminoso útil.

De acuerdo con el índice de eficiencia energética (IEE) calculado, se determina la clase de eficiencia energética correspondiente, de conformidad con el cuadro siguiente:

Tabla 6. Clases de eficiencia energética para lámparas y módulos LED.

CLASE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (IEE) PARA LÁMPARAS Y MÓDULOS LED NO DIRECCIONALES	ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (IEE) PARA LÁMPARAS Y MÓDULOS LED DIRECCIONALES
A++	$IEE \leq 0,11$	$IEE \leq 0,13$
A+	$0,11 < IEE \leq 0,17$	$0,13 < IEE \leq 0,18$
A	$0,17 < IEE \leq 0,24$	$0,18 < IEE \leq 0,40$
B	$0,24 < IEE \leq 0,60$	$0,40 < IEE \leq 0,95$
C	$0,60 < IEE \leq 0,80$	$0,95 < IEE \leq 1,20$
D	$0,80 < IEE \leq 0,95$	$1,20 < IEE \leq 1,75$
E	$IEE > 0,95$	$IEE > 1,75$

donde:

- **Lámpara Direccional**

Lámpara que tiene al menos un 80% del flujo luminoso en un ángulo de salida de π sr (que corresponde a un cono con un ángulo de 120°).

- **Lámpara no Direccional**

Lámpara que no es una lámpara direccional.

La definición del flujo luminoso útil (ϕ_{USE}) se concreta en el cuadro siguiente:

Tabla 7. Definición del flujo luminoso útil.

MODELO	FLUJO LUMINOSO ÚTIL (ϕ_{USE})
Lámparas no direccionales	Flujo luminoso total adoptado (ϕ)
Lámparas direccionales con un haz de ángulo $\geq 90^\circ$ que no sean lámparas de filamento y que lleven una advertencia textual o gráfica en el embalaje, que indique que no son adecuadas para iluminación acentuada.	Flujo luminoso asignado en un cono con un ángulo de 120° (ϕ_{120°)
Otras lámparas direccionales	Flujo luminoso asignado en un cono con un ángulo de 90° (ϕ_{90°)

El cálculo del consumo energético se considera en la parte 2 del Anexo VII del Reglamento (UE) nº 874/2012, según y conforme a la siguiente expresión:

$$E_c = \frac{P_{cor} \times 1000h}{1000}$$

Por tanto, el consumo de energía ponderada (E_c) se obtiene en Kwh/1.000h y se redondea al segundo decimal.

donde:

P_{cor} = a potencia corregida en función de las posibles pérdidas de los mecanismos de control.

Los niveles de las clases de Eficiencia Energética se establecen de manera que, a igual tecnología, figura en la misma clase de eficiencia, independientemente de que se trate de una lámpara direccional o no direccional.

3.1.7.5. Etiquetado e información normalizada

El Reglamento (UE) nº 874/2012 define los requisitos de etiquetado e información normalizada para luminarias destinadas a ser comercializadas al usuario final, y cuyas lámparas y módulos LED sean recambiables.

Respecto a la documentación, las autoridades tienen derecho a requerir como mínimo la siguiente documentación técnica:

- El nombre y la dirección del proveedor.
- Una descripción general del modelo, que permita identificarlo fácil e inequívocamente.
- La referencia de las normas armonizadas aplicadas y/o de otras normas técnicas o especificaciones empleadas, si procede.
- La identificación y firma de la persona autorizada para suscribir la declaración en nombre del proveedor.
- Los parámetros técnicos que determinan el consumo energético en el caso de las lámparas eléctricas, así como la compatibilidad con lámparas en el supuesto de luminarias, precisando al menos una combinación realista de especificaciones del producto y condiciones en las cuales realizar las pruebas del producto.
- Para lámparas eléctricas, los resultados de los cálculos realizados con arreglo al Anexo VII del Reglamento (UE) nº 874/2012.

La información contenida en dicha documentación técnica, podrá aportarse conjuntamente con la documentación técnica presentada de acuerdo con las medidas de aplicación del diseño ecológico, en virtud de lo dispuesto en la Directiva 2009/125/CE.

A partir del 1 de septiembre de 2013, no sólo resultará obligatorio que los embalajes incluyan en la nueva etiqueta la información relativa a las lámparas y módulos LED, así como luminarias, sino que también deberá proporcionarse la pertinente información en cualquier presupuesto u oferta formal, documentación técnica o anuncio.

El reto no consiste únicamente en la propia etiqueta, sino en el modo y contenido con que se facilite la información, de forma que pueda ser contrastada, en su caso, mediante los correspondientes ensayos de verificación, dado que como se ha advertido de antemano frecuentemente las luminarias se venden junto con las lámparas que pueden estar incorporadas o no, y este Reglamento (UE) nº 874/2012 debe garantizar que los consumidores estén informados acerca de la compatibilidad de la luminaria con las lámparas, y de la eficiencia de las lámparas y módulos LED incluidos en la luminaria.

La información facilitada en la etiqueta debe obtenerse mediante procedimientos de medición fiables, exactos y reproducibles, contemplando los métodos de medición más avanzados reconocidos y, en su caso, las normas armonizadas adoptadas por los Organismos Europeos de Normalización enumerados en el Anexo I de la Directiva 98/34/CE.

3.1.7.6. Recomendaciones para la actuación de los fabricantes

Para cumplir el Reglamento (UE) nº 874/2012 resulta recomendable que los fabricantes se ajusten a las siguientes actuaciones:

- **Lámparas.**
 - Determinar el Índice de Eficiencia Energética (IEE) y la consiguiente Clase de Eficiencia Energética para cada lámpara, incluyendo las lámparas LED y módulos LED.
 - Elaborar las Etiquetas de Eficiencia Energética, con arreglo a lo establecido en el mencionado Reglamento, únicamente cuando los productos estén listos para ser vendidos en los puntos de venta al usuario final.
 - Preparar la documentación adecuada del producto según prescribe el citado Reglamento en los folletos, el embalaje y las páginas WEB de información sobre el producto.
- **Luminarias.**
 - Establecer la clase de Eficiencia Energética de las lámparas compatibles con la luminaria, así como de las lámparas y módulos LED suministradas con la luminaria, si las hubiera.

- Confeccionar y tener disponibles las Etiquetas de Eficiencia Energética para las luminarias cumpliendo el aludido Reglamento, solamente cuando los productos estén listos para ser vendidos en los puntos de venta al usuario final.
- Redactar la documentación apropiada del producto con arreglo a lo dispuesto en el Reglamento nº 874/2012 en los folletos y en las páginas WEB de información sobre el producto.

La responsabilidad del cumplimiento del Reglamento (UE) nº 874/2012 pertenece estrictamente al fabricante o a la persona física o entidad que introduzca los productos de iluminación en el mercado europeo por primera vez.

3.1.7.7. Verificación a efectos de la vigilancia del mercado

El artículo 6 del Reglamento (UE) nº 874/2012 dispone que los Estados miembros aplicarán el procedimiento establecido en el Anexo V al evaluar la conformidad de la clase de eficiencia energética declarada y el consumo energético.

Dicho Anexo V considera dos procedimientos de verificación, el primero de ellos para lámparas eléctricas y módulos LED comercializados como productos individuales, y el segundo para luminarias que vayan a comercializarse o comercializadas a usuarios finales.

1. Verificación para Lámparas Eléctricas y Módulos LED.

Para comprobar la conformidad con los requisitos especificados en los artículos 3 y 4 del Reglamento (UE) nº 874/2012, las autoridades de los Estados miembros someterán a ensayo un lote de muestras de, al menos, 20 lámparas del mismo modelo y de idéntico fabricante, las cuales, siempre que sea posible, se obtendrán en igual proporción de 4 fuentes seleccionadas aleatoriamente, teniendo en cuenta los parámetros técnicos determinados en la documentación técnica de conformidad con la letra f) del Anexo III del Reglamento (UE) nº 874/2012.

Se considerará que el modelo cumple las exigencias establecidas en los citados artículos 3 y 4, si el índice de eficiencia energética del modelo corresponde a su clase de eficiencia energética declarada, y si los resultados medios del lote no varían en más de un 10% respecto al límite, el umbral o los valores declarados (incluido el índice de eficiencia energética).

De lo contrario, se considerará que el modelo no es conforme con los requisitos de los mencionados artículos 3 y 4.

Las tolerancias señaladas anteriormente se refieren únicamente a la verificación de los parámetros sometidos a ensayo por parte de las autoridades de los Estados miembros, y en ningún caso el proveedor los utilizará como una tolerancia permitida con respecto de los valores presentados en la documentación técnica, al objeto de alcanzar una clase energética más eficiente.

Los valores declarados no serán más favorables para el proveedor que los valores indicados en la documentación técnica.

2. Verificación para luminarias.

Se considerará que la luminaria cumple las prescripciones establecidas en los aludidos artículos 3 y 4, si se acompaña para la información del producto requerida y si se verifica su compatibilidad con las lámparas con las cuales se indique que es compatible, conforme a lo dispuesto a las letras a) y b) del punto 2) IV de la parte 2 del Anexo I del Reglamento (UE) nº 874/2012, aplicándose los métodos y criterios más avanzados para evaluar la compatibilidad.

3.1.8. Directiva 2012/27/UE

Esta Directiva relativa a la eficiencia energética modifica las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, al tiempo que deroga las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.

La Directiva 2012/27/UE establece un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética dentro de la Unión Europea (UE), con la finalidad de asegurar la consecución del objetivo principal de eficiencia energética de la UE de un 20% de ahorro para el año 2020, así como al objeto de preparar el camino para mejoras ulteriores de eficiencia energética más allá de ese año.

Las prescripciones que decreta la Directiva 2012/27/UE constituyen requisitos mínimos, y se entienden sin perjuicio de que cualquier Estado miembro mantenga o introduzca medidas más estrictas.

A estos efectos, se define en la mencionada Directiva como "norma europea" una norma adoptada por el Comité Europeo de Normalización, el Comité Euro-

peo de Normalización Electrotécnica o el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones, y puesta a disposición para su utilización pública.

Asimismo, se considera "norma internacional" una norma asumida por la Organización Internacional de Normalización, puesta a disposición pública.

Según la Directiva 2012/27/UE, con el propósito de aprovechar el considerable potencial de ahorro de energía de los productos relacionados con la misma, debe acelerarse y ampliarse la aplicación de la Directiva 2009/125/CE y de la Directiva 2010/30/UE.

A fin de aportar claridad a las condiciones en que los Estados miembros pueden establecer especificaciones de rendimiento energético con arreglo a la Directiva 2010/31/UE, sin dejar de cumplir con la Directiva 2009/125/CE y sus medidas de ejecución, procede modificar la Directiva 2009/125/CE, para lo cual inserta un considerando, añade una frase al apartado 1 del artículo 6 y, finalmente, en el apartado 2 del artículo 27 deroga el artículo 9, apartados 1 y 2 de la Directiva 2010/30/UE.

3.1.9. Directiva 2010/31/UE

En la Unión Europea (UE) el 40% del consumo total de energía corresponde a los edificios, por ello la reducción del consumo de energía y el uso de energía procedente de fuentes renovables en el sector de la edificación, constituye una parte importante de las medidas necesarias para reducir la dependencia energética de la Unión y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las medidas adoptadas para reducir el consumo de energía en la UE permitirán, junto con un mejor uso de la energía procedente de fuentes renovables, tal y como se ha señalado precedentemente, que la UE cumpla el Protocolo de Kioto, y reduzca para el año 2020 las emisiones totales de gases de efecto invernadero en un 20% como mínimo con respecto a los niveles de 1990, y en un 30% en el caso de lograrse un acuerdo internacional, así como que mantenga a largo plazo el aumento de la temperatura global por debajo de 2 °C.

La Decisión nº 406/2009/CE, de 23 de abril, sobre el esfuerzo de los Estados miembros para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, establece compromisos nacionales vinculantes de reducción de las emisiones de CO₂.

Es responsabilidad exclusiva de los Estados miembros establecer requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos, que al hacerlo para instalaciones técnicas de los edificios, entre los que se encuentra la iluminación, deben utilizar, cuando existan y proceda, instrumentos armonizados, en particular métodos de ensayo y cálculo, así como clases de eficiencia energética desarrollados de acuerdo con las medidas de aplicación de la Directiva 2009/125/CE (requisitos de diseño ecológico), y la Directiva 2010/30/UE (etiquetado e información normalizada).

Los instaladores y constructores son claves para que la aplicación de la Directiva 2010/31/UE tenga éxito. También al respecto es necesario que los Estados miembros tomen en consideración la Directiva 2005/36/CE, de 7 de septiembre, relativa al reconocimiento de cualificaciones profesionales.

Entre otros objetivos, la Directiva 2010/31/UE tiene como finalidad la aplicación de requisitos mínimos a la eficiencia energética de las instalaciones técnicas de los edificios cuando se implanten o bien se sustituyan o mejoren.

El Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, que aprobó el Código Técnico de la Edificación previsto en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE), constituye la transposición de las exigencias relativas a los requisitos de eficiencia energética de los Edificios de la Directiva 2002/91/CE.

La Directiva 2010/31/UE, de 19 de mayo, relativa a la eficiencia energética de los edificios, modifica y refunde la Directiva 2002/91/CE, de 16 de diciembre, circunstancia que obligó a la transposición de nuevo al ordenamiento jurídico español de las modificaciones introducidas respecto a la anterior Directiva, lo que se llevó a cabo parcialmente mediante la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, en lo relativo a los requisitos de eficiencia energética de los edificios, así como la Directiva 2009/28/CE, de 23 de abril, en lo referente a la exigencia de niveles mínimos de energía procedente de fuentes renovables en los edificios.

3.1.10. Normativa de aplicación a los LED

La normativa de aplicación a los LED comprende las Directivas y Reglamentos de la Unión Europea, la legislación española, las normas UNE y publicaciones de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), así como las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

3.1.10.1. Directivas y Reglamentos de la Unión Europea

En relación a las Directivas y Reglamentos de la Unión Europea, entre otras disposiciones, se debe tener en cuenta la siguiente regulación europea:

- Directiva 2000/55/CE, relativa a los requisitos de eficiencia energética de los balastos de lámparas fluorescentes.
- Directiva 2001/77/CE, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad.
- Directiva 2001/95/CE, relativa a la seguridad de los productos
- Directiva 2002/91/CE, sobre la eficiencia energética de los edificios.
- Directiva 2002/95/CE, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva 2002/96/CE, relativa a residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva 2003/4/CE, referente al acceso público a la información medioambiental.
- Directiva 2003/30/CE, relativa al fomento de uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte.
- Directiva 2003/108/CE, de compatibilidad electromagnética.
- Directiva 2004/54/CE, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras.
- Directiva 2004/81/CE, relativa al fomento de la cogeneración en el mercado interior de la energía.
- Directiva 2004/108/CE de compatibilidad electromagnética.
- Directiva 2005/32/CE, sobre requisitos de diseño ecológico a productos que utilizan energía.
- Directiva 2005/36/CE, relativa al reconocimiento de cualificaciones profesionales.
- Directiva 2006/32/CE de eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.

- Directiva 2006/95/CE de baja tensión.
- Directiva 2008/29/CE, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, por la que se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
- Directiva 2009/125/CE, sobre requisitos de diseño ecológico.
- Directiva 2010/30/UE, relativa al etiquetado energético.
- Directiva 2010/31/UE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, que deroga la Directiva 2002/91/CE.
- Directiva 2012/27/UE sobre eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.
- Reglamento (CE) nº 765/2008, de 9 de julio, por el que se establecen los requisitos de acreditación y vigilancia del mercado relativos a la comercialización de los productos.
- Reglamento (CE) nº 244/2009, de 18 de marzo. Requisitos de diseño ecológico para lámparas de uso doméstico no direccionales.
- Reglamento (CE) nº 245/2009, de 18 de marzo. Requisitos de diseño ecológico para lámparas fluorescentes sin balastos integrados, para lámparas de descarga de alta intensidad y para balastos y luminarias que puedan funcionar en dichas lámparas. Deroga la Directiva 2000/55/CE.
- Reglamento (CE) nº 859/2009, de 18 de septiembre, que modifica el Anexo II del Reglamento (CE) nº 244/2009.
- Reglamento (UE) nº 347/2010, de 21 de abril. Modifica el Reglamento (CE) nº 245/2009.
- Reglamento (UE) nº 874/2012, de 12 de julio. Etiquetado energético de las lámparas eléctricas y las luminarias.
- Reglamento (UE) nº 1194/2012, de 12 de diciembre. Requisitos de diseño ecológico aplicables a las lámparas direccionales, a las lámparas LED y sus equipos.
- Decisión nº 768/2008/CE, de 9 de julio, sobre un marco común para la comercialización de los productos.

- Decisión nº 406/2009/CE, de 23 de abril, sobre el esfuerzo de los Estados miembros para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, establece compromisos nacionales vinculantes de reducción de las emisiones de CO₂.

3.1.10.2. Legislación Española

A nivel nacional, entre otros preceptos, debe considerarse la siguiente legislación:

- Real Decreto 1945/1983, de 22 de junio, por el que se regulan las infracciones y sanciones en materia de defensa del consumidor y de la producción agroalimentaria.
- Real Decreto 1468/1988, de 2 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Etiquetado, Presentación y Publicidad de los productos industriales destinados a su venta directa a los consumidores y usuarios.
- Real Decreto 138/1989, de 27 de enero, por el que se aprueba el Reglamento sobre Perturbaciones Radioeléctricas e Interferencias.
- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria y demás disposiciones aplicables en materia de Industria.
- Real Decreto 124/1994, de 28 de enero, que regula el etiquetado y la información referente al consumo de energía y de otros recursos en los aparatos de uso doméstico, que incorpora la Directiva 92/75/CE.
- Real Decreto 444/1994, de 1 de marzo, por el que se establecen los procedimientos de evaluación de la conformidad y los requisitos de protección, relativos a compatibilidad electromagnética de los equipos, sistemas e instalaciones.
- Real Decreto 154/1995, de exigencias de seguridad de material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.
- Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).
- Real Decreto 838/2002, de 2 de agosto, por el que se transpone la Directiva 2000/55/CE relativa a los balastos para lámparas fluorescentes.
- Reglamento Electrotécnico para baja Tensión aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de Agosto.

- Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos al final de la vida útil, que transpone las Directivas 2002/95/CE y 2002/96/CE.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación y posteriores modificaciones.
- Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.
- Real Decreto 1580/2006, por el que se establecen los procedimientos de evaluación de la conformidad y los requisitos de protección relativos a la compatibilidad electromagnética de los equipos, sistemas e instalaciones.
- Real Decreto Legislativo 1/2007, de 16 de noviembre, por el que aprueba el texto refundido de la Ley General para la Defensa de los Consumidores, usuarios y otras leyes complementarias.
- Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, que transpone la Directiva 2002/91/CE, sobre eficiencia energética de los edificios.
- Real Decreto 1369/2007, de 19 de octubre, que establece los requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía, que transpone la Directiva 2005/32/CE.
- Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior.
- Real Decreto 187/2011, de 18 de febrero, relativo al establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía, que incorpora al ordenamiento jurídico español la Directiva 2009/125/CE, al tiempo que refunde en un solo texto el Real Decreto 1369/2007, de 19 de octubre, y deroga el Real Decreto 838/2002, de 2 de agosto.
- Real Decreto 1390/2011, de 14 de octubre, por el que se regula la indicación de consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada. Constituye la transposición de la Directiva 2010/30/UE, al tiempo que deroga el Real Decreto 124/1994, de 28 de enero.

- Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por lo que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

3.1.10.3. Normas UNE

Las normas de la Unión Europea (EN), posteriormente adoptadas en España, como normas UNE, entre otras aplicables a los LED, se estiman las siguientes:

- UNE-EN 1838. Iluminación. Alumbrado de emergencia.
- UNE-EN 12190. Iluminación de instalaciones deportivas.
- UNE-EN 12193. Iluminación. Alumbrado de instalaciones deportivas.
- UNE-EN 12464-1. Iluminación. Alumbrado de los lugares de trabajo interiores.
- UNE-EN 12464-2. Iluminación. Alumbrado de los lugares de trabajo exteriores.
- UNE-EN 12665. Iluminación: Términos básicos y criterios para la especificación de los requisitos de alumbrado.
- UNE-EN 13032-1, UNE-EN 13032-2 y UNE-EN 13032-3. Mediciones y presentación de las características fotométricas de lámparas y luminarias.
- UNE-CEN/TR 13201-1, UNE-EN 13201-2, UNE-EN 13201-3 y UNE-EN 13201-4. Selección de niveles de iluminación: Requisitos de prestaciones. Cálculo de las prestaciones. Métodos de medida de las prestaciones de iluminación de carreteras.
- UNE-CR 14380 IN: 2003. Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles.
- UNE-EN 15193. Eficiencia energética de los edificios. Requisitos energéticos para la iluminación.
- UNE-EN 20062. Aparatos autónomos para alumbrado de emergencia con lámparas de incandescencia. Prescripciones de funcionamiento.

- UNE-EN 20324. Grados de protección proporcionados por las envolventes (código IP).
- UNE-EN 20392. Aparatos autónomos para alumbrado de emergencia con lámparas de fluorescencia. Prescripciones de funcionamiento.
- UNE-EN 21302-845. Vocabulario electrotécnico internacional. Iluminación.
- UNE-EN 50102. Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (código IK).
- UNE-EN 50171. Sistemas de alimentación eléctrica centralizados.
- UNE-EN 50172. Sistemas de alumbrado de seguridad.
- UNE-EN 55015 de 2006. Límites y métodos de medida de las características relativas a la perturbación radioeléctrica de los equipos de iluminación y similares.
- UNE-EN 60598-1 Luminarias. Requisitos generales y ensayos.
- UNE-EN 60598-2-1. Luminarias. Requisitos particulares de las luminarias fijas de uso general.
- UNE-EN 60598-2-2. Luminarias. Requisitos particulares de las luminarias empotradas.
- UNE-EN 60598-2-3. Luminarias. Requisitos particulares de las luminarias de alumbrado público.
- UNE-EN 60598-2-4. Luminarias. Requisitos particulares de las luminarias portátiles de uso general.
- UNE-EN 60598-2-5. Luminarias. Requisitos particulares. Proyectoros.
- UNE-EN 60598-2-6. Luminarias. Requisitos particulares. Luminarias con transformadores o convertidores incorporados para lámparas de filamento.
- UNE-EN 60598-2-7. Luminarias. Reglas particulares. Luminarias portátiles para empleo en jardines.
- UNE-EN 60598-2-8. Luminarias. Requisitos particulares de las luminarias portátiles de mano.

- UNE-EN 60598-2-9. Luminarias. Reglas particulares. Luminarias para fotografía y cinematografía (no profesionales).
- UNE-EN 60598-2-10. Luminarias. Requisitos particulares. Luminarias portátiles para niños.
- UNE-EN 60597-2-11. Luminarias. Requisitos particulares. Luminarias para armarios.
- UNE-EN 60598-2-12. Luminarias. Requisitos particulares. Luminarias nocturnas montadas en bases de toma de corriente de red.
- UNE-EN 60598-2-13. Luminarias. Requisitos particulares. Luminarias empotradas en el suelo.
- UNE-EN 60598-2-14. Luminarias. Requisitos particulares. Luminarias para lámparas tubulares de descarga de cátodo frío (tubos de neón) y equipos similares.
- UNE-EN 60598-2-17. Luminarias. Reglas particulares. Luminarias para escenarios de estudios de televisión y estudios de cinematografía y fotografía (exteriores e interiores).
- UNE-EN 60598-2-18. Luminarias. Requisitos particulares. Luminarias para piscinas y usos análogos.
- UNE-EN 60598-2-19. Luminarias. Requisitos particulares de las luminarias con circulación de aire.
- UNE-EN 60598-2-20. Luminarias. Requisitos particulares de las guirnaldas luminosas.
- UNE-EN 60598-2-22. Luminarias. Requisitos particulares de las luminarias para alumbrado de emergencia.
- UNE-EN 60598-2-23. Luminarias. Requisitos particulares. Sistemas de iluminación de muy baja tensión para lámparas con filamento.
- UNE-EN 60598-2-24. Luminarias. Requisitos particulares de las luminarias con temperaturas superficiales limitadas.
- UNE-EN 60598-2-25. Luminarias. Requisitos particulares. Luminarias para uso en áreas clínicas de hospitales y sanatorios.
- UNE-EN 61000-3-2 Compatibilidad Electromagnética (CEM). Límites para las emisiones de corriente armónica.

- UNE-EN 61000-3-3 Compatibilidad Electromagnética (CEM). Limitaciones de las variaciones de tensión, fluctuaciones de tensión y flicker en las redes públicas de suministro de baja tensión.
- UNE-EN 61347-1 Requisitos generales para dispositivos de control electrónicos alimentado en corriente continua o corriente alterna para módulos LED.
- UNE-EN 61347-2-13 Requisitos particulares para dispositivos de control electrónicos alimentados en corriente continua o corriente alterna para módulos LED.
- UNE-EN 61547 Equipos para alumbrado de uso general. Requisitos de inmunidad CEM (compatibilidad electromagnética).
- UNE-EN 62031 Requisitos de seguridad de los módulos LED.
- UNE-EN 62384 Requisitos de funcionamiento para dispositivos de control electrónicos alimentados en corriente continua o corriente alterna para módulos LED.
- UNE-EN 62471-1 Seguridad fotobiológica de lámparas y aparatos que utilizan lámparas.
- UNE-EN 62560 Seguridad en lámparas LED con dispositivo de control incorporado de tensión de alimentación mayor de 50 V.
- UNE 72112. Tareas visuales. Clasificación.
- UNE 72163. Niveles de iluminación. Asignación de tareas.

3.1.10.4. Publicaciones de la Comisión Internacional de Iluminación

En lo referente a la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), entre otras, se estiman recomendables a título de consulta, las siguientes publicaciones:

- Publicación CIE nº 13.3/1995. Métodos de medición y especificación de las propiedades del rendimiento de color de las fuentes de luz.
- Publicación CIE nº 15/2004. Colorimetría.
- Publicación CIE nº 16/1970. Luz diurna.

- Publicación CIE nº 17.4/1987. Vocabulario internacional de iluminación.
- Publicación CIE nº 18.2/1983. Bases de la fotometría física.
- Publicación CIE nº 19.21–22/1981. Modelo analítico para la descripción de la influencia de los parámetros de alumbrado en las prestaciones visuales.
- Publicación CIE nº 23/1973. Recomendaciones internacionales para el alumbrado de carreteras.
- Publicación CIE nº 29.2/1986. Guía de la iluminación interior.
- Publicación CIE nº 31/1976. Deslumbramiento y uniformidad en las instalaciones de alumbrado viario.
- Publicación CIE nº 32/1977. Puntos especiales en alumbrado público.
- Publicación CIE nº 33/1977. Depreciación y mantenimiento de las instalaciones de alumbrado viario.
- Publicación CIE nº 34/1977. Luminarias para alumbrado de carreteras: datos fotométricos, clasificación y prestaciones.
- Publicación CIE nº 40/1978. Cálculos para la iluminación interior: método básico.
- Publicación CIE nº 43/1979. Fotometría de proyectores.
- Publicación CIE nº 47/1981. Alumbrado de carreteras en condiciones mojadas.
- Publicación CIE nº 52/1982. Cálculos para la iluminación interior: método aplicado.
- Publicación CIE nº 54.2/2001. Retrorreflexión. Definición y mediciones.
- Publicación CIE nº 55/1983. Deslumbramiento perturbador en el ambiente de los operarios que trabajan en locales interiores.
- Publicación CIE nº 61/1984. Alumbrado de la entrada de túneles: fundamentos para determinar la luminancia en la zona de umbral.
- Publicación CIE nº 63/1984. Medición espectralradiométrica de las fuentes de luz.

- Publicación CIE nº 66/1984. Pavimentos de carreteras y alumbrado (informe CIE/ PIARC).
- Publicación CIE nº 68/1986. Guía para alumbrado de áreas de trabajo exteriores.
- Publicación CIE nº 70/1987. Medición de las distribuciones de intensidad luminosa.
- Publicación CIE nº 81/1989. Fotometría mesópica.
- Publicación CIE nº 83/1989. Guía para la iluminación de eventos deportivos televisados en color.
- Publicación CIE nº 84/1989. Medición del flujo luminoso.
- Publicación CIE nº 85/1989. Radiación espectral solar.
- Publicación CIE nº 88/2004. Guía para la iluminación de túneles y pasos inferiores.
- Publicación CIE nº 92/1992. Guía para la iluminación de áreas urbanas.
- Publicación CIE nº 93/1992. Alumbrado de carreteras como contramedida a los accidentes.
- Publicación CIE nº 94/1992. Guía para el alumbrado con proyectores.
- Publicación CIE nº 95/1992. Contraste y visibilidad.
- Publicación CIE nº 97/1992. Mantenimiento para sistemas de iluminación interior.
- Publicación CIE nº 100/1992. Fundamentos de la tarea visual en la conducción nocturna.
- Publicación CIE nº 112/1994. Guía para la evaluación del deslumbramiento para el alumbrado exterior de deportes y grandes espacios.
- Publicación CIE nº 115/2010. Recomendaciones para la iluminación de carreteras con tráfico motorizado y peatonal.
- Publicación CIE nº 116/1995. Evaluación industrial de las diferencias de color.

- Publicación CIE nº 117/1998. Deslumbramiento molesto de la iluminación interior.
- Publicación CIE nº 121/1996. Fotometría y goniometría de luminarias.
- Publicación CIE nº 121-SP1/2009. Fotometría y goniometría de luminarias. Suplemento 1: Luminarias para alumbrado de emergencia.
- Publicación CIE nº 123/1997. Necesidad de iluminación para los que tienen visión parcial.
- Publicación CIE nº 126/1997. Guía para minimizar la luminosidad del cielo.
- Publicación CIE nº 127/1997. Medida de los LED.
- Publicación CIE nº 129/1998. Guía para el alumbrado de áreas de trabajo exteriores.
- Publicación CIE nº 132/1999. Métodos de diseño para el alumbrado de carreteras.
- Publicación CIE nº 136/2000. Guía para la iluminación de áreas urbanas.
- Publicación CIE nº 140/2000. Método de cálculo para la iluminación de carreteras.
- Publicación CIE nº 144/2001. Características de la reflectancia de las calzadas.
- Publicación CIE nº 146/2002. Ecuaciones CIE para el deslumbramiento perturbador.
- Publicación CIE nº 147/2002. Deslumbramiento de fuentes de luz, pequeñas, grandes y complejas.
- Publicación CIE nº 150/2003. Guía para la limitación de los efectos molestos procedentes de las instalaciones de alumbrado exterior.
- Publicación CIE nº 154/2003. Mantenimiento para sistemas de alumbrado exterior.
- Publicación CIE nº 157/2004. Control del daño causado a los objetos expuestos en los museos debido a la radiación óptica.

- Publicación CIE nº 169/2005. Recomendaciones prácticas de diseño para la iluminación de eventos deportivos para televisión en color y filmación.
- Publicación CIE nº 177/2007. Rendimiento de color de las fuentes de luz LED blancas.
- Publicación CIE nº 179/2007. Métodos para la caracterización colorimétrica triestímulo y medición del color de la luz.
- Publicación CIE nº 189/2010. Criterios de calidad en los cálculos del alumbrado de túneles.
- Publicación CIE nº 190/2010. Cálculo y presentación de las tablas del índice unificado de deslumbramiento para luminarias en iluminación interior.
- Publicación CIE nº 191/2010. Sistemas recomendados para la fotometría mesópica basada en el rendimiento visual.
- Publicación CIE nº 193/2010. Alumbrado de emergencia en túneles de carretera.
- Publicación CIE nº 194/2011. Mediciones in situ de las propiedades fotométricas de alumbrado de carreteras y de túneles.
- Publicación CIE S 017/E/2011. Vocabulario internacional de iluminación.
- Publicación CIE nº 205/2013. Revisión de medidas de calidad de la iluminación para alumbrado interior con sistemas de iluminación LED.

3.1.10.5. Normas de la Comisión Electrotécnica Internacional

Por último, en lo que incumbe a la Comisión Electrotécnica (IEC), con carácter prioritario en lo concerniente a los módulos LED y luminarias LED, deben tenerse en cuenta las siguientes normas:

- IEC 60050–845.– Vocabulario electrotécnico Internacional. Capítulo 845: Iluminación.
- IEC 62504.– LED y módulos LED para iluminación general. Términos y definiciones.

- IEC 62717.– Módulos LED para la iluminación general. Requisitos de funcionamiento (exigencias de las prestaciones).
- IEC 62722-1.– Luminarias LED para la iluminación general. Requisitos de funcionamiento (especificaciones generales).
- IEC 62722-2-1.– Luminarias LED para la iluminación general. Requisitos de funcionamiento (especificaciones particulares).

Observando que las normas aplicables a la tecnología LED son de reciente aparición, es difícil considerar la lista anterior como exhaustiva, por lo que se deberán tener en cuenta también las nuevas normas aplicables a este tipo de componentes que puedan ser publicadas con posterioridad a la difusión de este documento.

3.2. Ventajas de la Iluminación LED

3.2.1. Introducción

Los LED constituyen una tecnología novedosa, cuyas ventajas o pros se encuentran en su destacable eficacia luminosa, eficiencia energética, ausencia de radiaciones ultravioletas e infrarrojas, débil generación de calor, encendido instantáneo, buen rendimiento de color, elevada economía en el consumo de energía eléctrica y en el mantenimiento, con una vida media bastante mayor que la de las lámparas convencionales y temperatura de color también “blanco cálido” relativamente próximo a las lámparas incandescentes, tiempo de respuesta inmediato, regulación de la luz en su totalidad (o a 100%), con sistemas electrónicos de mando que permiten una gestión fina de la instalación de alumbrado, carentes de contenido de mercurio y resistentes a los choques y vibraciones, funcionando adecuadamente a bajas temperaturas, etc.

Sin embargo, los LED también tienen sus inconvenientes o contras, pues no siempre cumplen con lo ofrecido en su publicidad dando lugar, por ejemplo en el alumbrado exterior, a la aparición en el mercado de luminarias deficientes, además de ocultar cuestiones esenciales tales como la caída del flujo luminoso y de la calidad de la luz en el transcurso del tiempo de funcionamiento, incumpliendo en muchos supuestos la uniformidad de la iluminancia y/o luminancia, así como el control del resplandor luminoso nocturno, etc., pudiendo ocasionar no solamente

una competencia desleal y un engaño para los usuarios, sino incluso un rechazo de los mismos que se sienten defraudados, predisponiéndolos a no adquirir dichos productos.

En alumbrado interior, las características típicas de los LED, tal como su luz direccional, pequeño tamaño y elevado brillo, pueden ser muy ventajosas en aplicaciones específicas como el alumbrado de acento; en cambio, en el caso de alumbrado general para oficinas, edificios públicos, centros de educación o comercios al por menor, estas características de los LED pueden originar problemas en lo que concierne a los aspectos cualitativos de la iluminación.

Ocurre también que los usuarios y consumidores de algunos productos LED observan que la duración de la vida de los mismos es en realidad mucho más corta que la que se anuncia en sus embalajes.

En consecuencia, la calidad de los LED, sus módulos, luminarias y equipos auxiliares debe garantizarse mediante especificaciones técnicas que cumplan los requisitos establecidos en las pertinentes normas técnicas, tanto en lo que afecta a las definiciones, métodos de medición, como a los valores límite exigibles, ajustándose al diseño ecológico propiciado y requerido por la Unión Europea.

Teniendo en cuenta que los Estados miembros son los responsables de controlar, entre otros parámetros, el rendimiento y la seguridad de los productos que se venden en el mercado de la Unión Europea (UE) con el "mercado CE" y etiquetado de eficiencia energética, resulta condición necesaria e indispensable el establecimiento de un sistema eficaz de vigilancia del mercado, para que puedan difundirse en la UE productos LED de alta calidad.

3.2.2. Prestaciones de los LED

En cuanto a las prestaciones eléctricas cabe destacar el corto periodo de encendido de los LED, del orden de 10^{-5} segundos. También se puede resaltar el bajo consumo y su versatilidad en cuanto a diseño geométrico.

Los LED funcionan mediante la alimentación de corriente eléctrica continua constante del ánodo hacia el cátodo con bajas intensidades, por lo que debe cuidarse el dimensionamiento de los componentes eléctricos del sistema de alimentación eléctrica.

El acoplamiento BT/TBT – *driver* de corriente, así como respetar las características eléctricas y térmicas del LED se considera determinante para el buen funcionamiento del sistema.

Por tanto, para el suministro de energía eléctrica al LED se incorpora una fuente de alimentación denominada *driver*, así como un sistema de regulación de flujo luminoso, que utilizan componentes eléctricos.

La vida de los sistemas de alimentación (*driver*) y regulación de los LED al estar contruidos fundamentalmente por elementos electrónicos, depende en gran medida de la temperatura que alcancen durante su funcionamiento y de la temperatura ambiente de su entorno.

En el alumbrado exterior los agentes atmosféricos, contaminantes y fundamentalmente las tormentas meteorológicas, principalmente entre nubes y tierra con sobrecargas eléctricas (rayos) afectan a los componentes electrónicos de los LED, por lo que deben realizarse ensayos de aceptación de compatibilidad electromagnética, temperaturas, seguridad, funcionamiento, etc.

Por otro lado, la utilización de agrupaciones de LED en dispositivos de iluminación conlleva una generación de calor por efecto *Joule*, que se suma al calor ambiental pudiendo alcanzar temperaturas elevadas en el interior de los dispositivos, por ejemplo luminarias, que generen una disfunción de los LED, por lo que se hace necesario el estudio y diseño de elementos que faciliten la extracción del calor, para disminuir este efecto perjudicial en estos sistemas de LED.

Los principales problemas de los componentes electrónicos de los LED se presentan tanto en los *driver* y sistemas de regulación, como en los circuitos impresos o integrados del montaje de los LED a incorporar en luminarias, módulos, etc.

La regulación de la intensidad eléctrica de alimentación de los LED, determina la intensidad de su luz, color y duración de vida.

Respecto a la vida útil de un LED debe tenerse en cuenta que depende de la intensidad de la corriente eléctrica que circula por el mismo, de la temperatura de unión y, finalmente, de la temperatura ambiente del entorno en las proximidades del LED.

En principio, la duración económica de un LED corresponde al tiempo transcurrido hasta que el flujo baja un 30% respecto al nominal (L_{70}), en las condiciones de

intensidad de corriente dadas y con una temperatura de unión mantenida de 25° C, cualquiera que sea la temperatura ambiente.

En general la duración de vida de los LED que señalan los fabricantes es válida para una temperatura de unión de 25° C, temperatura que habitualmente se supera en condiciones normales de funcionamiento, lo que en principio impide estimar una duración de vida realista en la mayoría de las aplicaciones. Sobre este punto se hará referencia más adelante.

3.2.3. Criterios de calidad de la iluminación LED

Las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 62717 Módulos LED (exigencias de las prestaciones), IEC 62722-1 Luminarias LED (especificaciones generales) e IEC 62722-2-1 Luminarias LED (especificaciones particulares), proponen una serie de criterios de calidad para valorar las informaciones, datos y especificaciones proporcionadas por los fabricantes de LED.

De igual modo, en lo que atañe a instalaciones de alumbrado exterior debe contemplarse la eficiencia energética que regula el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior aprobado por Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre.

En lo que incumbe a la eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado interior se tendrá en cuenta la Sección HE 3 del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo y la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, que actualiza el Documento Básico DB-HE,, mientras que en lo relativo a los niveles de iluminación se considerarán las normas armonizadas UNE-EN 12464-1, UNE-EN 12464-2 y UNE-EN 12193.

* Factor de Utilización

El flujo emitido por la luminaria no se distribuye totalmente en la superficie a iluminar, denominándose utilancia (U) a la relación entre el flujo que llega a la superficie iluminada y el flujo emitido por la luminaria.

$$U = \frac{\text{Flujo recibido por la superficie iluminada}}{\text{Flujo emitido por la luminaria}}$$

El factor de utilización es la relación entre el flujo luminoso recibido por la superficie iluminada o de referencia y el flujo total emitido por la lámpara y módulo LED o fuente de luz. Se expresa en tanto por ciento y su símbolo es (f_u).

$$f_u = \frac{\text{Flujo recibido por la superficie iluminada}}{\text{Flujo emitido por la fuente de luz}}$$

Por tanto se cumple que: $f_u = \eta U$

El factor de utilización (f_u) en las instalaciones de alumbrado exterior depende del:

- Tipo de lámpara y módulo LED.
- Rendimiento de la luminaria.
- Distribución de la intensidad luminosa de la luminaria.
- Geometría de la instalación.

El factor de utilización evalúa las prestaciones de las luminarias y su aptitud para optimizarlas, teniendo en cuenta las características dimensionales de la superficie a iluminar (longitud y anchura), así como de la instalación de alumbrado exterior (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz).

El factor de utilización de la instalación (f_u) en la iluminación interior es función de los siguientes parámetros:

- Características geométricas del local (K).
- Rendimiento de la luminaria (η).
- Clase fotométrica de la luminaria (distribución espacial de la intensidad luminosa).
- Modo de instalación de las luminarias en el local (implantación de las luminarias).
- Factores de reflexión de las paredes, techo del local, suelo y plano útil iluminado.

Las características geométricas o índice del local (K) es un parámetro que define las dimensiones de un local y cuya expresión es la siguiente:

$$K = \frac{L \cdot A}{H(L + A)}$$

Siendo:

L = longitud del local.

A = anchura del local.

H = distancia del plano de trabajo a las luminarias.

* Distribución de la intensidad luminosa

Es la distribución espacial del flujo luminoso emitido por la luminaria LED que puede expresarse mediante una tabla de doble entrada (C, θ), denominada matriz de intensidades, o mediante gráficos (diagrama de coordenadas polares).

En el supuesto de instalaciones de alumbrado exterior, las curvas polares de distribución luminosa representa los valores de las intensidades luminosas en candelas, correspondientes a un flujo nominal de 1.000 lm, medido normalmente sobre los siguientes planos verticales: C = 0°/180° paralelo al eje longitudinal de la calzada, C = 90°/270° perpendicular al referido eje longitudinal, y el plano "C" de máxima intensidad luminosa o plano principal.

Usualmente para luminarias que incorporan lámparas de descarga reemplazables se expresa en unidades de candelas (cd) para 1.000 lm del flujo de la lámpara.

Para el caso en el que se incorporen fuentes de luz no reemplazables del tipo módulo LED se suelen expresar en candelas. No obstante, cuando las luminarias que incorporan LED se suministran con datos relativos, éstos se proporcionan en candelas (cd) para 1.000 lm de flujo total de la luminaria

* Código fotométrico

El código fotométrico de seis dígitos muestra los parámetros más importantes respecto a la calidad de la luz:

- Índice de rendimiento de color nominal (IRC).
- Temperatura de color correlacionada (T_{cp}).
- Coordenadas de cromaticidad, iniciales y mantenidas.
- Mantenimiento del flujo luminoso.

* Vida nominal de la lámpara y módulo LED

La vida nominal del módulo LED y el mantenimiento nominal asociado del flujo luminoso (L_x), es el tiempo en horas durante el cual un conjunto de fuentes de luz LED proporcionan un determinado porcentaje del flujo luminoso establecido por el fabricante, que siempre se expresa en combinación con la tasa máxima de fallo (F_y) del LED, en tanto por ciento

* Porcentaje de fallo (F_y) de la lámpara y módulo LED

El porcentaje de fallo (F_y) correspondiente a la vida nominal de la lámpara y módulo LED de la luminaria, se expresa en función del porcentaje de fallos de una cantidad de fuentes de luz LED del mismo tipo al final de su vida nominal.

Este porcentaje de fallo (F_y) pone en evidencia el efecto combinado de todos los componentes de una lámpara y módulo LED, incluidos los mecánicos, en lo referente al flujo luminoso. El efecto de este porcentaje de fallo sobre la fuente de luz LED podría ser de menor flujo luminoso que el afirmado por el fabricante e incluso la carencia de dicho flujo (nada de luz).

* Temperatura ambiente (t_q). Entorno de la luminaria

Es la temperatura ambiente alrededor de la luminaria LED en relación con el rendimiento luminoso o eficiencia expresada de la misma. En el caso de un determinado rendimiento (η) de la luminaria LED, la temperatura ambiente (t_q) es un valor fijo que se expresa en grados Celsius.

Se pueden concretar distintos rendimientos a temperaturas ambientes diferentes y, en todo caso, hay que asegurarse que la temperatura ambiente (t_q) del

entorno de la luminaria LED se ajustará a la aplicación real para la que se va a utilizar la misma.

3.2.3.1. Clasificación del índice de rendimiento de color

La clasificación de los valores iniciales del rendimiento de color (R_a) para el código fotométrico de seis dígitos se puede obtener utilizando los intervalos del siguiente cuadro:

Tabla 8. Valores del rendimiento de color R_a .

Código	Intervalo R_a	Temperatura de Reproducción Cromática
6	57–66	Pobre
7	67–76	Moderada
8	77–86	Buena
9	87–100	Excelente

A efectos de plasmar en el susodicho código fotométrico la temperatura de color correlacionada (T_{cp}), se dividirá por 100 el valor inicial. Por ejemplo, si dicha temperatura de color es de 4.000 K, en el código fotométrico figurará 40.

El concepto de temperatura de color se aplica para clasificar los diferentes tipos de luz blanca y, como se ha señalado, se describe como la impresión color a ciertas temperaturas de un radiador de cuerpo negro perfecto.

Este concepto se entiende mejor con ayuda de radiaciones térmicas, como el filamento de una lámpara incandescente o una barra de hierro.

Cuando estos materiales se calientan a una temperatura de 1.000 K estarán de color rojo, a 2.000–3.000 K tendrán un aspecto amarillo–blanquecino, a 4.000 K blanco neutro y a 5.000–7.000 K blanco frío. Dicho de otro modo: cuanto más alta es la temperatura de color, más fría es la impresión de la luz blanca.

Dado que la luz blanca está compuesta por una mezcla de colores, no todos los blancos son iguales, pues depende de los colores (longitudes de onda del es-

pectro visible) que lo constituyen. Así pues, un blanco con una proporción más alta de rojo tendrá un aspecto más cálido, mientras que un blanco con un porcentaje mayor de azul será más frío.

3.2.3.2. Coordenadas de cromaticidad

En el estudio de la percepción del color, las elipses de Mac Adam se refieren a la región del diagrama de cromaticidad de la CIE, que contiene todos los colores que el ojo humano medio es capaz de distinguir del color que se encuentra en el centro de la elipse. Por tanto el contorno de la elipse representa las diferencias perceptibles de la cromaticidad.

Las coordenadas de cromaticidad de inicio y mantenidas se miden, por una parte inicialmente y, por otra, para el valor del flujo luminoso mantenido o existente después de la correspondiente depreciación al 25% de la vida nominal, hasta un máximo de 6.000 h.

Con cierta frecuencia las elipses de Mac Adam se amplían a mayor tamaño, quizás unas tres, cinco o siete veces el original. Esto indica una elipse de Mac Adam con una desviación estándar de 3,5 o 7.

La clasificación de los valores para el código fotométrico se puede obtener utilizando los intervalos siguientes:

Tabla 9. Coordenadas de cromaticidad.

Tamaño de la elipse de Mac Adam centrada en el color objetivo nominal	Categoría de variación del Color	
	Inicial	Mantenida
3SDMC	3	3
5SDMC	5	5
7SDMC	7	7
>7SDMC	7+	7+

- Nota. SDMC (*Standart Deviation of Colour Matching*), es decir, Desviación Estándar de correspondencia de colores.

Las SDMC de 1, 2, 3, 4, 5, 6, y 7 pasos representan lo siguiente:

- 1 SDMC: Significa que no existen diferencias de color entre los LED.
- 2-3 SDMC: evidencia que apenas hay alguna disparidad visible de color.
- ≤ 5 SDMC: supone el límite recomendable de desigualdad de color.
- 7 SMCD: implica que no se aconseja debido a su disimilitud de color, aun cuando se admita en el mercado.

3.2.3.3. Mantenimiento del flujo luminoso

Debido a que la vida media de una lámpara y de un módulo LED y una luminaria LED es muy larga, hace falta mucho tiempo para medir la reducción real del flujo luminoso emitido por el módulo LED o la luminaria LED en el transcurso de su vida.

Por ejemplo, L_{80} significa el tiempo durante el cual el módulo LED proporciona al menos, un 80% del flujo luminoso inicial, según los datos que el fabricante facilita.

El comportamiento actual de los LED en lo que concierne al mantenimiento del flujo luminoso en el transcurso del tiempo de funcionamiento, puede variar considerablemente dependiendo del tipo de LED y del fabricante. No es posible expresar el mantenimiento del flujo luminoso de todos los LED mediante simples relaciones matemáticas.

Para validar la información sobre la vida útil de un LED, se necesita realiza una extrapolación de los datos obtenidos en la prueba. A estos efectos el Comité Electrotécnico Internacional está sopesando un método general para proyectar datos de las mediciones de flujo más allá del tiempo limitado de la prueba o ensayo.

En lugar de validar la vida útil, las normas IEC han optado por establecer un código de mantenimiento del flujo luminoso en un momento determinado, es decir, cuando se efectúa el ensayo, de modo que el flujo luminoso mantenido también se mide al 25% de la vida útil nominal, hasta un máximo de 6.000 horas.

Conforme a lo anterior, el número de código no implica una predicción de la vida útil de un producto LED pueda llegar a tener a lo largo del tiempo de funcionamiento, se concreta al momento determinado, o lo que es lo mismo al 25% de la vida útil nominal hasta un máximo de 6.000 horas.

La clasificación de los valores del flujo luminoso mantenido se obtiene utilizando una de las categorías siguientes:

Tabla 10. Mantenimiento del flujo luminoso.

Mantenimiento del flujo Luminoso %	Código
> 90	9
>80	8
>70	7

A título de ejemplo, el código fotométrico de seis dígitos de un determinado módulo LED puede ser el siguiente: 745/358.

El significado o decodificación del mismo es el siguiente:

- Valor R_a inicial: 75 – código 7.
- Valor TCC inicial: 4.500 K – código 45.
- Amplitud inicial de las coordenadas de cromaticidad dentro de una elipse de Mac Adam: 3 SDMC – código 3.
- Amplitud mantenida de las coordenadas de cromaticidad dentro de una elipse de Mac Adam: 5 SDMC – código 5.
- Flujo luminoso mantenido: 87% – código 8.

Se subraya que el código fotométrico del módulo LED debe constar en el envoltorio del producto, así como en el correspondiente folleto informativo.

3.2.4. Ventajas e inconvenientes de los LED

Los sistemas LED rivalizan y en la mayoría de los casos sobrepasan las prestaciones de iluminación de las fuentes de luz clásicas debido a las mejoras técnicas disponibles. En el alumbrado interior:

- Las lámparas LED (alumbrado general) para uso doméstico de las características de 12 W/800 lm/25.000 h en sustitución de lámparas de incandescencia de 60 W/700 lm/1.000h, tienen una eficacia luminosa (lm/W) superior a las de las lámparas fluorescentes compactas.

- Los spots de LED (iluminación de acentuación) que reemplaza a las lámparas halógenas, consumen cinco veces menos de energía para una duración de utilización del orden de 2,5 a 5 veces superior.
- Las luminarias LED para alumbrado interior cuya eficacia luminosa global para temperatura de color "blanco neutro" está comprendida entre 50 y 80 lm/W (respectivamente 100 a 120 lm/W a nivel de LED), rivalizan con las lámparas fluorescentes compactas en ciertas aplicaciones de iluminación.

Frente a los ejemplos expuestos desgraciadamente se debe hacer constar que los productos LED de mediocre calidad invaden el mercado, como por ejemplo:

- Lámparas LED para uso doméstico cuya eficacia luminosa raramente supera los 20 lm/W.
- Tubos de LED que sustituyen a los tubos fluorescentes en luminarias existentes, en las que algunas presentan graves riesgos de seguridad eléctrica.
- Sistemas de iluminación LED cuyas prestaciones (flujo luminoso, eficacia luminosa, temperatura de color, índice de rendimiento de color y duración de vida), ya están al límite y se degradan después de algunas horas de funcionamiento, debido a una mala gestión térmica de los sistemas de iluminación, así como de la desacertada elección de los componentes electrónicos (LED y *Driver*).
- Luminarias para lámparas o módulos LED cuya concepción no se ha adecuado al uso previsto, o con dispositivos inadaptados para asegurar un control satisfactorio de la luminancia de los aparatos.

Estos sistemas de iluminación LED no conformes a las normas y buenas prácticas de alumbrado frecuentemente son objeto de publicidad engañosa o figuran en informaciones técnicas erróneas, así como en estudios comparativos con soluciones clásicas, en las que manifiestan beneficios económicos infundados, de esta manera se desacredita la tecnología LED, que de todos modos tiene un presente y un futuro muy prometedor.

En lo que concierne a las instalaciones de alumbrado exterior, entre otras, pueden hacerse las siguientes consideraciones:

- En la actualidad la eficacia luminosa del conjunto lámpara de descarga y equipos auxiliares es la siguiente:

- 120 lm/W para el sodio de alta presión (S.A.P) de 250 y 400 W.
 - 100 lm/W para el sodio de alta presión (S.A.P) de 100 y 150 W.
 - 80 lm/W para el sodio de alta presión (S.A.P) de 70 W.
 - 105 lm/W para la "cosmowhite" de 60 y 140 W.
 - 80 lm/W para el halogenuro metálico de 70 a 250 W.
- Las lámparas de descarga se incorporan a las luminarias, cuyo rendimiento es de un 80% por lo que la eficacia luminosa de las luminarias alcanza los siguiente valores:
 - 96 lm/W para S.A.P de 250 y 400 W.
 - 80 lm/W para S.A.P de 100 y 150 W.
 - 64 lm/W para S.A.P de 70 W.
 - 84 lm/W para la "cosmowhite" de 70 W.
 - 74 lm/W para el halogenuro metálico de 70 a 250 W.
 - Actualmente, después de un riguroso triaje selectivo se encuentran en el mercado LED, incluida la alimentación eléctrica (driver), de 120 lm/w con una intensidad de corriente de 350 mA, que se implantan bien directamente o mediante módulos LED en las luminarias, cuyo rendimiento es del orden de un 87% e incluso superior, por lo que la eficacia luminosa de las luminarias alcanza el valor de:
 - 104 lm/W.

Eficacia luminosa que se incrementaría si la alimentación eléctrica se efectuase a una intensidad superior a 350 mA.

En resumen los puntos a considerar para la eficacia luminosa conciernen a:

- La distribución luminosa de la luminaria.
- La concepción de la luminaria, del sistema óptico, del *driver*, así como la temperatura de unión y gestión térmica.
- La optimización de la intensidad de corriente y el número de LED que equipa la luminaria.

El flujo luminoso del LED se puede aumentar alimentándolo a mayores intensidades de corriente. No es conveniente alimentar los LED a más de 700 mA porque se reduce mucha la vida útil y la eficacia luminosa (lm/W) disminuye. A mayor abundamiento, resulta recomendable que la intensidad de corriente de la alimentación eléctrica resulte inferior a 700 mA.

En alumbrado exterior se presentan condiciones extremas para la utilización del LED en la iluminación de las carreteras, cuando se requieren puntos de luz de elevada altura y flujo luminoso para alcanzar los niveles luminosos exigidos.

Con una luminaria equipada con 200 LED alimentados a 700 mA se consigue un flujo luminoso de 44.700 lm, con un consumo de 427 W. Si se supone un rendimiento de la luminaria del 87% el flujo emitido es de 38.900 lm.

Si se compara la luminaria LED anterior con una luminaria convencional equipada con una lámpara de 400 W de vapor de sodio a alta presión (SAP), con un flujo de 56.500 lm y con un rendimiento de la luminaria del 80%, el flujo emitido alcanza 45.200 lm.

No obstante, dada la direccionabilidad de la luz emitida por los LED, con la luminaria LED se pueden alcanzar factores de utilización (f_u) significativamente superiores a los conseguidos con la luminaria convencional dotada con la lámpara de SAP y, por tanto, resultan sustituibles incluso ventajosamente.

Cuestión diferente es el consumo, muy similar en el caso de utilizar un balasto electrónico en el SAP, y sobre todo el precio suficientemente mayor en los LED. Para esta potencia la amortización solamente puede basarse en considerar la vida de ambas fuentes de luz —lámparas de SAP y LED—, que resulta favorable a los LED, siempre que la vida real se ajuste a la prevista.

Otro ejemplo, es el supuesto de una luminaria convencional con lámpara de SAP de 250 W con un flujo de 31.500 lm y un rendimiento de la luminaria del 80%, que da lugar a un flujo emitido de 25.500 lm.

Para sustituir la anterior luminaria convencional con lámpara de descarga se puede implantar una luminaria LED equipada con 160 LED alimentados a 700 mA, con un flujo luminoso de 27.700 lm y un consumo de 287 W. Si se estima un rendimiento de la luminaria de un 87%, el flujo emitido es de 24.100 lm.

Como en el ejemplo anterior, también se puede remplazar la luminaria convencional por la del LED, aun cuando el ahorro energético y el precio, asimismo sea otro tema, mientras la eficacia luminosa (lm/W) de los LED no se incremente aún más.

Como se desprende de los dos ejemplos expuestos, aun cuando en este momento el ahorro energético o bien no existe o resulta muy pequeño, con eso y con todo se reduce el coste de mantenimiento por una duración de vida de los LED mayor que en el caso de la luminaria convencional y lámpara de descarga, pero si además se instala un idóneo sistema de control y regulación del flujo luminoso en función del horario nocturno o del volumen de tráfico de vehículos, se lograrán ahorros energéticos y económicos de cierta importancia, que parecen inclinar la balanza a la decisión de adoptar la solución de luminarias equipadas con LED.

Otra circunstancia límite para la utilización de los LED es la iluminación diurna de la entrada de los túneles, debido a los altos niveles luminosos que se precisan. En la actualidad en la iluminación de la entrada de los túneles se considera recomendable que el alumbrado de refuerzo se lleve a cabo mediante proyectores con lámparas de SAP, de forma que la iluminación de la entrada se efectúe conjuntamente por aparatos equipados con LED y proyectores con lámparas de SAP.

Es de destacar respecto al factor de utilización, que los valores proporcionados por las luminarias con LED son notablemente mayores que los alcanzados con las luminarias convencionales con lámparas de descarga, debido a la sobrada superior direccionalidad de la luz emitida por los LED.

En las instalaciones de alumbrado exterior, la eficiencia energética responde a la siguiente expresión

$$E = El.fm.f\mu \text{ en (m}^2\text{lux/W)}$$

De la referida expresión, se deduce que las instalaciones de alumbrado exterior ejecutadas con luminarias equipadas con LED, tienen una eficiencia energética bastante más elevada que si se llevara a efecto mediante luminarias convencionales con lámparas de descarga.

En las instalaciones de alumbrado interior el valor de la eficiencia energética de la instalación VEEL es el siguiente:

$$VEEI = \frac{1}{El.f_m.f_\mu} * 100 \text{ en (W/m}^2\text{lux)}$$

De manera que en alumbrado interior la instalación más eficiente energéticamente es aquella cuyo VEEI es mínimo, lo que sucede cuando el producto $El.f_m.f_\mu$ es máximo, circunstancia que tiene lugar con luminarias dotadas con LED, frente a las convencionales con lámparas tradicionales (incandescentes, halógenas, fluorescentes, etc.) por las razones esgrimidas antes.

Según el libro Verde "Iluminemos el Futuro" de la Comisión Europea (Bruselas 15/12/2011), en la actualidad entre los inconvenientes que presentan los LED, pueden considerarse los siguientes:

- En muchos casos los productos LED son de mala calidad, por lo que los consumidores observan que la duración de vida de estos productos es en realidad mucho más corta que la que se anuncia en los envases

Se considera por tanto, que el cumplimiento de unos requisitos mínimos de calidad es un factor fundamental para garantizar la satisfacción de los consumidores en la iluminación LED, lo que exige el establecimiento de un sistema eficaz de vigilancia de mercado.

- El coste de la compra inicial de los productos LED es alto, a pesar de los rápidos avances de dicha tecnología en materia de componentes y de procesos de fabricación, así como las fuertes inversiones realizadas por algunas empresas que están logrando que los costes desciendan considerablemente.
- Pese a ello, se prevé que todavía la tecnología LED seguirá siendo más cara que las otras tecnologías de iluminación existentes.
- Los usuarios de los LED generalmente no conocen bien las ventajas y posibilidades de dichas tecnología.
- La información sobre los productos LED es insuficiente o de mala calidad, lo que origina que el consumidor cuando decide comprar un producto tenga dificultad para elegir el adecuado.
- Los efectos sanitarios de los LED a veces suscitan preocupación al denominado "riesgo de la luz azul", respecto a los efectos que las lámparas LED puedan producir en la retina debido al componente espectral azul de su luz.

Según el “Comité Científico de los Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados” (CCRSERI), en principio no parece que se planteen riesgos concretos, aunque es cierto que dicho Comité recomienda que se estudien medidas contra el mal uso de la iluminación artificial en general.

- La normalización en el ámbito de la tecnología LED sigue en la actualidad presentando lagunas, incluso en materia de seguridad.

Pese a lo anterior, cuando la tecnología LED se combina con sistemas de gestión de luz inteligente, se puede ahorrar en algunos supuestos incluso hasta un 70% de la electricidad consumida para iluminación y reducir considerablemente los costes de mantenimiento en comparación con las tecnologías de iluminación.

A este respecto cabe señalar que las soluciones en alumbrado exterior basadas en la tecnología LED son capaces de proporcionar un ahorro energético de hasta un 60% sobre lámparas tradicionales de vapor de mercurio y, en algunos casos de hasta un 20% sobre lámparas de vapor de sodio de alta presión (SAP).

El alumbrado mediante LED une las cualidades de la incandescencia (encendido instantáneo y regulación del flujo luminoso), a las de las lámparas de descarga superándolas (eficacia luminosa, duración de vida, gama de temperaturas de color) a las cuales hay que añadir la direccionabilidad de la luz emitida, la miniaturización, la alimentación a muy baja tensión de seguridad, y los sistemas inteligente de regulación y control.

El futuro de los LED se anuncia muy prometedor, ya que se prevé el aumento de su eficacia luminosa (lm/W) y el incremento del rendimiento de color ($R_a > 90$) gracias a la mejor calidad de los polvos fluorescentes, así como también superior estabilidad de las temperaturas de color (mayor selectividad del triaje de los componentes).

Finalmente, las ganancias ligadas a la calidad de los componentes de los LED y a su gestión deberán traducirse en una mayor duración de vida de las soluciones de alumbrado LED.

3.2.4.1. Beneficios de la luz blanca en alumbrado exterior

La sensibilidad del ojo humano no es la misma para radiaciones de distintas longitudes de onda comprendidas dentro del espectro visible.

Las zonas de espectro visible en función de las longitudes de onda son las siguientes:

Violeta	380 a 450 nm
Azul	450 a 490 nm
Verde	490 a 550 nm
Amarillo	550 a 590 nm
Naranja	590 a 630 nm
Rojo	630 a 760 nm

Es de señalar que estos límites en las longitudes de onda para pasar de un color a otro tampoco tienen un carácter absoluto, dado que dicho paso se realiza de forma insensible.

Las longitudes de onda de las radiaciones ultravioletas están comprendidas aproximadamente entre 10 y 380 nm, mientras que el dominio de las radiaciones infrarrojas están englobadas entre 760 nm y alrededor de 10^6 nm.

La máxima sensibilidad del ojo humano tiene lugar en la llamada radiación Langley, situada entre 500 y 600 nm, que corresponde al color amarillo verdoso. La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) ha fijado una serie de valores de sensibilidad relativa $V(\lambda)$ a las diferentes longitudes de onda correspondientes al ojo medio normal, que debe tomarse como patrón en la medida de magnitudes fotométricas al objeto de eliminar el inconveniente de las variaciones en la sensibilidad del ojo humano, debido a las características de la persona, su edad, estado de salud y otros factores psicossomáticos individuales. La máxima sensibilidad corresponde a una longitud de onda de $\lambda=555$ nm.

En relación al efecto Purkynje se debe significar que para niveles de iluminación reducidos la curva de sensibilidad espectral $V(\lambda)$ o sensibilidad relativa del ojo medio normal, se desplaza hacia longitudes de onda más pequeñas, disminuyendo la sensibilidad al color rojo y aumentando para el color azul.

Por tanto, la CIE ha adoptado dos curvas de sensibilidad relativa, una para niveles de iluminación normales $V(\lambda)$ en visión fotópica o diurna, y otra para niveles de iluminación reducidas $V'(\lambda)$ en visión escotópica o nocturna, cuya máxima sensibilidad corresponde a una longitud de onda $\lambda=505$ nm.

La retina está constituida por neuronas especializadas que están interconectadas. La luz que proviene del exterior, mediante los fenómenos simultáneos de acomodación y adaptación, llega a la capa de fotorreceptores de la retina.

Estos fotorreceptores conteniendo pigmentos fotosensibles son de dos tipos: los conos puntiagudos en su triple variedad de azules, verdes y rojos, que dan lugar a la trivarianza visual y son responsables de la visión diurna o fotópica y la visión de colores, y los bastones adaptados a la visión de noche o escotópica.

La visión escotópica o nocturna se extiende desde el estímulo visible mínimo hasta aproximadamente $0,001 \text{ cd/m}^2$. Los bastones tienen la máxima sensibilidad a estas bajas intensidades luminosas.

La visión fotópica es aquella en la que los conos tienen su máxima sensibilidad en luminancias altas, aproximadamente por encima de $5 \text{ ó } 10 \text{ cd/m}^2$.

La visión mesópica corresponde al intervalo comprendido entre $0,001 \text{ cd/m}^2$ y $5 \text{ ó } 10 \text{ cd/m}^2$, en la que actúan entremezclados los conos y los bastones, pero con cierto predominio de la visión nocturna.

Los niveles de iluminación de las carreteras, entre $0,3 \text{ cd/m}^2$ y 2 cd/m^2 en su superficie, están incluidos en la visión mesópica, pero en la conducción nocturna, el conductor debe ser capaz de realizar varias tareas visuales a diferentes niveles de iluminación y la escena luminosa puede incluir luminancias en el rango fotópico (faros de los coches, luminarias), en el rango mesópico (superficie de la carretera, áreas adyacentes de la carretera) e incluso en el rango escópico (zonas más alejadas de la carretera, cielo con luna nueva).

Sin embargo, aunque el nivel de adaptación al ojo en la conducción nocturna no es constante en la región mesopica, las condiciones de iluminación vial son tales que las luminancias caen, en gran medida, en la región mesópica, y la tarea visual a desarrollar implica que tanto la visión foveal como la periférica sean necesarias.

Resulta ilustrativo en relación a lo anterior la Publicación CIE N°191 del año 2010, que comprende un informe técnico sobre el sistema recomendado para la fotometría mesópica, basado en el rendimiento visual cuando el ojo se adapta a los niveles de luminancia por encima del escotópico ($0,001 \text{ cd/m}^2$) y por debajo del fotópico (aproximadamente $5 \text{ o } 10 \text{ cd/m}^2$), y donde los bastones y los conos contribuyen a la visión.

El nivel de luminancia es uno de los parámetros más críticos para definir el rendimiento visual. Bajo condiciones típicas de conducción nocturna, los niveles de adaptación del conductor tienden a estar en valores mesópicos medios o altos. El límite superior de luminancia en visión mesópica no puede ser definido con precisión, ya que depende de varios factores, incluyendo la cromaticidad, el tamaño y la posición del objeto visual en el campo de visión. No obstante, dicho límite se estima, como se ha indicado, por debajo de 10 cd/m^2 aproximadamente.

Otro de los parámetros que definen el rendimiento visual es el contraste que, en condiciones de conducción nocturna, depende de las propiedades de reflectancia del objeto y de la geometría de la instalación de iluminación, así como de la localización del objeto en relación con las luminarias. Las características espectrales de los objetos y los exteriores visuales están definidos por las fuentes de iluminación y las propiedades de reflectancia del entorno y los objetos.

El tamaño y la excentricidad también definen el rendimiento visual, dado que en la conducción de vehículos son necesarias tanto la visión central o fóvea como la periférica.

Para la visión en eje o visión central relativa a objetos pequeños ($<2^\circ$) se ha demostrado que la función $V(\lambda)$ proporciona una predicción aceptablemente buena para el método de rendimiento de la región mesópica, ya que la visión fóvea está dominada por los conos.

En la visión periférica, los bastones también contribuyen a la visión y esta se traduce en cambios en la sensibilidad espectral, que dependen tanto de la excentricidad del objeto en la línea de la vista como del tamaño del objeto. Así, una caracterización completa de la sensibilidad espectral mesópica, requerirá de una serie de funciones espectrales ponderadas, al objeto de tener en cuenta estos efectos.

El uso de la excentricidad de 10° del objeto es también coherente con la función de eficiencia luminosa espectral escotópica $V'(\lambda)$.

Otro de los parámetros para definir el rendimiento visual lo constituyen las características espectrales de la fuente de luz (lámpara o LED), definidas por la relación (S/P) o cociente entre la salida luminosa de la fuente de luz evaluada según la función de eficiencia luminosa espectral escotópica $V'(\lambda)$ de la CIE, y la salida luminosa valorada según la función de eficiencia luminosa espectral fotópica $V(\lambda)$, asimismo de la CIE.

La relación (S/P) es particularmente útil como indicador respecto a su efecto sobre la sensibilidad espectral mesópica, considerando que en el mercado existen disponibles lámparas de vapor de sodio de baja presión con una relación (S/P) aproximadamente de 0,23, mientras que las de halogenuros metálicos de luz blanca cálida con una relación de (S/P) del orden de 1, 2 e incluso de 2,40 para dichas lámparas en la modalidad de luz natural con alto contenido en la región de ondas cortas y, finalmente, los LED blancos fríos con un (S/P) aproximado de 2,20.

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión (SAP), muy utilizadas en las instalaciones de alumbrado exterior, debido a su contenido relativamente alto de emisiones de longitudes de onda largas, tiene una baja relación (S/P) del orden de 0,60, lo que sugiere que la lámpara de SAP no es necesariamente la fuente de luz óptima para bajos niveles de luminancia existentes en las instalaciones de alumbrado de carreteras.

La luz blanca presenta ventajas, dado que mejora el contraste de los colores y el reconocimiento de los objetos y personas, como en el caso de los LED que proporcionan luz blanca con mayor contenido en la región de longitudes de onda del color azul, que son más eficaces en el rendimiento visual en la iluminación de carreteras.

La publicación CIE nº 191 recomienda para la fotometría mesópica basada en el rendimiento visual, el sistema intermedio MES 2, con un límite de luminancia superior a 5 cd/m² y un límite de luminancia inferior de 0,005 cd/m², y establece una tabla que muestra las diferencias entre las luminancias mesópica y fotópica en tanto por ciento, calculadas con este sistema intermedio recomendado, en un rango de relaciones (S/P) de las fuentes de luz de 0,25 a 2,65.

En dicha tabla las fuentes de luz (lámparas y LED) con una salida relativamente alta en la región de longitudes de ondas cortas, es decir, con una relación (S/P > 1) tienen un aumento sobre los valores de luminancia fotópica, cuando se miden utilizando el sistema recomendado por la publicación CIE nº 191, mientras que las fuentes de luz con una salida relativamente alta en la región de las ondas largas (S/P < 1) tienen una disminución sobre los niveles de luminancia fotópica al emplearse el referido sistema mesópico recomendado (MES 2).

En la actualidad se usan muchas fuentes de luz para la iluminación de carreteras que tienen una relación (S/P) entre valores de 0,65 (lámparas de SAP), 2,20 (LED blancos fríos) y 2,50 (algunas lámparas de halogenuros metálicos). Si para calcular la luminancia efectiva de estas fuentes de luz, concretamente en lámparas de SAP y LED blancos fríos, en lugar de aplicar la función de eficiencia luminosa es-

pectral fotópica se utiliza el sistema mesópico recomendado (MES 2), se produce un cambio en los valores de la luminancia.

Por ejemplo, según la referida tabla de la Publicación CIE nº 191, si a una luminancia de 0,3 cd/m² evaluada por el sistema espectral fotópico se le aplica el sistema mesópico (MES 2), se obtiene como resultado una variación en los valores de la luminancia comprendido entre -8% (0,275 cd/m²) para lámparas de SAP y +21% (0,363 cd/m²) para LED blancos fríos. Para una luminancia de 0,5 cd/m² la alteración de los valores de luminancia oscila entre -6% (0,470 cd/m²) para lámparas de SAP y +16% (0,58 cd/m²) para LED blancos fríos, mientras que para 1 cd/m² dicha modificación varía entre -4% (0,96 cd/m²) para lámparas de SAP y +11% (1,110 cd/m²) para LED blancos fríos.

Si en el caso de una luminancia de 1,5 cd/m² valorada por el sistema espectral fotópico, se le aplica el sistema mesópico recomendado (MES 2) se alcanza como resultado un cambio en los valores de luminancia englobado entre -3% (1,455 cd/m²) para lámparas de SAP y +8% (1,620 cd/m²) para LED blancos fríos. Por último en el supuesto de 2 cd/m² la alteración en los valores de la luminancia fluctúa entre -2% (1,960 cd/m²) para lámparas de SAP y +6% (2,120 cd/m²) para LED blancos fríos.

A la vista de los posibles beneficios de la luz blanca, existe una tendencia incipiente a la propuesta de reducir los niveles luminosos exigibles, como por ejemplo, la luminancia e iluminancia media, cuando se utilice luz blanca como la emitida por los LED, frente a la luz amarillo-anaranjada de las lámparas de SAP, como se ha manifestado en algunos estudios, recomendaciones y estándares como el británico B5 5489-1:2003.

A pesar de todo ello, con cierta prudencia, la propia Publicación CIE nº 191 literalmente señala: "...los resultados de las pruebas que aquí se presentan no deben considerarse como concluyentes, sino más bien indicativos del comportamiento general de los sistemas candidatos con los cambios en las condiciones visuales y de iluminación".

A mayor abundamiento, la tabla de la Publicación CIE nº 191 se ha elaborado con los resultados de las pruebas realizadas con observadores de edades inferiores a 35 años (rango entre 20 y 35 años), por lo que no resulta representativa dado que con la edad se amarillea el cristalino del ojo y, consecuentemente, se perciben menos e incluso se pierden los colores azul y verde de corta longitud de onda.

3.2.4.2. Consideraciones sobre los LED en alumbrado interior

Como se ha señalado en los capítulos relativos al alumbrado interior, aun cuando las características de los LED en lo atinente a su luz direccional, pequeño tamaño y elevado brillo, suelen ser muy ventajosas en aplicaciones específicas como el alumbrado de acento, por el contrario en el alumbrado general de oficinas, edificios públicos, centros de educación o comercios al por menor, estas características de los LED pueden ocasionar problemas en lo que incumbe a los aspectos cualitativos de la iluminación.

Por otra parte, la combinación de la inconsistencia o variabilidad del color y del flujo luminoso, así como del pequeño tamaño de la fuente de luz, puede conducir a diferencias notables que afectarán a la calidad percibida de la solución de iluminación con LED.

En las luminarias LED debe distinguirse entre fuentes puntuales o módulos LED visibles que originan estímulos no uniformes, y aquellas fuentes de luz que tienen alguna clase de difusor o lente que producen grandes superficies iluminadas, o bien están equipadas con rejillas o paralúmenes que dan como resultado fuentes de luz apantalladas de modo conveniente.

De conformidad con la experiencia de campo, en alumbrado interior parece que la apariencia de las luminarias LED puede en sí mismo inducir a una sensación de agitación o inquietud, especialmente cuando la fuente de la luz está constituida por un gran número de LED con alto brillo visibles directamente, lo cual podría impactar en el bienestar, en la fatiga visual, así como en las prestaciones del alumbrado.

Asimismo, en estos casos en los que el propio LED o el conjunto de los mismos es claramente visible, estas fuentes de luz con pequeño tamaño con elevado brillo parecen inducir más deslumbramiento que, por ejemplo, una luminaria fluorescente de las mismas dimensiones y luminancia media.

Aunque no es una característica específica de los LED, pero probablemente resulta más destacable para los sistemas de iluminación LED, inicialmente se estima que las fuentes de luz con una temperatura de color correlacionada más elevada (contenido en longitud de onda corta mayor), causan más deslumbramiento.

En alumbrado interior teniendo en cuenta la direccionabilidad de la luz emitida por los LED, los niveles de luminancia vertical en los locales podría caer, en comparación con las condiciones de iluminación producidas por una solución de

alumbrado convencional que facilita una iluminancia de la tarea equivalente a la de los sistemas LED.

Las soluciones con lámparas fluorescentes son más difíciles de controlar ópticamente, pero la luz propagada de forma dispersa frecuentemente resulta útil, porque incluye los planos verticales del espacio iluminado. El ajustado control óptico que ofrecen los LED puede eliminar esta cualidad, a menos que los diseñadores del alumbrado mediante LED sean conscientes de la preponderancia de la apariencia del local iluminado.

En alumbrado interior las sombras pueden ser útiles, creando contraste entre una huella de escalera y el siguiente escalón. Las sombras son críticas para establecer el necesario contraste que mejore la visibilidad de los objetos y caras, al tiempo que ayuda al observador a apreciar, verbigracia, los detalles y sutilezas de los objetos y elementos esculturales.

Si el tamaño de las luminarias es demasiado pequeño se pueden producir sombras duras, o cuando se utilizan LED en una agrupación o módulo con cada LED emitiendo luz en una dirección diferente, se ocasionan múltiples sombras, con la consiguiente interferencia en el rendimiento de la tarea visual, alcanzando a causar distracciones u originar confusión en los usuarios.

A menudo, como medida correctora eficaz para mitigar las sombras creadas a partir de los LED, se considera recomendable la instalación en la luminaria de una lente difusa simple o una superficie reflectante blanca (translúcida).

La diferencia de color blanco entre los LED es inherente al proceso de producción de los mismos, de ahí que como se ha indicado anteriormente debido a esta variación del tono de luz (blanco frío o cálido), los fabricantes seleccionan los LED en diferentes categorías según el flujo luminoso, tensión y su temperatura de color, debiendo efectuarse una rigurosa selección merced a un escrupuloso triaje denominado *binning*, teniendo en cuenta que la tonalidad blanco cálida es más difícil de obtener que la blanca fría.

Los fabricantes que no realizan un triaje selectivo riguroso exponen a sus clientes a prestaciones deficientes de sus productos, como la variación del color blanco de la luz emitida a lo largo del tiempo de funcionamiento de los LED, o el aspecto heterogéneo de la superficie iluminada por los mismos.

En otro orden de cuestiones, la visibilidad del parpadeo, entendida como la sensación de inestabilidad de la percepción visual inducida por un estímulo lumi-

noso cuya luminancia o distribución espectral fluctúa con el tiempo, depende de muchos parámetros como la frecuencia, profundidad y la forma de la modulación, así como la amplitud media de la salida, el ciclo de servicio, las diferencias cromáticas dentro de un ciclo periódico, la luminancia media del ambiente o fondo del espacio, etc.

La interacción del parpadeo y del movimiento hace más perceptible el parpadeo para las personas, y puede llegar a producir efectos estroboscópicos cuando el objeto parezca moverse en forma discreta o discontinua en lugar de en forma continua.

Según la Publicación de la Comisión Internacional de Iluminación CIE nº 205 del año 2013, lo más importante es la sensibilidad de las personas, ya que poblaciones pequeñas pero significativas, tales como los afectados de epilepsia, autismo, jaquecas o migrañas, pueden tener serias reacciones al parpadeo dado que, de forma visible o invisible, la variación periódica del flujo luminoso suele ocasionar como resultado una respuesta neurológica. Bien entendido que ello no solamente afecta al bienestar de ciertas poblaciones, sino que también en general reduce las prestaciones visuales y aumenta el cansancio ocular (Wilkins, Veith y Lehman, 2010).

Los dispositivos de alimentación (*drivers*) de los LED llegan a producir parpadeo y el flujo luminoso emitido por los LED puede cambiar a una frecuencia relativamente baja. Se ha observado una amplia variedad de comportamiento de parpadeo fotométrico (Paget, 2011).

Igualmente, la regulación del flujo de los LED puede acentuar la modulación de los LED y, consecuentemente, la percepción del impacto del parpadeo que para los sistemas de iluminación LED constituye un parámetro de calidad a considerar.

Por tanto, en alumbrado interior se puede manifestar que el parpadeo y los efectos estroboscópicos son indicadores importantes de la calidad de la iluminación LED, por lo que se precisa desarrollar una medida eficaz que pueda ser utilizada para predecir tanto el parpadeo como los aludidos efectos estroboscópicos, que permita adoptar, en su caso, las medidas correctoras que procedan.

En lo que incumbe a la fatiga visual, una condición exigible a la iluminación de buena calidad es que ayude a las personas a trabajar sin ella que, según varios estudios actuales, evalúan la fatiga visual utilizando la frecuencia de fusión crítica de parpadeo, el tiempo de respuesta de acomodación, la convergencia de

punto y, por último, la disminución del área de acomodación, definida por el valor de integración de la curva de respuesta cuando hay presentes estimulaciones próximas (Takeda 1988), rendimiento de la tarea (por ejemplo tiempo de lectura) o informes subjetivos de fatiga visual.

Los resultados de experimentos sobre fatiga visual con tareas en pantallas de ordenador, han puesto de manifiesto que los sistemas de iluminación con distribución de energía espectral amplia tienen ventajas sobre los de distribución estrecha (Takeda 1988).

Como se ha destacado reiteradamente, los LED pueden parpadear especialmente durante el proceso de regulación. El fenómeno de parpadeo es un factor que disminuye la sensibilidad del ojo humano y que podría disparar la fatiga visual, por lo que de acuerdo con la Publicación CIE nº 205 (Cao y col 2011), han propuesto en orden a su limitación, un método de regulación óptimo de los LED orientado a mantener la máxima agudeza visual.

Tal y como se ha hecho constar en el capítulo relativo al alumbrado de lugares de trabajo, la Comisión Internacional de Iluminación en su Publicación CIE nº 205 de 2013 establece, entre otras, la siguiente conclusión:

- El parpadeo y los efectos estroboscópicos no son tratados de manera apropiada por las medidas corrientes. La investigación está avanzando para desarrollar una nueva medida que ayudará a tratar la molestia y distracción al parpadeo y de los efectos estroboscópicos.

3.2.5. Actuaciones en la iluminación LED

Como se ha reseñado al comienzo de este apartado, los LED tienen sus inconvenientes y contras, pues no siempre cumplen las afirmaciones de los fabricantes ni el contenido informativo que acompaña al producto, entre otros extremos, en lo referente al mantenimiento del flujo luminoso y a los criterios de calidad a través de la vida útil.

Lo que se agrava considerando que en los últimos años el mercado de la iluminación se ha visto invadido por una gran cantidad de nuevos profesionales, fabricantes e importadores que introducen en el mercado, por ejemplo, luminarias LED cuya calidad está por demostrar.

Algunos de ellos efectúan afirmaciones, proporcionan datos y prescripciones dudosas sobre el rendimiento de sus productos que, además de resultar demasiado optimistas para ser ciertas, no vienen suficientemente avaladas por una base técnica.

Todos los agentes involucrados, como poner por caso, los prescriptores y diseñadores de iluminación necesitan saber cuánto tiempo va a mantener la luminaria LED un porcentaje significativo de flujo luminoso inicial, en relación a los años de funcionamiento de la misma.

Tal y como se presenta la cuestión puede resultar difícil saber en quien confiar o qué creer, si no se aplican una serie de criterios de calidad normalizados y, por tanto, compatibles, siempre que se evalúen las afirmaciones, datos y prescripciones proporcionadas por los fabricantes.

En razón a ello, existen tres elementos que se pueden normalizar: las definiciones técnicas, Los métodos de medición y los valores límite, para lo cual deben aplicarse normas armonizadas que establezcan los criterios de calidad y la manera de medirlos, para llevar a cabo las correspondientes comparaciones de los productos LED ofertados por los distintos fabricantes e importadores.

Hoy día, muchos fabricantes de luminarias LED utilizan resultados que generalmente proporciona la prueba LM-80, como el umbral de mantenimiento del flujo luminoso L_{90} , L_{70} y L_{50} de las luminarias LED. La prueba o ensayo LM-80, que se basa en lo dispuesto en la norma IES LM-80-08 sobre medición del mantenimiento de flujo de fuentes de luz LED (Sociedad de Ingeniería de la Iluminación de Norteamérica), que ejecuta una medición real durante las primeras 6.000 horas de funcionamiento, con una extrapolación hasta el final de la vida útil.

Por tanto, LM-80 requiere ensayar las fuentes de luz LED durante 6.000 horas y recomienda hacerlo durante 10.000 horas, pero se debe practicar la prueba a tres temperaturas diferentes de superficie (55° C, 85° C y una tercera a determinar por el fabricante), de manera que los usuarios puedan conocer los efectos de la temperatura en el flujo luminoso emitido. Además, el ensayo LM-80 especifica condiciones de prueba para garantizar resultados constantes y comparables.

En la práctica, generalmente los fabricantes líderes de fuentes de luz LED prueban sus productos de acuerdo con los mínimos de 6.000 o 10.000 horas que propone el ensayo LM-80, y después aplican los métodos de extrapolación descritos en la TM-21 para llegar posteriormente a los valores L_{90} , L_{70} y L_{50} . Los fabricantes de luminarias traducen y trasladan después estos valores a curvas específicas de mantenimiento de luminarias LED.

Se sabe que las recomendaciones TM-21 se asientan en lo determinado en la norma IES TM-21-11 sobre proyección a largo plazo del mantenimiento del flujo luminoso de módulos LED (Sociedad de Ingeniería de la Iluminación de Norteamérica).

Sin embargo, a la hora de traducir y trasladar los resultados de la prueba LM-80 y la proyección a largo plazo del mantenimiento del flujo luminoso, siguiendo las recomendaciones TM-21, a curvas específicas de mantenimiento de luminarias LED existen dos limitaciones:

- Primera

El fallo catastrófico de los LED individuales y otros tipos de errores o fallos que contribuyen a la depreciación del flujo luminoso en un módulo LED, no se tiene en cuenta en una luminaria LED.

- Segunda

Todavía no existe un procedimiento totalmente válido para traducir y trasladar la curva de mantenimiento del flujo luminoso de una fuente de luz LED, a una curva de mantenimiento de luminaria LED.

Por otro lado, la vida útil de la luminaria LED también tiene que ver con la fiabilidad de los componentes de la misma, incluyendo los LED, el circuito electrónico, los materiales, la caja donde va alojado, el cableado, los conectores, aislantes, etc.

El sistema en su totalidad dura solamente lo que persista el componente crítico que tenga la vida útil más corta, con independencia de que dicho componente sea un aislante, una junta o un elemento óptico, un LED, un circuito de control electrónico o cualquier otro elemento.

Desde este punto de vista, las fuentes de luz LED son simplemente un componente crítico entre otros muchos, aunque frecuentemente constituyen el producto de mayor fiabilidad de todo el sistema de iluminación.

Por otra parte, si una luminaria LED está equipada con un módulo LED reemplazable, la vida útil de la luminaria puede ser distinta de la del módulo LED, lo que acerca la vida de la luminaria LED a la actual definición de vida útil de la luminaria equipada con fuentes de luz convencionales (lámparas de descarga).

Por ejemplo, la vida útil de las luminarias convencionales de alumbrado exterior a menudo llega a los 30 o 40 años. Pese a ello, es preferible informar de la vida útil del módulo LED como la vida útil de la luminaria LED.

Los fabricantes solventes y fiables de luminarias LED emplean muchos recursos, tiempo y esfuerzos en el diseño y desarrollo de todos los aspectos de un sistema de iluminación, incluyendo los algoritmos de control, la disipación del circuito, la calidad de los componentes, la gestión de la temperatura, fotometría (ópticas), diseño mecánico y equipo auxiliar (driver).

El diseño de la luminaria LED se valida normalmente mediante una serie de ensayos de laboratorio que verifican si la luminaria cumple los niveles esperados de eficiencia, flujo luminoso, disipación del calor, etc. considerando que todas las características son interdependientes y, por tanto, el rendimiento operacional únicamente se puede determinar probando la luminaria LED como un sistema integrado.

En adecuación con la normativa de la Comisión Electrónica Internacional IEC 62717, IEC 62722-1 e IEC 62722-2-1, la vida útil de una luminaria siempre se debe establecer como una combinación de vida útil con mantenimiento del flujo luminoso (L_x) y el porcentaje de fallo (F_y), considerando también la temperatura ambiente de funcionamiento.

No debe olvidarse, que al tratarse de una tecnología relativamente nueva con una vida útil previsiblemente muy larga, es difícil encontrar información fiable sobre los índices de fallo catastrófico de componentes individuales.

A ello hay que añadir la existencia en muchos casos de falta de transparencia en las proyecciones efectuadas en el factor de mantenimiento luminoso, tanto por parte de los fabricantes de lámparas y módulos LED, como por los fabricantes de luminarias LED.

El problema a resolver consiste en cómo los prescriptores, diseñadores de iluminación, ingenieros y técnicos pueden evaluar si los datos y cifras que un fabricante ofrece sobre la vida útil y el mantenimiento del flujo luminoso en el transcurso del tiempo de funcionamiento de una luminaria LED, es precisa y se ajusta a la realidad.

Se estima primordial disponer de información técnica fiable y exacta, debidamente avalada por los correspondientes ensayos de las fuentes de luz y luminarias LED.

En todo caso, los criterios de calidad que se deben adoptar son los siguientes:

1. Potencia nominal de la luminaria.

2. Flujo luminoso nominal.
3. Intensidad luminosa.
4. Eficacia luminosa y rendimiento de la luminaria.
5. Factor de utilización.
6. Eficiencia Energética de las instalaciones de alumbrado
7. Distribución de la intensidad luminosa.
8. Código fotométrico.
9. Vida nominal de la Lámpara y módulo LED.
10. Porcentaje del fallo de la Lámpara y módulo LED.
11. Temperatura ambiente entorno de la luminaria LED.

3.2.5.1. Modificación de luminarias en alumbrado exterior

Actualmente en algunas instalaciones de alumbrado exterior se están efectuando modificaciones en las luminarias existentes, que en su día fueron diseñadas con una determinada fotometría ajustada a las lámparas de descarga, utilizando hoy por hoy dichas luminarias sin variar sus ópticas (reflector, refractor o cierre etc.), pero ahora dotándolas de lámparas y módulos LED.

En concreto, los dos tipos de actuaciones más frecuentes son las siguientes:

- Sustitución de las lámparas de descarga (vapor de sodio y halógenos metálicos) por lámparas LED de conexión directa.
- *Retrofit* de la luminaria consistente en cambiar el diseño original y “cortocircuitar” componentes eléctricos para situar en su lugar placas o módulos LED.

Ambas transformaciones pueden resultar peligrosas, en el supuesto de no ejecutar los ensayos correspondientes que demuestren se cumplimentada toda la legislación y normativa vigente que afecta a la luminaria modificada, además de la problemática que dichos cambios pudiera originar en la instalación en cuanto a su seguridad y prestaciones lumínicas.

Desde el punto de vista estrictamente técnico, los efectos de las mencionadas alteraciones en las luminarias existentes son obvios ya que, entre otros, se pueden ocasionar problemas de calentamiento, contactos eléctricos indebidos y de compatibilidad electromagnética, con grave afección a la instalación eléctrica del alumbrado exterior.

Como consecuencia de dichas actuaciones, también varían sustancialmente los parámetros luminotécnicos, tales como la distribución de la intensidad luminosa, temperatura de color, índice de reproducción cromática, etc. asociados a la seguridad viaria, confort visual y eficiencia energética de la instalación.

Todo ello da lugar a alumbrados exteriores con distintos y dispares niveles de iluminación a lo largo y ancho de los viales iluminados, con una considerable caída de la uniformidad y, por consiguiente, mayores sombras, con alteración del factor de utilización, así como superiores deslumbramientos y valores de luz intrusa o molesta, lo que constituye una severa infracción de lo dispuesto en el Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior.

A estos efectos no debe olvidarse que, tanto la bajada de los niveles de iluminación, como el desplome de la uniformidad, y el aumento del deslumbramiento, conllevan una importante disminución de la “probabilidad de visión” o “poder revelador” RP, como se pone de manifiesto en el Anexo III de la Guía Técnica de Aplicación del Reglamento e Instrucciones Técnicas Complementarias de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, con lo que ello implica para la seguridad viaria de peatones y vehículos.

A mayor certidumbre, existe un aspecto técnico al que habitualmente se presta poca atención a pesar de su trascendencia, como es el peso de la fuente de luz, en este caso lámpara LED que se acopla en el portalámparas de la luminaria existente que está previsto para lámparas de descarga, ya que con arreglo a la norma europea EN 62560 existen unos límites máximos en el peso de la fuente de luz que puede soportar el portalámparas (E-27, E-14, bayoneta etc.), fuera de los cuales no se puede garantizar la seguridad de la luminaria.

En alumbrado exterior el peso de una lámpara LED es nueve veces superior que el de las otras tecnologías existentes en el mercado (lámparas de descarga) y, por tanto, este efecto del peso de la fuente de luz junto con la vibraciones y otras acciones mecánicas derivadas de la implantación de las luminarias a la intemperie, obligan a realizar nuevos ensayos para verificar que el portalámparas es capaz de soportar el peso de la nueva lámpara LED.

En el caso de portalámparas E-40, normalmente utilizado en alumbrado exterior y que no está incluido en la norma EN 62560, la situación es mucho más crítica, con un alto porcentaje de probabilidades de que se produzca la rotura del mismo.

Aun cuando es posible en el alumbrado exterior la adaptación o modificación de luminarias fabricadas para lámparas de descarga, a luminarias para lámparas y módulos LED, al tratarse de tecnologías diferentes, se recomienda que las luminarias LED sean de nuevo diseño específico para fuentes de luz LED, aunque si cumplen las correspondientes prescripciones, resultará admisible la referida adaptación o modificación de luminarias.

Como se ha hecho constar reiteradamente, las luminarias como cualquier producto eléctrico o relacionado con la energía, se encuentran incluidas en el ámbito de una serie de Directivas de la Unión Europea, entre otras, la Directiva 2004/108/CE de compatibilidad electromagnética, Directiva 2006/95/CE de baja tensión, Directiva 2009/125/CE sobre requisitos de diseño ecológico y Directiva 2010/30/UE relativa al etiquetado energético, así como Reglamentos de aplicación y Normas armonizadas, lo que supone que las luminarias siempre deben llevar el “mercado CE” y la etiqueta energética.

Cuando una empresa, instalador o particular lleva a la práctica alteraciones de las características esenciales de las luminarias, tales como eliminar el balasto y/o el arrancador, puentearlo o cortocircuitarlo, instalar una fuente de luz (lámpara y módulo LED) no compatible con el diseño efectuado por el fabricante inicial de la luminaria, se convierte automáticamente en el fabricante de dichas luminarias y, por ende, es responsable de las mismas a todos los efectos.

El autor de dichas adaptaciones o modificaciones de las luminarias deberá realizar de nuevo el “mercado CE”, con la correspondiente declaración de conformidad, quedando el fabricante original de la luminaria diseñada para lámpara de descarga y después modificada para LED por un tercero, eximido de cualquier responsabilidad.

Sin perjuicio de considerar los aspectos que afectan a la propiedad industrial y a la competencia desleal practicada por el autor de la modificación de la luminaria, al asociar el producto alterado con el fabricante inicial de la luminaria, resulta imprescindible identificar al agente responsable de la transformación de la luminaria a tecnología LED, puesto que de no ser así, habría que recabar la responsabilidad en el “propietario final” de la instalación que, en el caso de alumbrados exteriores, son mayoritariamente los Ayuntamientos, Comunidades Autónomas y demás Organismos de la Administración Central.

Una modificación del tipo descrito, en la que se cambian radicalmente la fuente de luz, se alteran las características esenciales de la luminaria, anulando los ensayos y certificados de garantía que la amparaban, al tiempo que exonera de responsabilidad al fabricante original que puso la luminaria en el mercado, sin que se haya llevado a efecto por el autor de la modificación el nuevo "marcado CE", puede causar graves contratiempos fundamentalmente en la seguridad de los ciudadanos.

Hay que tener presente que según lo regulado por el Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, todas las instalaciones de alumbrado exterior deben disponer de un proyecto luminotécnico o memoria técnica de diseño, plan de mantenimiento y etiquetado de la calificación energética de la instalación, lo cual es exigible en nuevas instalaciones, modificaciones y ampliaciones de las existentes superiores al 50% de la potencia o luminarias instaladas, e incluso las inferiores al 50% cuando se presuma que mediante actuaciones parciales sucesivas se pretende modificar o renovar más del referido 50%.

En resumen, para evitar prácticas fraudulentas deben cumplirse las exigencias de la Unión Europea en lo referente al diseño ecológico, marcado CE, etiquetado energético y normas armonizadas, así como lo dispuesto en la normativa de aplicación expuesta en éste capítulo.

3.2.6. Recomendaciones para la iluminación LED

Para acometer adecuadamente una iluminación LED se proponen una serie de recomendaciones que a continuación se exponen:

1. Se verificará que las lámparas y módulos LED y las luminarias donde estén instaladas son compatibles.
2. Se comprobará que el portalámparas de la luminaria es capaz de soportar el peso de la fuente de luz LED.
3. Se concretará la potencia nominal, el número de LED, la intensidad eléctrica y el consumo total de la luminaria LED incluido el equipo auxiliar (*driver*), en vatios (W).
4. Respecto al equipo auxiliar (*driver*) se especificará el rango de temperaturas de funcionamiento, consumo y vida del equipo auxiliar en horas.
5. Se detallará el sistema óptico adoptado de la luminaria LED y, en el caso de alumbrado exterior, se significará su alcance y dispersión.

6. Se facilitará el código fotométrico de seis dígitos, en el que constarán los valores iniciales del índice de rendimiento de color (IRC), la temperatura de color correlacionada (TCC), las coordenadas de cromaticidad iniciales y mantenidas, así como el mantenimiento del flujo luminoso.

La medición del rendimiento de color se efectuará de conformidad con lo establecido en la Publicación CIE nº 13-.3 y en la Publicación nº 177.

7. En lo referente a la fotometría, será suministrada la matriz de intensidades y las curvas fotométricas, determinándose el flujo total emitido por la luminaria LED y, en su caso, el flujo hemisférico superior instalado (FHS instalado).
8. Se señalará el rendimiento (n) de la luminaria, así como el factor de utilización (f_u).
9. Se significará la eficiencia energética.

La medición de la distribución de la intensidad luminosa se realizará de acuerdo con lo dispuesto en la Publicación CIE nº 121 y en la norma IEC/TR 61341.

Como se ha evidenciado precedentemente, la vida útil de la luminaria LED depende del mantenimiento del flujo total emitido por la luminaria, del porcentaje de fallo del módulo LED y de la temperatura ambiente de funcionamiento, por lo que se recomienda:

10. Respecto al flujo luminoso y vida de la luminaria, se cumplirá para una duración de 50.000 horas que el flujo luminoso no descienda por debajo del 80% del flujo inicial, con una tasa máxima de fallo de LED de un 10% a la temperatura ambiente de funcionamiento de 25 °C, es decir, L80 B10 50.000 horas $t_q = 25$ °C.
11. El factor de supervivencia de la lámpara LED (FSL) a las 6.000 horas, será igual o superior a 0,95.
12. El factor de mantenimiento del flujo luminoso de la lámpara LED (FMFL) a las 6.000 horas, será igual o superior a 0,85.
13. El índice de rendimiento de color (IRC) será como mínimo $R_a > 70$.
14. Normalmente la temperatura de color correlacionada (TCC) oscilará entre 2.700 k y 5.800 k. Temperaturas de color fuera de dicho intervalo deberán justificarse, aun cuando se aconseja no utilizar fuentes de luz

LED con temperatura de color superior a 4500 k en las instalaciones de alumbrado exterior.

15. Las características colorimétricas deberán mantenerse a lo largo de la vida de la fuente de luz y luminarias LED.
16. En todos los casos la eficacia luminosa, considerando el rendimiento de la luminaria LED, deberá ser superior a 80 lm/W.
17. En lo relativo a la estanqueidad de la luminaria LED para alumbrado exterior se recomienda sea IP66, exigiéndose como mínimo IP 65.
18. Se especificarán las características de la luminaria LED respecto al material del cuerpo y protector, sistema de cierre y apertura, tipo de fijación mecánica y demás características que definan su calidad y adecuación para cada aplicación, especialmente para el alumbrado exterior.
19. Cada luminaria LED dispondrá de un sistema capaz de gestionar de forma independiente el flujo luminoso emitido, reduciéndolo como mínimo hasta un 20% del valor nominal.
20. En los cálculos luminotécnicos a realizar en el dimensionamiento de las instalaciones de alumbrado exterior podrá considerarse como máximo un factor de mantenimiento $f_m = 0,85$. Cualquier valor del mencionado factor superior a 0,85 deberá justificarse adecuadamente.

Dichos cálculos deben ejecutarse considerando el factor total de mantenimiento, es decir, el producto del factor de mantenimiento del flujo luminoso del módulo LED al final de su vida útil, por el factor de supervivencia del mismo y, finalmente, por el factor de depreciación de la luminaria entre dos operaciones de mantenimiento, en función de su estanqueidad (IP), naturaleza de su cierre (vidrio o plástico) y del grado de contaminación de la zona de implantación de la instalación.

La alimentación de los LED se realiza en corriente continua mediante una fuente de suministro de dicha corriente denominada *driver*, que puede utilizar dos métodos fundamentales de gestión para variar el flujo luminoso de los LED: la regulación continua y la regulación pulsada PWM (*pulse with modulation*).

Al respecto se deberá cumplir lo dispuesto en la norma UNE-EN 61347-2-13, en lo relativo a los requisitos particulares para dispositivos de control electrónicos alimentados con corriente continua o corriente alterna para

módulos LED, y la norma UNE-EN 62384 en lo referente a las prescripciones de funcionamiento de dichos dispositivos. Todo ello además de ajustarse a lo establecido en la norma UNE-EN 62031 correspondiente a las exigencias de seguridad de los módulos LED para iluminación general.

La vida de los *drivers*, al estar constituidos fundamentalmente por elementos electrónicos, va a depender de la temperatura que alcancen durante su funcionamiento, así como de la temperatura del ambiente de su entorno.

Para asegurar e impedir que se supere la temperatura máxima de funcionamiento, los *drivers* deberán dotarse de un control remoto de la temperatura de los módulos, por medio de una sonda y de manera que el equipo permanezca encendido a potencia reducida en lugar de apagarse, lo cual se recomienda llevar a cabo mediante la técnica de PWM, para evitar que varíe el color de la luz emitida.

Los alimentadores de LED (*drivers*) deberán estar dotados de aislamiento galvánico entre la entrada de red y la salida a LED. Además resultará necesario establecer un aislamiento entre los circuitos de los LED y las partes metálicas accesibles.

A ese tenor, en alumbrado exterior se recomienda proteger los *drivers* adecuadamente frente a los agentes atmosféricos y tormentas meteorológicas, principalmente entre nubes y tierra con sobrecargas eléctricas (rayos).

Será preciso garantizar la vida media de los sistemas de alimentación y regulación (*drivers*) de los LED, de modo que en todos los supuestos la vida útil de los equipos auxiliares (*drivers*) se ajustará a la vida útil de la luminaria LED.

Se debe utilizar una acertada intensidad de corriente que asegure un nivel de iluminación adecuado y se recomienda utilizar la mínima posible, con la finalidad de preservar la vida de los LED. A tales efectos se recomienda:

21. La intensidad de corriente aplicada a la iluminación LED normalmente estará comprendida entre 350 y 550 mA, pudiéndose aplicar intensidades superiores de hasta 700 mA, siempre que se justifique un flujo superior emitido por la luminaria y se garantice el mantenimiento del flujo luminoso, así como la vida útil de la luminaria LED, para cuya determinación se tendrá en cuenta la vida útil de los equipos auxiliares (*drivers*).

Por último, en orden a lo exigible a los fabricantes se aconseja lo siguiente:

22. Las empresas fabricantes de productos LED (fuentes de luz, *driver* y luminarias) deberán estar en posesión del certificado ISO 9001, así como ISO 14001, EMAS u otro que acredite que se encuentran adheridos a un sistema integral de gestión de residuos.

Para concluir, la información suministrada por los fabricantes deberá ser válida, fiable y ajustada a la normativa vigente, de forma que los ensayos y certificados exigibles que correspondan, serán emitidos por Laboratorio acreditado por ENAC o entidad internacional equivalente.

3.3. Aplicaciones de los sistemas de alumbrado LED

Una vez desarrollados en los tres capítulos anteriores los sistemas de alumbrado LED en lo concerniente a los LED, luminarias LED, *drivers*, control y regulación de la luz, en este capítulo se exponen las aplicaciones de dichos sistemas.

3.3.1. Salud y bienestar

El reto principal de mantener una iluminación adecuada en hospitales y centros de salud es el hecho de que hay una gran variedad de requerimientos. Médicos y cuidadores necesitan estados de iluminación que sean compatibles con sus tareas, que exigen un alto nivel de concentración. Por otro lado, los hospitales y servicios sanitarios precisan tener en cuenta el bienestar y el confort de los pacientes.

Por consiguiente, la iluminación debe cumplir las necesidades y preferencias de varios grupos de personas en diferentes situaciones, combinándolo además con la expectativa de conservar el consumo energético lo más bajo posible. El mantenimiento y las tareas de servicio también es un aspecto crucial en este tipo de aplicaciones puesto que el acceso a las habitaciones es limitado o difícil, con lo que los costes de reposición de lámparas se ven aumentados. Por este motivo es obligado el uso de componentes fiables y con elevadas duraciones de vida útil.

* El bienestar de los pacientes

Varios estudios destacan cómo la luz afecta al carácter y el bienestar. Un objetivo importante en hospitales es mejorar la calidad de la estancia del paciente, puesto que afecta positivamente a su recuperación. Los pacientes que permanecen en el hospital durante largos plazos de tiempo o gente mayor que viven en centros geriátricos generalmente tienen poca luz natural. Esto rompe sus patrones de sueño al no existir claras fases de anochecer y amanecer para dar pistas al reloj interno. Una luz circadiana puede simular los ritmos de día-noche a base de mezclar luz cálida y fría.

Sistemas LED de blanco ajustable (*Tunable White*) están disponibles en el mercado para módulos Spot, lineales y de área, que combinados con el sistema de control adecuado pueden establecer de manera sencilla ritmos día-noche a base de cambiar escenas a lo largo del tiempo. La experimentación en los pasados años indica que la luz circadiana ayuda a mejorar la calidad del sueño.

* Requerimientos de los empleados

Ajustarse a los turnos de noche es un reto para el organismo humano. A pesar de esto, se espera que los empleados de dicho turno estén activos y en alerta. Los errores se deben evitar a toda costa. Una iluminación apropiada puede ayudar a este ajuste. Una luz con una gran intensidad elimina la producción de melatonina y asegura el estado de alerta. Por el contrario, hay que ir con cuidado con altas intensidades luminosas. Un control del nivel de luz flexible y que asegure una transición entre pasillos y habitaciones de pacientes facilita el trabajo y garantiza que las molestias a los pacientes sean mínimas.

El confort visual de los pacientes mejora cuando el ojo no tiene que adaptarse a transiciones abruptas de ambientes claros y oscuros. La tecnología LED con sus múltiples ventajas de factores de forma flexibles para luminarias, variedad de colores y la posibilidad de cambiar la temperatura de color tan fácilmente como se hace con la intensidad, ayudan a cumplir estas complejas especificaciones.

* Eficiencia energética

Los hospitales trabajan 24 horas al día, durante todo el año. Cualquier contribución a la mejora de la eficiencia de las fuentes de luz mejorará los costes totales a la propiedad y tendrá un efecto positivo sobre las emisiones de CO₂ del edificio.

Un ahorro significativo no se consigue únicamente por una mejora de la eficiencia de los LED, sino que también se logra a través de sistemas de control inteligente. La combinación de sencillos sistemas de control con detección de presencia (corridorFunction) y sensores de luz ambiente, pueden reducir considerablemente la energía consumida sin afectar la calidad de la luz.

* **Requerimientos especiales**

En las unidades de cuidados intensivos que tienen una alta concentración de equipos electrónicos sensibles, pueden existir requisitos especiales para soluciones de iluminación. Un ejemplo sería la modulación de anchura de impulso (PWM) que se usa generalmente para la regulación del LED, que puede constituir un peligro, pues puede interferir con la pulsioximetría. Por lo tanto, el uso de la regulación por amplitud en este tipo de áreas de alta sensibilidad es recomendable.

* **Detección de la cianosis**

En algunos países es una exigencia legal el uso de módulos LED específicos que favorezcan la detección de la cianosis. Esto es difícil de conseguir con fuentes de luz de fluorescencia. Los módulos LED con espectros específicos ayudan a determinar de una manera precisa el color de la piel para una detección prematura de la cianosis.

3.3.2. Arte/museos

La iluminación de exposiciones tiene que ser espectacular. Los productos exhibidos necesitan estar realzados, mientras que los puntos de iluminación permanecen discretamente ocultos. Los módulos LED son ideales para este tipo de aplicaciones, por sus diseños compactos y ultra planos. Se pueden usar, en función de las necesidades, proyectores LED de carril o downlights suspendidos de acento, adaptando la iluminación a las necesidades.

* **Iluminación delicada para exposiciones valiosas**

El diseño de iluminación para museos también necesita tener en consideración diversos aspectos conservacionales. Óleos, documentos antiguos y telas son

delicados y requieren una atención especial: deben estar iluminados, pero no pueden sufrir daños por la iluminación o por el calor.

Los LED reúnen todos estos requisitos: no emiten radiación ultravioleta (UV), ni radiación infrarroja (IR), ni calor. Incluso si el LED está cerca del producto, la iluminación es más tenue que la convencional. De esta manera las exposiciones delicadas estarán protegidas de deterioro y pérdidas de color.

✳ **Adaptación flexible y control dinámico de la iluminación**

Ser capaz de cambiar la temperatura de color fácilmente permite plantear una iluminación adaptable a cualquier período artístico y concepto de exhibición. Una solución con temperatura de color variable en el espectro de luz blanca, hace posible que los diseñadores de la exposición puedan enfatizar características específicas de un objeto.

Soluciones LED con control dinámico de iluminación ofrece todos los colores RGB y un amplio abanico de colores pastel, además de mezcla de tonos para producciones individuales. Sin necesidad de ningún filtro de color y con un simple clic, la luz puede cambiar de un azul frío a un blanco cálido, o de un rojo brillante a un rojo vivo.

Fotografías y otros materiales reflectantes relucientes se muestran particularmente brillantes con temperaturas de color de 5.000 K, y vestimentas históricas o mobiliario muestran todas sus facetas con temperaturas de color cálidas como 3.000 K.

✳ **Calidad lumínica constante, incluso a niveles bajos de regulación**

Actualmente, los módulos LED con tecnología de amplio espectro pueden alcanzar Índices de Reproducción Cromática de hasta 98. Estos módulos incluyen, por ejemplo, la descripción "ART" en sus denominaciones. Con ellos se garantiza una reproducción cromática óptima de los objetos.

Ninguna de estas características se ve afectada por la regulación de la luz. Incluso a niveles muy bajos, los LED muestran la misma calidad de luz. La temperatura de color seleccionada se mantiene y los materiales se muestran naturales.

* Modelado y acentuado

Los proyectores LED facilitan la acentuación y el modelado tridimensional.

El diseño de los LED permite dirigir toda la luz hacia el frente, de forma concentrada y, por tanto, son ideales para crear puntos de acento eficientes, evitando además la luz residual. Por su reducido tamaño, los LED pueden colocarse cerca de los elementos expuestos sin perturbar la visión general.

Por esta razón los LED son perfectos para mostrar detalles, resaltar superficies o crear ambientes con sombras. Pueden ser utilizados para realce y para captar la atención del espectador. Por su diseño miniaturizado son sencillos de integrar en la arquitectura.

* Fácil de usar con alta eficiencia

Además de las opciones de diseño, los LED ofrecen facilidad de uso y conveniencia por su alta eficiencia. El flujo luminoso de las nuevas generaciones de LED alcanzan rangos de 40 – 150 lm/W (dependiendo de la temperatura de color). Otros argumentos son la regulación sencilla, larga vida útil (L_{70} a 50.000 horas).

3.3.3. Tiendas/retail

Los espacios comerciales modernos son como un escenario donde se presenta una gama de productos. Una iluminación moderna ayuda a crear una experiencia comercial emocional. Esto contribuye al éxito de una compañía, ya que puede influir en que la gente se decida a entrar en una tienda y despertar su instinto de comprador.

La iluminación LED puede ofrecer algo extra: orientación, información, escenificación y diferenciación. Lo que despierta nuestro interés, y nos invita a entrar y comprar. Las primeras impresiones cuentan y en esto la iluminación juega un papel decisivo.

* Iluminación de alta calidad enfatiza la calidad de los productos

Desfilan y mostrar un producto requiere de una iluminación que asegure que la calidad percibida es alta. Una iluminación auténtica enfatiza la naturaleza y la

calidad de los productos a mostrar. Sus condiciones se deben mostrar lo más naturales posibles, gracias a un alto Índice de Reproducción Cromática (IRC), combinando además iluminación difusa y directa para generar una sombra natural.

Los clientes encuentran que la iluminación tiene excelente reproducción cromática cuando es similar a la iluminación natural, pero la iluminación puede hacer más; colores especiales hacen que ciertos productos se vean frescos y apetitosos. Se puede aumentar la emotividad de la compra ajustando la temperatura de color, para adaptar la iluminación a una hora determinada del día o estación del año.

* Iluminación de alto contraste que combina atmósfera y efecto

La distribución de iluminación de alto contraste se emplea para destacar elementos emblemáticos. Las soluciones de iluminación que combinan componentes diferentes se muestran más atractivas que aquellas en las que simplemente se incrementa el nivel de iluminación ambiental.

Normalmente al usar iluminación LED se consigue la versatilidad para combinar conceptos opuestos; las soluciones convencionales se pueden utilizar para crear el ambiente principal para los clientes, mientras que con iluminación puntual es posible atraer la atención y destacar productos de alta calidad. La iluminación se usa para suscitar emociones y crear identidad de marca. Cuando se utiliza apropiadamente, la iluminación tiene el poder de estimular el interés por comprar y, por tanto, aumentar las ventas.

* Una luz flexible puede comunicar y crear espectáculo

La iluminación crea valor añadido, especialmente si la iluminación y su control pueden ser tratados e identificados como una sola unidad. Efectos luminosos y luces de colores dan un motivo a la gente para parar y disfrutar del momento. Escenas de luz alegres y vivas con cambios de secuencias marcan una diferencia respecto a una iluminación monótona.

La iluminación puede transformar un espacio de venta en un mundo de experiencias.

La nueva flexibilidad en las luminarias modernas hace que sean perfectas para crear espectáculos de luz que despierten las necesidades del consumidor. Hacen

posible una respuesta de la condición y el valor de los productos, comunicando sentimientos y estados de ánimo

* **Uso eficiente de la iluminación**

A pesar de todas las posibilidades de los LED son también una buena inversión en términos económicos. Los LED son extremadamente eficientes y pueden reducir los costes operativos. Su larga vida útil de unas 50.000 horas y el hecho de que los LED no necesitan apenas mantenimiento son otros factores que contribuyen al éxito de un negocio.

3.3.4. Oficinas

En el entorno de las oficinas se necesita una iluminación adecuada. Es posible adaptar modernos conceptos de iluminación a las necesidades de las personas y a las diferentes situaciones. De esta forma se promueve el bienestar y el rendimiento de los trabajadores. Las soluciones inteligentes de iluminación LED cumplen con estos estrictos requisitos, además de ajustarse a las normativas de ahorro de energía y reducción de costes.

* **El factor humano**

Las oficinas y su diseño tienen un alto impacto en las que personas que trabajan en ellas.

Una iluminación agradable y un ambiente de trabajo positivo son condiciones fundamentales para el bienestar de los trabajadores. Esto a su vez afecta a su rendimiento y por lo tanto al éxito de cualquier compañía. Sin embargo, si la iluminación es insuficiente o inapropiada, esto conduce inevitablemente a una degradación de su rendimiento.

* **Buena visión**

Una buena visión es otro requisito importante. Un buen servicio visual de apoyo es necesario en los puestos de trabajo, en presentaciones y durante reuniones de

trabajo, con el fin de obtener unas condiciones óptimas de visión. Sólo es posible trabajar de forma motivada y orientada a resultados si se dan estas condiciones.

Según sea el nivel de dificultad de las tareas visuales a realizar, los requerimientos serán más exigentes. Si se trabaja con objetos de bajo contraste o muy pequeños, niveles altos de iluminación harán que el trabajo sea más sencillo. Para evitar que se generen reflejos en los monitores se recomienda la instalación de un sistema autónomo de gestión de iluminación que tenga en cuenta el nivel de luminosidad natural.

La importancia de estas prescripciones puede verse por el hecho de que están estandarizadas según la norma UNE- EN 12464-1, donde se definen los niveles de iluminación de las superficies de trabajo, paredes y techo, además de establecer directrices sobre el contraste y la reducción del deslumbramiento.

* Iluminación adaptable y estructura de estancia

A través de la gestión inteligente de la iluminación es posible adaptarla fácilmente según las exigencias cambiantes del puesto de trabajo y de la distribución de la estancia. Controles intuitivos permiten a todo el mundo elegir las condiciones adecuadas de iluminación de su puesto de trabajo, teniendo en cuenta las tareas a realizar e incluso su estado de ánimo.

En salas de conferencias es posible crear escenas acorde con cada situación, y personalizarlas de forma individual por control remoto. Las luminarias de mesa o de pie dan la oportunidad a los empleados de conseguir una iluminación extra, cuando se necesita. Estas luminarias también pueden ser usadas si el puesto permite trabajar tanto sentado como de pie.

La iluminación de recepciones y salas de reuniones modernas puede también contribuir a dar una imagen moderna e innovadora de la empresa.

* Sostenible y Eficiente

Soluciones innovadoras de iluminación LED se diseñan para combinar calidad de luz y eficiencia energética. Los LED ya ofrecen un potencial considerable de ahorro energético en comparación con las lámparas fluorescentes T5 o T8. Sin em-

bargo, es posible alcanzar mayores niveles de ahorro si se combina la tecnología LED con sistemas de iluminación inteligentes. Para lograr esto, el uso de la iluminación está estrictamente limitado a donde realmente se necesita. Hay multitud de enfoques para esto:

- La iluminación LED es generalmente regulable. Ajustar el nivel de regulación según la aportación de luz natural es posible en cualquier momento. El resultado es un mayor confort visual y un menor consumo energético.
- Los espacios que se utilizan esporádicamente, como pasillos o baños, se pueden equipar con detectores de presencia. Un sistema electrónico de gestión de iluminación puede evaluar la información y automáticamente regular o apagar la luz.

Con su función "Flujo luminoso constante" (*Constant Light Output*), se ha desarrollado una técnica para ajustar automáticamente la intensidad de salida del LED. Esta función equilibra eficazmente la disminución de flujo luminoso que el LED experimenta con el paso del tiempo. El flujo luminoso se refuerza con una mayor intensidad de salida y se puede de esta forma utilizar el LED durante más tiempo. Esta función junto con una alta vida útil del LED proporciona una reducción en mantenimiento y costes de reemplazamiento.

3.3.5. Industria

La iluminación de los lugares de trabajo en la industria y en el comercio deben cumplir varios requisitos: Se incluyen conceptos tan importantes como la seguridad, la calidad, la durabilidad y la eficiencia en lo que a costes se refiere.

✳ Seguridad

Cuando se trabaja con maquinaria y en líneas de producción, el riesgo de accidentes en el trabajo es grande. La iluminación debe garantizar la seguridad. A través de la iluminación telegestionada tiene una mayor perspectiva de las situaciones y se puede percibir posibles peligros mejor y más rápidamente. Esto es especialmente importante en las vías de paso de los lugares de trabajo. Deben de estar iluminadas de forma que los obstáculos y puntos conflictivos se detecten a tiempo.

Otro aspecto importante es la iluminación de emergencia. Es una herramienta fundamental en caso de que se produzca un corte en el suministro eléctrico. Una iluminación de emergencia fiable evita la desorientación y muestra de manera efectiva la ruta de escape.

* Calidad

Una buena iluminación en el proceso productivo es también importante para la calidad del trabajo y sus resultados.

Los LED, sin deslumbramiento y con alto rendimiento lumínico, hacen el trabajo fácil cuando se requiere trabajar con pequeños detalles y cuando se exige al ojo humano su máximo rendimiento. Las nuevas luminarias de tecnología LED cumplen perfectamente con los requisitos de la industria y del comercio. La iluminación puede ser distribuida de forma precisa y dirigida hacia donde realmente sea necesaria.

Algunas actividades requieren que los colores sean percibidos de la manera más real posible (por ejemplo en el sector de diseño gráfico). Para este tipo de aplicaciones se requieren fuentes de iluminación con un alto Índice de reproducción cromático.

* Fiabilidad

El tiempo de inactividad de maquinaria en procesos productivos genera enormes costes.

La iluminación debe funcionar en todo momento, independientemente de las condiciones ambientales, incluyendo corte de suministro. Debido a estos requisitos, se recomienda utilizar productos de iluminación con mayor fiabilidad y tiempo de garantía que los usados en condiciones estándar. En muchas de estas aplicaciones industriales tiene sentido centrarse en productos con la mayor vida útil posible, ya que esto también reduce significativamente los costes de mantenimiento.

* Robustez

Las luminarias instaladas en fábricas tienen que soportar altos esfuerzos y tensiones. Las soluciones de iluminación utilizadas deben ser robustas y fiables, además de cumplir con algunos requisitos especiales:

Las luminarias deben ser capaces de trabajar bajo condiciones extremas de temperatura (tanto altas como bajas). Además, deben estar protegidas contra picos transitorios provenientes de la red eléctrica que pueden fácilmente superar el límite marcado para aplicaciones estándar (hasta 4 kV). Por otro lado, tienen que ser inmunes a vibraciones y choques.

Ya que los LED cumplen con todos estos requisitos, son la solución ideal para iluminar espacios de trabajo. Además no emiten calor, lo cual es una ventaja significativa, especialmente en aquellas instalaciones en las que haya maquinaria pesada donde refrigerantes y lubricantes podrían de otra forma arder fácilmente.

✳ Eficiencia y ahorro

Además de todos los puntos mencionados hay que prestar atención a los aspectos económicos.

En términos ambientales y económicos, las aplicaciones industriales tienen un potencial enorme. Las compañías están tratando de aumentar los recursos y la eficiencia energética para optimizar sus procesos de producción. A menudo también existen presiones externas: muchos edificios industriales deben modernizarse para satisfacer los requisitos energéticos aplicables.

Aplicando las medidas adecuadas, se pueden reducir tanto las emisiones de CO₂ como los costes energéticos. Características como el control según la aportación de luz natural o la función de pasillo (*corridor FUNCTION*) son capaces de mejorar, incluso más, la eficiencia de toda la instalación.

4.1. Iluminación de lugares de trabajo

4.1.1. Iluminación de lugares de trabajo en interiores

En el exigente entorno de los lugares de trabajo en interiores como las instalaciones industriales actuales, es primordial contar con una iluminación de calidad eficiente y adaptada a la tarea, a fin de mantener unos espacios de trabajo seguros y productivos. La luz, por ejemplo, en una industria aparte de iluminar y mostrar el camino, realza la forma y la función, mejora la seguridad y crea espacios flexibles que se adaptan a la tarea de ese momento.

Se debe tener en cuenta que la iluminación consume un 22% del total de la electricidad del mundo, y que sólo la sustitución de la iluminación antigua por una solución nueva en un entorno de lugares de trabajo en interiores como el industrial típico, puede ahorrar entre el 60% y el 70% de los costes de la energía únicamente aplicando nuevas tecnologías; LED, regulación, etc.

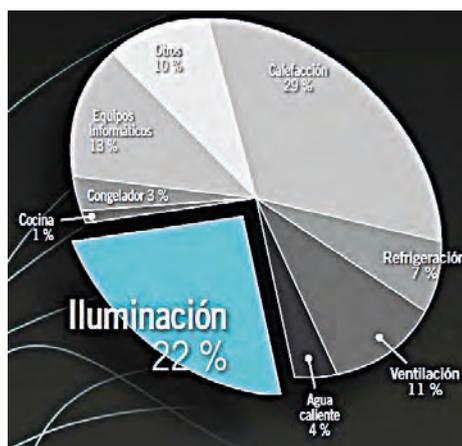


Figura 1. Consumo total de electricidad del sector de la iluminación.

La tecnología LED aporta a la Iluminación Industrial el concepto de eficiencia energética, la reducción del impacto ambiental y el ahorro de costes, al tiempo que aumenta la calidad y la productividad de la instalación. La idea es aportar una solución que tenga un mantenimiento mínimo, sin perjudicar a la calidad y seguridad de la misma.

Casi el 80% de la iluminación en entornos industriales y de oficinas existentes han sido ejecutadas con tecnologías antiguas y, por tanto, con un consumo eléctrico elevado.

Una manera de enfocar esta problemática es partir de la normativa vigente, estableciendo niveles de iluminación en función de la tarea a desarrollar, pasando por los criterios y condiciones de diseño, clasificación del tipo de alumbrado por alturas y terminando por la aplicación de las nuevas tecnologías.

La norma armonizada UNE-EN 12464-1 regula la iluminación en los lugares de trabajo en interiores, por lo que comprende las especificaciones de los valores mínimos de iluminancia media (E_m), uniformidad de iluminancia (U_o) e índices de reproducción cromática (R_a), así como los límites máximos de deslumbramiento (UGR), para las zonas de tráfico dentro del edificio (1 tabla), áreas generales dentro de edificios (4 tablas), actividades industriales y artesanales tales como agricultura, panaderías, industria química, de plástico y de cauchos, industria eléctrica y electrónica, laminaciones, instalaciones siderúrgicas, imprentas, etc. (20 tablas), oficinas (1 tabla), establecimientos minoristas (1 tabla), lugares de pública concurrencia (7 tablas), establecimientos educativos (2 tablas), establecimientos sanitarios (15 tablas) y, finalmente, áreas de transporte como aeropuertos e instalaciones ferroviarias (2 tablas).

En lo que atañe a la eficiencia energética la iluminación en los lugares de trabajo en interiores se ajustará a lo dispuesto en el Código Técnico de la Edificación y en la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía".

4.1.2. Criterios y condiciones del diseño

En este ámbito del alumbrado interior, la práctica en el diseño de la iluminación y la mayoría de los criterios de calidad existentes en esta materia, se centran en el rendimiento visual y en evitar las molestias oculares. Sin embargo, una instalación de alumbrado de elevada condición va más allá de la visibilidad de la tarea e incluye la apariencia visual del espacio.

En el diseño de una instalación de alumbrado en lugares de trabajo en interiores hay que tener en cuenta una serie de criterios técnicos y económicos, cuya correcta aplicación determina la utilidad, eficiencia y economía de explotación de la misma.

Por otra parte, ya sea debido a las particulares condiciones de la zona a iluminar o a las necesidades del usuario, aparecen unos condicionantes que obligan al proyectista, al estudio de soluciones adaptadas a esas circunstancias.

Los requisitos de iluminación se determinan por la satisfacción de tres necesidades humanas:

- Confort visual, en que los trabajadores tienen una sensación de bienestar; de un modo indirecto también contribuye a un elevado nivel de productividad.
- Prestación visual, en el que los trabajadores son capaces de realizar sus tareas visuales, incluso en circunstancias difíciles y durante periodos más largos.
- Seguridad de las personas.

* Criterios luminotécnicos

Son los parámetros luminotécnicos (luminancia, iluminancia, uniformidad, deslumbramiento, rendimiento de color, relación entorno, etc.) exigibles a las instalaciones de lugares de trabajo en interiores como criterios de calidad. Están basados en la norma armonizada UNE-EN 12464-1 "Iluminación de Lugares de Trabajo en Interiores", anteriormente referenciada.

4.1.2.1. Distribución de luminancias

La distribución de luminancias en el campo de la visión controla el nivel de adaptación en los ojos que afecta a la visibilidad del área y, en consecuencia, afecta también al control visual. Se representa con L y se mide cd/m^2 .

Una luminancia de adaptación bien equilibrada es necesaria para aumentar:

- la agudeza visual (visión detallada);

- la sensibilidad al contraste (discriminación de diferencias de luminancia relativamente pequeñas);
- la eficiencia de las funciones oculares (tales como acomodación, convergencia, contracción de la pupila, movimientos de ojo, etc.).

Debería evitarse lo siguiente por las razones dadas:

- Luminancias demasiado elevadas que pueden dar lugar a deslumbramiento.
- Contrastes de luminancia demasiado altos que causarán fatiga debido a la readaptación constante de los ojos.
- Luminancias excesivamente bajas y contrastes de luminancias también demasiado bajos, que dan como resultado un ambiente de trabajo monótono y no estimulante.

Son importantes las luminancias de todas las superficies y serán determinadas por la reflectancia y la iluminancia en las superficies.

Los márgenes de reflectancias útiles para las principales superficies interiores son:

- techo: 0,6 a 0,9
- paredes: 0,3 a 0,8
- planos de trabajo: 0,2 a 0,6
- suelo: 0,1 a 0,5

No obstante, de acuerdo con la norma UNE-EN 12464-1, las reflectancias recomendadas para la gran parte de superficies interiores que reflejan la luz de forma difusa, son las siguientes:

- techo: 0,7 a 0,9
- paredes: 0,5 a 0,8
- suelo: 0,2 a 0,4

4.1.2.2. Iluminancia

La iluminancia y su distribución en el área de la tarea y el área circundante tienen un gran impacto en cómo una persona percibe y realiza la tarea visual de un modo rápido, seguro y confortable.

Todos los valores de iluminancia especificados en la norma UNE EN 12464-1 son valores mínimos de iluminancias mantenidas, que satisfarán las necesidades de confort y las prestaciones visuales.

* Iluminancias recomendadas en el área de la tarea

Los valores dados en la norma son valores mínimos de iluminancias medias mantenidas en el área de la tarea sobre la superficie de referencia, que puede ser horizontal, vertical o inclinada. La iluminancia media para cada tarea no caerá por debajo de los valores establecidos en las tablas del capítulo 5 de la referida norma UNE-EN 12464-1, independientemente de la edad y estado de la instalación. Los valores son válidos para condiciones visuales normales y tienen en cuenta los siguientes factores:

- aspectos psico-fisiológicos tales como el confort visual y el bienestar;
- requisitos para tareas visuales;
- ergonomía visual;
- experiencia práctica;
- seguridad;
- economía.

Con eso y con todo, el valor de iluminancia puede ajustarse, en al menos un escalón, en la escala de iluminancias que se detalla más adelante, si las condiciones visuales difieren de las suposiciones normales.

Un factor de aproximadamente 1,5 representa la menor diferencia significativa en el efecto subjetivo de iluminancia. En condiciones normales de iluminación se requieren aproximadamente 20 lux para discernir características de la cara humana y es el valor más bajo tomado para la escala de iluminancias. La escala de iluminancias (en lux) recomendada es:

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000

La iluminancia media mantenida requerida debería ser aumentada, cuando:

- el trabajo visual es crítico;
- los errores son costosos de rectificar;
- la exactitud o la mayor productividad es de gran importancia;
- la capacidad visual del trabajador está por debajo de la normal;
- los detalles de la tarea son de tamaño inusualmente pequeño o de bajo contraste;
- la tarea se realiza durante un tiempo inusualmente largo.

La iluminancia media mantenida exigida puede ser disminuida cuando:

- los detalles de la tarea son de un tamaño inusualmente grande o de un elevado contraste;
- la tarea es emprendida durante un tiempo inusualmente corto.

En áreas ocupadas de modo continuo, la iluminancia media mantenida no debe ser menor de 200 lux.

* Iluminancias de áreas circundantes inmediatas

La iluminancia de áreas circundantes inmediatas, definidas como una banda con una anchura de, al menos, 0,5 m alrededor del área de la tarea dentro del campo visual, debe estar relacionada con la iluminancia del área de tarea y debería proporcionar una distribución de luminancias bien equilibrada en el campo de visión.

Las grandes variaciones espaciales en iluminancias alrededor del área de tarea pueden conducir a tensiones y molestias visuales.

Tabla 1. Relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas con la iluminación del área de la tarea.

Iluminancia del área de tarea E _{tarea} (lux)	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
≤ 150	tarea

✳ Iluminancia del área de fondo

El área de fondo que comprende una franja de, al menos, 3 m de anchura contigua al área circundante, debe iluminarse con una iluminancia media mantenida de un tercio (1/3) del valor de la iluminancia media mantenida del área circundante inmediata.

4.1.2.3. Uniformidad

Para una correcta percepción de los objetos es preciso que la iluminación en la zona de trabajo sea uniforme. La uniformidad dentro del área de la tarea y de las áreas circundantes inmediatas, nunca será menor que los valores de uniformidad mínima establecidos en las tablas del capítulo 5 de la norma UNE-EN 12464-1.

Para el alumbrado interior a partir de la iluminación artificial o claraboyas, la uniformidad de la iluminación será:

- $U_0 \geq 0,40$ en el área circundante inmediata.
- $U_0 \geq 0,10$ en el área de fondo.

Para la iluminación con ventanas:

- En grandes áreas de actividad y de fondo, la luz diurna disponible disminuye rápidamente con la distancia a la ventana. Los beneficios adicionales de la luz diurna pueden compensarse por la falta de uniformidad.

Las luminarias, fuentes de luz (lámparas y LED), ventanas, lucernarios, etc. situadas en la línea de visión de las personas deben tener un brillo controlado, por lo que se recomienda que la luminancia para ángulos de visión críticos (de 45° a 85°) sea menor a 1500 cd/m².

Para áreas con pantalla de ordenador o con monitores de televisión se estima aconsejable que las luminarias, fuentes de luz, ventanas, claraboyas, etc. tengan una luminancia inferior a 500 cd/m² para ángulos mayores de 65° tomados desde la vertical.

La clave para crear un plan de iluminación con tecnología LED consiste en asegurarse que, durante su vida útil, todas las lámparas estén funcionando dentro de una tolerancia aceptable en cuanto a desviación del color. Para definir la "tolerancia aceptable" de una lámpara a otra, los fabricantes de LED han adoptado el sistema de medición de uniformidad de color mediante las elipses Mac Adam y de SDCM (*Standard Deviation of Colour Matching* = Desviación estándar de correspondencia de colores).

La elipse Mac Adam, como ya se ha explicado, es un sistema de medición del color. Mide el nivel de variación del color posible en estos ejes antes de que el ojo humano pueda detectar algún cambio de color. Se pueden trazar entonces una serie de elipses alrededor de cualquier color deseado, y cuanto más cerca del objetivo se encuentre una lámpara, menos desviación de color se notará cuando estas lámparas se coloquen unas al lado de las otras en una instalación.

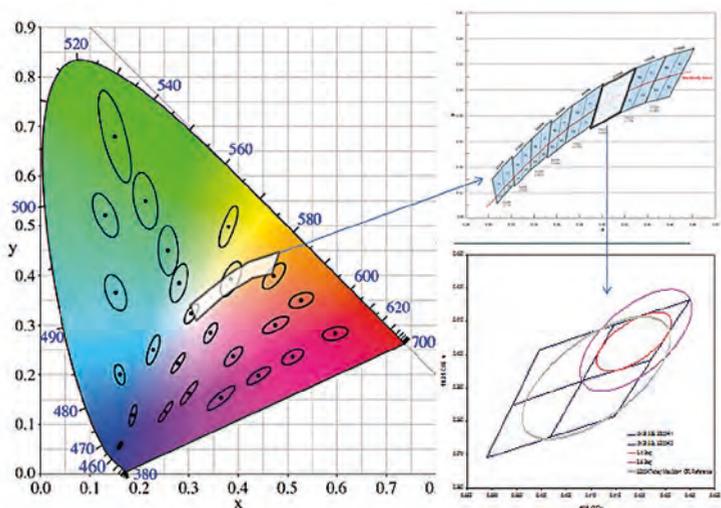


Figura 2. Elipses de MacAdam – CIE 1931 (x,y) Diagrama de cromaticidad.

La distancia desde el punto deseado en cada elipse se mide en SDCM. Una SDCM de 1 paso implica que no existen diferencias de color entre los chips de LED, mientras que 2–3 SDCM significa que apenas existe alguna diferencia visible de color. En el mercado se acepta una uniformidad de color de 7 SDCM en línea con los requisitos de Energy Star.

4.1.2.4. Deslumbramiento

El deslumbramiento es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión y puede ser experimentado bien como deslumbramiento molesto o perturbador. El deslumbramiento causado por la reflexiones en superficies especulares es usualmente conocido como reflexiones de velo o deslumbramiento reflejado.

Es importante limitar el deslumbramiento para evitar errores, fatiga y accidentes. En lugares de trabajo en interiores, el deslumbramiento molesto puede producirse directamente a partir de luminarias brillantes o ventanas. Si se satisfacen los límites del deslumbramiento molesto, el deslumbramiento perturbador no es usualmente un problema importante.

Entre los indicadores de la calidad de la iluminación, el deslumbramiento es uno de los más estrechamente ligados al bienestar de las personas en un entorno. La selección de una distribución controlada con una cantidad adecuada de luz en las zonas de visión, es necesaria para garantizar que los trabajadores mantengan la concentración en su tarea, una buena percepción de la profundidad y la seguridad de todo el personal que trabaja con maquinaria en movimiento.

- NOTA. Es necesario un cuidado especial para evitar el deslumbramiento cuando la dirección de visión está por encima de la horizontal.

* Deslumbramiento molesto

El índice del deslumbramiento molesto procedente directamente de las luminarias de una instalación de iluminación interior, debe determinarse utilizando el método de tabulación del Índice de Deslumbramiento Unificado de la CIE (UGR, *Unified Glare Rating*), basado en la fórmula:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

en la que:

- L_b – es la luminancia de fondo en $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$, calculada como $E_{\text{ind}} \times \pi^{-1}$, en la que E_{ind} es la iluminancia indirecta vertical en el ojo del observador;
- L – es la luminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador en $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$;
- ω – es el ángulo sólido (estéreorradianes) de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador;
- p – es el índice de posición de Guth para cada luminaria individual que se refiere a su desplazamiento de la línea de visión.

Todas las suposiciones hechas en la determinación del UGR se consignarán en la documentación del proyecto. El valor de UGR de la instalación de alumbrado no excederá del valor dispuesto en las tablas del capítulo 5 de la norma UNE EN 12464-1.

La serie UGR es: 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28.

NOTAS:

- Las variaciones de UGR dentro de la sala pueden determinarse utilizando la fórmula (o la tabla comprensiva) para diferentes posiciones del observador, como se detalla en la Publicación CIE nº 117. Los límites para esta condición están en estudio.
- Si el valor máximo de UGR en la sala es mayor que el límite de UGR determinado en el capítulo 5 de la norma UNE-EN 12464-1, puede ser necesaria información sobre posiciones apropiadas para los puestos de trabajo con pantallas de ordenador situados dentro de la sala.
- El deslumbramiento molesto de las ventanas es aún motivo de investigación. Todavía no existe un método adecuado de evaluación del deslumbramiento disponible de modo fácil y universal.

Lo señalado anteriormente resulta óptimo para la mayoría de los sistemas de iluminación LED con una distribución de luminancias uniforme que no difiere significativamente, por ejemplo, de las soluciones luminotécnicas con lámparas fluorescentes lineales o compactas.

En aquellos casos en los que el propio LED o el conjunto de los mismos sea claramente visible, parecen inducir más deslumbramiento que una luminaria fluo-

cente de las mismas dimensiones y luminancia media, de modo que la aplicación del índice de deslumbramiento molesto (UGR) resulta de alguna manera discutible (Publicación CIE nº 205).

Las luminarias sin apantallar o luminarias con ópticas apropiadas, que dejan los LED a la visión directa, son supuestos fundamentales a considerar en la iluminación interior.

Aunque la Publicación CIE nº 147 proporciona formulas y recomendaciones para fuentes de luz pequeñas y complejas en materia de deslumbramiento, hasta la fecha la aproximación no ha sido desarrollada ni validada para sistemas de iluminación con agrupaciones de LED sin apantallar, ni dotados de lentes o difusores apropiados.

Si las fuentes de luz no uniformes causan más deslumbramiento que las fuentes uniformes, las medidas de deslumbramiento que consideran la luminancia media no parecen adecuadas para los sistemas de iluminación LED con distribuciones de luminancia no uniformes, ya que subestiman la percepción del deslumbramiento. Todo ello de acuerdo con lo señalado por la Comisión Internacional de Iluminación en su Publicación CIE nº 205 de 2013.

* Apantallamiento contra el deslumbramiento

Las fuentes luminosas brillantes pueden causar deslumbramiento y pueden impedir la visión de los objetos. Se evitarán, por ejemplo, mediante el apantallamiento adecuado de lámparas o el empleo de sistemas de apantallamiento u oscurecimiento de ventanas, mediante persianas o cortinas. Deben aplicarse los ángulos de apantallamiento mínimos dados en la Tabla 2 para las luminancias de lámparas especificadas.

Tabla 2. Ángulos mínimos de apantallamiento para luminancias de lámpara especificada.

Luminancia de lámparas kcd x m ²	Ángulo de apantallamiento mínimo
20 <math>a < 50</math>	15°
50 <math>a < 500</math>	20°
≥ 500	30°

Las luminarias situadas por encima del campo de visión pueden provocar molestias o incomodidades que aumentan con la luminancia creciente de las fuentes de luz (lámparas y LED) y con el tamaño de las mismas, al tiempo que se reducen con niveles de iluminación creciente (luminancia de adaptación) en el local.

Para el deslumbramiento producido por las luminarias implantadas sobre la cabeza de las personas, todavía no existe un criterio de calidad específico para su evaluación. El índice de deslumbramiento unificado (URG), en principio, no parece pertinente para tratar el deslumbramiento generado por luminarias situadas sobre la cabeza por encima de 75°, según la Publicación CIE nº 205.

Por tanto, los criterios de deslumbramiento existentes, inicialmente no se consideran aplicables a los estímulos no uniformes, es decir, a las fuentes puntuales o módulos LED visibles y, en consecuencia, se estima la necesidad de un nuevo sistema de evaluación del deslumbramiento.

Todo ello no impide para que, además de los medios de control de deslumbramiento directo tales como el apantallamiento, desviación de los rayos luminosos, translucidez o transmisión difusa de la luz e iluminación indirecta, se pueda mitigar la percepción del deslumbramiento producto de las luminarias instaladas sobre la cabeza, reduciendo la diferencia entre la luminaria de la fuente de luz brillante y su entorno.

* Reflexiones de velo y deslumbramiento reflejado

Las reflexiones muy brillantes en la tarea visual pueden alterar usualmente de modo perjudicial la visibilidad de la tarea. Las reflexiones de velo y el deslumbramiento reflejado pueden ser impedidos o reducidos mediante la adopción de las siguientes medidas:

- disposición adecuada de luminarias y lugares de trabajo;
- acabado de las superficies (superficies mates);
- limitación de la luminancia de las luminarias;
- área luminosa aumentada de la luminaria;
- techo brillante y paredes brillantes.

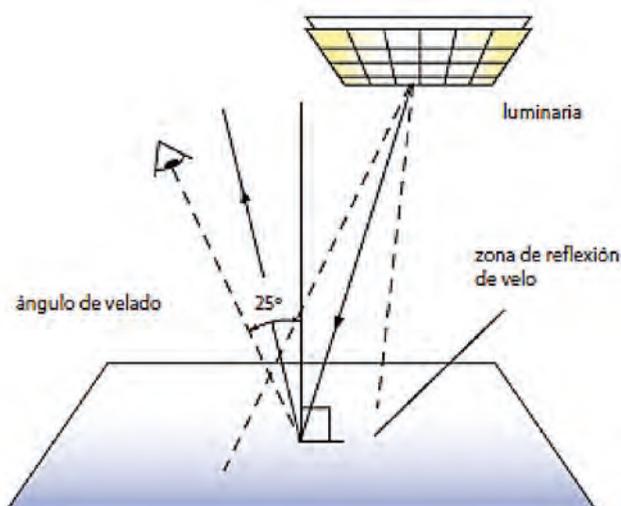


Figura 3. Representación gráfica de la reflexión de velo y explicación.

Las reflexiones muy brillantes de la tarea visual suelen alterar, normalmente de forma perjudicial, la visibilidad de la misma.

Para la reducción de este tipo de deslumbramiento por reflexión, un eficaz método complementario es la utilización de materiales mates que reflejan la luz de forma difusa, con las reflectancias recomendadas por la norma UNE-EN 12464-1.

Como se ha señalado, otras medidas a tener presentes consisten en la instalación de luminarias difusoras con un área de superficie grande, con luminancia reducida en direcciones críticas; implantación de sistemas de iluminación indirecta o luz incidente desde un lado, como la luz diurna procedente de ventanas laterales y, por último, limitación de la luminancia de luminarias, ventanas y claraboyas.

4.1.2.5. Iluminación direccional

La iluminación direccional puede usarse para hacer resaltar objetos, revelar la textura y mejorar la apariencia de personas dentro del espacio. Esto se describe mediante el término "modelado". La iluminación direccional de una tarea visual puede también afectar a su visibilidad.

* Modelado

El modelado es el equilibrio entre luz difusa y luz direccional. Es un criterio válido de calidad de iluminación virtualmente en todos los tipos de interiores. La apariencia general de un interior resulta mejorada cuando sus características estructurales, las personas y objetos dentro de él son iluminados de modo que se revelen la forma y la textura de un modo claro y agradable. Esto ocurre cuando la luz procede predominantemente de una dirección.

La iluminación no debería ser demasiado direccional o producirá sombras fuertes, ni tampoco demasiado difusa o el efecto de modelado se perderá totalmente, dando como resultado un ambiente luminoso muy apagado o monótono.

El modelado se define como la capacidad de la iluminación para destacar formas y texturas, que pueden hacerse más evidentes utilizando la iluminación direccional o de acento como suplemento imprescindible de la iluminación general (difusa), por lo que los criterios de modelado son de gran significación.

La iluminación de acento, entendida como la direccional instalada para realizar un determinado elemento (producto, mueble, talla, etc.) y dirigir la atención de las personas para su observación, como complemento de la iluminación general, permite resaltar acertadamente los objetos y sus características.

Aumentando o disminuyendo la intensidad de la iluminación se puede crear un variado patrón de luces y sombras, con contrastes que sugieren dinamismo, de modo que cuanto más duras sean las sombras, más espectacular, dramático y agresivo será el efecto logrado.

Un idóneo modelado constituye el equilibrio entre la luz difusa (iluminación general) y la luz direccional (alumbrado de acento). Con los sistemas LED es posible realizar iluminaciones direccionales fuertes, que podrán producir sombras oscuras sobre las caras.

La buena comunicación visual y el reconocimiento del objeto dentro de un espacio, requieren que el volumen del espacio en el que se mueven o trabajan las personas esté correctamente iluminado, lo que se satisface aportando la iluminancia cilíndrica media adecuada (E_c) en el espacio.

De conformidad con lo establecido en la norma UNE-EN 12464-1, la iluminancia cilíndrica media mantenida (iluminancia media del plano vertical) en la ac-

tividad y en áreas interiores, no debe ser menor de 50 lux con una uniformidad $U_o \geq 0,10$ en un plano horizontal a una altura concreta, por ejemplo, 1,2 m para personas sentadas y 1,6 m para personas de pie.

No obstante, en áreas donde la buena comunicación visual es importante, especialmente en oficinas, áreas de reunión y salas de educación, la iluminancia cilíndrica media (E_c) no debería resultar inferior a 150 lux con $U_o \geq 0,10$.

En lo que atañe al equilibrio entre la luz difusa y la direccional, la norma UNE-EN 12464-1 determina que la relación entre la iluminación cilíndrica y la horizontal (E_c / E_h) en un punto, es un indicador del modelado, por lo que para disposiciones uniformes en el techo de luminarias o claraboyas, establece un valor comprendido entre 0,30 y 0,60 para dicha relación, como referencia válida de un buen modelado.

Con todo y con eso, según la Publicación CIE nº 205, se necesita una nueva medida mejorada del modelado, para asegurar la calidad de la iluminación con todos los tipos de fuentes de luz, incluyendo los LED.

* Sombras

En alumbrado interior las sombras pueden ser útiles, creando los correspondientes contrastes. Las sombras son críticas para establecer el necesario contraste que mejore la visibilidad de los objetos y caras, al tiempo que ayuda al observador a apreciar, verbigracia, los detalles y sutilezas de los objetos y elementos esculturales.

La Publicación CIE nº 205 de 2013, afirma que las sombras en movimiento facilitan una información crucial acerca de la implantación espacial de la escena y del movimiento relativo de los objetos en ella.

Las sombras pueden examinarse desde dos aspectos: sombras naturales y sombras creadas. Una sombra natural se produce sobre el lado de un objeto, opuesto al que recibe la luz directa, mientras que una sombra creada es un diseño causado por el objeto iluminado sobre una superficie de fondo.

El grado visualmente perceptible de una sombra aumenta cuando se incrementa el tamaño de la luminaria que origina la sombra, crece el ángulo de incidencia de la luz, se acrecienta el contraste de luminancia entre la sombra creada y el área circundante más brillante, se amplían las dimensiones de la sombra na-

tural y, finalmente, se agranda el contraste de luminancia sobre la luminaria que crea la sombra.

Por el contrario, el grado visualmente perceptible de una sombra disminuye cuando se reduce el tamaño de la penumbra y aminora la reflectancia de la superficie de fondo sobre el que emerge la sombra.

Tanto las sombras naturales como las creadas tienen dos características diferentes, que son la “dureza–suavidad” o gradiente del borde de la sombra y la “claridad–oscuridad” o contraste del área de luz comparada con el área oscura.

La “dureza–suavidad” depende de la claridad del contorno de la sombra, de modo que una sombra con un contorno perceptible de forma clara es una sombra dura. Si es difícil diferenciar el perfil de la sombra, se trata de una sombra suave.

La característica de “dureza–suavidad” de una sombra depende principalmente del tamaño de la luminaria que la origina. Condiciones geométricas diferentes, tales como las medidas del objeto, posición de la luminaria, distancia del objeto a la luminaria y, para una sombra creada, la distancia del objeto a la superficie de fondo, afectan a las características de la sombra. El gradiente de suavidad suele diferir de acuerdo a las dimensiones de la sombra y penumbra.

Una sombra puede ser aclarada u oscurecida ajustando las componentes directa y difusa de la luz emitida por la luminaria. La “claridad–oscuridad” de una sombra viene determinada fundamentalmente por la reflectancia de las superficies interiores, la distribución de la luz (directa, indirecta, etc.) y el número de luminarias.

Además, también la reflectancia de los muebles y del propio objeto iluminado, la disposición de la luminaria y la distribución de la intensidad luminosa de la misma, tienen asimismo un efecto sobre el aclarado de la sombra.

Si el tamaño de las luminarias es demasiado pequeño se pueden producir sombras duras, o cuando se utilizan LED en una agrupación o módulo, con cada LED emitiendo la luz en una dirección diferente, se ocasionan múltiples sombras, con la consiguiente interferencia en el rendimiento de la tarea visual, alcanzando a causar distracciones u originar confusión en los usuarios.

Los trabajos de investigación llevados a cabo sobre las sombras, lógicamente están muy estrechamente relacionados con los efectuados respecto al modelado.

Ninguna medida a aplicar en relación a las sombras tiene, en principio, la intención de eliminarlas, sino de variarlas o suavizarlas, de manera que las sombras duras o múltiples, no puedan enturbiar la interpretación de la visión de un objeto por el observador.

No obstante, las posibles medidas a adoptar dependerán del tipo de actividad o aplicación a desarrollar, ya que en muchos casos las sombras múltiples sobre la parte superior de un mostrador o mesa pueden producir distracción, mientras que cuando se trata de una joyería se logra incluso mejorar la apariencia de los objetos o alhajas.

Para la iluminación de la tarea visual las sombras creadas son más convenientes para la visibilidad. Las luminarias LED pueden ser una fuente de distracción, ya que la agrupación o módulos LED suelen provocar sombras múltiples que favorecen la confusión en la visión de los objetos como, poner por caso, sobre superficies de mesas o proyectadas en paredes o suelos.

A menudo, como medida correctora eficaz para mitigar las sombras creadas a partir de los LED, resulta recomendable la instalación en la luminaria de una lente difusa simple o una superficie reflectante blanca (translúcida).

La Publicación CIE nº 205 del año 2013, concreta que hoy en día no hay una medida que cuantifique el grado de aceptación de las sombras producidas para distintas clases de tareas visuales.

Los estudios sobre sombras existentes incluyen determinaciones sobre las características específicas de las mismas, así como algunas recomendaciones para evitar apariencias desagradables.

Pese a ello, para considerar la sombra como un criterio de diseño de iluminación interior, debería previamente definirse una medida para graduar los dos atributos de las sombras, la "dureza-suavidad" y la "claridad-oscuridad".

✳ Iluminación direccional de tareas visuales

La iluminación procedente de una dirección específica puede revelar detalles dentro de una tarea visual, aumentando su visibilidad y haciendo la tarea más fácil de realizar. Deberían evitarse reflexiones de velo y deslumbramiento reflejado.

4.1.2.6. Aspectos de color

La percepción del color se optimiza cuando se establece el equilibrio adecuado entre luz natural y fuentes de iluminación eléctricas. Actualmente, diversas tecnologías de iluminación proporcionan un elevado índice de reproducción cromática, y cuando se combina una tecnología concreta con la aplicación apropiada, los empleados verán con mayor precisión y aumentarán su productividad.

Las cualidades de color de una lámpara o LED próxima al blanco están caracterizadas por dos atributos:

- la apariencia de color de la propia lámpara o LED;
- sus capacidades para el rendimiento de colores, que afectan a la apariencia de color de objetos y personas iluminadas por la lámpara.

Estos dos atributos deben ser considerados por separado.

* Apariencia de color

La apariencia de color de una lámpara o LED se refiere al color aparente (cromaticidad) de la luz emitida. Se cuantifica por su temperatura de color correlacionada (TCC).

La apariencia de color puede también ser descrita según la tabla 3.

Tabla 3. Grupos de apariencia de color de lámparas.

Apariencia de color	Temperatura de color correlacionada, T_c K
Cálida	inferior a 3.300 K
Intermedia	3.300 a 5.300 K
Fría	superior a 5.300 K

La elección de apariencia de color es una cuestión psicológica, estética y de lo que se considera como natural. La elección dependerá del nivel de iluminancia, colores de la sala y muebles, clima circundante y la aplicación. En climas cálidos generalmente se prefiere una apariencia de color de luz más fría, mientras que en climas fríos se prefiere una apariencia de color de la luz más cálida.

* Rendimiento de colores

Es importante para las prestaciones visuales y la sensación de confort y bienestar, que los colores del entorno, de objetos y de la piel humana sean reproducidos de forma natural, correctamente y de tal modo que haga que las personas parezcan atractivas y saludables.

Los colores de seguridad siempre deben ser reconocibles como tales (véase también la Norma ISO 3864). Para proporcionar una indicación objetiva de las propiedades de rendimiento de color de una fuente luminosa se ha introducido el índice de rendimiento de color general R_a . El valor máximo de R_a es 100. Esta cifra disminuye al bajar la calidad de rendimiento de color.

Las lámparas o LED con un índice de rendimiento de color menor de 80 no deberían ser usadas en interiores en los que las personas trabajen o permanezcan durante periodos largos. Pueden hacerse excepciones para algunos lugares y/o actividades (por ejemplo iluminación de grandes alturas), pero deben tomarse medidas adecuadas para asegurar el alumbrado con el mayor rendimiento de color en lugares de trabajo ocupados de modo continuo y cuando se hayan de reconocer los colores de seguridad.

La Publicación CIE nº 177 determina que el índice de rendimiento de color (IRC) no es aplicable en general para establecer el orden de clasificación del rendimiento de color de un conjunto de fuentes de luz, cuando en el mismo se incluyen LED blancos. El Comité Técnico de la Comisión Internacional de Iluminación en su Publicación CIE nº 205, recomienda el desarrollo de un nuevo índice o un índice modificado de rendimiento de color aplicable a todos los tipos de fuentes de luz, incorporando los LED blancos.

Pese a ello, en la actualidad la norma europea EN 12464-1 elaborada por el Comité Técnico de Normalización (CEN) y adoptada, entre otros 30 países europeos, por España como norma nacional UNE-EN 12464-1, considera el índice especial de rendimiento de color apropiado para determinar dicho rendimiento.

La norma UNE-EN 12464-1 establece para cada tipo de actividad, áreas, lugares de pública concurrencia y establecimientos sanitarios, unos valores mínimos de rendimiento de color.

La valoración de la apariencia de color de la luz blanca no se ha considerado que resultara diferente en la evaluación de calidad de las soluciones de iluminación LED.

En investigaciones realizadas para la luz blanca, una temperatura de color correlacionada (T_{cc}) neutra de 3.500 K ha sido convenientemente seleccionada por producir una apariencia de color idónea, aun cuando las preferencias para la apariencia de color de la luz blanca varíen ampliamente en los distintos países, de acuerdo con su cultura, situación geográfica y otros factores.

Tal y como se ha indicado, la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) está reconsiderando el actual concepto de rendimiento de color. Se pretende proponer un nuevo índice de rendimiento de color, o bien un índice modificado, que sea aplicable a los LED y a las fuentes de luz convencionales (Publicación CIE nº 205).

* Consistencia y estabilidad de color

Las diferencias de color blanco entre los LED es inherente al proceso de producción de los mismos. Los LED se fabrican a partir de un semiconductor juntando dos sustratos de zafiro (Al_2O_3) o en general de carbono de silicio, uno rico en electrones libres (semiconductor tipo N) y el otro deficitario en electrones (semiconductor tipo P, hueco o agujero).

Cuando un electrón cae en un hueco (recombinación), emite un fotón que es una partícula de luz, siendo el rendimiento de la pastilla o chip (LED) la relación entre el número de electrones inyectados, con una intensidad de luz (flujo de fotones) proporcional a la corriente de inyección.

La eficacia luminosa (lm/W) y el flujo emitido (lm) es inferior para el tono de luz blanco cálido que para el blanco frío, dada la irradiación directa de azul o ultravioleta que favorece la emisión de luz blanca fría, y que la obtención de luz blanca cálida requiere más capas de fósforo rodeando al LED azul o ultravioleta, limitando en mayor medida la salida del flujo luminoso emitido.

Debido a esta variación del tono de luz (blanco frío a blanco cálido) los fabricantes seleccionan los LED en diferentes categorías (según el flujo luminoso, tensión y su temperatura de color), realizando una rigurosa selección mediante un triaje selectivo apropiado llamado *binning*, teniendo en cuenta que la tonalidad blanco cálida es más difícil de obtener que la blanco fría.

Los fabricantes que no realizan un triaje selectivo riguroso, corren el riesgo de prestaciones deficientes de sus productos, como la variación del color blanco de la luz emitida a lo largo del tiempo de funcionamiento de los LED, o el aspecto heterogéneo de la superficie iluminada por los mismos.

Expuestas las diferencias y variaciones de color entre los LED consustanciales al procedimiento de fabricación de los LED que emiten luz blanca, además y sobre todo pueden cambiar de tono de color cuando se regula la fuente de luz.

A lo largo de la duración de vida de los LED, la consistencia y los desfases de color no son características nuevas de una fuente de luz. Sin embargo, son aspectos cualitativos nuevos en algunas áreas de alumbrado interior funcional, cuando se utilizan sistemas LED para iluminar superficies uniformes, ya que la apariencia del haz suele mostrar diferencias de color visibles que pueden impactar en la calidad percibida de la solución de iluminación.

En razón a la apariencia de color de soluciones de iluminación LED orientadas verticalmente, la consistencia y estabilidad de color se considera más crítica para los LED situados en la línea de visión y cuando se comparan lado a lado.

Con arreglo a lo determinado en la Publicación CIE nº 205, en la actualidad hay disponibles varias medidas para la consistencia y estabilidad de color que resultan adecuadas, tanto para las soluciones de iluminación con LED, como para otras fuentes de luz.

4.1.2.7. Fatiga visual

La energía radiante emitida por los LED ni es monocromática como la irradiada por los láseres, ni de banda ancha con espectro continuo como sucede en las lámparas de incandescencia, sino algo intermedio entre ambas, es decir, en general se aproxima más a una emisión casi monocromática que a un espectro continuo amplio y, por tanto, solamente tiene un ancho de banda espectral de algunas decenas de nanómetros y un pico de longitud de onda localizado en algún lugar de la región visible o del infrarrojo cercano del espectro ($\lambda > 760 \text{ nm}$).

Una condición exigible a la iluminación de buena calidad es que ayude a las personas a trabajar sin fatiga visual que, según varios estudios actuales, la evalúan utilizando la frecuencia de fusión crítica de parpadeo, el tiempo de respuesta de acomodación, la convergencia de punto próximo y, por último, la disminución del área de acomodación, definida por el valor de la integración de la curva de respuesta, cuando hay presentes estimulaciones próximas, rendimiento de la tarea (por ejemplo tiempo de lectura) o informes subjetivos de fatiga visual.

Los resultados de experimentos sobre fatiga visual con tareas en pantallas de ordenador, han puesto de manifiesto que los sistemas de iluminación con distri-

bución de energía espectral amplia, tienen ventaja sobre los de distribución de energía espectral estrecha (Takeda, 1988).

A partir de esto cabría suponer que sucede lo mismo cuando en alumbrado interior se aplican soluciones de iluminación LED con distribución espectral estrecha. No obstante, según la Publicación CIE nº 205, un experimento llevado a efecto por Mochizuki en 2009 en el caso de alumbrado general con LED blancos, es decir, LED emisores de azul que excitan un fósforo emisor de amarillo, los resultados respecto a la fatiga visual no resultaban significativamente diferentes a los obtenidos con lámparas fluorescentes.

4.1.2.8. Parpadeos y efectos estroboscópicos

Los LED pueden parpadear especialmente durante el proceso de regulación. El fenómeno de parpadeo es un factor que disminuye la sensibilidad del ojo humano y que podría disparar la fatiga visual, por lo que de acuerdo con la Publicación CIE nº 205 (Cao y col, 2011) se ha propuesto en orden a su limitación, un método de regulación óptimo de los LED orientado a mantener la máxima agudeza visual.

Muchos reguladores (*drivers*) utilizan modulación de anchura de impulso (PWM), como una técnica para activar y desactivar los LED a alta frecuencia, produciendo el efecto visual de regular la iluminación LED.

Aunque IES (2010) recomienda una frecuencia de salida mínima del dispositivo de alimentación de 120 Hz para evitar el parpadeo perceptible, de conformidad con la Publicación CIE nº 205 resulta insuficiente para asegurar la calidad de la luz emitida.

Según la Publicación CIE nº 205 la *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA) ofrecen dos medidas para valorar el parpadeo (modulación visible y/o invisible de luz): el porcentaje de parpadeo y el índice de parpadeo. El porcentaje de parpadeo es una medida relativa de la variación cíclica en el flujo luminoso de una fuente de luz (modulación en tanto por ciento), mientras que el índice de parpadeo corresponde a la relación o cociente entre el área situada por encima del flujo luminoso medio y el área total de la curva del flujo luminoso para un único ciclo.

El índice de parpadeo puede variar entre 0,0 y 1,0 de forma que un valor de 0,1 o menor se considera aceptable. Este índice de parpadeo es un criterio am-

pliamente utilizado en la industria, aunque no puede predecir el efecto de la frecuencia, ni tener en cuenta en su totalidad el efecto de la forma de la curva de salida de la luz.

Dentro del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) el Subcomité PAR 1789 ha sido designado para definir medidas para el parpadeo y está trabajando hacia una medida predictiva del mismo.

No obstante, en la actualidad ninguna medida tiene en cuenta todos los parámetros del parpadeo (Poplawski, 2010). La consideración principal es definir el parpadeo que causa los efectos biológicos humanos, en términos de componentes de señales de baja frecuencia.

Se requiere una exploración adicional, por ejemplo, resulta necesario definir las frecuencias umbral, por encima de las cuales se espera que la iluminación LED no cause efectos biológicos a los humanos.

Actualmente no hay medidas disponibles que puedan predecir la visibilidad del efecto estroboscópico. Conforme a la Publicación CIE nº 205, la investigación ha evidenciado que el índice de parpadeo no es en si mismo una medida apropiada.

En razón a ello, no puede olvidarse que, en algunos casos, en los lugares de trabajo los efectos estroboscópicos pueden conducir a situaciones de cierto compromiso, cambiando el movimiento percibido bien de maquinaria giratoria o que se mueve en vaivén.

A modo de resumen, se puede significar que el parpadeo y los efectos estroboscópicos son indicadores que tienen importancia en la valoración de la calidad de la iluminación LED, por lo que se precisa desarrollar una medida eficaz para predecir tanto el parpadeo con los efectos estroboscópicos que permita, en su caso, adoptar las medidas correctoras que procedan.

La Comisión Internacional de Iluminación en su Publicación CIE nº 205 de 2013 establece, entre otras, la siguiente conclusión:

El parpadeo y los efectos estroboscópicos no son tratados de manera apropiada por las medidas corrientes. La investigación está avanzando para desarrollar una nueva medida que ayudará a tratar la molestia y la distracción al parpadeo y de los efectos estroboscópicos.

4.1.2.9. Factor de mantenimiento

El proyecto de iluminación debería diseñarse con un factor de mantenimiento total calculado para el equipo de alumbrado seleccionado, ambiente espacial y programa de mantenimiento especificado.

La iluminancia establecida para cada tarea en las tablas del capítulo 5 de la norma UNE-EN 12464-1 es una iluminancia mantenida. El factor de mantenimiento depende de las características de mantenimiento de la lámpara o LED y del equipo eléctrico, la luminaria, el ambiente y el programa de mantenimiento.

El diseñador debe:

- establecer el factor de mantenimiento y anotar todas las suposiciones hechas en el establecimiento del valor;
- especificar el equipo de iluminación adecuado para el ambiente de aplicación;
- preparar un programa de mantenimiento completo que incluya la frecuencia de reemplazamiento de la lámpara o LED, los intervalos de limpieza de la luminaria y de la sala y el método de limpieza.

4.1.2.10. Consideraciones sobre la energía

Tras los recientes aumentos en los precios de la electricidad, y ante las previsiones de nuevas subidas de las tarifas, se hace imprescindible considerar soluciones de iluminación energéticamente eficientes. Ya sea considerando la sustitución de la iluminación actual en instalaciones existentes o el diseño de nuevas instalaciones.

Sin embargo, es importante no comprometer ni los aspectos visuales de una instalación de iluminación simplemente para reducir el consumo de energía.

Esto requiere la consideración de nuevos sistemas de alumbrado, fuentes de luz (LED), equipos y controles apropiados y el uso de la luz natural disponible.

La Sección HE 3 de la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, regula la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación en interiores.

A este respecto define el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI, estableciendo unos niveles límites (valores máximos) para las distintas zonas de actividad diferenciada (tabla 2.1), así como una potencia mínima instalada en edificio (tabla 2.2), al tiempo que define los sistemas de control, regulación y aprovechamiento de la luz natural.

Además de la verificación y justificación del cumplimiento de las exigencias, determina los cálculos a efectuar, así como la necesidad de incorporar en el proyecto un plan de mantenimiento de las instalaciones de iluminación que, entre otras acciones, determina las operaciones de reposición de lámparas y LED, limpieza de luminarias con la metodología prevista y la limpieza de la zona iluminada incluyendo en ambas la periodicidad necesaria.

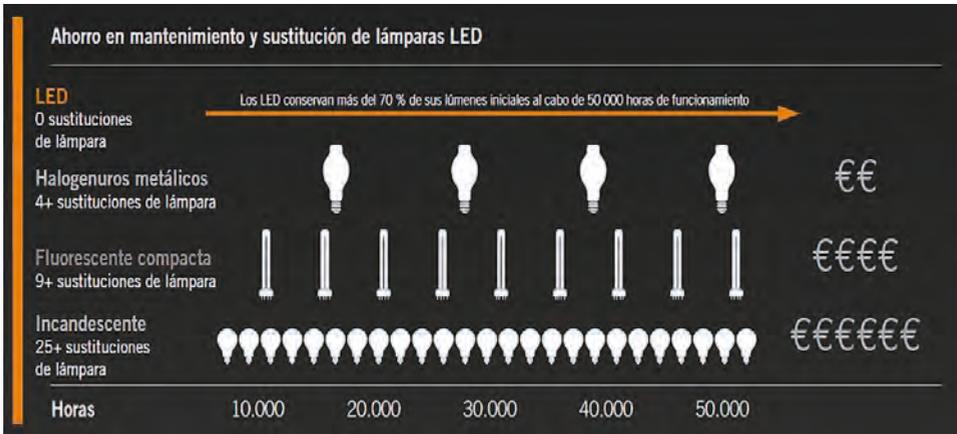


Figura 4. Ahorro en mantenimiento y sustitución de lámparas LED.

4.1.3. Tipos de alumbrado de actividades industriales

Los sistemas de alumbrado interior de actividades artesanales e industriales son los siguientes:

- Iluminación de carácter general.
- Iluminación general localizada u orientada en el puesto de trabajo.
- Iluminación adicional o local de ayuda en el puesto de trabajo.

La iluminación de carácter general proporciona las mismas condiciones de confort visual en toda la zona iluminada, de modo que permite la realización de las actividades propias del área en la que se encuentra localizada la tarea industrial a ejecutar, tales como desplazamientos, cambios en las direcciones de visión, etc.

La iluminación de carácter general garantiza un alto grado de flexibilidad en la elección de los puestos de trabajo, que posibilita la adopción de cualquier disposición de los mismos, facilitando un aprovechamiento variable del local de trabajo.

La iluminación general localizada u orientada en el puesto de trabajo resulta conveniente, especialmente en zonas de trabajo donde las ventajas de ahorro de energía o de costes se puede conseguir concentrando la luz sobre áreas específicas de trabajo, teniendo en cuenta que los sectores adyacentes (circulación y superficie de almacenamiento) estén iluminados con un nivel suficiente y en una relación adecuada respecto a las referidas áreas específicas de trabajo.

Los sistemas variables de alumbrado mediante luminarias desmontables favorecen soluciones idóneas y flexibles para la adaptación de la iluminación en las áreas de trabajo o, en su caso, a los cambios en los procesos de producción.

La iluminación adicional o local de ayuda en el puesto de trabajo se implanta en todos aquellos donde la propia dificultad de las tareas visuales lo exija.

Hoy en día, en la práctica, en la iluminación de actividades artesanales e industriales se utiliza frecuentemente una combinación de los diferentes sistemas de iluminación.

En relación a la implementación de luminarias, para este tipo de actividades, en general, se adoptan las siguientes modalidades:

- Disposición en hileras de forma central.
- Disposición lateral.

Según los niveles de iluminación exigidos, se instalarán las luminarias formando hileras longitudinales y transversales de forma que, a ser posible, se aproveche la estructura soporte de la cubierta o forjado de la nave.

Estas hileras de luminarias se implantarán de modo que, en lo que resulte factible, se eviten las sombras que puedan producir la iluminación de las instalaciones fijas de la industria y, además, dichos aparatos de alumbrado no interfieran en un plano horizontal con el correcto funcionamiento de las instalaciones móviles como, por ejemplo, puentes grúa.

No obstante, generalmente por causas estructurales o ambientales, puede resultar necesaria una disposición de las luminarias sobre columnas o paredes laterales, bien formando hileras o grupos de luminarias.

En los locales o salas con ventanas y en paralelo con el frente principal de éstas, se deberán disponer las luminarias en hileras.

Los puestos de trabajo se situarán de manera que la dirección de la mirada del trabajador vaya en paralelo con el frente principal de las ventanas y, por consiguiente, en paralelo con el eje longitudinal de las luminarias. Con esta configuración, se puede conseguir evitar el deslumbramiento directo y por reflexión, así como las sombras incorrectas.

En todo caso, la ubicación de las luminarias y su orientación deberán además eludir en lo posible los deslumbramientos directos y asegurar un correcto mantenimiento de las luminarias.

4.1.3.1. Clasificación

Se clasifican los edificios industriales a partir de las alturas que pueden tener:

- Edificios con oficinas de varios pisos 2,5 a 3,0 m
- Edificios fabriles de uno o más pisos 3,0 a 4,0 m
- Edificios fabriles de un solo piso 4,0 a 7,0 m
- Edificios en Naves de gran altura > a 7,0 m

* Edificio de oficinas

Altura de techo: 2,5 a 3 m.

La iluminación es apropiada instalando luminarias apantalladas o con ópticas adecuadas dotadas de LED, que se distribuirán en función del tipo de sala y su mobiliario.

En las salas orientadas a la luz natural procedente de las ventanas, se instalarán paralelamente a ellas luminarias con distribución luminosa asimétrica.

En el supuesto de que la propia profundidad del local y el nivel de iluminación así lo requieran, se implementarán en el interior de la sala y, asimismo, paralelamente a las ventanas, luminarias con distribución luminosa extensiva.

Dependiendo del nivel de iluminación exigido, las luminarias se montarán en disposición individual o en línea continua.

* Edificios industriales de varias plantas

Altura del techo: 3 a 4 m.

En este caso se consideran acertadas las luminarias apantalladas o con ópticas adecuadas, equipadas con LED y con distribución luminosa asimétrica y extensiva.

Se estiman convenientes las líneas continuas de luminarias instaladas paralelamente a las ventanas, de forma que la mirada de los trabajadores se dirija también en idéntica dirección con el referido frente de las ventanas y, por tanto, en paralelo con el eje longitudinal de las luminarias.

Asimismo, cuando el fondo de la sala o los niveles de iluminación lo exijan, se instalarán en el interior del local y paralelamente a las ventanas, líneas continuas de luminarias con distribución luminosa extensiva.

* Naves de una sola planta con o sin luminarias o claraboyas

Altura de techo: 4 a 7 m.

También en este caso se evalúan idóneas las luminarias apantalladas o con ópticas adecuadas con LED, cuya disposición se realice de acuerdo con las dimensiones de la nave y su uso, en paralelo con el frente principal de las ventanas, o en relación con el proceso de trabajo, por ejemplo, con la cinta de montaje.

En este caso, la situación de las lucernarias y claraboyas tiene una influencia adicional en la disposición de las luminarias.

La distribución luminosa de las luminarias podrá ser de haz extensivo —eventualmente asimétrico—, o en el caso de alturas a partir de 5 m, de haz intensivo.

Se considera básicamente conveniente la disposición de luminarias en líneas continuas y, en todo caso, se deberá tener especial cuidado en proporcionar iluminancias suficientemente elevadas en superficies inclinadas.

✳ Naves de techo alto

Altura de techo: a partir de 7 m.

Aun cuando pueden instalarse luminarias de óptica intensivas dotadas de LED, también en este tipo de naves se pueden instalar luminarias igualmente de óptica intensiva para lámparas de descarga de alta presión de sodio o halogenuros metálicos.

Debido a los elevados flujos luminosos, generalmente resultan necesarias relativamente pocas luminarias, lo que implica menores gastos de instalación y mantenimiento.

En el supuesto de que se precisen elevadas iluminancias en superficies inclinadas, se instalarán luminarias adicionales convenientemente apantalladas o con ópticas pertinentes, equipadas con LED.

Cuando debido a las máquinas, equipos u objetos de trabajo, se produzca deslumbramiento molesto por reflexión, se utilizarán exclusivamente luminarias de haz intensivo, dotadas de LED.

Con independencia de la tipología constructiva, no debe olvidarse que las variaciones de iluminancia influyen en:

- La agudeza visual.
- El contraste umbral.

Por tanto, el tamaño más pequeño de los objetos apreciables y los contrastes mínimos distinguibles dependerán del nivel de iluminancia alcanzado.

4.1.3.2. Fuente de Luz-LED

Las fuentes de luz hasta ahora empleadas habitualmente en industria son:

- Fluorescentes tubulares.

- Lámparas de descarga de vapor de sodio.

A partir de ahora estas fuentes de luz están dando paso a los LED lo cual está generando un replanteo en todos los sentidos y un ahorro económico muy importante.

* LED

El gran desarrollo experimentado por la tecnología SSL (*Solid State Lighting*), y especialmente el LED de alta potencia como fuente de luz para su aplicación en luminarias de alumbrado tanto interior como exterior, ha motivado la aparición en el mercado de productos que implantan esta tecnología para sustituir a la iluminación convencional.

Estas innovaciones han traído consigo grandes beneficios al constatar que se trata de instalaciones de alumbrado más eficientes energéticamente y que reducen los costes de mantenimiento en función de su durabilidad.

La tecnología LED está impulsando una transformación considerable de la manera en que se iluminan las instalaciones industriales para maximizar la productividad y minimizar el coste total de propiedad. Recientes ensayos, llevados a cabo en 12 grandes ciudades del mundo por el *Climate Group*, revelaron que la iluminación LED ahorra en promedio un 53% en la factura energética en comparación con las tecnologías de iluminación convencionales. Color pleno y luz blanca altamente eficiente son algunas de las ventajas que caracterizan a la tecnología LED.

Gracias a su diseño optimizado, las luminarias LED alcanzan una longevidad que puede llegar a superar las 50.000 horas de funcionamiento con una depreciación de lúmenes inferior al 30%. Eso implica directamente:

- Ahorro energético importante en comparación con la fuente de luz convencional.
- Su vida media suele ser como del orden de 15 veces más larga que la de las fuentes de luz convencionales.
- Plazo de amortización inferior a 18 meses (dependiendo de los precios de la energía).

Todos los productos incluidos en este ámbito están sometidos obligatoriamente al marcado CE, que indica que todo elemento o componente que exhibe dicho marcado cumple con la legislación vigente en la materia y cualquier otra asociada o futura que le sea de aplicación.

4.1.3.3. Luminarias

La modificación de una luminaria ya instalada y equipada con lámpara de descarga o de otra tecnología, adaptándola a diferentes soluciones con fuentes de luz LED (ya sea mediante lámparas de reemplazo, sustitución del sistema óptico o sistema LED *Retrofit*) implica operaciones técnicas, mecánicas y/o eléctricas (por ejemplo, desconectar o puentear el equipo existente), que comprometen la seguridad y características de la luminaria original y pueden ocasionar diferentes problemas en el ámbito de seguridad, funcionamiento, compatibilidad electromagnética, marcado legal, consideraciones medioambientales, distribución fotométrica, características de disipación térmica, flujo, eficiencia de la luminaria, consumo, vida útil y garantía.

Los distintos tipos de luminarias disponibles en el alumbrado industrial dependen de la altura del techo de la nave. Las soluciones empleadas hasta ahora en la industria son las líneas con lámparas fluorescentes y el alumbrado con lámparas de alta intensidad utilizando luminarias en forma de campana.

Los LED han reescrito ese concepto y actualmente ya se pueden encontrar luminarias mucho más eficientes con abundantes tipos de formas para aprovechar la tecnología al máximo, como por ejemplo las siguientes imágenes teniendo en cuenta la altura.

De esta forma se tiene:

- Alturas menores a 6 m: Pantallas de LED con sonorización o algún tipo de control.



Figura 5. Ejemplo luminarias de interior.

- Alturas mayores a 6 m: luminarias especiales de alta intensidad.



Figura 6. Ejemplo luminaria de interior.

- Ambientes polvorientos o húmedos: luminarias estancas de alta intensidad y materiales especiales en función de la aplicación.



Figura 7. Luminaria de interior.

4.1.4. Sistemas de regulación y control

Los controles posibilitan una reducción del consumo cuando el espacio está desocupado o cuando la luz natural es suficiente.

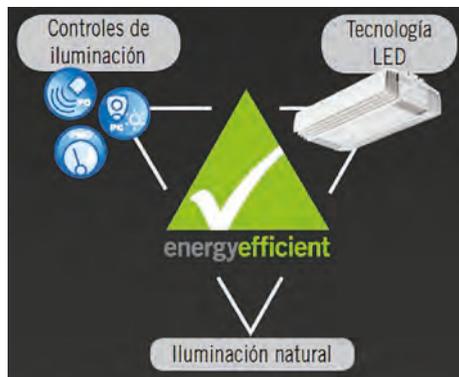


Figura 8. Esquema de control.

Las tecnologías de control/gestión actualmente disponibles son:

- Reloj horario: sistema de regulación mediante la hora del día.
- Reloj astronómico: sistema de regulación mediante la hora que se pone y sale el sol. Es programable y se tiene que especificar la ubicación geográfica de la instalación y la fecha del año con objeto de ajustar el parámetro de funcionamiento.
- Fococélulas (aprovechamiento de la luz natural). Se activa o desactiva en función de la aportación de luz natural. Este último sistema es conceptualmente el más fiable, a pesar de que requiere de un mantenimiento más frecuente para garantizar las condiciones de funcionamiento (por ensuciamiento y envejecimiento de materiales). El sistema acostumbra a permitir el encendido y apagado de instalaciones, pero no un sistema de regulación dependiente del horario de utilización.
- Detectores de presencia (ocupación de espacios).
- Paneles de escena luminosa (escenificación).

Los sistemas de regulación de la aportación de flujo según las necesidades actualmente disponibles son:

- Sistemas auxiliares autorregulables: Reactancias electrónicas o mixtas que son auto-programables y se regulan en función de un cálculo matemático del tiempo de encendido y apagado. El coste unitario por instalación es inferior, y aumenta la fiabilidad del sistema al hacer la regulación a nivel de reactancia directamente.

La instalación de estos sistemas siempre proporciona ahorro energético y reducción de la magnitud contaminante. El reductor en cabecera requiere una inversión centralizada a nivel de cuadro de maniobra y espacio para ubicarlo, y los sistemas auto-programables acción sobre los puntos de luz.

Los sistemas de Telegestión son la forma más costosa pero al mismo tiempo más parametrizable y dependiendo de la aplicación y el proyecto son la mejor solución.

- Telegestión: Los sistemas de telegestión se basan en un control electrónico de las instalaciones. Mediante un centro de control computarizado y unos elementos autónomos distribuidos, se puede llegar a poder controlar cada receptor energético, cada punto de luz, a nivel de su estado, control de nivel lumínico, etc. Este centro de control determina cuando

se tienen que encender los diferentes sistemas, apagarse, según diferentes entradas o información del entorno (hora del día, calendario, accionamiento manual, luz natural, etc. Cualquier configuración se posible, dependiendo de las variables que se quieran considerar.

El potencial de ahorro actual es muy elevado, acercándose al máximo teórico. Pero dicho sistema elevando coste de inversión inicial, hace que actualmente no se puedan considerar viables económicamente implantaciones generalizadas de esta tecnología.

En el capítulo que se tratan *Drivers* y Control del Alumbrado se expone con amplitud lo relativo a la gestión de los sistemas de iluminación, que se da por reproducido en este apartado.

4.1.5. Conservación de las instalaciones de alumbrado

* Plan General de Mantenimiento

Al evaluar una solución de alumbrado de lugares de trabajo interiores, como en los casos de las industrias, desde el punto de vista económico, en muchas ocasiones, solo se considera el presupuesto de la primera instalación. Es indudable que, en un análisis correcto, debe tenerse también en cuenta el coste de la energía consumida en un periodo de tiempo y los gastos del mantenimiento precisos para asegura el nivel de servicio adecuado.

Todas las instalaciones de este tipo de alumbrado, por sus propias características y por la acción de agentes externos, experimentan, a lo largo del tiempo, una baja sensible en sus prestaciones.

Para mantener en buenas condiciones el sistema de iluminación y conservar unos niveles óptimos es necesario realizar una serie de operaciones periódicamente, como la sustitución de las fuentes de luz o la limpieza de las luminarias.

Además de contar con un sistema de ventilación eficaz que evacue los humos, gases de escape y partículas en suspensión que dispersan la luz.

Aunque las causas que producen esta depreciación son bien conocidas, por su misma naturaleza variable o por la falta de una sistemática, son difícilmente cuantificables, lo que dificulta su consideración en los proyectos y en la fase de

explotación de la instalación, conduciendo en muchos casos a un despilfarro de energía eléctrica y de los presupuestos invertidos en la primera instalación, al no conseguirse de forma económica los objetivos básicos de todo alumbrado.

El programa de conservación influye muy directamente en la definición de la potencia total a considerar y, por tanto, en los costes de la instalación y en el consumo.

4.1.5.1. Causas de depreciación

Causas que alteran las prestaciones de una instalación:

- Disminución del flujo luminoso.
- Pérdidas por acumulación de suciedad.

La acumulación de polvo y suciedad en los sistemas ópticos produce no sólo una pérdida de rendimiento por reducción de la transmitancia y la reflectancia, sino que además, altera el reparto fotométrico de la luminaria que aumenta normalmente su difusión, en detrimento de las componentes especulares.

Otros puntos importantes a considerar en la instalación son los siguientes:

* Variaciones en la tensión de alimentación

Una tensión en los bornes de la fuente de luz diferente a la prevista, produce una variación en el flujo emitido.

Por otra parte, una tensión superior a la nominal somete a los diferentes elementos de la instalación a un calentamiento excesivo, que redundará en un acelerado envejecimiento y en una reducción de la vida de la lámpara.

* Variaciones excesivas de temperatura

Una temperatura excesivamente alta produce una serie de inconvenientes que pueden resumirse en:

- Deterioro más o menos rápido de los elementos plásticos, pintura, barnices, aislamientos y juntas elásticas. Este deterioro o envejecimiento también se produce, en general, en atmósferas demasiado frías.
- Destrucción de algún elemento de la electrónica que conduzca al fallo prematuro de la misma.
- Reducción del flujo luminoso del módulo de LED al producirse el ciclo de descarga alejado de su temperatura óptima de funcionamiento.
- Envejecimiento acelerado de los componentes eléctricos de la instalación, tales como condensadores, arrancadores, reactancias y conexiónado.

4.1.5.2. Puntos de intervención y planes de mantenimiento

Tal y como hemos comentado a lo largo de este capítulo, las diferentes causas de depreciación conducen a una baja sensible en el rendimiento de las instalaciones de alumbrado por lo que, si se desea mantenerlas a un nivel adecuado, es preciso confeccionar un plan de mantenimiento.

Debido al coste cada vez más elevado, tanto de la mano de obra como de los medios utilizados, resulta más aconsejable y económico, programar las diversas operaciones de mantenimiento por grupos, reduciendo al mínimo posible las intervenciones puntuales o fuera de programa.

Los principales puntos sobre los que actúa el mantenimiento son los siguientes:

- Conservación mecánica.
- Conservación eléctrica.
- Limpieza de los sistemas ópticos/cerramientos.

Las luminarias con tecnología LED originan que la frecuencia en el recambio de la fuente de luz sea mucho menor debido a la larga vida de este tipo de tecnología. Si la instalación tiene un plan de mantenimiento adecuado la instalación tendrá una vida útil y unos costes mucho menores que en el pasado.

* Conservación mecánica

En la conservación mecánica se incluyen operaciones tales como: comprobación de la fijación y verticalidad de los soportes, verificación de la tornillería de fijación, inclinación y orientación de los aparatos, etc.

* Conservación eléctrica

La conservación eléctrica es fundamental para garantizar la seguridad y el rendimiento energético. Se consideran englobadas en este grupo operaciones tales como: confrontación de las tomas de tierra de los soportes y de los aislamientos de todos los elementos de la instalación, de los conductores y de los cuadros de maniobra, comprobación del factor de potencia, etc.

* Limpieza de los grupos ópticos/cerramientos

Normalmente, las operaciones de limpieza están condicionadas al tipo de industria o actividad, el área de trabajo y el tipo de trabajo que se realiza. La limpieza puede oscilar desde 1 vez hasta 3 veces al año.

Estos intervalos se refieren a luminarias herméticas (IP 66). Para luminarias abiertas, estos periodos deberían, aproximadamente, doblarse.

4.1.6. Ejemplo práctico – cálculos luminotécnicos de una nave industrial

Se ha de determinar la luminosidad requerida según normativa en cada zona de trabajo, para cada tarea, con el confort visual adecuado, la uniformidad y otros parámetros luminotécnicos necesarios para el correcto, cómodo y eficiente desarrollo de la actividad productiva que en ella se realice.

Este ejemplo corresponde a una industria considerada con ambiente/atmosfera sin riesgo de explosión. En estos casos el material y reglamentación son especiales.

* Estudio lumínico. Dpto. proyectos

Los ingenieros luminotécnicos partiendo de un estudio previo de las posibles opciones, deben desarrollar el proyecto lumínico correspondiente para su posterior instalación.

Mediante el software adecuado o procesos manuales que sean capaces de realizar los cálculos de iluminación, niveles de luminosidad (lux), curvas Isolux/polares y de ofrecer el resto de parámetros requeridos por la normativa vigente, permiten editar la documentación justificativa necesaria en todo proyecto luminotécnico.

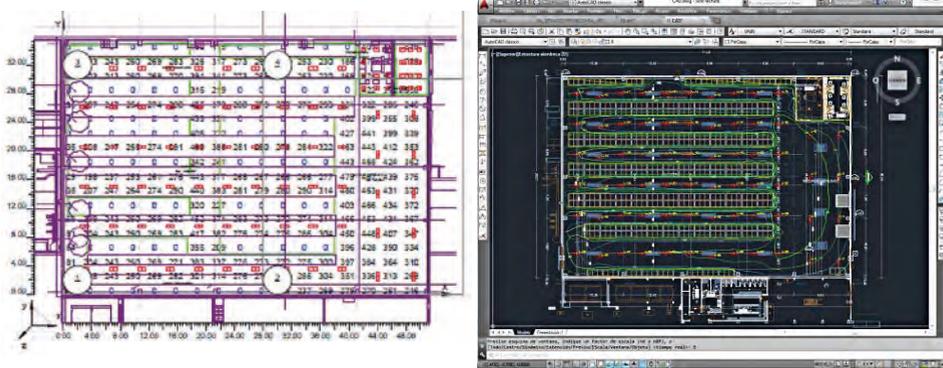


Figura 9. Ejemplo de software utilizado para el estudio.

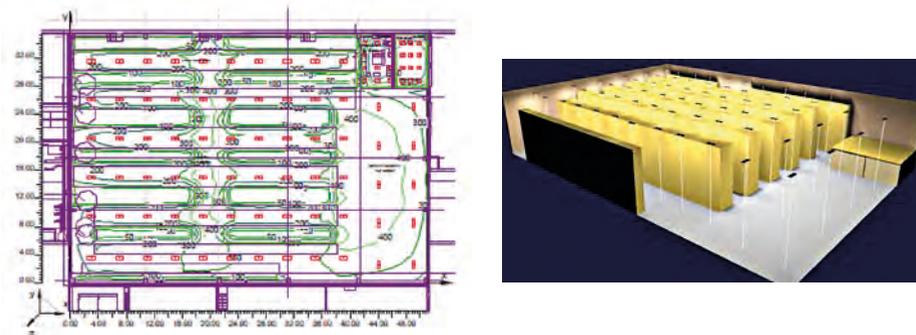


Figura 10. Modelo de distribución de luminarias.

* Metodología de toma de datos

El nivel de iluminación de una zona en la que se ejecute una tarea se medirá a la altura donde ésta se realice.

En el caso de zonas de uso general a 85 cm del suelo y en el de las vías de circulación a nivel del suelo.

Los registros de iluminancia (lux) se deben tomar en el caso más desfavorable, esto es, por la noche. Así se asegura que se cumpla la norma en todo momento.

Los niveles luminosos se ajustarán a los dispuestos en las diferentes tablas del capítulo 5 de la norma UNE-EN 12464-1.

4.1.7. Iluminación de lugares de trabajo en exteriores

Los criterios de calidad y parámetros luminotécnicos exigibles a la iluminación de lugares de trabajo en exteriores deberán ajustarse a lo dispuesto en la norma armonizada UNE-EN 12464-2.

Los niveles de iluminación comprenden los valores mínimos de iluminancia media horizontal (E_m), uniformidad (U_o) y rendimiento de color (R_c), así como los valores máximos de deslumbramiento (GR).

El índice de deslumbramiento GR caracteriza el nivel de deslumbramiento (Glare Rating), mediante la formulación empírica contemplado en la Publicación CIE nº 122 de 1994, según la siguiente expresión:

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

siendo:

L_v = luminancia de velo debido a las (n) luminarias sobre el ojo del observador.

L_{ve} = luminancia de velo denominada equivalente, producida por el entorno situado enfrente del observador.

Se puede establecer:

$$L_{ve} = 0,035 L_m$$

donde:

L_m = Luminancia del suelo, observado a la puesta en servicio de la instalación.

El deslumbramiento del usuario está influenciado de un modo importante por la distribución luminosa de los proyectores y el flujo luminoso de las fuentes de luz con las que van equipados, así como por la altura de los puntos de luz y posicionamiento en el emplazamiento, apuntamiento de los proyectores y la dirección de los haces luminosos en relación al usuario.

La escala de 0 a 10 del índice de deslumbramiento GR es la siguiente:

Tabla 4. Evaluación del deslumbramiento mediante el índice GR.

Deslumbramiento	Índice GR
Insuficiente	10
Ligero	30
Límite admisible	50
Molesto	70
Insoportable	90

Por otro lado, los límites de deslumbramiento GR en recintos abiertos y, en general, en la iluminación a gran altura son los de la tabla siguiente:

Tabla 5. Límites de deslumbramiento en recintos abiertos y, en general, en la iluminación a gran altura.

Destino del alumbrado	Tipos de actividad	GR máx.
A la salvaguarda y seguridad	Riesgos bajos	55
	Riesgos medios	50
	Riesgos altos	45
Al movimiento y seguridad	Solamente peatones	55
	Tráfico lento	50
	Tráfico normal	45
	Basto y medio	50
	Fino	45
Instalaciones deportivas	Entrenamiento	55
	Competición	50
Para tareas decisivas de visión en áreas de trabajo los valores de GR máx. serán 5 unidades por debajo de las establecidas.		

Los valores mínimos de iluminancia media, uniformidad y rendimiento de color, así como los valores máximos de deslumbramiento, son los establecidos en las 15 tablas del capítulo 5 de la norma UNE-EN 12464-2.

Dichas tablas comprenden las áreas generales de circulación en lugares de trabajo en exterior, aeropuertos, emplazamientos industriales y áreas de almacenamiento, industrias petroquímicas y otras industrias peligrosas, centrales energéticas, eléctricas, de gas y térmicas, zonas ferroviarias y tranvías, astilleros y muelles, etc.

Asimismo, se deberán cumplir las limitaciones de la luz molesta determinadas en la tabla 3 de la instrucción técnica complementaria ITC- EA-03 del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, aprobado por Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre.

4.1.8. Iluminación de instalaciones deportivas

La iluminación de instalaciones deportivas de interior y exterior se ajustará a lo dispuesto en la norma armonizada UNE-EN 12193. Asimismo, se tendrán en cuenta las recomendaciones prácticas de diseño para la iluminación de eventos deportivos para televisión en color y filmación de la Publicación CIE nº 169/2005.

Se considerarán las siguientes clases de alumbrado:

* Alumbrado clase I

Corresponde a la competición de más alto nivel, como la competición internacional y nacional, que implicará generalmente grandes capacidades de espectadores con distancias de visión potencialmente largas. También se puede incluir en esta clase el entrenamiento de nivel superior.

* Alumbrado clase II

Competición de nivel medio, tal como la competición regional o de clubs locales, que supone generalmente capacidades de tamaño medio de espectadores con distancias de visión medias. Igualmente se puede incluir en esta clase el entrenamiento de alto nivel.

* Alumbrado clase III

Competición de bajo nivel, que corresponde a la competición local o de clubs pequeños, que generalmente no comporta espectadores. Asimismo se incluye en esta clase el entrenamiento general, la educación física (deportes escolares) y actividades recreativas.

Para televisión en color y grabación de películas se requieren requisitos especiales en lo que respecta a los niveles y uniformidades de luminancia vertical, relaciones entre las iluminancias horizontal y vertical, temperatura y rendimiento de color.

Además de los valores mínimos de iluminancia media horizontal, uniformidad y rendimiento de color, se cumplirán los valores máximos de deslumbramiento (GR) para cada clase de alumbrado, establecidos en las 28 tablas de requisitos del Anexo A de la norma UNE-EN 12193.

En instalaciones deportivas de interior, los valores límite (máximos) de deslumbramiento (UGR) en situaciones similares a las condiciones de trabajo descritas en la norma UNE-EN 12464-1, serán las especificadas en dicha norma.

4.1.9. Alumbrado industrial con tecnología LED

Gracias a los nuevos desarrollos y avances en la tecnología LED, se han alcanzado niveles productivos de LED con una eficacia luminosa superiores a los 140lm/w¹. Dichas mejoras de la eficacia luminosa, conjuntamente con un diseño de luminaria adecuado, tanto en lo que se refiere al sistema óptico como al sistema de disipación térmica, nos ofrecen grandes ahorros energéticos aplicados a instalaciones existentes como a instalaciones nuevas.

Hay que tener en cuenta que, dentro del sector industrial, la influencia de los consumos energéticos derivados del alumbrado pueden ser incluso superiores al 30%. De tal forma que, para que las empresas sean competitivas y puedan reducir sus costes de producción, se hace indispensable un control racional del uso de la energía.

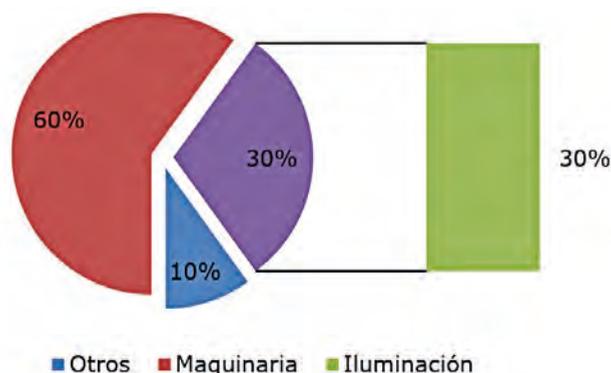


Figura 11. Influencia del alumbrado artificial en el consumo energético en el sector industrial.

¹ Eficacia luminosa media a temperatura ambiente $t_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$. Dicho valor, es el suministrado por el fabricante del LED a cierta corriente de polarización: siendo las típicas de 350 mA, 530 mA y 700 mA. Teniendo la mayor eficacia luminosa a 350 mA. Aunque en la adopción de una corriente de polarización u otra no solo viene condicionada por la eficacia, sino también por los costes de cada LED, teniéndose múltiples opciones en función de un tipo de aplicación u otro. Cada fabricante evalúa en función de sus necesidades y las de proyecto, la idoneidad de una u otra.

De ahí, la importancia de aportar una solución de alumbrado eficiente y eficaz para cada sector industrial, dependiendo de la tipología de la industria, de la instalación y demás particularidades asociadas a cada proceso productivo.

Con las nuevas soluciones de luminarias basadas en tecnología LED, unidos a sistemas de aprovechamiento de la luz natural y de sensores de presencia, los ahorros que se pueden llegar a alcanzar rondan el 70%², comparado con soluciones actuales basadas en lámparas de descarga, tanto de halogenuros metálicos como de vapor de mercurio, así como a sistemas basados en luminarias con lámparas fluorescentes y equipos electromagnéticos en alto factor.

Si se suma a los grandes ahorros energéticos ofrecidos por la tecnología LED, los ahorros en mantenimiento del sistema de alumbrado, gracias a la extensa vida útil de dichos sistemas, tendremos que desciende enormemente el Coste Total de Propiedad (TCO³, *Total Cost of Ownership*).

4.1.9.1. Ventajas

Las nuevas soluciones LED, no solo aportan ventajas en relación a la reducción de los costos energéticos y de mantenimiento, sino que incluso aportan mejoras en cuanto a la calidad de la luz, en tanto en cuanto, mejoran los índices de reproducción cromática (IRC), y por tanto, la mejora en la percepción de los colores y objetos por parte de los trabajadores. Con ello, sumado a un nivel de iluminancia adecuado a la tarea que se realice, se consigue aumentar el grado de confort de los empleados, reduciéndose la fatiga visual, los errores de producción y los accidentes de trabajo. La consecuencia es clara: se mejorarán los niveles productivos y la competitividad de la empresa.

² Si se contempla la adopción de ambas opciones adicionalmente al cambio de luminarias.

³ El TCO ó *Total Cost of Ownership* es un procedimiento de cálculo que sirve para evaluar los costes energéticos, de instalación y de mantenimiento de un bien a lo largo de su vida útil. En este caso del sistema de alumbrado. Por tanto, a pesar que los costes de instalación de un sistema de alumbrado LED son superiores debido al coste superior de esta tecnología, la evaluación total de los costes energéticos y de mantenimiento asociados a dicho producto a lo largo de su vida útil, serán inferiores a los que tendría un sistema de alumbrado basado en fuentes de luz tradicional. La idoneidad de adoptar una solución LED se tendrá que evaluar económicamente, encontrando el "punto muerto" de la inversión, es decir, el ROI "*Return on investment*". Que nos indicará el tiempo que ha de transcurrir hasta que recuperemos la diferencia de inversión inicial.

A modo resumen, las principales ventajas de las luminarias basadas en tecnología LED con respecto a las lámparas de descarga tradicionales son las siguientes:

- Mayor eficacia luminosa lm/W.
- Mayor eficiencia del sistema (mayor flujo saliente de la luminaria).
- Eliminación del efecto flicker al trabajar en corriente continua (corriente de salida del driver).
- Menor generación de calor.
- Mayor índice de reproducción cromática.
- Menor consumo.
- Ausencia de mantenimiento por reposición de fuente de luz.
- Encendido instantáneo.
- Posibilidad de regulación: 1–10 V, DALI, DMX, etc.
- Versatilidad en la elección de las temperaturas de color.
- Reencendido en caliente.
- Pueden operar con sensores de presencia. Los multi-encendidos no afectan a la vida útil del sistema.
- Mayor rango de temperaturas admisible sin que afecte al rendimiento: de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ⁴.
- Mayor cantidad de potencias disponibles: gracias a la variación en el número de los LED y a su corriente de polarización.

Las ventajas medioambientales son claras: el empleo de sistemas de iluminación más sostenibles implican la reducción de la huella de carbono, y por tanto, son menos dañinos para el medio ambiente.

⁴ Valores típicos para luminarias IP65 o IP66. Para temperaturas de funcionamiento fuera de este rango se recomienda consultar al fabricante de la luminaria, pues cada luminaria se testea para que funcione adecuadamente dentro de un rango admisible de temperaturas ambiente.

Cada sector industrial tiene sus propias particularidades, por lo que las exigencias visuales, y por tanto, los niveles de iluminación, son diferentes. Siendo necesarios mayores niveles de iluminación cuanto más complicada sea la tarea a realizar y cuanto menor sea el tamaño de las piezas con las que se trabaje.

A su vez, el Código Técnico de la Edificación CTE en el Documento Básico DB HE3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación delimita los Valores de Eficiencia Energética de la Instalación VEEL (W/m^2) y los sistemas de control de iluminación a aplicar en cada zona.

El alumbrado óptimo debe garantizar la mayor calidad, con el consumo mínimo de energía. Con los sistemas de alumbrado LED, conseguimos minimizar los consumos alcanzando la misma cantidad de luz que los sistemas tradicionales y, disminuyendo la potencia total instalada. Siendo en la mayoría de los casos, los VEEL inferiores a los de los sistemas con fuentes de luz tradicional.

4.1.9.2. Aplicaciones – tipologías

Dentro de las soluciones de alumbrado LED para aplicaciones industriales, podemos diferenciar aquellas destinadas a aplicaciones de gran altura y las de baja altura.

* Aplicaciones de gran altura

Se considera aplicaciones de gran altura, las situaciones de proyecto en las que la altura de montaje de las luminarias sea superior a 6 m.

Las aplicaciones de gran altura presentan diversas problemáticas, especialmente a lo que al mantenimiento se refiere. Las luminarias se encuentran situadas normalmente en zonas con acceso limitado, que dificulta la reposición de las lámparas defectuosas o deterioradas, y en muchos casos, las tareas de mantenimiento implican parar la producción, con el consiguiente perjuicio económico para la empresa. Las luminarias LED, gracias a la extensa vida útil que presentan, superior a 50.000 h, hacen que dichas dificultades sean salvadas, con el consiguiente ahorro económico para la empresa.

Las luminarias de LED para aplicaciones de gran altura están disponibles en diversos formatos:

- Diseños nuevos, especialmente diseñados para la tecnología LED (empleando normalmente LED de alta potencia o sistemas COB)
- Adaptaciones de soluciones existentes a fuentes de luz LED (empleando

Las ventajas de emplear luminarias especialmente diseñadas para tecnología LED son las siguientes:

- Conjuntos ópticos diseñados específicamente para LED basados en ópticas secundarias, reflectores, microreflectores o una combinación de los anteriores. Garantizan una mayor eficiencia del sistema: lúmenes de salida real/consumo total incluyendo driver.
- Diseño térmico adecuado al calor generado: garantizándose que la vida útil de la luminaria sea la que se declara.⁵
- Múltiples ópticas, que se adecúan a cada aplicación: desde ópticas intensivas a ópticas extensivas. Dichas soluciones sólo se diferencian cambiando el tipo de óptica secundaria empleada siendo el cuerpo de la luminaria el mismo.
- Luminarias preparadas para albergar sistemas de regulación del flujo luminoso y/o sensores de presencia.
- Mayor rango de potencias y fotometrías dentro de una misma carcasa. Las carcasas que se adaptan a LED tienen la desventaja de la limitación de la potencia máxima a instalar (por limitación de la gestión térmica) y pérdidas asociadas al sistema óptico, pues cada reflector se diseña para un tipo de lámpara en concreto.

Con todo ello, las luminarias especialmente diseñadas para tecnología LED presentarán rendimientos muy superiores que harán que a igualdad de valores de iluminancia obtenidos, la potencia total instalada sea muy inferior frente a las soluciones de luminarias tradicionales adaptadas a tecnología LED. Siendo por tanto, la eficiencia luminosa de las luminarias muy superior, es decir, la cantidad de lúmenes de salida real dividido por la potencia total consumida incluyendo las pérdidas del driver.

⁵ Los valores de vida útil declarados por los fabricantes de luminarias de LED, deberán regirse por lo indicado en los estándares LM80 y TM-21. Denotándose como LXBY. Siendo LX el porcentaje de flujo luminoso nominal que se mantiene transcurrida la vida útil y BY el porcentaje de las luminarias que alcanzan dicho flujo (en este caso será 100-Y). Ejemplo: Vida útil > 50.000 h según L80B20: denota que al menos el 80% de las luminarias (100-20) alcanzará el 80% del flujo luminoso nominal transcurridas 50.000 h de funcionamiento.



Figura 12. Luminaria adaptada a soluciones LED.



Figura 13. Luminaria diseñada para soluciones LED.

Adicionalmente a los problemas de mantenimiento, se le añade que se necesita mayor cantidad de luminarias y potencia de las mismas para poder alcanzar los niveles de iluminación adecuados. Siendo de primordial importancia, en los casos de reposición de luminarias, la selección de la luminaria con la distribución fotométrica correcta, siendo aquella la que garantice que los niveles de iluminación son los exigibles, con la uniformidad adecuada, y que el deslumbramiento máximo quede dentro de los valores normativos. Por tanto, en líneas generales, se recomienda que el cambio del sistema de iluminación venga precedido por un riguroso estudio luminotécnico que asegure que los parámetros luminotécnicos de calidad sean alcanzados con las expectativas de ahorro ofrecidas.

Otro aspecto cualitativo a tener en cuenta a la hora de seleccionar la luminaria de LED es la importancia de la temperatura de color de la fuente de luz, así como su IRC. Siendo deseables temperaturas de color de 4.000–5.000 K, y el IRC que cumpla con la normativa de referencia, normalmente 80 para la gran mayoría de aplicaciones.

✳ Aplicaciones de baja altura

Se consideran aplicaciones de baja altura, aquellas instalaciones con alturas de montaje de las luminarias inferiores a 6 m.

En muchas ocasiones los sistemas de iluminación se suelen basar en iluminaciones generales en combinación con iluminación focalizada, de tal forma que se aumenten los niveles de iluminación en aquellas zonas donde sea necesario.

La iluminación general suele realizarse mediante campanas industriales con potencias no superiores a 250 W, para evitar deslumbramientos indeseables, o bien mediante sistemas de iluminación con lámparas fluorescentes. Ya sea mediante sistemas industriales fluorescentes en tira continua, mediante pantallas estancas o por medio del empleo de sistemas industriales precableados, para una conexión rápida a la red eléctrica.

Para sustituir esta tipología de luminarias existen multitud de soluciones LED, que van desde nuevos desarrollos de pantallas estancas o luminarias tipo regleta, basadas en tecnología SMD⁶ o mediante la sustitución de los los tubos fluorescentes por tubos de LED con un recableado de la luminaria (sistemas de tipo *retrofit*).

Las soluciones nuevas basadas en tecnología SMD presentan las siguientes ventajas frente a las de tipo *retrofit*:

- Mayor eficacia luminosa de los LED (lm/W).
- Diseño de la luminaria basado en tecnología LED (mayor eficiencia del sistema lm/W).
- Certificación por parte del fabricante de que cumple con todas las normativas de fabricación vigentes y las directrices de compatibilidad electromagnética.

Los tubos de LED pueden ser una solución válida en aquellos casos en los que los cuerpos de las luminarias estén fabricados en acero o aluminio inyectado, pues el coste es muy superior a la de las pantallas de policarbonato o metacrilato o bien en instalaciones en los que el coste de instalación de una nueva luminaria sea excesivamente alto.

No obstante, hay que tener en cuenta que, el montaje de los tubos, requiere un recableado y por tanto, se debe etiquetar nuevamente la luminaria, pues quedaría anulada la marca CE del fabricante original, siendo la adaptación responsabilidad de la empresa que lleve a cabo dichas tareas.

⁶ SMD: LED encapsulado en una resina semirrígida y que se ensambla de manera superficial.



Figura 14. Luminaria con cuerpo de acero y tecnología SMD.



Figura 15. Luminaria de policarbonato estanca con tecnología SMD.



Figura 16. Luminaria estanca con tecnología SMD. Interior.

A modo resumen, se muestran en las siguientes tablas y gráficos los ahorros alcanzables en la actualidad con la sustitución de las luminarias existentes tipo estanca equipadas con lámparas fluorescentes lineales T-8⁷, por otras luminarias basadas en tecnología LED (diseñadas para tecnología SMD).

Tabla 6. Ahorro alcanzable con tecnología LED. Sustitución de luminarias con lámparas FL T-8 (26 mm) por otras específicamente diseñadas para tecnología LED (SMD).

Lámpara FL T8	EQUIPO	1X18	2X18	1X36	2X36	1X58	2X58
P total (w)	AF	21,6	43,2	43,2	86,4	69,6	139,2
P total (w)	HF	18	36	36	72	58	116
LED EQUIVALENTE	EQUIPO	13	25	22	44	29	56
P total (w)	HF	14,5	29	25	47	32	62
P total (w)	HF	14,5	29	25	47	32	62
Ahorro ud (w)	AF	7,1	14,2	18,2	39,4	37,6	77,2
Ahorro ud (w)	HF	3,5	7	11	25	26	54
Ahorro ud (%)	AF	33%	33%	42%	46%	54%	55%
Ahorro ud (%)	HF	19%	19%	31%	35%	45%	47%

⁷ Para la estimación de la potencia total asignada con el balasto en AF, se ha considerado unas pérdidas asociadas al equipo de 20%. La potencia indicada para el sistema LED incluye las pérdidas del driver.

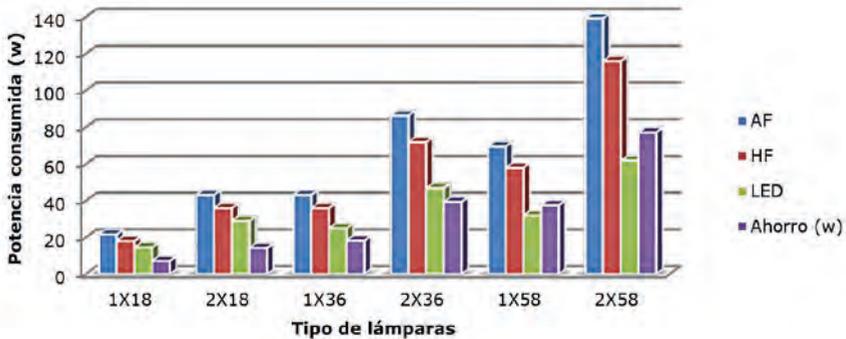


Figura 17. Comparación de ahorros alcanzables cambiando a tecnología LED, luminarias estancas con lámparas fluorescentes T-8.

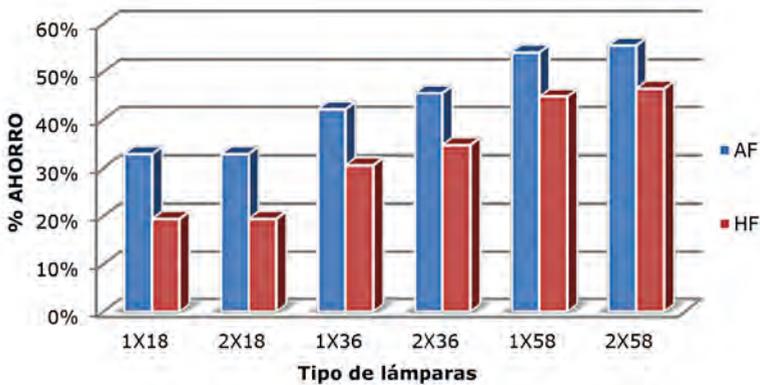


Figura 18. Ahorro estimado en % en función del tipo de lámpara y equipo asociado.

4.1.9.3. Otros aspectos técnicos

Adicionalmente a los aspectos de rendimiento, distribución fotométrica, alturas de montaje y disposición de luminarias, niveles de iluminación, parámetros de eficiencia energética, etc., se deberá contemplar que tipo de agentes corrosivos y agentes inflamables estarán presentes en la industria, si los hubiera. En aras de seleccionar correctamente el tipo de material empleado tanto en la carcasa como en el difusor, con el objetivo de evitar corrosiones y otros defectos de operación (especialmente en zonas con clasificación ATEX tanto en presencia de gases como polvo).

* Caso práctico

Empresa de logística (zona de almacén y picking).

A modo de ejemplo se contempla una industria logística, centrándonos en la zona de almacenaje y de picking.

La problemática asociada a las zonas de almacenaje suele ser que tenemos grandes alturas de almacenaje y pasillos estrechos, de tal forma que gran parte de la luz emitida por la luminaria no llega al suelo, necesitándose haces estrechos y potencias elevadas de las lámparas empleadas para alcanzar los niveles exigidos.

Los sistemas de iluminación suelen situarse en los ejes longitudinales de los pasillos de circulación para un correcto aprovechamiento de la energía, consiguiendo los niveles de iluminación necesarios con el menor consumo posible.

La norma UNE-EN 12464-1, para las zonas de almacenaje, exige que se alcancen en los pasillos de circulación al menos 150 lux con una uniformidad mayor a 0,4 sobre el plano del suelo.

En la gran mayoría de ocasiones nos encontramos con sistemas de iluminación basados en campanas industriales con lámparas de halogenuros metálicos de quemador de cuarzo, o sistemas de alumbrado basados en luminarias fluorescentes con reflectores intensivos, siempre distribuidas sobre los ejes de los pasillos.

Para la zona de *picking*, los niveles de iluminación exigidos son superiores, debido a las tareas de selección que se realizan, y a la continua presencia de personas y vehículos. El nivel exigido es de 300 lux con una uniformidad superior a 0,6. En dichas zonas, el sistema de iluminación suele estar uniformemente distribuido, siendo las campanas industriales la solución más habitual.

Para el ejemplo que nos ocupa, nos encontramos con una nave de 15 m de altura, con 279 luminarias existentes de 400 W de halogenuros metálicos de quemador de cuarzo y formato ovoide ($P_{\text{total}} = 428 \text{ W}$). La distribución fotométrica de las luminarias existentes era de tipo ancha. Altura de montaje de 12 m. Con una potencia total instalada de 98,012 kW. De la totalidad de las luminarias, 50 u estaban distribuidas en la zona de picking.

Para reemplazar dicho sistema de iluminación se propuso una luminaria basada en tecnología LED con LED de alta potencia, con un consumo total de 135 W y distribución semi-intensiva, con apertura de haz de 60° para la zona de almace-

naje y con distribución extensiva de 140° para la zona de picking, siendo en este caso el consumo total de 264 W.

En la tabla siguiente se muestran los ahorros alcanzados en potencia total instalada y en consumo de energía (anual).

ZONA	OPCIÓN	Em (lx)	Uo	Ud	Pud (w)	Protal(kW)	Ahorro (kW)	Ahorro %	kwh anual	Coste anual energía	Ahorro anual
ALMACEN	EXISTENTE HM	160	0,82	229	428	98,01			378.718,37	41.659,02 €	
ALMACEN	LED	186	0,66	229	135	30,92	-67,10	-68%	119.455,56	13.140,11 €	28.518,91 €
PICKING	EXISTENTE HM	310	0,62	50	428	21,40			82.689,60	9.095,86 €	
PICKING	LED	325	0,65	50	264	13,20	-8,20	-38%	51.004,80	5.610,53 €	3.485,33 €
TOTAL	EXISTENTE HM					119,41			461.407,97	50.754,88 €	
TOTAL	LED					44,12	-75,30	-63%	170.460,36	18.750,64 €	32.004,24 €

Horas días	14
Días mes	23
Meses	12
Horas año	3864
Coste kWh (€)	0,11

Figura 19. Ahorro energético y en potencia total instalada alcanzado con la solución LED.

Como se aprecia en la tabla anterior, el ahorro energético total alcanzado en potencia total instalada es de un 63%, con un ahorro anual de 32.000 €, en cuanto a lo que al consumo energético se refiere. A esto, habrá que sumar los ahorros en costes de mantenimiento que se obtendrán del empleo de fuentes de luz LED. Con todo ello, el ROI de la instalación se obtendrá en periodo inferior a los tres años.



Figura 20. Ejemplo de centro logístico. Zona de almacén y picking.

4.1.9.4. Integración de sistemas de control con tecnología LED

Los sistemas de control para el aprovechamiento de la luz natural así como los de presencia se integran perfectamente con las luminarias de LED, permitiendo ahorros adicionales que hasta ahora sólo estaban reservados a las soluciones basadas fluorescencia.

Tenemos que tener en cuenta que, gran cantidad de industrias cuentan con lucernarios, claraboyas o grandes ventanales, que garantizan altos niveles de iluminación gracias al aporte de la luz natural. Con los sistemas de iluminación LED podemos ahora aprovechar dicho aporte, integrando en las luminarias drivers regulables que, conjuntamente con fotocélulas de luminosidad constante y con sensores de presencia, garantizan ahorros energéticos aún mayores. De tal modo que, si conectamos un driver 1–10 V a una fotocélula de luminosidad constante, tendremos un abanico de regulación del 10 al 100%, regulación no permitida por las lámparas de halogenuros metálicos de quemador de cuarzo normalmente empleadas hasta hace poco tiempo

Adicionalmente, se pueden integrar sensores de presencia a nuestro sistema de iluminación, pues las luminarias LED presentarán un encendido instantáneo al 100% del flujo luminoso y con la particularidad de que los continuos encendidos/apagados no afectan a su vida útil.

En el caso particular de una instalación existente, en la que no se quiera incurrir en costos adicionales de cableado para integrar un sistema de regulación de luminosidad o presencia, podemos contemplar el empleo de sistemas basados en tecnología Wifi o radiofrecuencia.

Dichos sistemas, permiten el control de las luminarias individualmente o por grupos, adicionando una antena a cada luminaria y un driver regulable 1–10 V o DALI.

El control se realiza situando el controlador en el cuadro de alimentación o cerca de él, y las fotocélulas o sensores se pueden integrar dentro de las propias luminarias. Con esto se consigue la adecuación del sistema de control de alumbrado a la instalación antigua sin necesidad de recableado.

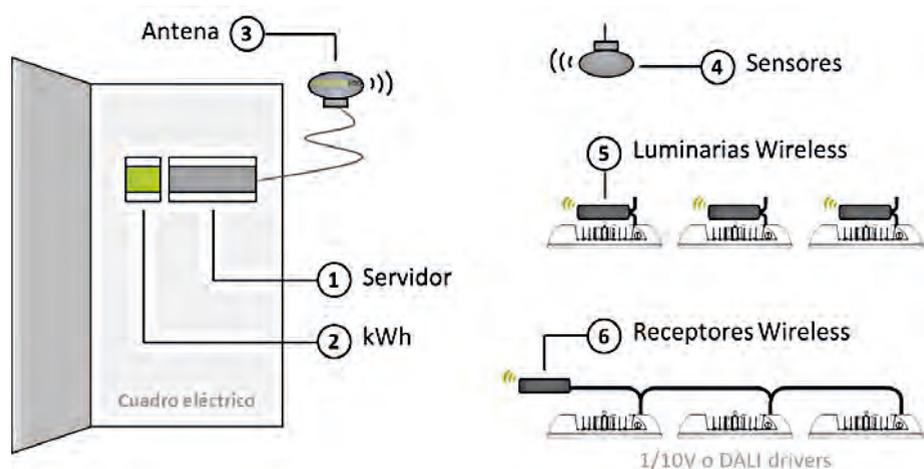


Figura 21. Ejemplo de integración de un sistema de control por radiofrecuencia o Wifi a luminarias LED.

4.1.9.5. Conclusiones

Las luminarias LED permiten alcanzar ahorros en potencia total instalada cercanos o superiores al 50%, con solo reemplazar una luminaria existente por otra equivalente en LED que entrega la misma cantidad de luz.

La toma de decisión de reemplazar una luminaria existente por otra de LED no sólo ha de basarse en criterios de ahorro energético, sino de ahorros en costos de mantenimiento.

La mejor herramienta para evaluar la idoneidad de adoptar un sistema de alumbrado LED es el cálculo TCO que nos indicará el periodo de retorno de la inversión (ROI).

Gracias a la integración de los sistemas de control de iluminación, en conjunción con la sustitución de luminarias por luminarias LED, los ahorros energéticos pueden incluso ser superiores al 70%, comparado con las soluciones presentes en las industrias.

4.2. Alumbrado de oficinas

Al tratarse de lugares de trabajo en interiores, resulta de aplicación lo expuesto al respecto en el capítulo anterior.

De acuerdo con lo dispuesto en la tabla 5.26 de la norma UNE-EN 12464-1, los niveles de iluminación serán los siguientes:

Tabla 7. Niveles de iluminación en oficinas.

Tipo de interior, tarea y actividad	E_m (lux)	UGR_L	U_o	R_a	Requisitos específicos
Archivos, copias, etc.	300	19	0,40	80	
Escritura, escritura a máquina, lectura, tratamiento de datos	500	19	0,60	80	Trabajo en EPV (*)
Dibujo Técnico	750	16	0,70	80	
Puestos de trabajo de CAD	500	19	0,60	80	Trabajo en EPV (*)
Sala de conferencias y reuniones	500	19	0,60	80	
Mostrador de recepción	300	22	0,60	80	
Archivos	200	25	0,40	80	

*Iluminación de puestos de trabajo con Equipo con Pantalla de Visualización (EPV).

La iluminación para los puestos de trabajo con Equipo con Pantalla de Visualización (EPV) debe ser adecuada para todas las tareas que se realizan en el puesto de trabajo, por ejemplo, lectura de la pantalla, lectura del texto impreso, escritura en papel, trabajo con el teclado, etc.

Los reflejos en el EPV y, en algunas circunstancias, en el teclado pueden causar deslumbramiento perturbador y molesto. Por ello es necesario seleccionar, situar y distribuir de forma apropiada las luminarias al objeto de evitar reflexiones de brillo elevado.

El autor del proyecto debe determinar la zona de montaje perjudicial y adoptar las posiciones de instalación que no provoquen reflejos perturbadores.

La luz puede disminuir el contraste de la presentación de un EPV por:

- Reflexión de velo causada por la iluminación sobre la superficie de las pantallas.
- Luminancias de luminarias y superficies brillantes que reflejan en la pantalla.

La norma EN ISO 9241–307 proporciona los requisitos para las calidades finales de las pantallas relativas a los reflejos no deseados.

La tabla siguiente establece los límites de la luminancia media de la luminaria a ángulos de elevación de 65° y por encima de la vertical hacia abajo, radialmente alrededor de las luminarias, para puestos de trabajo en los que se utilizan pantallas de presentación, que son verticales o están inclinadas hasta un ángulo de inclinación de 15°.

Tabla 8. Límites medios de luminancia que pueden ser reflejados en la pantalla.

Pantalla de luminancia de estado alto	Pantalla de alta luminancia $L > 200 \text{ cd/m}^2$	Pantalla de luminancia media $L \leq 200 \text{ cd/m}^2$
Caso A (polaridad positiva y requisitos normales relativos al color y detalles de la información mostrada, como se utiliza en oficina, educación, etc.)	$\leq 3.000 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1.500 \text{ cd/m}^2$
Caso B (polaridad negativa y/o mayores requisitos relativos al color y detalles de la información mostrada, como se utiliza para la inspección de color, CAD, etc.)	$\leq 1.500 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1.000 \text{ cd/m}^2$

NOTA. La luminancia de alto estado de pantalla (véase norma EN-ISO 9241–302) describe la luminancia máxima de la parte blanca de la pantalla y este valor está disponible por parte del fabricante de la pantalla.

Deben considerarse las condiciones especificadas para pantallas de luminancia media, si una pantalla de alta luminosidad está destinada a funcionar a luminancias por debajo de 200 cd/m^2 .

Algunas tareas, actividades o tecnologías de pantalla de visualización, particularmente pantallas de alto brillo, requieren diferente tratamiento de iluminación (por ejemplo, límites de luminancia más bajos, sombreado especial, atenuación individual, etc.).

En áreas de actividades industriales y artesanales las pantallas a veces se protegen mediante cristales frontales.

Los reflejos no deseados sobre estos cristales de protección tiene que reducirse por métodos idóneos (como tratamiento antirreflejante, inclinación del cristal de protección o por obturadores).

Un buen alumbrado de oficinas es aquél que proporciona la luz requerida, durante el tiempo preciso y en el lugar apropiado, con efectos positivos en la productividad y salud de los trabajadores ya que:

- Desempeñarán sus tareas correcta y adecuadamente, con mayor motivación y productividad.
- Permanecerán más atentos y serán más precisos, lo que inducirá a menores errores y accidentes.
- Tendrán una mayor sensación general de bienestar, con la consiguiente reducción del absentismo.

En lo que atañe a la eficiencia energética, la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en la Sección HE 3 establece en la tabla 2.1 los valores límite (niveles máximos) de eficiencia energética de la instalación (VEEI), así como la tabla de potencia máxima de iluminación, que se expone a continuación.

Tabla 9. Valores límite de eficiencia energética de la instalación.

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
Administrativo en general	3,0
Andenes de estaciones y transporte	3,0
Pabellones de exposición o ferias	3,0
Salas de diagnóstico	3,5
Aulas y laboratorios	3,5
Habitaciones de hospital	4,0
Recintos interiores no descritos en este listado	4,0
Zonas comunes	4,0
Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
Aparcamientos	4,0
Espacios deportivos	4,0
Estaciones de transporte	5,0
Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
Bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
Zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
Centros comerciales (excluidas tiendas)	6,0
Hostelería y restauración	8,0
Religioso en general	8,0
Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias	8,0
Tiendas y pequeño comercio	8,0
Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
Locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

Tabla 10. Potencia máxima de iluminación.

Uso del edificio	Potencia máxima instalada [W/m ²]
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15
Hospitalario	15
Restauración	18
Auditorios, teatros, cines	15
Residencial Público	12
Otros	10
Edificios con nivel de iluminación superior a 600 lux	25

4.3. Iluminación de escuelas y centros de enseñanza

4.3.1. Introducción

Una buena iluminación constituye una garantía de salud y eficacia en el estudio y el aprendizaje de los niños y adolescentes, así como en la carencia de fatiga visual.

Las instalaciones de iluminación de las diferentes dependencias que componen un centro educativo, deben dotarse de sistemas que proporcionen un entorno visual confortable y suficiente, de acuerdo con las variadas tareas y actividades que se desarrollan durante el periodo de enseñanza.

Una buena iluminación proporciona un ambiente agradable y estimulante a los estudiantes y profesores, es decir, un confort visual que les permite seguir su actividad sin demandar de ellos un sobre esfuerzo visual, reduciendo el cansancio y los dolores de cabeza producidos por una iluminación inadecuada.

En una instalación de alumbrado de un local destinado a centro educativo, se pueden encontrar, entre otros, diversos problemas tales como:

- Luminarias que producen deslumbramientos directos o indirectos.
- Fuentes de luz de temperaturas de color y potencia inadecuada a la instalación que tanto por defecto como por exceso, pueden hacer indecifrabla la escritura realizada sobre un cuaderno escolar.

El color emitido por las fuentes de luz tiene una gran importancia en el comportamiento de los alumnos y su aprovechamiento escolar.

La luz fría proporciona un ambiente similar al del aire libre, que ayuda a evitar la sensación que pueden sufrir algunos alumnos por la permanencia de varias horas en un recinto cerrado, mientras que las lámparas de colores cálidos dan lugar a ambientes más sociables y relajados.

Estas y otras causas pueden originar una mala iluminación que no favorece a los alumnos, especialmente a aquellos con problemas de visión, lo que puede agravar el fracaso escolar.

Frecuentemente la diferencia entre una buena iluminación y otra no apropiada se percibe únicamente de forma inconsciente y, generalmente, la segunda causa una sensación de malestar.

4.3.2. Niveles de iluminación y eficiencia energética

Los valores mínimos de iluminancia media horizontal (E_m), uniformidad (U_o) y rendimiento de color (R_a), así como los valores máximos de deslumbramiento y requisitos específicos, son los establecidos para Establecimientos Educativos en la tabla 5.35 (Jardines de Infancia) y en la tabla 5.36 (Edificios Educativos), ambos de la norma UNE-EN 12464-1.

En lo que incumbe a los niveles máximos de eficiencia energética VEEI de las zonas de actividad diferenciada se ajustarán a los valores límite establecidos en la tabla 2.1 y a la potencia máxima instalada en edificio (W/m^2) determinada en la tabla 2.2 en ambos casos, de la Sección HE 3 de la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

Se considera fundamental para desarrollar eficazmente un trabajo que, entre los objetos situados en el campo visual, exista un adecuado equilibrio de lumi-

nancias, dado que si se sobrepasan los límites por exceso aparece el efecto de deslumbramiento, deteriorando prestaciones visuales y bienestar.

Si por el contrario, no se alcanzan los límites por defecto, da lugar a monotonía y aumenta el esfuerzo de concentración necesario para distinguir correctamente los objetos, incrementándose la fatiga del alumno.

Se logra una correcta adaptación visual mediante adecuadas relaciones de luminancia entre la tarea visual y su entorno, al que se enfoca de manera ocasional. Los límites máximos recomendados son los siguientes:

- Tarea y alrededores inmediatos 3 a 1
- Tarea y fondo general 10 a 1
- Luminaria y entorno 20 a 1
- Dos puntos cualesquiera 40 a 1

En el equilibrio de luminancias no solo deberá tenerse en cuenta el alumbrado artificial, también la luz natural puede descompensarlo.

Es el efecto que aparece cuando el profesor se sitúa a contraluz apoyado contra una ventana. Su visión de los alumnos es muy buena, pero éstos pueden llegar a ver al profesor como una silueta.

4.3.2.1. Dirección de la luz y de las sombras

Debido a que las aulas generalmente se iluminan con luz natural, se recomienda adaptar la dirección de la luz procedente de las luminarias a la dirección predominante de la luz natural.

La disposición de los asientos de trabajo debe configurarse de tal forma que la dirección de la mirada en las zonas cercanas a las ventanas vaya en paralelo con el frente principal de las mismas y, en lo posible, también en paralelo con el eje de las luminarias.

La existencia de sombras desequilibradas pueden inducir a errores de identificación de los visto.

Las luminarias dotadas con LED e instaladas en paralelo con la dirección de la mirada y con el frente de ventanas, consiguen sombras equilibradas con márgenes suaves que facilitan el modelado y la visión.

No obstante, las sombras pronunciadas como las obtenidas por un modelado duro sobre área pequeña, se pueden utilizar para producir efectos dramáticos intencionados. Esto resulta útil en la enseñanza de técnicas escultóricas, exposiciones, etc.

Los criterios de modelado son de gran importancia en la iluminación de volúmenes.

Se obtiene un modelado aceptable cuando la relación entre la iluminación vertical y horizontal es superior a 0,25 en las principales direcciones visuales del profesor y los alumnos.

4.3.3. Iluminación de la pizarra

A pesar de la aplicación de nuevos medios audiovisuales, la pizarra mural sigue siendo uno de los principales elementos que centran la visión en las aulas de enseñanza, ya que se tiene que poder leer perfectamente lo escrito en ella desde todos los asientos del aula.

En una línea de 1,20 m de altura sobre el suelo, la iluminancia media vertical en la pizarra debe ser como mínimo igual a la iluminancia media horizontal del aula, así como tener una uniformidad o relación iluminancia vertical mínima/media $E_{v, \min}/E_{v, m} \geq 1/1,5$.

Lo cual debe ser válido e igual para la totalidad de la superficie de la pizarra incluida, en su caso, la zona que se puede deslizar hacia arriba en las pizarras móviles.

En el supuesto de que la iluminación general sea insuficiente, se necesita una iluminación adicional para la pizarra que se pueda conectar independientemente del alumbrado general.

En este caso se recomienda sustituir las luminarias existentes dotadas con lámparas fluorescentes por LED, con las luminarias adosadas o empotradas en el techo paralelamente al plano de la pizarra en toda su longitud, y a una determinada distancia de la misma (del orden de 0,80 a 1,5 m), con una distribución asimétrica de la intensidad luminosa dirigida hacia la pizarra, suficientemente apantallada de modo que se evite la visión directa de los LED desde cualquier asiento del aula.

En la pizarra tampoco se deben ver brillos desde ningún asiento del aula, ni reflejos de cristales de las ventanas, ni de las luminarias. El aumento de la iluminancia vertical por medio de luminarias adicionales correctamente dispuestas, así como la superficie mate de la pizarra son las medidas apropiadas para suprimir las reflexiones molestas de la luz.

4.3.4. Salas de proyecciones

En aquellas aulas donde frecuentemente se emplean como medios de enseñanza, proyecciones de diapositivas, transparencias y presentaciones mediante *power point* o sistemas similares, películas o videos, se debe regular la iluminación general en diferentes graduaciones, de forma que se puedan visualizar las proyecciones y simultáneamente tomar apuntes.

En el caso de actos de enseñanza diferentes, pero repetitivos, se necesitan distintas situaciones de la luz, que pueden memorizarse a través de las instalaciones de control y regulación de la luz programables y conectar sobre demanda. Estos controles existen como mando a distancia o integrados en los interruptores de luz.

Esta instalación aligera la carga de los ponentes o profesores y evita la inquietud y distracción de la clase, ya que se encuentra rápidamente el ajuste del nivel de iluminación correcto.

4.3.5. Aulas para el trabajo en ordenadores

Las exigencias visuales y ergonómicas para el trabajo en la pantalla del ordenador son muy altas. Desde el punto de vista ergonómico, la iluminación debe satisfacer una serie de aspectos que hagan de la actividad a desarrollar una tarea cómoda y confortable.

Para el equipamiento de las aulas destinadas a tal actividad se tienen que considerar estrictas recomendaciones luminotécnicas que, proporcionando condiciones de visión sin molestias, tengan como finalidad facilitar al alumno que pueda trabajar concentrado y sin cansarse, permitiéndole al mismo tiempo mantener una postura corporal relajada.

Se consiguen buenas condiciones de visión cuando el canto superior de la pantalla de ordenador se encuentra a la altura del ojo y la misma está inclinada desde 15° hasta 20° hacia atrás. Debido a ello, se debe colocar el mobiliario adecuado, por ejemplo, sillas con alturas ajustables y soportes para monitores.

La base de la tarea visual son las informaciones que recibe el ojo, tanto del aula como de la pantalla del ordenador, que está ligado a un constante cambio de la dirección de la mirada entre la pantalla, las notas, el teclado y el profesor. Esta fuerte carga visual sólo se puede llevar a cabo sin errores en buenas condiciones de visión.

El deslumbramiento reflejado en el puesto de prácticas de la pantalla del ordenador, en la propia pantalla, en el teclado y en el material de trabajo, es un defecto que se produce muy frecuentemente.

Estos fallos son la causa de deficiencias de visión que conduce a un cansancio prematuro, a errores en la percepción de las informaciones y pueden limitar considerablemente la aptitud para aprender.

Las recomendaciones de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), en la gama crítica de los ángulos de visión (de 45° a 85°) contando desde la vertical, exigen la limitación de la luminancia a 200 cd/m² para luminarias, ventanas, paredes y objetos de mobiliario que podrían reflejarse en la pantalla del ordenador, evitando brillos y reflejos.

No obstante, las nuevas generaciones de pantallas de ordenador, construidas con materiales no especulares, permiten condiciones menos restrictivas.

En principio, los puestos de trabajo en ordenador no se diferencian de los de una oficina. De ésta manera también son aplicables las normas y recomendaciones que son válidas para las oficinas y que se han expuesto en el capítulo correspondiente, especialmente lo regulado en el apartado 4.9 de la norma UNE-EN 12464-1.

Sin embargo, el tiempo de trabajo en la pantalla de ordenador de los Centros Docentes generalmente está limitado por motivos pedagógicos. En este caso, como se ha indicado anteriormente, se recomienda una inclinación de la pantalla de ordenador de 15°, resultando un ángulo de emisión limitado a 60°.

Las luminarias dotadas de LED a instalar serán de baja o muy baja luminancia con limitación del deslumbramiento directo, pudiendo realizarse diferentes disposiciones con las luminarias provistas de los correspondientes difusores, de conformidad con las recomendaciones de la CIE.

4.3.6. Diseño de la iluminación

Las instalaciones de iluminación en las escuelas y centros docentes deben diseñarse de tal forma, que proporcionen las condiciones necesarias de visión, al objeto de garantizar una percepción sin molestias, que permita cambiar la mirada entre la relativamente lejana pizarra, la cercana de los apuntes que se toman en el transcurso de la clase en el pupitre y el propio entorno del alumno. Todo ello durante una serie de horas seguidas sin que se produzca fatiga.

Un planteamiento profesional cualificado comprende muchas variables que deben tenerse en cuenta para alcanzar una solución óptima:

- Tipo de utilización del aula y de la tarea visual a realizar.
- Necesidades de la luz y del usuario de la sala.
- Dimensiones del aula.
- Grados de reflexión de las paredes, techo y suelo de la sala.
- Tipo de techo.
- Condiciones de la luz natural.
- Características del mobiliario y tipo de acabado.
- Normas y prescripciones.

Las etapas de la planificación necesarias para la instalación de la iluminación se consideran las siguientes:

- Determinación de las iluminancias.
- Establecimiento de los límites de deslumbramiento.
- Selección de las luminarias equipadas con LED de acuerdo con los correspondientes criterios luminotécnicos (distribución fotométrica, rendi-

miento, factor de utilización, control, de deslumbramiento, etc.) y características arquitectónicas de las salas.

- Consideración de las exigencias electrotécnicas (tipos y grados de protección, seguridad eléctrica, etc.), así como en las conexiones eléctricas idóneas.
- Adopción de los sistemas de regulación y control de la luz apropiados a las necesidades de cada local, aula o sala.

La distribución de las luminarias se adoptará teniendo en cuenta la limitación del deslumbramiento directo y reflejado, la dirección de la luz, la existencia de sombras y, por último, considerando especialmente los puntos de vista arquitectónicos de diseño, decoración, ornato, realce, efectos deseados, etc.

4.3.7. La luz y la salud

La luz impacta en nuestra salud más que ningún otro medio. Tanto la luz del día como la luz artificial juegan un papel clave en la determinación de la salud y bienestar de las personas.

La luz natural, en combinación con una luz artificial dinámica y activadora, ayuda a los estudiantes en su aprendizaje.

La variación de la luz a lo largo del día tiene un efecto sumamente importante sobre el cuerpo humano.

Con la luz matinal, aumenta la producción de la hormona del estrés, el cortisol, incrementando la actividad de las personas y su capacidad de atención.

Es la hormona encargada de estimular el metabolismo y programar el cuerpo para la actividad diaria.

Durante la noche, sin estímulo de luz, el cuerpo produce la "hormona del sueño", la melatonina, entrando en una fase de descanso.

Una iluminación que apoye activamente dichos ciclos será capaz de regular el reloj biológico interno y los ciclos circadianos de las personas.

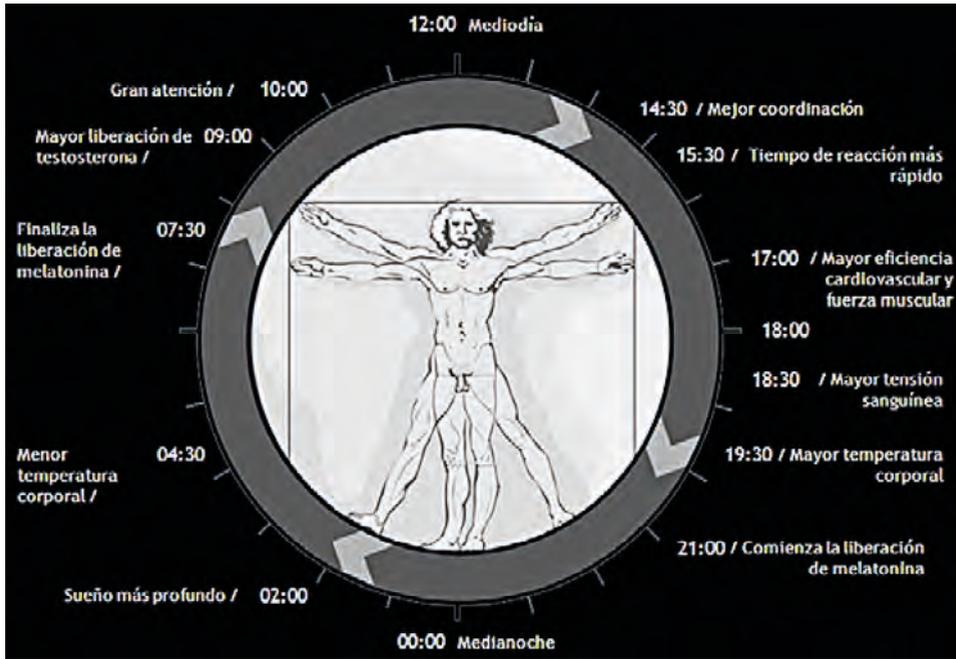


Figura 22. Ciclos del ser humano.

El reloj biológico se define como un sistema celular capaz de generar un orden temporal en las actividades del organismo; debe tener la capacidad de oscilar con un periodo regular, y usar dichas oscilaciones como una referencia temporal interna.

Este sistema debe permitir la adecuada interacción del dominio temporal entre el organismo y su ambiente (Aschoff, 1981).

Franz Halberg en 1959 acuñó el término circadiano o circádico para referirse a los ritmos con variaciones cíclicas regulares que se repiten aproximadamente cada 24 ± 4 h y que además son generados de manera endógena por el organismo, teniendo capacidad de ajustarse mediante los ritmos ambientales, como la luz del día (Aschoff, 1981).

La naturaleza ofrece las condiciones idóneas para mantener en orden nuestro reloj interno. Los principales parámetros establecidos son:

1. Iluminancia (vertical en el ojo).

2. Uniformidad de la luz.
3. Dirección de la luz.
4. Color de la luz.
5. Dinamismo.

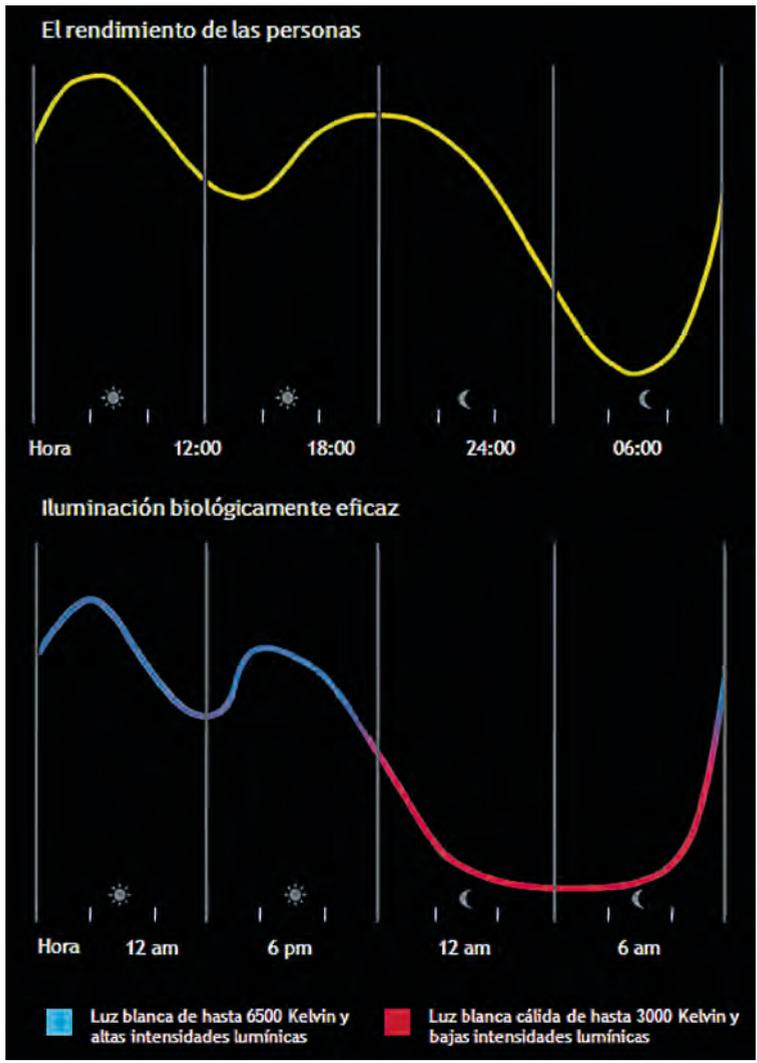


Figura 23. Hora del día y duración de la exposición a una luz biológicamente efectiva.

El SNC (núcleo supraquiasmático) es el encargado de recibir la información sobre la luz ambiental a través de los ojos, regulando internamente los ciclos circadianos.

Una iluminación biológicamente eficaz la cual recree unas condiciones lumínicas naturales, apoyará activamente a los ritmos circadianos, adaptándose dinámicamente a la intensidad y color de la luz respecto de la luz solar.

Una iluminación blanca y fría que se asemeje a la luz natural nos hará estar más atentos y activos, mientras que una luz blanca cálida tendrá un efecto relajante y calmante.

Combinar el componente azul y rojo de las luminarias en función de las necesidades y actividades a desarrollar, hará llegar a los estudiantes al máximo rendimiento en cada momento del día.

En los colegios, donde es tan importante estimular a los alumnos, una iluminación adecuada logrará dichos objetivos. Una iluminación dinámica que interactúe con el espacio y las personas potenciará los componentes de luz azul para procesos que requieran de gran atención y concentración, mientras que, por el contrario, aumentarán los componentes rojos cuando lo necesario sea calmar a los estudiantes.

Una adaptación lumínica a las actividades a desarrollar impulsará el rendimiento biológico de los estudiantes.

Pero no solo la iluminación ha de adecuarse a las actividades del centro, sino también al espacio en el que se desarrollan.

En salas en las que el aporte de luz natural es escaso o inexistente, o aquellas en las que la ocupación vaya a ser prolongada, una iluminación adecuada creará las condiciones óptimas para un aprendizaje eficaz, motivando a los estudiantes y permitiéndoles concentrarse durante periodos de tiempo más prolongados.

Al igual que para diseñar una buena iluminación es necesario conocer las actividades y el espacio en el que se desarrollan, también lo es el ser conscientes de la edad de las personas que las van a habitar, considerando necesidades lumínicas muy dispares.

En guarderías, por ejemplo, tan importante es estimular a los pequeños como tranquilizarlos en determinados momentos del día, como después de comer, mientras que, para cursos superiores, dichos momentos de relajación se minimizan.

Por último, la ubicación geográfica y orientación de los centros de enseñanza variará de forma sustancial el tipo de iluminación a implantar. Zonas poco soleadas necesitarán una luz activadora durante la mayor parte del día, al contrario que localidades con un alto aporte de luz natural.

Una mala gestión de la iluminación puede repercutir negativamente en el rendimiento de los estudiantes. Tanto el exceso de luz natural como unos niveles lumínicos muy pobres provocarán fatiga visual. Estos condicionantes han de estar presentes desde las primeras etapas del diseño. Soluciones como apantallamientos pueden evitar deslumbramientos molestos. Por tanto, para conseguir una calidad lumínica óptima han de estar presentes tres dimensiones:

1. Calidad visual, mejorando el rendimiento y confort visual.
2. Calidad emocional, mediante la creación de atmósferas.
3. Calidad biológica, entendiendo la luz como sincronizadora de biorritmos humanos.

Unos buenos sistemas de gestión garantizarán atmósferas de iluminación equilibradas, contribuyendo decisivamente en una sensación de bienestar.

Las luminarias con tecnología LED encargadas de implementar una iluminación dinámica con ciclos circadianos, se componen generalmente de LED de diferentes temperaturas de color, abarcando desde los 6.000 hasta los 2.700 / 3.000 grados K.

Ópticas opales o prismáticas ayudan a realizar una mezcla homogénea de las diferentes temperaturas de color, proyectando una iluminación agradable para cada momento.

Dichas instalaciones van acompañadas de equipos regulables los cuales permiten la mezcla de temperatura de color y alcanzar los niveles lumínicos de salida adecuados a las diferentes necesidades, convirtiendo cada espacio en un ambiente de aprendizaje positivo.

4.4. Alumbrado de hospitales y centros de salud

4.4.1. Alumbrado de hospitales con luminarias LED

Los requerimientos lumínicos para establecimientos hospitalarios están regulados en la norma armonizada UNE-EN 12464-1 y en el Código Técnico de Iluminación (CTE).

Esta regulación, por el carácter de la actividad, es especialmente restrictiva, siendo necesario en muchos casos niveles muy altos de iluminación y muy bajos de índice de deslumbramiento.



Figura 24. Ejemplo de iluminación en hospitales.

Además, al igual que cualquier otra instalación, debe cumplir también el CTE en cuanto a valores de eficiencia energética, lo que implica un tipo de iluminación muy técnica y de gran calidad.

Tabla 11. Diferentes salas o zonas de actividad hospitalaria en función de sus requerimientos lumínicos.

Tipo de sala	Uso de la sala	Em (lux)	UGR	U ₀	CRI	Observaciones
Salas para uso general (todas las iluminancias a nivel de suelo)	Oficinas de personal	500	19	0,60	80	
	Salas de espera, personal y pasillos	200	22	0,40	80	
	Pasillos durante la noche	50	22	0,40	80	
	Salas de personal	300	19	0,60	80	
Salas de guardia y maternidad (deben impedirse iluminancias demasiado elevadas en el campo de visión de los pacientes)	Alumbrado de lectura	300	19	0,70	80	
	Alumbrado general	100	19	0,40	80	Iluminancia a nivel de suelo
	Exámenes simples	300	19	0,60	80	
	Examen y tratamiento	1.000	19	0,70	90	
	Cuartos de baño y servicios	200	22	0,40	80	

Tabla 11. Diferentes salas o zonas de actividad hospitalaria en función de sus requerimientos lumínicos. (Continuación)

Tipo de sala	Uso de la sala	Em (lux)	UGR	U ₀	CRI	Observaciones
Salas de examen	Alumbrado general	500	19	0,60	90	
	Examen y tratamiento	1.000	19	0,70	90	
	Examen ocular externo	1.000	-	-	90	
	Pruebas de lectura y visión cromática con diagrama de visión	500	16	0,70	90	
	Examen auditivo	1.000	-	-	90	
	Alumbrado general para examen ocular y auditivo	300	19	0,60	90	
Salas de escáner	Alumbrado general	300	19	0,60	80	
	Escáneres con mejoradores de imágenes y sistemas de TV	50	19	-	80	
Salas de parto	Alumbrado general	300	19	0,60	80	
	Examen y tratamiento	1.000	19	0,70	80	

Tabla 11. Diferentes salas o zonas de actividad hospitalaria en función de sus requerimientos lumínicos. (Continuación)

Tipo de sala	Uso de la sala	Em (lux)	UGR	U ₀	CRI	Observaciones
Salas de tratamiento (general) Salas de tratamiento (general)	Diálisis	500	19	0,60	80	La iluminación debe ser controlada
	Dermatología	500	19	0,60	90	
	Salas de endoscopia	300	19	0,60	80	
	Salas de yesos	500	19	0,60	80	
	Masaje y radioterapia. Baños médicos	300	19	0,60	80	
Áreas de operación	Salas preparatorias y de recuperación	500	19	0,60	90	
	Sala de operación	1.000	19	0,60	90	
	Quirófano			-		10.000 lux < Em < 10.0000 lux
Unidad de cuidados intensivos	Alumbrado general	100	19	0,60	90	Iluminancia a nivel de suelo
	Exámenes simples	300	19	0,60	90	Iluminancia a nivel de suelo
	Examen y tratamiento	1.000	19	0,70	90	Iluminancia a nivel de suelo
	Vigilancia nocturna	20	19	-	90	

Tabla 11. Diferentes salas o zonas de actividad hospitalaria en función de sus requerimientos lumínicos. (Continuación)

Tipo de sala	Uso de la sala	Em (lux)	UGR	U ₀	CRI	Observaciones
Dentistas	Alumbrado general	500	19	0,60	90	El alumbrado debe estar libre de deslumbramiento para el paciente
	En el paciente	1.000	-	0,70	90	
	Quirófano	1.000	-	-	90	Pueden ser necesarios valores superiores a 5.000 lux
	Emparejado del blanco dental	5.000	-	-	90	Temperatura de color: 6.000 K
Laboratorios y farmacias	Alumbrado general	500	19	0,60	80	
	Inspección de colores	1.000	19	0,70	90	Temperatura de color: 6.000 K
Salas de descontaminación	Salas de esterilización	300	22	0,60	80	
	Salas de desinfección	300	22	0,60	80	
Sala de autopsias y depósitos mortuorios	Alumbrado general	500	19	0,60	90	
	Mesa de autopsia y mesa de disección	5.000	-	-	90	Pueden ser necesarios valores superiores a 5.000 lux

En la tabla anterior se especifican los valores mínimos de Iluminancia Media (Em lux), máximos del Índice de deslumbramiento (UGR) y mínimos de uniformidad (U_o), e Índice de Reproducción Cromática (IRC).

En especialidades como Quirófano, Emparejado del blanco dental o Autopsia y disección se hacen necesarios niveles de iluminación muy altos. Dichos niveles, contrastan con la potencia máxima instalada para edificios hospitalarios que no puede sobrepasar los 15 vatios por metro cuadrado, según la tabla 2.2 de la Sección HE 3 de la Orden FOM/1635/2013, de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación.

Estos parámetros obligan a usar fuentes de luz muy eficientes. El LED es, hoy por hoy, la fuente de luz más eficiente y más adecuada para este tipo de instalaciones.

- **Eficiencia:** una luminaria LED bien diseñada supera con facilidad los 100 lúmenes por vatio. Es crucial en este diseño el tratamiento térmico del LED y la correcta selección del mismo.
- **Deslumbramiento:** el control de este índice viene facilitado por ser el LED una fuente de luz dirigida. Es necesario un correcto tratamiento de las reflexiones y/o refracciones dentro de la luminaria a través del uso de reflectores, difusores y lentes.
- **Reproducción Cromática:** la tecnología LED ha avanzado mucho durante estos últimos años en este concepto, y alcanza niveles muy cercanos a la perfección. Como es lógico, es necesaria una buena selección de los LED más adecuados para cada aplicación. Los valores de eficiencia energética y de reproducción cromática suelen ser inversamente proporcionales, por lo que hay que buscar un compromiso entre ambos valores en función de cada aplicación. La tecnología LED también permite la obtención de cualquier tipo de color dentro de la curva CIE.

4.4.2. Índice de deslumbramiento (UGR)

Como se puede observar en la tabla anterior, está incluido el valor máximo del índice de deslumbramiento (UGR) exigido para la gran mayoría de actividades desarrolladas dentro de un centro hospitalario, que es 19. Esto implica que el nivel de deslumbramiento que genere la luz emitida por la luminaria ha de ser mínimo. Para conseguir esta baja percepción de molestia visual es necesario ocultar la fuente de luz de la visión directa. Una luminaria bien diseñada consigue evitar este efecto molesto de la luz y a la vez aprovechar en un porcentaje muy alto todo el flujo lumínico emitido por dicha fuente.

El uso de materiales técnicos para la fabricación de reflectores, lentes y difusores se hace básico para el desarrollo de luminarias que reúnen todas estas características.



Figura 25. Luminarias especiales.

4.4.3. Índice de reproducción cromática

La fidelidad con la que la luz de una sala reproduce fielmente los colores es fundamental en el desarrollo de determinadas tareas médicas: operaciones, exámenes, pruebas, etcétera. Pese a que tradicionalmente se tiende a pensar en otras fuentes de luz como las halógenas o las de descarga, con la tecnología LED no sólo se pueden obtener reproducciones cromáticas medias muy elevadas, sino que se pueden buscar soluciones que favorezcan la reproducción cromática en un cierto rango del espectro lumínico.



Figura 26. Iluminación en quirófano.

4.4.4. Iluminancia media mantenida

Las necesidades totales de flujo lumínico en salas de examen o de ciertos tratamientos, de quirófanos y de algunas consultas son muy elevados; del orden de 1.000 lux o más. La iluminación LED no solo es muy eficiente, sino que a día de hoy permite alcanzar estos niveles, pudiendo sustituir las lámparas de descarga y evitando así los inconvenientes de éstas: alto consumo, elevados tiempos de encendido y disminución considerable del rendimiento con el paso del tiempo.



Figura 27. Ejemplo con iluminación LED.

4.4.5. Eficiencia energética

La iluminación es uno de los valores importantes dentro del consumo eléctrico de cualquier instalación; en función del tipo de actividad la iluminación puede llegar a alcanzar un 50% del consumo total de energía eléctrica.

Existe por tanto un gran potencial de ahorro energético alcanzable mediante el uso de sistemas de iluminación más eficientes. Los establecimientos sanitarios no se escapan de esta regla, es más, en ellos es aún más importante por la naturaleza de éstos.

No sólo la utilización de luminarias LED energéticamente eficientes, sino el aprovechamiento de la luz natural y el control de los niveles de iluminación mediante sistemas de regulación son normas de obligado cumplimiento según el Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

4.4.6. Conclusiones

La luz es una necesidad primaria para el ser humano. El cuidado de la misma se hace aún más importante en actividades como la búsqueda de la salud y el bienestar.

Los centros sanitarios no sólo han de ser lugares de diagnóstico y cura, sino que deben ayudar a los pacientes a sentirse cómodos y relajados.



Figura 28. Iluminación en un hospital infantil.

Una correcta iluminación de cada espacio ha de contribuir beneficiosamente en todos estos aspectos, y aportar un granito de arena más en el proceso de recuperación de los pacientes.

Si esta iluminación es eficiente contribuimos además con la sostenibilidad de nuestro planeta reduciendo significativamente las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

4.5. Iluminación de tiendas y centros comerciales

4.5.1. Introducción

El primer objetivo en cualquier iluminación de tiendas y áreas comerciales es atraer al cliente, iniciarle en la compra y facilitar la materialización de la misma.

No se debe olvidar que el sentido que más se utiliza para adoptar la decisión de comprar un producto es el de la vista, por lo que una buena iluminación de las tiendas y áreas comerciales resulta primordial.

En consecuencia, la iluminación es un medio o herramienta que utilizada correctamente debe atraer la atención y crear interés en el cliente, guiarle y generar el ambiente adecuado para facilitar la toma de decisión de compra, mejorar el entorno creando imagen de empresa, con agilidad suficiente ante los constantes cambios reduciendo los costes energéticos.

4.5.1.1. Proceso de compra

El primer paso en el proceso de compra es captar la atención del cliente y atraerlo al espacio de venta, por lo tanto el proyectista debe considerar la iluminación como un medio para cautivar y guiar al cliente.

La buena iluminación seduce y la impresión que crea del espacio y de la mercancía es un factor determinante en la efectividad del proceso comercial.



Figura 29. Iluminación en supermercado.

La decisión de compra arranca cuando el cliente es visualmente atraído.

El cliente necesita evaluar los géneros expuestos, tales como la textura, color y calidad, así como leer la etiqueta, para lo cual debe existir una buena iluminación que permita realizar dichos exámenes.

Una iluminación adecuada en el punto de venta es necesaria para completar el proceso de compra, ya que debe ayudar al cliente a tomar la decisión final, y al personal del establecimiento a efectuar de forma rápida y precisa la gestión, registro de compra, el cobro, las transacciones con tarjeta y el empaquetado de la mercancía.

Además, una buena iluminación debe minimizar el número de devoluciones de productos, pues una detallada evaluación de la mercancía reduce el nivel de insatisfacción.

El diseño de la iluminación de tiendas y áreas comerciales debe tener en cuenta su influencia sobre la apariencia del establecimiento y la mercancía, los aspectos económicos y medioambientales, así como la explotación y mantenimiento de las instalaciones.

4.5.1.2. Comunicar la marca con luz

Nuestro mundo se hace cada vez más pequeño, ya que las redes de tráfico y mediáticas globales dotan a personas, mercancías, ideas e imágenes de una movilidad sin precedentes.

Como siempre, se realizan compras para cubrir nuestras necesidades básicas de vestimenta y alimentación. Pero ir de compras ha adquirido una dimensión de actividad de ocio, diversión, aventura.

Metrópolis y destinos vacacionales del mundo entero se posicionan en base al atractivo de su oferta comercial.

Cada vez son más las marcas y cadenas de establecimientos que se aventuran a la expansión internacional. Al mismo tiempo, los comercios locales individuales reafirman en la competencia mediante conceptos individuales, calidad exquisita, asesoramiento competente y servicio personalizado.

Las expectativas de los clientes con respecto a la atmósfera de su experiencia de compra se elevan constantemente.

Ante este trasfondo, el diseño de ambientes de compras se ha convertido en uno de los ámbitos más dinámicos e interesantes del diseño de interiores.

En este contexto, la luz desempeña un papel determinante: atrae la atención, maximiza la percepción de los productos, favorece la orientación y el bienestar.

Correctamente empleada, la luz puede dotar a un establecimiento de un carácter inconfundible y convertir la compra en una verdadera vivencia.



Figura 30. Iluminación en supermercado.

En el mundo del *retail*, no se puede permitir equivocarse con el diseño de iluminación. Su éxito de ventas depende directamente de la percepción visual que el cliente tendrá del producto expuesto y del entendimiento espacial de la tienda.

Actualmente con el desarrollo constante de tecnologías como los LED, con un bajo consumo energético y cada vez con una mayor relación lúmenes por Vatio, así como el aumento de su calidad lumínica, hace que se planteen como una interesante herramienta de iluminación para locales comerciales.

4.5.2. Gramática de la luz

Luz para ver, luz para mirar, luz para contemplar: estos son los principios de una luminotecnia cualitativa. En los años 50, el norteamericano Richard Kelly, un pionero de la luminotecnia, ha integrado en un concepto unitario las ideas procedentes de la psicología de la percepción y de la iluminación de escenarios, y ha diferenciado las calidades de la iluminación en tres funciones básicas: *ambient luminescence* (luz para ver), *focal glow* (luz para mirar) y *play of brilliants* (luz para contemplar).

La luz para ver crea la iluminación general del entorno. En la luminotecnia cualitativa, la iluminación ambiental no es la meta, sino simplemente la base para una iluminación más compleja. Así que la iluminación ambiental, no debe ser vista como el objetivo del concepto de iluminación, sino como la base para otros diseños con soluciones diferenciadas y personalizadas.

La luz para ver, obedece a la necesidad básica de orientación espacial o circulación. Algunas zonas como las cajas o zonas de atención al cliente, por supuesto, deben estar bien iluminadas. Sin embargo para la mayoría de las zonas de venta, el nivel de iluminación general es una cuestión más de atmosfera que se quiere conseguir.

En la práctica común, en iluminación comercial, los niveles de iluminación más elevados, son utilizados en las tiendas con una imagen más baja y/o una cantidad mayor de productos que mostrar; mientras que las tiendas de lujo, con pocos artículos expuestos, a menudo trabajan con iluminancias más bajas.

La luz para mirar va más allá de la iluminación ambiental: la luz dirigida acentúa puntos de atención y establece jerarquías de percepción. Las zonas importantes se enfatizan, mientras que lo trivial pasa a un segundo plano. En este sentido, la iluminación de acento constituye un método fundamental, una herramienta esencial para la presentación de productos y objetos. Las soluciones de luz con acento en objetos particulares o áreas, puede guiar la atención del cliente a lo que el vendedor desea resaltar.

Para conseguir que tu producto resalte del fondo es interesante generar contrastes y tener una buena reproducción cromática de las prendas expuestas. Por medio de contrastes de iluminación se pueden resaltar artículos en su entorno, dirigiendo la mirada hacia la luz. Un contraste bien conseguido, puede ser una buena técnica de planificación en *retail*.

Richard Kelly ha reconocido que la luz no era solo un medio para transmitir información sino también, que por sí misma era información. Un balance apropiado entre la iluminación ambiental y de acento, hace que la imagen de la tienda sea más acogedora y pueda atraer a clientes potenciales.



Figura 31. Ejemplo de iluminación *retail*.

Luz para contemplar: los efectos de luz decorativos con colores, patrones y cambios dinámicos generan atmósfera y magia. Para ello se pueden utilizar herramientas para efectos de iluminación, luminarias decorativas y objetos de luz, pero también reclamos de luz o expositores retro iluminados. La combinación de iluminación de acento con el juego de brillos es la culminación de la experiencia y excitación en el entorno comercial. No hay otros elementos en el diseño de interiores de una tienda que pueda influir más en la atmósfera general que la iluminación artificial.

Actualmente, con las posibilidades que la tecnología LED ofrece en términos de color y dinamismo de la luz, así como con los LED brillantes, puede ayudar a que cualquier instalación supere las expectativas tanto de los clientes como de los usuarios.

Un buen diseño de iluminación: integrado, dirigido y coherente, coloca el comerciante en una posición privilegiada de entendimiento completo de la experiencia de compra de un consumidor.

En el caso de los grandes centros comerciales que se han convertido en una considerable competencia de las clásicas calles de compras y de los centros ur-

banos, ofrecen una aventura, independiente de las condiciones meteorológicas, para la compra y diversión. Entre los desafíos para la iluminación arquitectónica de estos espacios, figura una iluminación general económica de las zonas transitadas, de dimensiones más bien amplias, al igual como la acentuación de ciertas áreas que funcionan como espacios de estructuración de estos grandes espacios. El juego de brillos también juega un papel importante a modo de iluminación escenográfica, despertando así la admiración de sus visitantes.

En estos grandes espacios, los LED también cumplen perfectamente con sus objetivos en tema de ahorro energético y económico, y a la vez pueden proporcionar dinamismo con una iluminación expresiva a la instalación.

4.5.3. Planificación de la iluminación

Un planteamiento profesional es una condición básica para una buena iluminación. La normativa y recomendaciones existentes determinan el marco donde insertar la planificación para la iluminación de tiendas y áreas comerciales, pero no debe olvidarse que en las mismas no se limita el ingenio, la creatividad, el gusto ni el diseño.

La buena iluminación de tiendas y áreas comerciales es siempre el resultado de una planificación y diseño cuidado y escrupuloso. Ello significa asegurarse que ningún aspecto debe ser tenido en cuenta de forma aislada.

La inclusión y consideración de todos los puntos de vista —clientes, propietarios, vendedores, arquitectos, decoradores y diseñadores de interiores, ingenieros luminotécnicos y eléctricos— son vitales para tener una visión global. Por esta razón, es importante acumular todos los datos, para posteriormente examinar y evaluar la totalidad y cada uno de ellos.

4.5.3.1. Proyecto y dimensionamiento

Las instalaciones de iluminación de las distintas áreas particulares o zonas que constituyen las tiendas y áreas comerciales requieren realizar su diseño y proyecto, que exige el planteamiento y estudio previo de una serie de datos y parámetros iniciales tales como:

- Tipología de la tienda.
- Uso de las zonas a iluminar (escaparates, cajas, estanterías, probadores, etc.).
- Necesidades de la luz.
- Índice K del local o dimensiones del espacio.
- Reflectancias de las paredes, techo y suelo de la tienda.
- Características y tipos de techo.
- Condiciones de la luz natural.
- Tipo de acabado y decoración.
- Mobiliario previsto.

La siguiente fase para la redacción del proyecto de iluminación demanda establecer las correspondientes etapas de planificación.

4.5.3.2. Etapas de planificación

Las etapas de planificación que se considera deben ser tenidas en cuenta son las siguientes:

- Determinación de las iluminancias.
- Establecimiento de las clases de calidad e índice de deslumbramiento unificado.
- Elección de las fuentes de luz en función del tono de luz, rendimiento de color y de la eficacia luminosa.
- Selección de luminarias y proyectores de acuerdo con el tipo de fuentes de luz y criterios luminotécnicos (clase de distribución fotométrica, rendimiento, factor de utilización, control del deslumbramiento, etc.) y arquitectónicos.
- Consideración de las exigencias mecánicas y eléctricas de las luminarias y proyectores (tipos y grados de protección, seguridad eléctrica, etc.).

- Modo de instalación de las luminarias y proyectores (tipo de implantación).
- Delimitación, en su caso, de los criterios de distancia mínima entre la fuente luminosa y el objeto iluminado, con la finalidad de proteger de las altas temperaturas a las superficies y mercancías iluminadas.
- Implantación cuando se precise de los sistemas de filtros y protectores de luz contra las radiaciones ultravioletas (UV) e infrarrojos (IR), al objeto de proteger los productos y géneros expuestos en lo que respecta a La estabilidad del color y sensibilidad al calor.
- Indicaciones sobre los sistemas de control y regulación de la luz apropiados a las necesidades de la tienda o área comercial, así como en lo relativo a las conexiones eléctricas idóneas.

4.5.3.3. La Iluminación de acento

La iluminación de acento es el alumbrado direccional que resalta un artículo o producto expuesto y dirige hacia el mismo la atención del cliente, lo cual se lleva a cabo con gran eficiencia mediante LED.



Figura 32. Ejemplo de iluminación en supermercado.

Se pueden conseguir dichos efectos creando contrastes entre el objeto y su entorno o entre artículos diferentes.

La forma de los objetos (modelado) y la textura en las superficies, pueden hacerse más evidentes utilizando la iluminación direccional o de acento como suplemento imprescindible de la iluminación general (difusa), dado que ese toque especial es necesario para la obtención del efecto total perseguido.

Los productos a los que se dirige la iluminación de acento, aparecen destacados y sugestivos, pudiendo utilizarse la luz reflejada en las superficies brillantes como elementos centelleantes que refulgen y refuerzan la apariencia de las joyas, vajillas, plata y artículos similares que se exhiben.

Un lujoso minimalismo o una repleta diversidad de cada oferta multicolor: la iluminación de acento y de efecto trae resplandor y vida a la presentación de los productos. La iluminación de acento tiene diferentes iluminancias y matices. Juega con fuertes contrastes y sombras duras, varía la luminosidad y la incidencia de la luz, sugestionada y seduce con color y forma. Los artículos expuestos revelan su atractivo en la luz para mirar y en la luz para observar.

La finalidad de la iluminación de acento es dar la máxima expresión a la forma, estructura y color, contrastando con su entorno. Asimismo crea brillo y resplandor, produciendo el efecto que hace que la presentación de los productos en venta resulte atractiva y refuerce la relación entre el cliente y la mercancía.

El factor de acentuación (FA) es un parámetro que orienta sobre la fuerza que debe tener una iluminación de acento para que produzca efecto. Viene determinado por la relación o cociente entre la iluminancia del objeto que se está alumbrando direccionalmente y la iluminancia de la iluminación general.

Tabla 12. Valoración de la iluminación de acento en función del factor de acentuación

FA = 1	Ningún efecto
FA = 2	Perceptible
FA = 5	Ligeramente teatral
FA = 15	Teatral
FA = 30	Dramático
FA = 50	Muy dramático

Corresponde siempre a la iluminación de acento atraer la mirada del cliente sobre la mercancía —perchas, vitrinas, estanterías, etc.— Esto significa que la iluminación de las superficies verticales es importante.

El objetivo último está ligado a la adecuación entre el producto y el cliente. La buena iluminación influye sobre el espacio, el producto y la actitud del cliente, estimulando la adquisición de productos.

4.5.4. Tecnología LED en retail

El diseño corporativo de marcas incluye un concepto de iluminación que aspira a ser igualmente inconfundible. Los conceptos de luz corporativa exitosos se basan en dos pilares: por un lado, la creación de ambientes y efectos luminosos que ofrezcan una imagen característica de la marca; por otro lado, la elección de luminarias cuyo diseño comunique por sí mismo el carácter de la marca en cuestión. Una luz brillante y una buena reproducción cromática se cuentan asimismo entre los beneficios para la iluminación de textiles.

Con el avance de la tecnología LED, se ha abierto un nuevo universo en el entorno del *retail*, con nuevas posibilidades de soluciones de iluminación. Gracias a su reducido tamaño, la habilidad de regulación y de cambio de color que aportan los LED, la luz se ha convertido en un fin en sí misma.

Las luminarias con tecnología LED están predestinadas para proyectos de iluminación al por menor, ya que presentan interesantes características como: su bajo mantenimiento (hasta 50.000 horas de vida útil), su alta eficacia luminosa y su propiedad de control (en combinación con regulación, control de los brillos y dinamismo con color cambiante), son características de flexibilidad que son muy bienvenidas en espacios de compras. La tecnología LED ha revolucionado también la cuestión del consumo energético.

Para una buena gestión de la duración de vida de los LED, es importante tener en consideración una buena gestión térmica de la luminaria y/o de la instalación para que se pueda aprovechar a pleno rendimiento el potencial del LED a lo largo de toda su duración (50.000 horas).

La rentabilidad de una lámpara depende de la eficacia luminosa (lm/W) y de su vida útil. Para la planificación energéticamente eficiente, los LED constituyen una alternativa importante, en virtud de su elevada eficacia luminosa (que pueden variar desde 80 a 125 lm/W) y su larga duración. A diferencia de las lámparas convencionales, el LED posee además un potencial de desarrollo adicional en cuanto al incremento de la eficacia luminosa. De ahí que, en los cálculos del flujo luminoso o de la iluminancia, el criterio debería ser la eficacia luminosa actual de los LED y no la potencia del módulo LED en sí.

Los LED son absolutamente resistentes al encendido y apagado frecuentes y capaces de encenderse en caliente, pueden regularse sin escalonamientos desde 100% a un 1% sin repercusiones negativas sobre sus propiedades, como la reproducción cromática o la duración, como sucede con otras lámparas. Estas características de control de los LED, están muy bien valorada en el mundo del *retail*.

La luz del LED se caracteriza también por un espectro luminoso sin componentes IR ni UV, de modo que el cono de luz no emite calor alguno sobre el objeto. Esto significa que el daño a las prendas o productos a través de la luz es limitada: los textiles no se desvanecen y los alimentos no perecen por la emisión de la luz. En el caso de las lámparas halógenas de bajo voltaje, por ejemplo, generan la luz mediante un filamento incandescente. En consecuencia, se produce una emisión del calor en todas las direcciones (hacia delante y hacia atrás).

En comparación con los LED, el espectro luminoso de las lámparas halógenas de bajo voltaje contiene un elevado componente infrarrojo. De ahí, la utilización de filtros de infrarrojos adicionales en algunos casos, los cuales reducen el rendimiento de la luminaria.

4.5.4.1 Importancia de una buena reproducción cromática

El color en sí no es una propiedad física de los objetos sino una percepción visual que se hace posible gracias a la luz. Por esta razón el índice de reproducción cromática es muy relevante en la iluminación de espacios comerciales. En esta clase de espacios, invertir en una iluminación de calidad, con un alto IRC, puede marcar la diferencia en el mercado. Una buena reproducción cromática es crucial en el momento de la compra ya que el color que percibimos depende de la luz con la que se ilumine un objeto.

Hasta la aparición y desarrollo de la tecnología LED en el campo de la iluminación, las lámparas con mayor reproducción cromática no se caracterizaban por su bajo consumo, como es el caso de las lámparas incandescentes, que alcanzan una calidad de reproducción cromática excelente (Ra 100) y a la vez un alto consumo energético. Con la evolución de la tecnología LED, se ha dado la vuelta a este concepto. Los LED tienen, por general, un índice de reproducción cromática entre 80 y 90, con un consumo energético bajo. Con relación a los halógenos metálicos, los LED de color blanco cálido ofrecen una calidad de reproducción cromática muy equiparable, pero con la diferencia de tener una larga duración y que a cada día, se busca una mejora en su eficacia luminosa.

El aumento de la demanda para la utilización de soluciones con LED en *retail* representa un nuevo e interesante reto a la hora de proyectar con esta fuente de luz. Las soluciones con LED pueden ofrecer una calidad mayor al proyecto y pueden ayudar a realizar proyectos de iluminación casi perfectos. Pero esto también solo será posible, si el diseñador de iluminación tiene la formación y los conocimientos técnicos necesarios para entender los medios que se necesitan para aproximarse a tal perfección.

4.5.4.2. ¿Cuál es el momento adecuado para invertir en luz LED en *retail*?

Sin duda, el futuro traerá nuevos avances evolutivos de la iluminación LED, pero la tecnología disponible ya al día de hoy, ofrece un enorme potencial de reducción de costes, sin incurrir en concesiones en cuanto a la seguridad y la calidad de la luz. De ahí que todo aquel que esté proyectando una reforma de un local comercial o renovación de su iluminación, debería tomar en consideración la tecnología LED.

El ahorro energético de una instalación comercial se consigue a la hora de la elección del tipo de fuente de luz más adecuada en cada caso, pero también depende del planteamiento del proyecto de iluminación, de los niveles lumínicos requeridos y de los resultados esperados. Los LED son una potente herramienta lumínica pero lo más importante para conseguir el ahorro energético es tener en consideración, cómo se ha pensado la luz para este espacio específico, es decir, un concepto lumínico personalizado. Vale la pena comentar también algunas ventajas adicionales de esta tecnología como: la disminución de los costes en mantenimiento y el ahorro en la climatización del local.

Así que, se podría decir que los LED son una herramienta de iluminación importante para el futuro del mundo del *retail* gracias a su flexibilidad, capacidad de adaptación a diferentes usos y empieza a ser muy interesante también desde el punto de vista de la rentabilidad.

Por todo ello, cada vez más comerciantes están optando por soluciones con LED en sus tiendas. Algunos sectores ya han entendido la importancia de los LED como una trascendente herramienta de iluminación, como es el caso del sector cultural y museístico. Ahora es el momento para que el sector del *retail* aproveche las ventajas que esta tecnología ofrece.

Utilizados adecuadamente, los LED pueden conceder un carácter diferencial al local comercial y hacer que la compra se convierta en una verdadera experiencia gratificante.

4.6. Iluminación de hoteles y restaurantes

4.6.1. Objeto de la iluminación

La finalidad primordial de la iluminación de hoteles y restaurantes es atraer al cliente y ofrecer confort visual. Debe considerarse la arquitectura del establecimiento, su entorno, el tipo de usuario a la que va dirigido, la distribución de los espacios, la decoración, el mobiliario, etc.

La iluminación en la decoración proporciona un encanto indispensable, anima las formas, hace vibrar las materias y los colores, calma y tranquiliza, provoca intimidad y determina los ambientes.

La iluminación debe ser un elemento importante de la decoración al proyectar, teniendo en cuenta, a la vez la estética y el confort visual y su aptitud para establecer una buena luz para una función dada, como comer y poder disfrutar de unas buenas presentaciones de los platos que inciten a su degustación.

El restaurante debe ofrecer a su cliente un deleite completo, que no se limite solamente al contenido de unos exquisitos platos de comida. Una buena iluminación, con discreción, debe crear un ambiente confortable y placentero. Deben ponerse al servicio de un arte los signos de una ciencia como la luminotecnica.

De la misma forma que existe una estrecha relación entre la iluminación de una tienda y su política de ventas, conviene adaptar la iluminación de hotel a su categoría y a la estrategia comercial del establecimiento.

Así por ejemplo, el tratamiento de la luz en un hotel de gran categoría, dadas las prestaciones, el precio y el tipo de clientela, puede asemejarse al de una boutique de lujo. A la inversa, un hotel de mediana categoría puede asimilarse a una tienda de proximidad, donde cabe llegar a soluciones de iluminación más clásicas y menos costosas.

Estos signos de identificación deben ser inmediatamente perceptibles desde la entrada en el hotel. Sin embargo, nada impide romper esa teoría e iluminar el hotel con un esplendor particular que lo distinguirá de los establecimientos de la competencia.

* Tipología de establecimientos

El confort en establecimientos de hostelería y restauración normalmente está asociado a una clasificación establecida, en función de la categoría, bien mediante estrellas o tenedores, según los estándares de servicio que, a su vez, se relacionan con el precio.

La arquitectura de los edificios y de los locales, su situación geográfica, la organización de los espacios, la decoración, mobiliario, etc. es muy plural, por lo que las soluciones de iluminación también son dispares y exigen un estudio detallado que complete cada tipo de establecimiento, así como los diferentes ámbitos de actividad que se desarrollan en los mismos.

De igual forma sucede con los establecimientos de restauración cuya variedad también es muy extensa: restaurantes, bares, cafeterías, cafés musicales, tabernas, tascas, cantinas, etc., con una gran diversidad en cuanto al carácter de los mismos, situados en ocasiones en el contexto global de la hostelería o como parte de cualquier tipología de instalación (deportiva, servicios, etc.).

* Zonas de funcionamiento de los establecimientos

Comprenden los diferentes espacios que constituyen los diversos establecimientos de la hostelería y restauración. En dichos espacios, de acuerdo con su uso, se desarrollan distintas actividades visuales como por ejemplo, las realizadas en las salas de lecturas, salones, salas de reuniones y convenciones, habitaciones (según utilización), zonas de administración, oficinas, despachos, recepción, etc.

Por otra parte, también existen las áreas donde se llevan a efecto actividades visuales normales tales como áreas exteriores, de circulación, descanso, recreativas, bares, restaurantes, discotecas, cocinas, talleres, almacenes, sectores técnicos, etc.

En los establecimientos de hostelería y restauración también se practican en espacios multifuncionales actividades singulares muy dispares tales como: reuniones, congresos, convenciones, simposiums, presentaciones, mítines, charlas, conferencias, seminarios, ruedas de prensa, fiestas, actividades artísticas, desfiles de moda, conmemoraciones, banquetes, etc.

En principio para este tipo de actividades singulares tan diversas, la planificación de la iluminación debe ser flexible pero capaz de adaptarse a las distintas disposiciones de las salas, variables en su capacidad, mediante biombos, paredes móviles, etc., al tiempo que la actividad a efectuar, de forma que se pueda disponer de la ambientación, calidad y cantidad de luz necesaria.

4.6.2. Proyecto de iluminación

Una buena iluminación deberá plasmarse en un acertado proyecto de iluminación, documento técnico básico para alcanzar los objetivos previstos.

Las regulaciones, normativas y recomendaciones fijan unos niveles de iluminación, además de otros parámetros que el proyecto de iluminación debe considerar.

Dada la incidencia que la iluminación tiene en el cansancio mental y estado anímico de las personas, el proyecto de iluminación debe contemplar todos los aspectos que contribuyen al confort visual, a que el entorno sea agradable y exista un idóneo modelado de objetos y formas, e incorpore un aprovechamiento óptimo y racional de la energía.

Para ello deben tenerse presentes todos los puntos de vista —clientes y usuarios, propietarios, arquitectos, decoradores y diseñadores de interiores, ingenieros luminotécnicos y eléctricos— a la hora de elaborar el proyecto de iluminación.

* Dimensionamiento

Los distintos ámbitos de actividad o zonas de funcionamiento, exigen elaborar el proyecto de iluminación teniendo presentes previamente unos datos y parámetros iniciales tales como:

- Tipo de establecimiento y rango del mismo (categoría).

- Utilización de las zonas a iluminar.
- Niveles de iluminación necesarios, e índice K del local.
- Dimensiones de los espacios a iluminar.
- Reflectancias de paredes, techos y suelos de los locales.
- Condiciones de la luz natural.
- Características de los techos.
- Tipo de acabado y decoración.
- Mobiliario previsto.

* Método de cálculo

Se efectuará el cálculo luminotécnico por el método punto por punto, bien manualmente o mediante programa informático, solvente, fiable y debidamente contrastado, asociado al método de cálculo.

El método de cálculo utilizará como datos de partida los señalados en el dimensionamiento, así como los derivados de los materiales adoptados en las soluciones propuestas, tales como lámparas, equipos auxiliares, luminarias, etc.

* Desarrollo

Se considera que en el desarrollo del proyecto deben seguirse, entre otras, las siguientes secuencias:

- Establecimiento del índice del local (K) utilizado en el cálculo.
- Fijación del factor de mantenimiento (F_m) previsto.
- Señalamiento del tono de luz o temperatura de color (T_c), del rendimiento de color (R_a) y eficiencia luminosa (E_{fl}) de las fuentes de luz adoptadas.
- Selección de las luminarias y proyectores a instalar con detalle de la clase (distribución de la intensidad luminosa), rendimiento, control del deslumbramiento, etc.

- Modo de instalación de las luminarias y proyectores.
- Determinación de los niveles de iluminación:
- Iluminancia media horizontal mantenida (E_m) y, si se requiere, iluminancia media vertical mantenida (E_v) e índices de deslumbramiento unificado (UGR).
- Uniformidades de iluminancia general y externa, en su caso.
- Aprovechamiento, cuando sea posible, de la luz natural.
- Cálculo de los valores de eficiencia energética.
- Delimitación de los criterios, si fuera preciso, de distancia mínima entre la fuente luminosa y el objeto iluminado para protección de las altas temperaturas.
- Control y regulación de la luz apropiadas a las necesidades.

Las características geométricas o índice del local (K) es un parámetro que define las dimensiones de un local cuya expresión es la siguiente:

$$K = \frac{L \cdot A}{H(L + A)}$$

siendo:

L = longitud del local.

A = anchura del local.

H = altura útil de la instalación.

✱ Niveles de iluminación

Los niveles de iluminación se ajustarán a lo dispuesto en la tabla 5.29 de la norma UNE-EN 12464-1.

En general, para entorno limpio puede tenerse en cuenta un factor de mantenimiento $F_m = 0,8$. En locales tales como almacenes, archivos o salas técnicas, se adoptarán los siguientes factores de mantenimiento en función del grado de suciedad:

- Entorno limpio 0,80.
- Entorno medio 0,55.
- Entorno sucio 0,30.

El deslumbramiento, definido como la apreciación subjetiva del grado de incomodidad o incapacidad experimentado en la visión, disminuye el rendimiento visual y neutraliza el confort visual. Además produce inseguridad y cansancio prematuro.

Debe limitarse el deslumbramiento —sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión— para no distraer y despistar la atención de los clientes y del personal de los establecimientos de hostelería y restauración. Se consideran dos tipos de deslumbramiento: directo y reflejado.

El primero de ellos es el causado directamente por las luminarias insuficientemente apantalladas, y es debido a luminancias excesivamente elevadas producidas por lámparas visibles directamente, o por la propia luz solar que penetra de forma incontrolada a través de ventanas y lucernarias.

✳ Eficiencia energética

En lo que respecta a la Sección HE 3 correspondiente al Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía, del Código Técnico de la Edificación, actualizado por Orden FOM/1635/2013, de 10 de noviembre y, en concreto, en lo que concierne a la eficiencia energética se cumplirán los siguientes requisitos:

- Se calculará el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI en cada zona, y se comprobará que no se superan los valores límites (niveles máximos) establecidos en la tabla reproducida en el capítulo relativo al alumbrado de oficinas.
- Se realizará el cálculo del valor de potencia instalada en el edificio en iluminación a nivel global, y se constatará que no se superan los valores límite (niveles máximos) determinados en la tabla incluida en el capítulo de alumbrado de oficinas.

- Comprobación de la existencia de un sistema de control y, en su caso de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, cumpliendo lo dispuesto en el apartado 2.3 de la referida sección HE 3.
- Verificación de la existencia de un plan de mantenimiento, que cumpla con lo consignado en el apartado 5 de dicha sección HE 3.

4.6.2.1. Tecnología LED

Dado que los hoteles y restaurantes constituyen lugares de trabajo en interiores, resulta aplicable lo expuesto al respecto en dicho capítulo.

Igual que el capítulo referente a tiendas y centros comerciales, en el caso de hoteles y restaurantes resulta prioritaria la implantación de la tecnología LED, entre otras, por las siguientes razones:

- Pequeñas dimensiones, que permiten una gran flexibilidad y simplicidad de diseño.
- Elevado rendimiento de color.
- Luz direccionable, dependiendo del LED y de la óptica incorporada, lo que además de permitir un factor de utilización elevado, se logra efectuar un control preciso del haz de luz al tiempo de conseguir efectos luminoso espectaculares de forma sencilla.
- Carente de radiaciones ultravioleta e infrarroja, con lo que se evita el deterioro de los materiales o elementos iluminados.
- Vida muy larga de 50.000 horas, que puede llegar incluso a las 100.000 horas, dependiendo del sistema y disposición técnica de la solución LED.
- Alta resistencia a golpes y vibraciones, dado que los LED son fuentes de luz sólidas que no tienen filamentos o tubos de descarga (lámparas convencionales), lo que confiere una elevada fiabilidad a las instalaciones de iluminación.
- Bajo consumo ya que los LED necesitan bastante menos potencia instalada en comparación con la que se precisan para conseguir el mismo efecto con fuentes de luz tradicionales.

- Fácilmente regulables mediante las unidades de control adecuadas sin comprometer su vida, inclusive en cuanto al número de apagados y encendidos como sucede en otras fuentes convencionales.

Como se ha señalado, en alumbrado interior aun cuando las características de los LED en lo correspondiente a su luz direccional, pequeño tamaño y elevado brillo, son muy ventajosos en aplicaciones tales como el alumbrado de acento, en el alumbrado general estas características de los LED deben tenerse en cuenta, al objeto de limitar posibles carencias en lo que incumbe a los aspectos cualitativos de la iluminación.

En este ámbito de la iluminación de hoteles y restaurantes, aun cuando la práctica en el diseño de la iluminación y la mayoría de los criterios de calidad existentes en esta materia, se centran en el rendimiento visual y en evitar las molestias oculares, debe preverse una instalación de alumbrado de elevada condición más allá de la visibilidad de la tarea que debe incluir, entre otros extremos, la apariencia visual del espacio.

Debido a su direccionabilidad, los sistemas LED pueden diseñarse para realizar las instalaciones de alumbrado interior de manera muy uniforme o de forma desigual. Un cierto grado de uniformidad en la iluminación es una cualidad positiva, pero una iluminación muy uniforme en determinadas dependencias de los hoteles y restaurantes, se considera negativa. Una sala parece más brillante cuando las distribuciones luminosas son más dispares.

En la valoración de la apariencia de una sala, de acuerdo con la Publicación CIE nº 205, ciertas partes del campo de visión son significativas en la evaluación de la iluminación, especialmente una banda horizontal de aproximadamente 40° de ancho, centrada a la altura normal del ojo.

También las superficies más distantes e incluso las situadas en la periferia del espacio iluminado son primordiales, sin desdeñar la luminancia del techo que tiene repercusión en la evaluación del brillo de la sala, considerando que la distribución de luminancias desempeña un papel sustancial en dicha valoración.

No obstante, las luminarias, fuentes de luz (lámparas y LED) ventanas, lucernarios, etc. situados en la línea de visión de las personas deben tener un brillo controlado, por lo que se recomienda que la luminancia para ángulos de visión críticos (de 45° a 85°) sea inferior a 1.500 cd/m².

Para áreas con pantallas de ordenador o monitores de televisión se estima aconsejable que las luminarias o fuentes de luz, ventanas, claraboyas, etc., tengan una luminancia inferior a 500 cd/m² para ángulos mayores de 65° tomados desde la vertical.

4.6.3. Entrada y recepción

La primera impresión es decisiva. Dónde y cómo el cliente reciba su primera impresión personal depende esencialmente de la iluminación instalada.

Sobre todo a la caída de la tarde o por la noche, un ambiente que mediante una buena iluminación favorezca la percepción agradable de los contornos de la arquitectura y decoración puede causar una impresión especialmente positiva, tanto en el exterior como en el interior.

Tanto de día como de noche, la entrada tiene que ser claramente identificable desde los alrededores.

- La buena iluminación guía al cliente, le orienta y estimula la atracción emocional.
- La tipología idónea de la iluminación colabora esencialmente en producir la primera impresión visual de un cliente, que resulta muy difícil de corregir. Condiciones de confort y percepción visual, bien diseñadas, proporcionan al usuario un elevado nivel de confianza y bienestar.
- La buena iluminación artificial estructura la entrada, el vestíbulo y los salones de estancia, de forma que se diferencien las zonas de actividad y de descanso.
- Sombras cortas y suaves delimitan, en su caso, los peldaños de la entrada, reduciendo el peligro de caídas o accidentes.

La zona de entrada tiene un carácter representativo o de llamada de atención, por lo que durante el día se debe combinar la luz natural con la iluminación artificial bien proyectada.

Al empezar a anochecer la iluminación sirve para una fina acentuación de la arquitectura, decoración de la entrada y para la orientación de las personas.

Para incitar al cliente a entrar en el umbral del vestíbulo se recomienda una luminancia de alrededor de 200 lux, de forma que se procure un ambiente luminoso en armonía con el alumbrado exterior.

En el hall de entrada una iluminancia media con mantenimiento de la instalación en torno a 300 lux, facilita los desplazamientos, la orientación e identificación de los diferentes espacios. Se debe evitar el deslumbramiento.

Si la distancia entre la entrada y la recepción es grande, se recomienda prever una iluminación con niveles variables en función de las horas; creciente por la noche desde la entrada hasta la recepción, y decreciente durante el día, para así evitar el inconfort debido al cambio brusco de niveles de iluminancia.

En el caso de restaurantes, en la entrada, la vitrina de exposición de la carta deberá estar bien iluminada, con un nivel de iluminancia recomendado en torno a 500 lux.

Mediante la graduación de la luminosidad (niveles de luminancia) se posibilita al cliente la adaptación progresiva al nivel de iluminación y el guiado visual en el interior del establecimiento.

La recepción es para el cliente el centro de organización del hotel. La recepción debe satisfacer esta exigencia desde el punto de vista de percepción específica. Por este motivo es necesario fijar un punto, con una diferencia esencial arquitectónica que, mediante una iluminación acentuada y apropiada, atraiga la atención del cliente.

En consecuencia, la luminancia en la recepción, o sea el brillo que realmente se percibe procedente de la reflexión de la luz en los materiales iluminados, debería ser mayor que en el entorno inmediato.

A la iluminación, en la mayoría de las veces emitida desde arriba hacia abajo (iluminancia horizontal) formando sombras acentuadas se debe añadir un elevado porcentaje de iluminancia vertical o sea, luz emitida en dirección horizontal. De esta forma se producen condiciones de luz equilibradas en las caras y en la superficie del mostrador.

Debe combinarse la iluminación general con la de acento para dar la máxima expresión a las formas, mobiliario y decoración, de forma que se cree brillo y resplandor, que proporciona un ambiente y confort visual muy apropiados.

La comunicación, que se produce de forma preferentemente visual, entre el personal de los establecimientos de hostelería y restauración y sus clientes, como entre estos, implica que adquiera importancia preponderante el modelado.

Se debe buscar un equilibrio entre la luz general difusa y la de acento con direccionalidad remarcada, de modo que se logre una correcta percepción de volúmenes y se eviten situaciones demasiado planas y uniformes, u otras de excesivo dramatismo.

Se obtiene un modelado aceptable cuando la relación entre la iluminancia vertical y horizontal es superior a 0,25 en las principales direcciones visuales del usuario.

En la recepción, la iluminación deberá ser cuidada de forma especial para dar la mejor impresión del establecimiento y para que el cliente adquiera confianza, por lo que se estima necesaria una iluminancia media de 300 lux.

En la zona de mostrador, que constituye el centro de recepción, se recomienda un nivel de luminancia media de 500 lux.

- La recepción, como primer centro de atención para los clientes, desde el punto de vista luminotécnico debería ser también el núcleo del hall.
- Los clientes y el personal se deben poder ver bien uno al otro. Esto crea confianza.
- El deslumbramiento por reflexión en el mostrador se puede evitar con una buena iluminación en su mayoría indirecta o con los correspondientes ángulos de incidencia de luz poco críticos.

Debe procurarse una iluminación general equilibrada, como condición básica y fundamental para alcanzar un buen rendimiento visual.

4.6.4. Pasillos

Los pasillos se deben considerar por encima de todo, zonas de paso con una elevada necesidad de orientación y seguridad. Según la opinión de psicólogos especialistas en la percepción, la impresión general de los pasillos largos resulta hasta cierto punto inadecuada para la creación de un bienestar mental.

Sin embargo, gracias a una buena iluminación se pueden transformar los pasillos en zonas de estancia de carácter comunicativo con un elevado nivel ambiental. La iluminación debe crear una impresión hogareña.

Es decisivo evitar situaciones de iluminación uniforme y homogénea y, en su lugar, ofrecer al ojo humano interesantes variaciones mediante un cambio de impresiones de luminosidad (luminancia).

Debe contemplarse en la iluminación de pasillos el diseño, buen gusto y originalidad, de forma que presenten un aspecto luminoso y sean las personas reconocibles sin sombras ni esbaticamientos, dado que una buena iluminación proporciona una afirmada sensación de seguridad.

Las paredes, y en especial los techos, deberían producir un efecto luminoso agradable, para evitar el llamado efecto túnel que, en caso de techos oscuros, se suele presentar rápidamente y es irritante y pesado.

La acertada iluminación de los números de las habitaciones también facilita la orientación segura del cliente. Existen sistemas de numeración iluminados desde su interior y también, por otra parte, spots de techo especiales que hacen que los números de la habitación implantados en la pared del pasillo o en la puerta se distingan claramente de la iluminación del entorno.

Se recomienda que la iluminancia media en los pasillos sea de 150 lux. No obstante, de acuerdo con el horario los niveles de iluminancia podrán variar de 200 lux durante el día (paso de clientes, limpieza, etc.) a 100 lux por la noche.

- Los pasillos son también vías de evacuación y los establecimientos de hostelería son locales de pública concurrencia. Por tanto, la señalización y alumbrado de emergencia de las vías de evacuación debe ajustarse a lo dispuesto en la normativa vigente.
- Se aconseja una iluminación acertada y con gusto de los números de las habitaciones.
- Islas de luz de notable intensidad estructuran y acortan ópticamente los pasillos largos y los destacan del entorno.
- Los techos claros dan al pasillo un aspecto de ser más alto, más grande y agradable.
- Las paredes iluminadas y claras reflejan la luz y aumentan el nivel de iluminancia vertical deseada.

4.6.5. Escaleras y ascensores

Las escaleras son una parte representativa de la arquitectura de un establecimiento de hostelería y restauración. No obstante, no se debe relegar su función básica a un segundo término. Consiguientemente, en primer lugar las escaleras tiene que ser seguras para el usuario.

Una buena iluminación proporciona condiciones visuales seguras en la escalera e indica el camino hacia las distintas dependencias del establecimiento, siempre que los diferentes peldaños no arrojen sombras el uno al otro (esbastimento) que impidan su delimitación.

A este respecto las iluminancias en los peldaños horizontales han de ser mayores que en las superficies verticales, para que se establezcan contrastes suficientes, de modo que se distinga claramente el borde frontal de un escalón del escalón siguiente.

Las luminarias no deben deslumbrar ni desde abajo hacia arriba, ni a la inversa, y no distraer la atención del usuario de la escalera. La iluminación debe crear un ambiente estético y confortable.

La norma UNE-EN 12464-1 exige una iluminancia mínima de 150 lux para escaleras fijas y automáticas. Debido a que se considera más confortable y segura una iluminancia de 200 lux, dicho valor resulta recomendable.

Una circunstancia decisiva es el factor de reflexión del material utilizado. Mientras que las superficies que reflejen bien la luz necesitan un nivel de iluminancia más reducido para aparentar subjetivamente una determinada luminosidad, los materiales con un factor de reflexión bajo requieren una iluminancia mayor, para conseguir una impresión de luminosidad comparable (luminancia).

Las luminarias integradas en la propia obra de las escaleras permiten un uso seguro de las mismas.

Se pueden instalar en las paredes laterales, en el pilar central, en cada uno de los lados o por debajo de la barandilla.

Se estima esencial instalar sistemas de iluminación distintos al general para reconocer las vías de salida, facilitar la orientación y, en definitiva, proporcionar seguridad.

El malestar psicológico que muchos clientes de un establecimiento de hostelería y restauración sienten al estar reclusos en el espacio cerrado del ascensor, se puede reducir considerablemente mediante una buena iluminación, espejos, tonos de luz agradables e incluso música seleccionada especialmente.

Techos luminosos producen el efecto de que la cabina del ascensor parezca más alta. Un elevado porcentaje de luz difusa en la iluminación del ascensor evita el esbastimento (sombra que arroja un cuerpo sobre otro) y, en combinación con superficies luminosas y brillantes, incluso equipadas con espejos, sugiere una mayor dimensión del espacio del propio ascensor.

Una iluminación más elevada indica al cliente el camino a los ascensores por lo que se recomienda un nivel de 300 lux.

- Las escaleras son también vías de evacuación. En consecuencia, la señalización y la iluminación de emergencia de las escaleras tiene que cumplir lo establecido en la norma vigente.
- Los peldaños de las escaleras no deben arrojar sombras los unos a los otros. Antes de proceder a proyectar la iluminación se debe considerar el color del revestimiento del suelo y los factores de reflexión del mismo.
- Para la iluminación de peldaños de escalera y especialmente para escaleras mecánicas son adecuadas luminarias con diodos luminiscentes LED. Gracias a la alta resistencia a vibraciones de los LED y a su larga vida útil, se reducen considerablemente los elevados costes de mantenimiento.
- Se debe crear un aspecto atractivo en las puertas de los ascensores, mediante un nivel de iluminancia superior al de su entorno.
- En el interior del ascensor se recomienda instalar un conjunto de iluminación con alto porcentaje de luz difusa, para evitar la formación de esbastimento.

4.6.6. Habitaciones y suites

La mayoría de los clientes del hotel utilizan la habitación fundamentalmente en las horas de la tarde y noche, debido a lo cual se debe conceder una importancia especial a la iluminación.

El proyecto de iluminación para habitaciones de hotel y suites debe centrarse básicamente en la necesidad del cliente de tener una elevada ambientación, con un confort de iluminación que el mismo pueda controlar y regular individualmente, de acuerdo con el uso que se le quiera dar.

Las diferentes zonas de funcionamiento de la habitación quedan, en primer lugar, representadas por su mobiliario y son diferenciables para el cliente. Esta división del espacio se puede incrementar con escenas lumínicas apropiadamente acentuadas y coordinadas.

Al elegir las luminarias se debe conceder gran importancia a la calidad de diseño en beneficio de la imagen completa de la habitación.

Se estima adecuado que el cliente pueda elegir y regular personalmente el nivel de iluminación y la distribución de la luminosidad en la habitación, según su estado de ánimo emocional. El confort de utilización queda considerablemente aumentado por las posibilidades de control centralizado de la iluminación tanto en la entrada de la habitación como, también, al lado de la cama.

El control y regulación de la iluminación facilita una elevada flexibilidad, en cuanto a diferentes modalidades de funcionamiento, así como diversos y variados efectos de luz dinámicos y especiales.

Una habitación de hotel necesita un alumbrado general con niveles de iluminación que puedan llegar a oscilar, por ejemplo, entre 100 y 250 lux, combinado con un alumbrado localizado para la cabecera de la cama, mesa de trabajo con una iluminación de 300 lux y, en su caso, iluminación de la mesita de estar o zona de butacas.

En ambos casos tipos de iluminación es muy importante el diseño de los aparatos de alumbrado y el rendimiento de color de las fuentes de luz que se considera sea superior a 85 ($R_a > 85$).

En la iluminación de la cabecera de la cama se aconseja se disponga de dos modalidades de alumbrado: directo no deslumbrante para la lectura, e indirecto más difuso, para la iluminación de ambiente cuando se ve la televisión.

- Las habitaciones del hotel y suites ofrecen zonas de ocupación y usos muy diferentes (por ejemplo, para trabajar, leer, ver la televisión, descansar, dormir, etc.) y de acuerdo con ello deben estar iluminadas de forma multifuncional.

- Se debe procurar que los clientes puedan darse cuenta lo más rápidamente posible de las posibilidades disponibles de control y regulación individual de la instalación de iluminación. Cada cliente percibe la luminancia o sensación de luminosidad de forma distinta, por ello las luminarias deberían estar equipadas con dispositivos reguladores del flujo luminoso.
- Tonos de color cálidos ($T_c < 3.300 \text{ K}$) conceden a la habitación una impresión de seguridad, confort y luz halagadora.

En la iluminación de la cabecera de la cama utilizada para la lectura, el haz luminoso debe estar perfectamente dirigido a la zona a iluminar, de forma que no se puede molestar, en su caso, al otro ocupante de la cama.

Una iluminación, un aplique o un spot orientable equipado con LED, dotados con regulación de flujo luminoso de la lámpara, es una solución, acertada, siempre que se cuide el diseño y aspecto estético del aparato de alumbrado.

Donde se instalan luminarias atractivas con pantallas para un máximo confort visual, está garantizado un ambiente acogedor y hogareño.

- La determinación de la iluminación a adoptar se debe llevar a cabo considerando las características de reflexión de los materiales de las superficies y los colores utilizados en la habitación.
- La distribución de la luz de las luminarias y su disposición determinan la dirección de la luz y con ello la formación de sombras.
- Se debe aspirar a conseguir sombras equilibradas con bordes suaves.
- Hay que evitar tanto el deslumbramiento directo como el deslumbramiento por reflexión.

Una manera de reducir los gastos de funcionamiento de iluminación de las habitaciones de hotel y cuarto de baño —así como de otras muchas zonas del establecimiento, en las que en la actualidad se utilizan luminarias con lámparas incandescentes— es efectuar su cambio en general por LED y, en casos muy especiales por lámparas fluorescentes con balastos electrónicos.

Luminarias modernas instaladas en edificios antiguos proporcionan un encanto especial a los interiores. Habitaciones de hotel que se deban renovar, ofrecen una oportunidad perfecta para crear un alto grado de confort en la iluminación. Se

pueden incrementar tanto la elegancia del estilo como el encanto rústico con la elección idónea de las luminarias.

4.6.7. Cuartos de baño

En el cuarto de baño el alumbrado general debe procurar una iluminación en torno a 200 lux, con un buen rendimiento de color, recomendándose la utilización de LED.

En lo que respecta a la instalación eléctrica y, por tanto, a los volúmenes de protección, se cumplirá lo dispuesto en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-27 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto.

Debe instalarse una iluminación específica superior a 300 lux con temperatura y rendimiento de color respectivamente de 3.000 K y $R_a = 95$, así como apliques a cada lado del espejo de arriba abajo, de lo cual un claro ejemplo es la iluminación de los espejos en los camerinos de los teatros.

La iluminación del espejo debe cuidarse con esmero, debe ser animada y agradable con una óptima reproducción de los colores. Dado que las sombras perjudican el rostro a la hora del maquillaje, afeitado, etc., la luz direccional no es aconsejable.

Por tanto se recomienda la instalación de luz dispersa difusora que oculte la fuente luminosa y evite el deslumbramiento directo o por reflexión en el espejo. La luz no debe ser intensiva y puntual, porque puede producir sombras en la cara. Es mejor una iluminación que produzca sombras suaves.

Los sistemas de iluminación de los cuartos de baño deben crear un sentimiento de seguridad y ambiente distendido.

En el caso de restaurantes, se recomienda equipar la iluminación de los servicios (WC), con sistemas de detección de presencia, que permitirán encender automáticamente el alumbrado general cuando los clientes entren en los mismos, o apagar cuando salgan.

Para poder mostrar claramente el perfecto estado de limpieza de los servicios (WC), una iluminación general de 200 lux se considera suficiente.

En el lavabo, la iluminación deberá ser reforzada mediante alumbrado puntual a ambos lados del espejo, proporcionando luz difusa, con vidrio opal, para garantizar una luz suave y uniforme, sobre todo en los servicios de mujeres para permitir el maquillaje.

Considerando el tiempo que permanecen encendidos los servicios (WC), será preferible elegir fuentes de luz de débil consumo, como en el caso de los LED.

- Donde estén situados los espejos se debe prever una iluminación con luz difusa.
- Diferentes zonas del baño, como el espejo, la ducha, el WC, etc. se deben dotar con sistemas de iluminación específicos.
- Como se ha señalado la instalación eléctrica debe ajustarse, en cuanto a volúmenes de protección a lo establecido en la ITC-BT-27.

4.6.8. Restaurantes

La iluminación durante una comida debe constituir, en primer lugar, un alumbrado emocional ya que el ambiente creado por la luz es tan importante como el menú. Tienen que quedar garantizadas la orientación y la comunicación hacia todos los lados en la mesa.

Es imaginable cualquier ambiente de luz entre una luminosidad brillante y la luz íntima de una vela. El factor decisivo es la combinación del entorno arquitectónico, con la buena y atractiva percepción de las viandas y la posibilidad de facilitar la tertulia en la mesa a través del confort visual.

Al mismo tiempo, el nivel de iluminación elegido es la medida decisiva para la intimidad que se le concede al cliente. En general se recomienda 250 lux en la sala y 300 lux en la mesa y calidades de reproducción cromática $R_a > 85$.

Dentro de estas prioridades se debe conseguir una coherencia con el concepto del restaurante. En este sentido hay que tener presentes los siguientes criterios:

- Dimensión de la sala, posibilidades de ampliación y de división.
- La construcción del techo.
- La luz natural incidente.

- El papel funcional y decorativo de las ventanas por la tarde/noche.
- La función a la que la sala haya sido destinada.
- La utilización de la sala y del mobiliario.

La dimensión de la sala influye en el tipo de luminarias a instalar. También afecta a la disposición de las luminarias. En salas que se pueden dividir, dicha disposición debe efectuarse de forma que se proporcione armonía al impacto general de la sala.

La construcción del techo se tiene que tener en cuenta para la selección de las luminarias. En falsos techos se pueden empotrar directamente luminarias para la iluminación general de la sala. En los casos donde la disposición del mobiliario varía, circuitos de conexión separados permiten iluminar las mesas con luz emitida desde diferentes partes del sistema de iluminación.

La luz natural incidente no siempre proporciona la luz adecuada en las mesas que están situadas más alejadas de las ventanas. Por ello, podría ser necesario instalar grupos de luminarias en círculos de conexión separados, para proporcionar una iluminancia equilibrada y uniforme en toda la sala.

Las ventajas que también por la tarde/noche ofrecen muy buenas vistas, deben quedar libres de reflejos molestos de las luminarias instaladas en la sala. La solución más acertada es la implantación de luminarias montadas en los laterales de las ventanas.

Asimismo, se deben considerar las cortinas que cubren grandes zonas acristaladas. Colores claros y una iluminancia vertical adecuada en las cortinas incrementan el impacto visual de la sala.

La función a la que la sala haya sido destinada, por ejemplo, si está pensada y amueblada como un comedor para delegados de una conferencia o como restaurante de turistas, es un factor importante que se debe tener presente al proyectar la iluminación. Instalaciones para conferencias, incluidos los comedores, requieren mobiliario e iluminación con un aire ejecutivo, mientras que los interiores de restaurantes de hotel sirviendo a turistas tienden a un diseño de líneas típicamente regionales, tradicionales o modernas.

La utilización de la sala se debe contemplar en la fase de planificación. Donde la disposición de las mesas sea estática, este hecho se debería subrayar con ilumi-

nación acentuada y la forma de la disposición de las luminarias. Cuando las mesas no estén siempre en el mismo lugar, se debería cuidar que quede asegurada una buena uniformidad de la iluminancia por toda la sala, por ejemplo, instalando luminarias de techo en una configuración regular. Luminarias de pared decorativas o spots enfocados en cuadros representan atractivos y llamativos detalles.

Los salones de banquetes de hoteles grandes —ejemplos típicos de salas de usos múltiples— básicamente requieren varios grupos de luminarias para diferentes fines funcionales o estéticos.

Para podios, pistas de baile, etc., el nivel de iluminancia tiene que ser aproximadamente el doble de la iluminancia media en la sala. Escenarios y pasarelas requieren luz especial de spots.

Al proyectar nuevos sistemas de iluminación en grandes halls utilizados para ocasiones festivas se han de tener en cuenta las paredes. Una buena iluminación para una sala de destino múltiple incluirá luminarias de pared decorativas, diseñadas como complementos o proyectores especialmente distribuidos, para destacar ciertas zonas de la pared.

A menos que el restaurante no forme parte del hotel, la iluminación de las salas del restaurante estará de acuerdo con la categoría del mismo y, sobre todo, con su política comercial.

Para los restaurantes de gama alta de un hotel, se proyectará una iluminación que procurará un ambiente relajado, intimista, realizado a partir de luminarias de estilo, cuyos LED emitan una luz cálida (temperatura de color inferior a 3.300 K) y un elevado rendimiento de color ($R_a > 90$).

La iluminación de un restaurante de gama media, generalmente utilizará luminarias dotadas de LED más convencionales destinadas al alumbrado general e iluminación localizada. Se recomienda una iluminancia media de 300 lux y una temperatura de color del orden de 4.000 K.

Cuanto más tienda el restaurante hacia la simplicidad, la iluminación asociada será más funcional. Deberá preverse entonces una iluminancia media de 400 lux en las mesas, con una temperatura de color de 4.000 K.

- La buena iluminación favorece el bienestar en el restaurante.
- Durante el día, la luminosidad y la transparencia crean un ambiente activo.

- Por la tarde/noche, una buena iluminación suave con unos tonos de luz cálidos, satisface el deseo de los clientes de estar en un ambiente tranquilo y distendido.

4.6.9. Salones de desayuno

Los salones de desayunos deben tener un aspecto claro, luminoso y espacioso, incluso en mañanas oscuras y nubladas. El ambiente de iluminación y el impacto visual de la sala deben ser estimulantes, refrescantes y marcadamente diferentes de lo que son las salas de comedor usadas para las comidas de mediodía y para las cenas.

Este talante de frescura en la mañana se puede conseguir con techos, paredes y suelos predominantemente claros, colores luminosos y optimistas y con un alto nivel de iluminancia entre 300 y 500 lux.

Se recomienda una iluminación general con un nivel de 250 lux, para lo cual es aconsejable utilizar luminarias con características diversas en cuanto a la distribución de la luz, por ejemplo, luminarias de techo en unión con luminarias suspendidas y de pared, con tecnología LED.

Para conseguir que toda la sala tenga un aspecto luminoso y fresco, se considera adecuado instalar luminarias y proyectores que también iluminen las paredes y techo, dotados de LED cuya temperatura de color se aproxime a 3.000 k, es decir, un tono de luz blanco cálido (bc) y un rendimiento de color $R_a > 80$.

Especial atención se debe prestar a la iluminación del buffet para el desayuno, cuyo nivel de iluminancia debería ser mayor, del orden de 500 lux.

Una reproducción cromática excelente (rendimiento de color $R_a > 90$), toques de luz viva, efectos brillantes en la cristalería, vajilla de porcelana, fruta y diferentes alimentos, constituyen objetivos muy deseables y fáciles de alcanzar mediante sistemas LED.

Se debe procurar que el aspecto de la comida fresca del buffet no quede perjudicado por el calor radiante emitido por las lámparas. Por este motivo sería recomendable instalar luminarias dotadas de LED.

Luminarias con tecnología LED de techo y empotrables, pequeños spots montados en puntos de conexión o en raíles eléctricos y luminarias con LED de diseño

decorativas, crean una escena atractiva, asegurando que el buffet sea el punto focal del salón de desayunos.

- Las salas de desayuno necesitan colores luminosos y luz brillante. Se debe crear una impresión de luminosidad viva, de manera que los clientes empiecen el día en un marco psicológicamente optimista.
- Para el buffet de desayuno se requiere un alto nivel de iluminancia.

4.7. Iluminación de Viviendas

4.7.1. Introducción

Cuando se examinan las cuentas domésticas diarias se constata que hay gastos que son muy difíciles de evitar y que resultan imprescindibles para la vida cotidiana, ya que se producen al realizar actividades básicas en nuestras vidas. La factura energética es uno de ellos y en la edificación residencial la electricidad, el agua caliente sanitaria, la calefacción y climatización constituyen los elementos que componen el gasto energético habitual de una familia, y que suponen un porcentaje importante de los gastos mensuales de un hogar.

Según los datos de la Comisión Europea se calcula que si una familia media se inclina por las mejores opciones energéticas puede ahorrar hasta 1.000 euros al año sólo en calefacción, climatización y electricidad, con lo que realmente existe un margen de mejora importante para reducir estos gastos que son calificados como imprescindibles, pero que como se comprobará, desde el punto de vista de la iluminación, si son susceptibles de reducción con una gestión eficiente de los mismos. Además de la vertiente económica directa, ésta reducción de los gastos también aportará una valiosa ayuda al medio ambiente.

En definitiva, en la gestión del gasto personal se deben aplicar en muchas ocasiones los mismos criterios que a nivel empresarial se llevan a cabo, ya que los componentes de la fórmula de acción son similares, recortar gastos innecesarios y optimizar los recursos disponibles. La energía es un recurso limitado que se debe mejorar en su uso y sobre el que no se repara asiduamente, al menos hasta hace pocos años.

La electricidad es uno de los grandes caballos de batalla del ahorro. Está presente en casi todos los ámbitos de la vida diaria, desde la cocina, hasta el televisor

y aunque es famosa en las familias la frase de la madre al hijo niño apaga la luz cuando esa luz no se está utilizando, la realidad es que dejar el ahorro energético en manos de la insistencia de los padres y la voluntad de los hijos, parece no ser lo más indicado ya que existen otros caminos más eficientes que se deben recorrer.

Actualmente el 9% del consumo energético se emplea en iluminar los hogares, y reducirlo es mucho más sencillo de lo que se cree. Para ello hay que tener en cuenta ciertos factores previos a la hora de afrontar las medidas que se pueden implantar.

4.7.2. Factores previos

Los factores previos a considerar en la iluminación de viviendas para conseguir instalaciones idóneas desde el punto de vista luminotécnico, con un consumo de energía eléctrica limitado, son los siguientes:

* Temperatura de color

La luz de la iluminación de una casa puede ser cálida (tonos amarillos) o fría (blanca) y la repercusión que ello tiene sobre el espacio iluminado y las personas es importante.

Una luz cálida, relaja el ambiente y es muy adecuada para las salas de estar, dormitorios, baños y zonas de descanso.

La luz blanca fría provoca en el ser humano un incremento de la actividad, mayor concentración en el desarrollo de la misma y permite tener más agudeza visual, por lo tanto será adecuada para zonas tipo como la cocina, garajes, etc., en las que se realicen actividades cotidianas.

* Reproducción de los colores

No todas las fuentes de luz reproducen de igual forma los colores de los elementos de una vivienda. Esta reproducción de colores tiene un máximo de 100 y, por lo tanto, se debe saber qué luz instalar en cada habitación. Lo ideal es tener siempre una buena reproducción de colores, pero no todas las tecnologías de las fuentes de luz poseen la misma.

Así las lámparas incandescentes y las halógenas tienen una excelente calidad cromática, las lámparas fluorescentes de bajo consumo defientan una pobre reproducción de colores y, finalmente, las lámparas LED en la actualidad pueden llegar a una reproducción cromática de 90 con lo que ya es una luz de calidad. Por ejemplo, en el cuarto de baño se debe tener una buena reproducción de colores ya que de lo contrario al mirar en el espejo se verán colores apagados. Se recomienda instalar LED con una reproducción cromática mínima de 80-90.

* Tiempo de uso

Cuando se habla de ahorrar energía, este factor es preponderante ya que si se instala una iluminación que ahorre mucho, pero solo se utiliza 5 minutos al día, es posible que no se consiga reducir la factura energética. Se debe empezar por aquellas zonas de la casa donde más se utilice la luz como son la cocina, las habitaciones y, en su caso, los jardines. Aunque esto dependerá de la costumbre de cada hogar, por lo que previo análisis se debe abordar primero las estancias donde más tiempo está encendida la luz.

* Vida útil de las lámparas

Todas las lámparas no poseen la misma tecnología y eso influye en su vida útil. Dependiendo de la tecnología con la que están fabricadas pueden oscilar desde las 1.000 horas de vida (lámpara incandescente convencional), a las lámparas de LED que pueden llegar hasta las 50.000 horas, e incluso superarlas. Del mismo modo, ciertas tecnologías como son las lámparas de fluorescencia no son adecuadas para tolerar constantes apagados y encendidos, ya que ello provoca una reducción importante de su vida útil.

* Tipo de fuente de luz

Hasta ahora, en el entorno doméstico existía un uso masivo de lámparas incandescentes/ halógenas que permitían una excelente calidad de luz y reproducción de colores pero eran muy ineficientes en el consumo energético al necesitar altas potencias para proporcionar niveles de iluminación adecuados. La aparición de las lámparas fluorescentes (de bajo consumo) permitió reducir el alto consumo de la lámpara incandescente, pero supuso una peor reproduc-

ción de colores y, por lo general, también su uso de forma inadecuada al implantarse luz fría en zonas tipo salones y dormitorios, donde no es adecuada esa iluminación de luz blanca fría.

En la actualidad las nuevas fuente de luz LED permiten beneficiarse de un importante ahorro energético, una alta vida útil, ya sea con luz cálida o fría, y una reproducción de colores superior a la fluorescencia y cercana a la incandescencia. En su contra tiene que al ser tecnologías relativamente nuevas, su coste es elevado en relación a las lámparas con tecnologías convencionales, aun cuando dichos precios últimamente van disminuyendo.

Con todos estos factores previos, hay que ser conscientes que en iluminación lo realmente importante no es solo la cantidad o potencia de las lámparas instaladas, sino la calidad y cantidad de luz que aportan. Cuando se contempla la iluminación no se habla de vatios (potencia de la lámpara), sino de lúmenes que es la cantidad de luz que emite una lámpara. Si se cambia una lámpara de tecnología convencional con una potencia de 50 W por una lámpara de consumo reducido de 9 W se puede tener la misma cantidad de luz, pero con un importante ahorro en el consumo de energía eléctrica.

4.7.3. Niveles de iluminación

La Sección HE 3 Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación, aprobada por Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE Ahorro Energético, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en su punto primero Ámbito de Aplicación excluye, entre otros, el apartado d) **“Interiores de Viviendas”** que, por tanto, no está regulado por dicha normativa.

Igualmente, la norma armonizada UNE-EN 12464-1 Iluminación de Lugares de Trabajo en Interiores, tampoco tiene en cuenta los interiores de viviendas, aun cuando en su apartado 5 considera en las cinco primeras tablas los niveles de las zonas de tráfico y áreas generales dentro de los edificios, tales como pasillos, escaleras, ascensores y montacargas, salas de máquinas, etc.

La iluminación juega un papel fundamental en la vida de las personas, aunque en la mayoría de los casos no se le concede la importancia que ésta requiere. Su correcta aplicación tiene trascendencia para el bienestar y rendimiento de las personas.

Una iluminación inadecuada en el hogar, por ejemplo, puede originar fatiga ocular, cansancio y dolor de cabeza. La lectura o el trabajo con poca luz daña la vista. También cambios bruscos de nivel luminoso pueden entrañar ciertos peligros, pues ciegan temporalmente mientras el ojo se adapta a los nuevos niveles de iluminación.

El grado de seguridad y confort con el que se realiza la visión depende de la capacidad visual y ésta, a su vez, es función de la cantidad y calidad de la iluminación. Un ambiente bien iluminado no es solamente aquél que tiene suficiente cantidad de luz, sino el que detenta la cantidad de luz adecuada a la actividad que allí se efectúa.

Respecto a niveles de iluminación, en primer término se deben considerar las zonas de paso (pasillos, vestíbulos, escaleras, etc.), así como los locales de bajo uso (cuartos de maquinaria, de almacenamiento, etc.), con iluminancias medias entre 50 y 200 lux, así como con unas uniformidades comprendidas entre 0,4 y 0,6, según lo establecido en la norma UNE-EN 12464-1.

En segundo lugar se encuentran las distintas dependencias del interior de la vivienda incluido, en su caso, el jardín.

Los parámetros recomendados para un proyecto de iluminación de viviendas, aunque puede existir cierta variabilidad, son los siguientes:

- **Cocina**

Iluminación general 300 lux y en la zona de preparación de alimentos 500–600 lux.

- **Baño**

Iluminación general 200 lux, para maquillarse o afeitarse junto al espejo 300–500 lux.

- **Dormitorio**

Iluminación General 100–200 lux y en la zona de lectura 500 lux.

- **Cuarto de los niños**

Iluminación general 200–300 lux y en la zona donde efectúan trabajos manuales 500–750 lux.

- **Sala de estar**

Iluminación general 150 lux, para ver la televisión 60–70 lux y para leer 500 lux.

- **Zonas comunes**

- Portal: 300 lux y 100 lux por la noche.
- Zona ascensores: 300 lux.
- Interior ascensores: 300–500 lux.
- Rellanos: 200 lux.
- Garajes:
 - Rampas de acceso: 300 lux y por la noche 75 lux.
 - Calles de circulación: 75 lux reconociendo los colores de seguridad.
 - Áreas de aparcamiento: 75 lux.
- Salas de instalaciones: 150 lux.
- Zonas de circulación en sótanos: 100 lux.
- Almacenes y cuartos trasteros: 100 lux.

En todos los casos los niveles de iluminación recomendados son los correspondientes a los valores de iluminancia media con mantenimiento de las instalaciones.

4.7.4. Tipos de iluminación

Desde que se ha divulgado la iluminación LED, las posibilidades de integración de la iluminación en la arquitectura de un espacio determinado se han multiplicado, así como la facultad de crear nuevos efectos lumínicos o reinventar los tradicionales sistemas y maneras de iluminar cualquier espacio, lo cual viene sucediendo en todos los campos de aplicación y tipos o maneras de iluminar existentes, tales como la iluminación general, decorativa o de acento, iluminación arquitectónica, etc.

El alumbrado indirecto, otra manera de iluminar un espacio, ya sea para alumbrado general o iluminación decorativa, es un claro ejemplo de las nuevas oportunidades y tendencias que se han abierto con los nuevos sistemas LED.

Se entiende por iluminación general todos aquellos sistemas o conjuntos de luminarias diseñados e instalados de modo que proporcionen luz de forma uniforme a un área determinada, ya sea de manera directa, indirecta o combinación de ambas.

La iluminación indirecta es aquella en la que del 90 al 100% de la luz se dirige hacia el techo, y luego se distribuye en el ambiente por reflexión contra las superficies: techos, paredes, etc.

La iluminación de acento o decorativa se utiliza para realzar detalles arquitectónicos o iluminar especialmente un objeto. Se emplea, por ejemplo, para iluminar un cuadro, una escultura, un mueble u objeto determinado, así como para resaltar particularidades o elementos arquitectónicos de un espacio definido, como pueden ser columnas, arcos, etc.

El alumbrado de ambiente o exposición es un tipo de iluminación más teatral, orientada solo a crear un cierto ambiente, y que generalmente emite una luz que no resulta suficiente para iluminar una estancia, pero que puede llegar a formar parte o ser considerada un elemento decorativo más de un espacio y contribuir, junto con la arquitectura, el mobiliario, la decoración, etc. a crear un ambiente diferenciado y transmitir sensaciones.

También se debe considerar un tipo de alumbrado indirecto denominado iluminación en cornisa, procedente de una fuente luminosa que se encuentra oculta tras un reborde, moldura de tipo cóncavo o similar, y que arroja su luz indirecta sobre la parte alta de la pared junto al techo.

Con frecuencia y en cuanto se habla de iluminación general, se utilizan sistemas de alumbrado indirecto o a veces mixto, es decir, combinaciones de sistemas de iluminación directa con indirecta. La finalidad no es otra que la de conseguir una buena uniformidad de la distribución de la luz en todo el espacio a iluminar, suprimiendo o reduciendo y minimizando las sombras.

La utilización de la iluminación indirecta es el mejor sistema para lograr una alta uniformidad, por ello es comúnmente instalado en estancias y espacios de viviendas como método para incrementar la ergonomía visual, el confort y el bienestar de las personas.

Cuando se habla de iluminación general, las luminarias, fuentes o puntos de luz deben estar situados por encima de la horizontal de los ojos. De ahí, otra ventaja de la iluminación general indirecta, aparte de la reducción de sombras y la distribución más uniforme, es la limitación o supresión de posibles deslumbramientos.

Principalmente existen tres modos básicos de diseñar una iluminación general indirecta:

- Con apliques de pared dotados de LED que proyecten la luz hacia el techo.
- Mediante luminarias de suspensión que emitan luz hacia arriba.
- Por medio de sistemas lineales cuya fuente de luz está oculta a la vista.

Una diferencia entre la iluminación indirecta y la decorativa, ambiental, de acento o en cornisa, es que mientras la primera suele estar siempre instalada en el techo, cuando se persiguen otros objetivos más estéticos, la luz puede provenir de varios lugares o puntos aparte del techo, como paredes, zócalos, e incluso mobiliario.

4.7.4.1. Iluminación de cocinas

En una casa o vivienda familiar, la cocina es el espacio que quizás se podría considerar principal, por el número de horas al día que se usa, especialmente si dispone de zona para desayunos, y si en la vivienda hay niños, puesto que entonces también se suele utilizar para comidas y cenas a diario. Por ello es uno de los espacios que requiere especial atención a la hora de planificar la iluminación.

En una cocina tipo se deben distinguir tres sistemas o zonas de iluminación diferentes que a continuación se especifican:

- **Iluminación General**

Suele realizarse mediante *downlights* empotrados en el techo que facilitan un nivel de iluminación global y homogénea en toda la estancia, si bien se puede ejecutar con otros medios en función de la tipología del techo, distribución del mobiliario, etc.

- **Iluminación de zonas de trabajo**

Se trata de la iluminación de las encimeras, zonas que se usan para trabajar, preparar y manipular alimentos, maquinaria, etc. El nivel luminoso

sobre estas superficies debe ser elevado, y con una buena reproducción cromática. Si la cocina dispone de muebles altos sobre la encimera, lo más adecuado es algún tipo de iluminación lineal integrada en la parte baja de dichos armarios altos, ya que al existir poca distancia desde la fuente de luz, el nivel será muy bueno.

Cuando no haya muebles altos, se recomienda efectuar una iluminación puntual o focal sobre las encimeras desde el techo, mediante downlights de ángulo cerrado, proyectores lineales u otros tipos de luminarias para tal efecto. La potencia de las mismas debe estar acorde al nivel de luz sobre la superficie de trabajo que se debe conseguir.

En este caso, es muy importante en estas zonas de trabajo la ubicación de las luminarias con respecto a la pared frontal y a la posición de trabajo de las personas, ya que hay que evitar que la presencia de una persona elaborando comidas en la cocina genere sombras sobre la zona de trabajo propiamente dicha, es decir, el punto de luz debe quedar siempre por delante de la cabeza de la persona frente a la encimera.

- **Iluminación de la zona de desayuno**

Lo más habitual es situar algún tipo de fuente de luz de suspensión sobre la mesa, que suministre una buena iluminación en toda su superficie, si bien también puede ejecutarse mediante iluminación focal desde el techo, al igual que con las encimeras, centradas con la mesa.

Es aconsejable distribuir en encendidos y líneas o circuitos distintos a cada uno de los tres tipos de iluminación descritos para una cocina, ya que el uso de una, otra o todas las iluminaciones a la vez, dependerá de cada momento.

4.7.4.2. Iluminación de baños

La iluminación del baño es muy importante y requiere una atención y estudio especial. Debe ser práctica y funcional. La principal fuente de luz debe situarse en la zona del tocador, el espejo y el lavabo.

Es importante evitar una sola fuente de luz que pueda generar sombras sobre la cara una vez situados frente al espejo. Se recomienda utilizar más de una fuente de luz, de haz de proyección abierto para que la luz de las distintas fuentes incida sobre la cara desde distintos puntos, minimizando las sombras y zonas oscuras.

Por otra parte en la iluminación de baños, resulta aconsejable el uso de luz lo más clara posible. Cuanto más blanca sea la luz, mejor se distinguen los colores, texturas y matices.

A su vez hay que tener en cuenta que la colocación de la luminaria cerca del espejo amplía la luminosidad en esa importante área del baño, ya que la luz que incide en el espejo se refleja, contribuyendo a disminuir las posibles sombras y zonas oscuras sobre la cara una vez situados frente al espejo.

Paralelamente y para romper la frialdad del baño, es trascendente contemplar un sistema de iluminación secundario que aporte calidez al baño y ayude a crear un ambiente confortable y cálido, lo cual se puede conseguir de diversas formas y con distintos tipos de luminarias, como por ejemplo:

- Separando el espejo de la pared e iluminando desde atrás con luz rasante en la pared, para crear un marco de luz.
- Utilizando iluminación rasante en alguna pared del baño con tiras de LED ocultas en el falso techo.
- Mediante apliques empotrados en la pared del baño a media altura o a ras del suelo.
- Con apliques empotrados en el suelo a modo de señalización.

Otra zona significativa a iluminar es la ducha o la bañera, que siempre debe efectuarse con luminarias estancas, resistentes a la humedad y a poder ser empotradas, sin que nunca se superen los 12 V de tensión. Según las fuentes de luz que se instalen los transformadores deben estar ocultos, inaccesibles desde la ducha o bañera, también estancos, y las conexiones protegidas por conectores asimismo estancos. Se recomienda conectores IP 68, ya que aquí la seguridad es fundamental.

Para iluminar la ducha o la bañera existen múltiples soluciones, pero las más comunes son la utilización de apliques LED estancos empotrados, de ángulo abierto, o tiras de LED empotradas en el techo o en la pared.

Por otra parte, en instalaciones más sofisticadas pueden implantarse fuentes de luz con posibilidad de cambios de color e intensidad luminosa, como los LED, en la ducha o bañera, para crear efectos de color.

4.7.4.3. Iluminación de dormitorios

La vivienda debería poder ajustarse en todo momento a las necesidades físicas, anímicas y mentales de los que la habitan. Para ello un factor sustancial lo juega la iluminación que afecta directamente a los sentidos de las personas.

Por lo general, y especialmente en viviendas que ya tengan cierta antigüedad, sin haber sido reformadas y no haya intervenido un especialista (arquitecto, interiorista, lighting designer, etc.), la iluminación de las habitaciones o dormitorios no suele estar muy estudiada.

Habitualmente al construir la vivienda se deja uno o dos puntos de luz centrados en el espacio, y eso es todo. El usuario suele añadir quizá una lamparita de noche o un flexo si hay una mesa de estudio en la estancia, y poco más.

Este tipo de iluminación, salvo quizás la proporcionada por una lamparita de noche, puede ser a veces excesiva y no adecuada para momentos de intimidad, ya que suele tratarse por lo general de iluminación directa y con cierta intensidad, cuando se estima que la luz debe ser tenue, sutil e indirecta, e incluso excepcionalmente de color.

Las distintas zonas del dormitorio están representadas por su mobiliario y son diferenciables para el usuario. En la elección de las luminarias tiene transcendencia la calidad del diseño en beneficio de la imagen completa de la habitación.

La posibilidad de control y regulación de la iluminación facilita flexibilidad en cuanto a diferentes modalidades de funcionamiento y variados efectos de luz dinámica.

Un dormitorio necesita un alumbrado general, combinado con una iluminación localizada para la cabecera de la cama. En ambos casos, como se ha señalado anteriormente, se considera fundamental el diseño de los aparatos de alumbrado y el rendimiento de color de las fuentes de luz, que se aconseja sea superior a 85 ($R_a > 85$).

En la iluminación de la cabecera de la cama se estima conveniente disponer de dos formas de alumbrado, el directo no deslumbrante para la lectura y el indirecto, más difuso, para la iluminación de ambiente cuando se ve la televisión.

La opción que puede ser recomendable es la instalación de sistemas de iluminación LED lineales, principalmente el uso de tiras de LED flexibles, ya sean monocolor o con posibilidad de cambio de color, cuyo coste es relativamente económico y su instalación sencilla. Se aconseja que la instalación se ejecute ocultando siempre la fuente de luz, de manera que únicamente se vea la luz que emiten.

A su vez, si pueden integrarse los LED en el mobiliario, tanto mejor, ya que se optimizan los resultados como, por ejemplo, a título orientativo, en cabezales de cama iluminados desde detrás del mismo y orientados hacia arriba, así como en los laterales, bajo mesillas de noche iluminando hacia el suelo, desde la parte superior de un armario o mueble alumbrando hacia el techo, o perfilando un espejo por detrás creando un halo de luz a su alrededor. Existen muchas opciones y posibilidades adaptables a cada habitación particular.

Cabe señalar que la utilización de luz de colores, quizá excepcional, implica emplear un sistema de control para poder llevar a cabo el cambio de color deseado, y que a su vez permite controlar la intensidad de la luz, hasta dar con la combinación que se considere más conveniente en cada caso.

Por otra parte, en el supuesto de utilizar tiras de LED de luz monocolor blanca que se aconsejan de tonos cálidos entre 2.500 K y 3.200 K, éstas también pueden regularse mediante sistemas *dimmer* igualmente con mando a distancia, lo que facilita crear un ambiente a medida en el dormitorio.

4.7.4.4. Iluminación del salón

Actualmente en el salón y salas de estar se está implantando una adecuada combinación de iluminación general y alumbrado de acento o dirigido, que lleva la luz donde se necesita.

El alumbrado de acento es la iluminación direccional instalado para realzar un objeto y dirigir la atención de las personas para su observación.

La forma de los objetos y la textura de las superficies pueden hacerse más evidentes destacándolos de su entorno mediante el alumbrado de acento, como complemento de la iluminación general.

Si se aumenta o disminuye la intensidad de iluminación se puede crear un variado patrón de luces y sombras, con contrastes que sugieren dinamismo, de modo que cuanto más duras sean las sombras más espectacular, dramático y agresivo será el efecto logrado.

A este respecto es de destacar que los sistemas LED son muy convenientes para realizar el alumbrado de acento, dada la direccionabilidad de la luz que emiten.

La luz natural puede proporcionar parte de la iluminación, pero como es bien sabido la luz diurna cambia de nivel y composición espectral en el transcurso del día, y debido a ello proporciona una variación en la iluminación del salón y de las salas de estar.

Las ventanas permiten el contacto con el exterior, que es deseado por la mayor parte de las personas, pero para reducir el posible deslumbramiento de las ventanas se debe prever cuando resulta apropiado un apantallamiento mediante toldos, cortinas, persianas, etc.

Por tanto, únicamente el conjunto constituido por una acertada iluminación general y un alumbrado de acento crea en el salón el ambiente deseado.

La luz concentrada de un pequeño spot LED es seductora, sugestiva, cautiva y atrae la atención sobre las superficies, contornos, detalles, etc.

Se pueden instalar luminarias y proyectores con distintos ángulos de emisión de luz, con una gama de haces desde estrechos hasta anchos y diferentes distribuciones de las intensidades luminosas: difusa, extensiva, intensiva, asimétrica e intensiva orientable.

El salón y las salas de estar en general deben tener un aspecto claro y luminoso, de forma que el ambiente de iluminación resulte estimulante.

Aun cuando el nivel mínimo de iluminancia media se estima debe ser de 150 lux, se recomienda una iluminación general con un nivel de 200 lux, para lo cual es aconsejable utilizar luminarias con características diferentes en cuanto a la distribución de la luz, por ejemplo, mediante luminarias de techo en unión con luminarias suspendidas y apliques de pared.

Para lograr que todo el salón tenga un buen aspecto luminoso, se estima adecuado instalar luminarias y proyectores con sistemas LED que iluminen también las paredes y el techo, cuya temperatura de color se aproxime a 3.000 K, es decir, un tono de luz blanco cálido, con un rendimiento de color $R_a > 80$.

4.7.4.5. Alumbrado exterior

En general es deseable disfrutar de la vida al aire libre, pasar tanto rato como sea posible en el exterior, especialmente cuando el tiempo acompaña, pero también en invierno gozando del jardín o la terraza.

Por ello disponer de una buena y adecuada iluminación exterior es muy importante, para poder pasar el máximo tiempo fuera de la vivienda, para estar tan confortable y cómodo como en el interior de la misma, y pasar largas y agradables horas en compañía de la familia o amigos.

El alumbrado de exteriores se trate de una terraza, un jardín o un patio, es tan primordial como la iluminación del interior de la vivienda. Con un exterior bien iluminado se destaca la belleza de este espacio, más aun si hay plantas, flores o elementos arquitectónicos y estructuras singulares, o que doten de personalidad el espacio exterior en cuestión.

Cabe tener en cuenta y significar que de noche las cosas se ven distintas que por el día, donde la luz solar lo inunda todo. De noche se pueden recalcar puntos, zonas y elementos que haya en un espacio exterior determinado, crear juegos de luces y sombras, zonas claras y oscuras, para acentuar o disminuirlas y enmascarar lo que se desee, mejorando el aspecto del entorno y creando atmósferas únicas.

La iluminación exterior comprende tanto la iluminación funcional, como la decorativa. En cuanto a función práctica de la iluminación exterior, se debe contemplar que se trata de un tipo de iluminación funcional, que cumple una misión concreta de seguridad: ver que hay para poder transitar sin peligro. Resulta notable no descuidar ciertas áreas o aspectos como, por ejemplo, caminos, senderos o recorridos, escaleras, desniveles e irregularidades del terreno si las hay, y zonas de paso, puertas, accesos y portones de garaje.

Por otra parte, y en cuanto a la iluminación decorativa se refiere, un jardín, terraza o patio se pueden iluminar de manera general, y también con iluminación de detalle, subrayando los objetos más destacables como macetas, una columna, fuente, pared o un árbol, para acentuar así su belleza.

Se recomienda situar las fuentes de luz en zonas que merezcan su iluminación, como bancos, mesas y sillas que, además de lograr un efecto estético, resulten útiles. Una opción decorativa es utilizar varios aparatos de alumbrado bien distribuidos y con luz tenue, ya que de esta forma se consigue un ambiente relajante.

Es importante tener en cuenta la orientación de las luminarias. Lo ideal, y en especial en zonas donde se haga la vida, es enfocarlas hacia el suelo con la finalidad de evitar deslumbramientos molestos, si bien hoy en día, con la aplicación de iluminación LED exterior con ópticas asimétricas, este tipo de deslumbramiento puede minimizarse apuntando la luz hacia superficies tales como paredes, para obtener un agradable efecto con la luz rebotada e indirecta.

Se debe añadir que, en grandes jardines, se aconseja la utilización de varios elementos distintos de emisión luminosa puntual fuera de las zonas donde se haga la vida, con fines decorativos para enfatizar elementos constructivos y estructurales del mismo, tales como muros, columnas, árboles, arbustos, plantas o macizos, etc., creando un juego de luces y sombras *ad hoc* que generen profundidades que realzarán todo el entorno. Todo ello puede complementarse con algún tipo de luminarias distribuidas de forma espaciada entre sí, que emitan luz tenue y difusa para crear alguna zona más amplia y más iluminada, lo que ayudará a generar contrastes y a proporcionar una confortable sensación visual.

De acuerdo con lo dispuesto en la Guía Técnica de Aplicación de la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-09 Instalaciones de Alumbrado Exterior, que desarrolla el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, se consideran excluidas de la aplicación de la ITC-09, entre otras, las siguientes instalaciones:

- Las instalaciones de alumbrado exterior de viviendas unifamiliares, cuando tengan menos de 5 puntos de luz exteriores, sin contabilizar los puntos de luz instalados en las fachadas.

En este caso la instalación de alumbrado en el exterior de dicha vivienda se realizará según lo establecido en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-25.

- Las instalaciones eléctricas de las piscinas, pediluvios y fuentes, cuya regulación está recogida en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-31 que desarrolla el artículo 11 del referido Reglamento.

El tipo de instalaciones de alumbrado exterior particulares, excluidas de la aplicación de la ITC-BT-09, pueden tener su origen:

- En un ramal de la red de distribución pública de baja tensión.
- En una derivación sobre la distribución de los servicios generales del inmueble.

En este último caso debe instalarse una protección selectiva en relación con los otros circuitos del inmueble (caja de escaleras, garaje, etc.). La protección mediante interruptor diferencial debe estar coordinada con las condiciones de puesta a tierra de la instalación, en consonancia con el esquema TT o TN que corresponda.

Se recomienda efectuar la puesta a tierra de la instalación de alumbrado exterior mediante conductor de protección (CP) con aislamiento de color verde-amarillo, incorporado en la misma canalización que la alimentación de los puntos de luz. El tipo de canalización a emplear se escogerá de acuerdo a lo establecido en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-21.

Las uniones o empalmes de interconexión deben ser ejecutados correctamente en cajas de conexión, al objeto de asegurar su continuidad y la buena derivabilidad de las puestas a tierra.

Las instalaciones de alumbrado exterior de viviendas unifamiliares cuando tengan menos de 5 puntos de luz, sin contabilizar los puntos de luz instalados en fachadas, así como la iluminación de espacios comunes privados exteriores de comunidades de propietarios (zonas de descanso, jardines, andadores, caminos peatonales, etc.), que tengan 5 o más puntos de luz, se ajustarán a lo dispuesto en el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior aprobado por Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre.

Según lo establecido en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 del mencionado Reglamento, los niveles de iluminación serán los establecidos en la tabla 8 para las clases de alumbrado S1, S2, S3, y S4.

4.7.5. Conjunto de luminarias – fuentes de luz

El dominio y contención de la energía consumida por las instalaciones de alumbrado, pasa por la calidad del proyecto de iluminación, la instalación de un material fiable y eficaz (fuentes de luz, luminarias y equipos auxiliares de alimentación) y, finalmente, por un sistema de gestión y variación de la potencia adaptado a las necesidades requeridas en cada caso.

Una instalación de alumbrado optimizada comprende un conjunto de fuentes de luz – luminarias eficiente, asociado a un aparellaje de alimentación electrónico que permite, si la utilización del espacio lo justifica, el control y mando de la instalación vía detector de presencia/movimiento, y si fuera precisa la consideración

continua de la luz natural, regulando permanentemente el alumbrado artificial para que proporcione solamente el complemento de iluminación necesario a la luz natural para alcanzar el nivel de iluminancia deseado sobre la zona o local en cuestión, de estancia o trabajo.

Actualmente, gracias a la mejora de la eficacia luminosa de las nuevas fuentes de luz, especialmente los LED, en relación a la débil eficiencia de la incandescencia, posibilita al mismo tiempo reducir el consumo eléctrico y aumentar la calidad y cantidad de luz artificial disponible.

Un sistema de alumbrado optimizado en la vivienda se consigue mediante la asociación de fuentes de luz y luminarias eficaces y, como se ha señalado anteriormente, con un control y regulación automática de la instalación que faculte responder a las diferentes necesidades de los usuarios.

Además del interés decorativo de la luminaria, la calidad del conjunto luminaria-fuente de luz se caracteriza por su capacidad de restituir, distribuir y repartir la luz. Por tanto, es importante la eficacia luminosa de la fuente de luz (lm/W), su capacidad de proveer un verdadero color a los objetos, las personas, con un rendimiento de color superior a 80 y un ambiente luminoso o temperatura de color ni demasiado amarilla ni muy azul (entre 2.800 K y 4.000 K).

Pero obviamente se precisa elegir luminarias que distribuyan eficazmente la luz hacia las zonas deseadas, que faciliten la obtención de una instalación de alumbrado eficiente en el consumo de energía, que limite la luz perdida y que cubra las necesidades de iluminación de los usuarios, tanto en cantidad como en calidad de luz, ambiente confortable, etc.

Para conseguir lo señalado se recomienda que el conjunto luminarias-fuentes de luz se ajusten a los valores mínimos siguientes:

- Iluminación general: eficacia luminosa ≥ 70 lm/W.
- Iluminación de acento: eficacia luminosa ≥ 45 lm/W.
- Índice de rendimiento de color: $R_a \geq 85$.
- Rendimiento de la luminaria $\geq 60\%$ con distribución directa o directa-indirecta.

Ni que decir tiene que el conjunto luminarias-LED superan ampliamente los valores mínimos recomendados.

Algunas fuentes de luz (fluorescentes, LED, etc.) funcionan mediante un aparellaje electrónico de forma que, si se desea controlar las lámparas mediante un sistema de gestión automático del alumbrado, se requiere asegurarse previamente de la existencia de compatibilidad entre las lámparas y el sistema, lo cual se cumple sin problemas en las lámparas LED.

4.7.6. Medidas a implantar

Algunas de las medidas básicas que se pueden utilizar en el hogar para ahorro de energía eléctrica son las siguientes:

- Encendidos parciales, siempre que sea posible, para lo cual se deben instalar interruptores divididos por zonas diferenciadas para encender solamente las luminarias que sean necesarias. De esta forma se encenderán las luces que se precisen y no se tendrán zonas con luz superflua.
- Sustitución eficiente, de modo que al cambiar la lámpara convencional que se haya fundido se debe hacerlo por otra de una tecnología ahorradora, que permita conseguir un ahorro hasta del 80% y que además duran hasta ocho veces más. Este cambio se debe llevar a cabo teniendo en cuenta el espacio a iluminar y que tipo de luz se desea. Luz cálida/fría y una buena reproducción de los colores son elementos fundamentales a considerar.
- Luz Natural o *DayLight*, bajo este término se encierran todas aquellas acciones que se efectúen para utilizar la luz natural que, en la medida que lo permita la orientación de la casa, se deberá realizar. La luz natural aporta el máximo confort visual posible, la mejor reproducción de colores y su temperatura (cálido/frío) se va modificando a lo largo del día, con lo que se consigue que los biorritmos se ajusten de forma natural.
- Automatizar la iluminación mediante el uso de sensores que permitirán que el apagado y encendido de alumbrado no dependa del apagado físico de un interruptor. Los sensores pueden ser de movimiento/presencia pensados para zonas de paso, sensores de luz (activan/desactivan la luz en función de la cantidad de luz del sol que haya) a utilizar en zonas que reciben aporte de luz natural y, por último, sensores combinados que compatibilizan varias funciones. En definitiva, la idea es encender la iluminación cuando se necesita y evitar la luz encendida innecesaria. Algunas aplicaciones directas son:

- Los Sensores en los garajes y zonas comunes, que pueden tener dos fases de encendido. Una de seguridad mientras no hay nadie, que permite tener un mínimo de luz de seguridad, y una segunda que activa el 100% de la iluminación vía el sensor de movimiento/térmico cuando detecta movimiento.
- Sensores de luz natural en el jardín, permite ajustar el encendido de las luces del jardín a la época del año, y de esta forma evitar constantes reprogramaciones en los relojes de encendido tradicionales. Se recomienda tener en cuenta el elevado número de horas que pueden estar encendidas las luces en los jardines domésticos, por lo que se necesita utilizar lámparas ahorradoras, e incluso regular la intensidad de la luz para reducir consumos en las horas de la madrugada.
- Sensores en la entrada de las casa (vestíbulos o puerta principal de las casas), permitirán un importante ahorro y tener un factor de seguridad.
- Mantenimiento adecuado por medio de la limpieza de las lámparas y luminarias, que permitirán evitar la degradación de la iluminación y la disminución del rendimiento, evitando cambios innecesarios por falta de luz. Las lámparas se van degradando con el uso, reduciendo la cantidad de luz que emiten con las horas de funcionamiento, lo que unido al ensuciamiento de las luminarias producen una bajada sustancial en los niveles de iluminación.
- Cultura del ahorro, que facilite estar pendientes de apagar las luces que no se utilizan y no tener habitaciones encendidas sin que esté nadie.
- Con todas estas medidas previas y con una actitud proactiva hacia el ahorro en el hogar, se logra en las cuentas una menor presión de los gastos diarios, al tiempo de coadyuvar en la mejora del medio ambiente.

4.8. Alumbrado de emergencia

4.8.1. Introducción

No hay duda de la novedad que representa el uso del LED en todos aquellos dispositivos construidos con el fin de iluminar nuestra actividad cotidiana.

La idea ha calado profundamente en nuestra mente, LED = Ahorro y Duración.

Es rigurosamente cierto, mas al igual que todas las afirmaciones, disponen de su “pero”.

Se va a intentar en este capítulo mostrar de una forma sencilla y comprensible las ventajas que aporta la inclusión de esta fuente de luz.

Pero antes sería conveniente revisar los conceptos básicos para volver a poner en valor al alumbrado de emergencia, que por el hecho de serlo, se ve poco su funcionamiento, ya que pertenece al grupo de elementos de seguridad, aquéllos que nunca se querría tener que usar.

4.8.2. Alumbrado de emergencia

El alumbrado de emergencia, es un dispositivo que debe estar obligatoriamente instalado en los locales de pública concurrencia y resulta aconsejable en cualquier tipo de local que pueda ser susceptible de acumular un grupo de personas poco habituales y por tanto desconocedoras del entorno.

Simplificando mucho su función, es el alumbrado que iniciará su funcionamiento cuando falle el alumbrado normal permitiendo diferentes acciones:

- Salir del local de forma ordenada, evitando el pánico producido por la falta de luz.
- Identificar las salidas y los accesos más próximos.
- Identificar la localización de los medios de aviso y extinción (mangueras, extintores, pulsadores, etc.).
- Realizar operaciones de rearme o finalización de procesos necesarios en este tipo de situaciones, etc.

Es decir, el alumbrado de emergencia va a permitir que un grupo de personas que no conoce el lugar donde se encuentra pueda salir ante un eventual siniestro de cualquier tipo que deje el local en total oscuridad y al tiempo utilizar los medios para avisar a otros del siniestro.

Por tanto, se define el alumbrado de emergencia como la iluminación que proporciona la seguridad necesaria para la evacuación de los locales cuando se produce un fallo de la iluminación normal.

4.8.2.1. Normativa de aplicación

La legislación española es una de las más exigentes de la Unión Europea en materia de seguridad y protección contra incendios, y considera al alumbrado de emergencia de la máxima prioridad.

La normativa vigente aplicable es la siguiente:

- Instrucción Técnica Complementaria ITC–BT–28 del Reglamento Electro-técnico para Baja Tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto.
- Guía Técnica de Aplicación de la Instrucción Técnica Complementaria ITC–BT–28 Instalaciones en Locales de Pública Concurrencia.
- Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales, aprobado por Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre.
- Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo que desarrolla la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.
- Norma UNE–EN 1838, que establece las exigencias luminotécnicas para la iluminación de emergencia, así como el resto de normas UNE–EN aplicables en la materia.
- Ordenanzas Municipales de Protección contra Incendios.

4.8.3. Suministros y fuentes propias de energía

El suministro normal es el que se realiza habitualmente por una empresa distribuidora de energía eléctrica.

El suministro complementario o de seguridad se lleva a efecto, bien por la misma empresa distribuidora, cuando dispone de medios de distribución de energía

eléctrica independiente, o por otra empresa distribuidora distinta o, finalmente por el usuario mediante medios de producción propia.

Los suministros complementarios, de acuerdo con el artículo 10 del Reglamento Electrónico para Baja Tensión, se clasifican en:

- Suministro de socorro que está limitado a una potencia receptora mínima equivalente al 15% del total contratado para suministro normal.
- Suministro de reserva que es el dedicado a mantener un servicio restringido de los elementos de funcionamiento indispensables de la instalación receptora, con una potencia mínima del 25% de la potencia total contratada para el suministro normal.
- Suministro duplicado que es el capaz de mantener un servicio mayor del 50% de la potencia total contratada para el suministro normal.

Fuente propia de energía es la que está constituida por baterías de acumuladores, aparatos autónomos o grupos electrógenos.

La puesta en funcionamiento se efectuará al producirse la falta de tensión en los circuitos alimentados por los diferentes suministros procedentes de la empresa o empresas distribuidoras de energía eléctrica, o cuando la tensión descienda por debajo del 70% de su valor nominal.

4.8.4. Alumbrado de emergencia y seguridad

Las instalaciones destinadas a alumbrado de emergencia tienen por objeto asegurar, en caso de falta de la alimentación para alumbrado normal, la iluminación en los locales y accesos hasta las salidas, para una eventual evacuación de los trabajadores, o bien iluminar otros puntos que se señalen.

La alimentación de alumbrado de emergencia será automática con corte breve, es decir, con alimentación instantánea disponible en 0,5 segundos como máximo.

En el alumbrado de establecimientos industriales y locales de pública concurrencia se incluye el alumbrado de seguridad y el alumbrado de reemplazamiento.

4.8.4.1. Alumbrado de seguridad

En el alumbrado de emergencia previsto para garantizar la seguridad de personas que evacúen una zona, o que tengan que terminar un trabajo potencialmente peligroso antes de abandonar la zona.

El alumbrado de seguridad estará previsto para entrar en funcionamiento automáticamente cuando se produce el fallo de alumbrado general, o bien cuando la tensión de éste baja a menos del 70% de su valor nominal.

La instalación de este alumbrado será fija y estará dotado de fuentes propias de energía. Sólo se podrá utilizar el suministro exterior para proceder a su carga, cuando la fuente propia de energía esté constituida por baterías de acumuladores o aparatos autónomos automáticos.

En establecimientos industriales y locales de pública concurrencia, el alumbrado de seguridad comprenderá el alumbrado de evacuación, el de ambiente o antipánico y el alumbrado de zonas de alto riesgo.

* Alumbrado de evacuación

Es la parte del alumbrado de seguridad prevista para garantizar el reconocimiento y la utilización de los medios o rutas de evacuación cuando los locales están o pueden estar ocupados. Anteriormente, este tipo de alumbrado se denominaba de señalización.

El alumbrado de evacuación deberá poder funcionar cuando se produzca el fallo de la alimentación normal, como mínimo 1 hora, proporcionando la iluminancia prevista.

El proyecto de instalación de establecimientos industriales y locales de pública concurrencia, deberá detallar los recorridos de evacuación y los valores de iluminación previstos.

* Alumbrado ambiente y antipánico

Es la parte del alumbrado de seguridad previsto para evitar todo riesgo de pánico y dotar de una iluminación ambiente adecuada, que permita a los ocupan-

tes identificar y acceder a las rutas de evacuación e identificar obstáculos. Antes este tipo de alumbrado se llamaba de emergencia.

El alumbrado ambiente o antipánico deberá facilitar una iluminancia horizontal mínima de 0,5 lux en todo el espacio considerado, desde el suelo hasta una altura de 1 metro.

La relación entre la iluminancia máxima y la mínima en todo el espacio considerado será menor de 40.

El alumbrado ambiente o antipánico deberá poder funcionar, cuando se produzca el fallo de la alimentación normal, como mínimo durante 1 hora, suministrando la iluminancia prevista.

Se podrá utilizar el mismo aparato de alumbrado de emergencia para cubrir los requisitos de varios tipos de alumbrado simultáneamente como, por ejemplo, alumbrado de evacuación y antipánico.

En ese caso, se recomienda la instalación del aparato, al menos, 2 metros por encima del suelo.

* Alumbrado de zonas de alto riesgo

Es la parte del alumbrado de seguridad prevista para garantizar la seguridad de las personas ocupadas en actividades potencialmente peligrosas, o que trabajan en un entorno peligroso. Permite la interrupción de los trabajos con seguridad para el operador y para los otros ocupantes del local.

El alumbrado de las zonas de alto riesgo debe aportar una iluminación mínima de 15 lux, o bien el 10% de la iluminancia normal, tomando siempre el mayor de los valores.

La relación entre la iluminancia máxima y la mínima en todo el espacio considerado será menor que 10.

El alumbrado de las zonas de alto riesgo deberá poder funcionar, cuando se produzca el fallo de la alimentación normal, como mínimo el tiempo necesario para abandonar la actividad o zona de alto riesgo.

4.8.4.2. Alumbrado de reemplazamiento

Es la parte del alumbrado de emergencia que permite la continuidad de las actividades normales.

Cuando el alumbrado de reemplazamiento proporcione una iluminancia inferior al alumbrado normal, se utilizará únicamente para terminar el trabajo con seguridad.

4.8.5. Luminarias para alumbrado de emergencia

Las luminarias para alumbrado de emergencia pueden ser de los siguientes tipos:

- **Permanente**

Las fuentes de luz (lámparas y LED) están alimentadas permanentemente, ya se requiera el alumbrado normal o el de emergencia.

- **No Permanente**

Las fuentes de luz (lámparas y LED) están funcionando únicamente cuando falla la alimentación del alumbrado normal.

- **Combinado**

Contiene dos o más fuentes de luz, de las que al menos una de ellas está conectada a la alimentación de alumbrado de emergencia y las otras a partir de la alimentación del alumbrado normal.

4.8.6. Responsable del alumbrado de emergencia

Sin duda, el propietario del local. Puede que durante diferentes fases de la construcción del local de pública concurrencia existan algunos otros responsables pero definitivamente, el responsable del estado de la instalación de alumbrado de emergencia es el propietario o titular, arrendatario, explotador, etc. del local de pública concurrencia.

Y habría que añadir que como propietario es responsable del correcto funcionamiento del mismo y responsable por tanto del mal funcionamiento.

Como se ha señalado, el alumbrado de emergencia debe estar colocado identificando salidas y rutas de evacuación, medios de extinción, cuadros de alumbrado, cambios de nivel, etc., pero como dicho alumbrado es más complejo debe existir un plano detallado de la instalación realizado por técnico competente.

Además y lo verdaderamente importante es que el alumbrado de emergencia deberá estar operativo durante un mínimo de 1 hora.

La mayoría de los propietarios de las instalaciones de alumbrado de emergencia no son especialistas en la materia y por tanto es complicado conocer el estado de su instalación. Para ello existen dos vías diferenciadas:

1. Solicitar la revisión de un instalador autorizado con una periodicidad adecuada.
2. Solicitar la instalación de alumbrado dotado con sistemas automáticos de test, conocidos normalmente como AUTOTEST, que incorporan una señal luminosa ámbar que nos indica el mal funcionamiento de las luminarias y, al mismo tiempo, hacen que no sea necesario nada más que echarles un vistazo de vez en cuando en función del tamaño de nuestra instalación.

Esta última opción está claramente aconsejada, ya que además de conocer exactamente el estado de nuestra instalación, debido al mantenimiento por los test periódicos alarga la vida de nuestra instalación.

4.8.7. El alumbrado de emergencia con LED

Una vez vistos los conceptos básicos que definen un alumbrado de emergencia se pasa ahora a desarrollar la aplicación del LED al mismo.

Primeramente, se debe hacer constar que el alumbrado de emergencia, salvo en casos muy concretos, sólo funciona cuando se corta la luz, por lo tanto, el LED no aporta las mismas ventajas que en los casos en los que está funcionando durante un largo periodo de tiempo.

A pesar de ello, la utilización del LED en el alumbrado de emergencia aporta ventajas significativas, en unos casos directas y en otros casos indirectas como luego se indicará, y al mismo tiempo no tiene las desventajas indicadas en otros usos.

Las ventajas que aportan los LED al alumbrado de emergencia son las siguientes:

1. **Menor mantenimiento.** La duración de la lámpara fluorescente es inferior a 2.500 h, mientras que el LED es superior a las 30.000 / 50.000 h.

2. **Menor consumo de Energía.** Esto no es exactamente debido al LED, pero sí una consecuencia del uso de éste. A continuación se incluye un cuadro donde el cargador, la lámpara y la batería muestran una idea del nivel de ahorro.

SISTEMA DE ALIMENTACION	FUENTE LUMINOSA	BATERIA	AHORRO
MAGNETICO	FLUORESCENTE	NIQUEL-CADMIO	
ELECTRONICO	FLUORESCENTE	NIQUEL-CADMIO	●
MAGNETICO	LED	NIQUEL-CADMIO	●●
ELECTRONICO	LED	NIQUEL-CADMIO	●●●
ELECTRONICO	LED	NIQUEL-MH	●●●●

El mayor ahorro se obtiene cuando se utiliza una fuente de alimentación electrónica, con LED y batería de níquel metal hidruro, que además permite la carga pulsada y solo se carga 5 minutos cada hora, siendo 55 minutos el ahorro de consumo de energía por hora.

3. **Mayor penetración de la luz** en ambientes con humo, ya que al no ser el LED una fuente de luz circular, permite su proyección en el espacio.
4. **Mayor cantidad de brillo** y mejor percepción en ambientes con humo.
5. **Mejor posicionamiento de la luz.** Las lentes y la direccionalidad de las mismas hacen que se pueda aumentar la interdistancia y por tanto son necesarias un menor número de luminarias.



Figura 33. Ejemplo de iluminación de emergencia con LED.

6. **Mayor integración.** Al no tener obligatoriamente que conservar las proporciones antiguas, facilita enormemente los nuevos diseños, consiguiendo un producto totalmente integrado dentro de la decoración del local.



Figura 34. Ejemplo de diseño de una lámpara LED de emergencia.

7. **Ecológicas.** Las Luminarias equipadas con LED no incorporan mercurio en la lámpara y, además, si van equipadas con níquel metal hidruro, son 100% reciclables.
8. **Más Eficientes.** El rendimiento es superior a las equipadas con lámparas fluorescentes en lúmenes por Vatio de energía consumido.
9. **Se obtiene el 100% de la luz** mucho más rápidamente que con una lámpara fluorescente. Ésta es una ventaja destacable, ya que la lámpara fluorescente normalmente necesita un tiempo mínimo para calentar y poder ofrecer el 100% de la potencia.

En el caso del LED, este tiempo no es necesario, por lo que se dispone inmediatamente del total de la potencia.

10. **No existe emisión de infrarrojos ni ultravioletas** en el caso del LED, siempre presente en la fluorescencia.
11. **Menor degradación por encendido** que en el caso de la fluorescencia y, por tanto, mayor duración del flujo luminoso inicial.

5.1. Alumbrado urbano

5.1.1. Introducción

La implantación de las nuevas instalaciones de alumbrado, tanto urbano, como viario o de carreteras, ornamental y de túneles y pasos inferiores, debe ajustarse a lo establecido en el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior e Instrucciones Técnicas Complementarias del mismo ITC-EA-01 a ITC-EA-07, aprobado por Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre y Publicación CIE nº 88 de 2004, Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, así como a lo regulado por el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, norma UNE-EN 13.201-3 y Publicación CIE nº 115 de 2010 y n^{os} 132, 136 y 140.

Asimismo, se aplicará lo dispuesto en el Reglamento (CE) nº 245/2009 y en el Reglamento (CE) nº 347/2010, que implementa la Directiva 2009/125/CE y modifica los anexos I, II, III y IV del Reglamento nº 245/2009, así como en los Reglamentos (UE) nº 874/2012, de 12 de julio nº 874/2012 de 12 de julio y 1194/2012, de 12 de diciembre.

En lo que concierne a la limitación del resplandor luminoso nocturno y reducción de la luz intrusa o molesta, las nuevas instalaciones de alumbrado exterior se proyectarán teniendo en cuenta lo señalado en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-03 y en las Publicaciones CIE N^o 126 y 150.

La conservación, tanto preventiva como correctiva, se debe contemplar en el plan de mantenimiento que obligatoriamente impone incluir en el proyecto o memoria técnica de diseño el artículo 12 del citado Reglamento 1890/2008, y cuyo contenido se debe ceñir a lo preceptuado en la Instrucción ITC-EA-06 del mismo y la Publicación CIE nº 154.

Este tipo de alumbrados requiere en primer término la elaboración de un buen proyecto en las instalaciones de potencia superior a 5 kW o, en su caso, una memoria técnica de diseño, en aquellas de potencia igual o inferior a 5 kW, que posteriormente se lleve a la práctica ejecutando las instalaciones correctamente mediante una adecuada dirección de obra.

En ambos documentos, entre otros datos, se deben incluir los siguientes parámetros:

- Factores de utilización y mantenimiento de la instalación.
- Eficacia luminosa de las lámparas y LED.
- Eficiencia de los equipos auxiliares.
- Rendimiento y flujo hemisférico superior instalado de las luminarias.

Asimismo, en dichos documentos deben incorporarse los cálculos luminotécnicos oportunos que proporcionen los:

- Niveles máximos de luminancia o iluminancia medias y mínimos de uniformidad.
- Valores mínimos de eficiencia energética y la calificación energética de la instalación.

En el proyecto o en la memoria técnica de diseño debe pretenderse alcanzar el factor de mantenimiento más elevado posible (mayor de 0,85 si resulta factible) para determinar la iluminancia media inicial, que no debe ser muy superior a la iluminancia media en servicio, lo que exige fijar previamente el plan de mantenimiento de la instalación que comprenderá fundamentalmente las reposiciones masivas de fuentes de luz, las operaciones de limpieza de luminarias y los trabajos de inspección y mediciones eléctricas.

En lo que atañe a las lámparas y LED deben tener, a poder ser, una eficacia luminosa superior a 110 lm/W, con unos equipos auxiliares o drivers de muy bajas pérdidas.

Se recomienda que el flujo hemisférico superior emitido por las luminarias sea inferior al 1%, con un rendimiento mínimo de las mismas, a ser posible, superior a un 75% y un elevado factor de utilización entorno a un 0,5, si ello es viable.

5.1.2. Alumbrado exterior LED

La aparición del LED de alta emisión lumínica como una nueva fuente luminosa, ha provocado una revolución en el mundo del alumbrado. Primero acaparó todas las aplicaciones del alumbrado interior cubriendo las distintas necesidades posibles, y a continuación según evoluciona en eficiencia o eficacia luminosa, está apropiándose de todas las aplicaciones para el alumbrado exterior, hasta tal punto, que hoy es la primera opción a barajar a la hora de realizar un proyecto lumínico de alumbrado exterior.

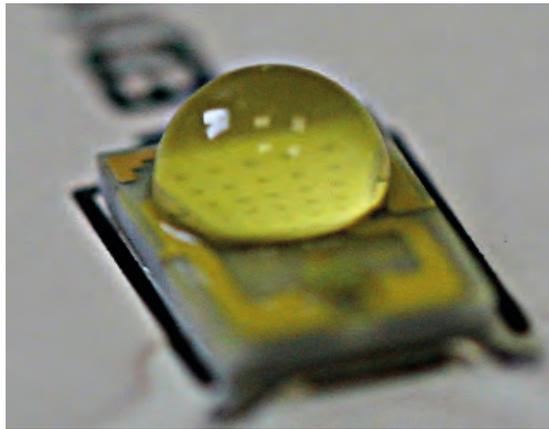


Figura 1. Imagen de un LED.

El LED es una fuente luminosa en estado sólido, que utiliza un semiconductor sometido a una diferencia de potencial con el objeto de generar energía, esta energía se desprende de dos maneras: la primera y más importante es en forma de luz, aprovechable en su totalidad para el ojo humano, ya que su emisión está comprendida dentro del espectro visible, entre los infrarrojos y los ultravioletas, de esta manera, no se desperdicia energía en su transformación a luz que no sea visible para los ojos del hombre.

La otra forma de liberar la energía del LED al someterlo a una diferencia de potencial, es el calor, este es un aspecto crítico, ya que habrá que tratarlo de manera muy adecuada, liberándolo lo antes posible del propio LED, para que no afecte a su rendimiento y a su funcionamiento a lo largo de la vida del propio LED, e incluso al acortamiento de la misma.

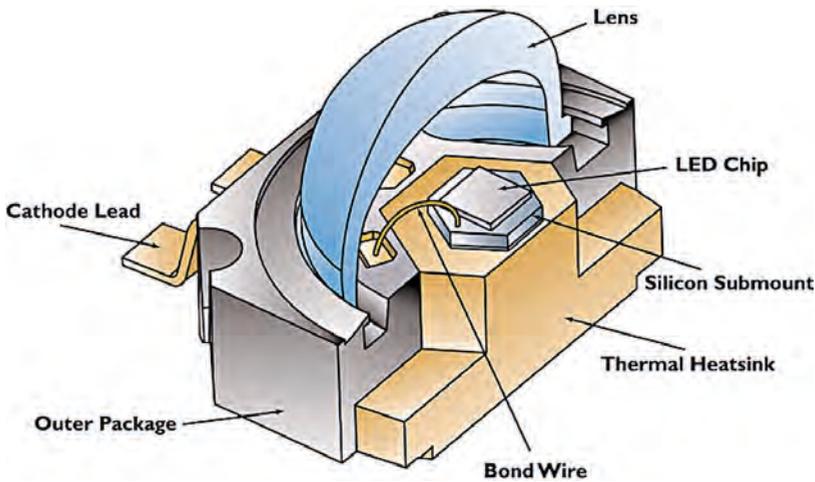


Figura 2. Componentes principales de un LED.

Si se piensa en sus aplicaciones en alumbrado exterior, esta fuente luminosa ofrece multitud de ventajas frente a otras fuentes luminosas utilizadas hasta ahora, principalmente debido a su concepto de funcionamiento, su durabilidad y su eficiencia.

5.1.3. Alumbrado urbano

De acuerdo con el Anexo II de la Guía Técnica de Aplicación del Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008, en el alumbrado urbano se tendrán en cuenta los criterios del alumbrado de las vías de tráfico rodado y de las vías peatonales, pensando en ambas tipologías de forma armonizada. Así, a cada espacio de la ciudad con vocaciones diferentes: comerciales, residenciales, viviendas, hoteleras, escolares, de ocio, etc., se aconseja dotarlo de un ambiente apropiado a su carácter, mediante un adecuado alumbrado.

Por otra parte se recomienda tener presentes los siguientes principios:

- Criterios de vecindad entre vías urbanas de diferente naturaleza (callejuelas, calles, avenidas, bulevares), con plazas, caminos peatonales y su mobiliario urbano, señalización, letreros luminosos, etc.
- Elementos de relación: las vías urbanas no son de uso exclusivo de los vehículos, también circulan motocicletas, bicis, peatones, etc.

- Factores urbanísticos, de manera que en una ciudad las calzadas no constituyen el único elemento a tener en consideración, existen otros espacios y elementos arquitectónicos a considerar.

Cada alumbrado en el medio urbano podrá singularizarse por la función que desempeña y por las características de los materiales instalados (tipos de fuentes de luz, luminarias, soportes, etc., características de implantación, altura, separación entre puntos de luz, etc.).

El alumbrado urbano, mediante una mejora de la visibilidad, se recomienda permita:

- Favorecer la seguridad y los desplazamientos.
- Limitar la pérdida de capacidad visual, ligada al deslumbramiento, causado por las luces de cruce de los vehículos que circulan en sentido contrario.
- Mejorar la apreciación de distancias, así como aumentar la protección de las personas y de los bienes.
- Efectuar trabajos y desarrollar actividades que, sin iluminación, únicamente podrían llevarse a cabo durante el día.
- Asegurar una mejor percepción y valorar los espacios.

La implantación de puntos de luz en tramos rectos, intersecciones, glorietas, curvas, etc., así como su disposición en alzado teniendo en cuenta, entre otras consideraciones, la existencia de arbolado, se aconseja se ajusten a lo indicado en las vigentes Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras y Túneles del Ministerio de Fomento de 1999.

El alumbrado de calzadas, de acuerdo con sus dimensiones, se efectuará mediante implantaciones unilateral, bilateral (tresbolillo o en oposición), central, etc., o bien por medio de una agrupación de las implantaciones anteriores.

El alumbrado de las aceras podrá llevarse a cabo a partir de:

- Luminarias que iluminan la calzada.
- Soportes con dos luminarias, una para la calzada y otra para la acera.
- Luminarias sobre brazo o aplique adosado en fachada.
- Soportes específicos de tipo peatonal implantados sobre la acera.

- Combinación de las alternativas anteriores.

Si las aceras no son muy anchas, en general, el flujo emitido hacia atrás por las luminarias que iluminan la calzada resulta suficiente para iluminar las aceras.

No obstante, a partir de 4 m de anchura de acera, existencia de pantalla de arbolado o con un importante uso peatonal, se recomienda implantar un alumbrado específico de las aceras.

Se recomienda que el alumbrado de las calles peatonales permita con carácter prioritario la creación de un ambiente agradable, al tiempo de asegurar unas condiciones de visión y de confort visual, al menos, aceptables para los usuarios.

Se aconseja iluminar una calle peatonal a partir de luminarias de alumbrado ambiental brazos o apliques instalados en fachadas, sobre soportes con utilización complementaria de balizas o bornes luminosos bajos, pudiendo implantarse soportes especiales en los que se cuide su diseño, en consonancia con su entorno.

La voluntad de diferenciar la red peatonal o la de integrarla visualmente al conjunto de la red viaria debe orientar la elección de las fuentes de luz, en lo que respecta a la temperatura y rendimiento de color, teniendo en cuenta la existencia en las proximidades de tiendas, locales comerciales, cafeterías, terrazas, etc., así como sectores históricos y zonas emblemáticas. Las texturas y los colores de los materiales del suelo y de las fachadas tendrán también una incidencia sobre dicha elección.

Se recomienda en el alumbrado urbano tener en cuenta, entre otras, las Publicaciones CIE nº 115 de 2010 y nº 136.

El alumbrado de las entradas y travesías de ciudades debe ser tal que permita a los conductores de los vehículos distinguir no solamente la calzadas, sino los espacios colindantes a la travesía (aceras, plazas, edificios, etc.) de forma que puedan ver a los peatones y reaccionar ante cualquier imprevisto.

Dicho alumbrado debe inducir a la reducción de la velocidad de los vehículos, así como facilitar la orientación y visión de la señalización horizontal y vertical, al tiempo que destacar los puntos singulares: cruces, glorietas, intersecciones, etc., para lo cual se recomienda iluminar toda la sección de la travesía, incluyendo las bandas de estacionamiento, las aceras, etc. y especialmente los pasos de peatones.

En consecuencia, en las entradas y travesías de las ciudades, el alumbrado debe ser objeto de un tratamiento especial, dado que debe responder, entre otras, a las necesidades relativas a:

- Facilitar un efecto de señalización y guiado visual de la entrada y travesía de la ciudad.
- Proporcionar adecuadamente a los conductores de los vehículos el tipo y características de la vía de tráfico que van a enfilar, con la finalidad de adaptar su comportamiento a las características de esta vía y del medio que atraviesan.
- Realzar, en su caso, los edificios, fuentes, estatuas, etc. y monumentos emblemáticos mediante alumbrado ornamental.

Las clases de alumbrado o niveles de referencia que se recomiendan para las entradas y travesías de ciudades son CE1A y CE2, de la tabla 9 de la Instrucción Técnica Complementaria ITC- EA-02.

No obstante, en el alumbrado urbano para adoptar los niveles de iluminación adecuados se tendrán en cuenta también las recomendaciones de la Publicación CIE nº 115 de 2010.

5.1.4. Fometría del sistema LED

Si se realiza una comparación con las lámparas de descarga, éstas emiten luz en todas direcciones y se debe usar un reflector para controlar y dirigir la luz como se desee, cabe destacar que con cierta frecuencia de manera no muy eficiente, dado que así es como se proyecta y diseña una fotometría con este tipo de lámparas.

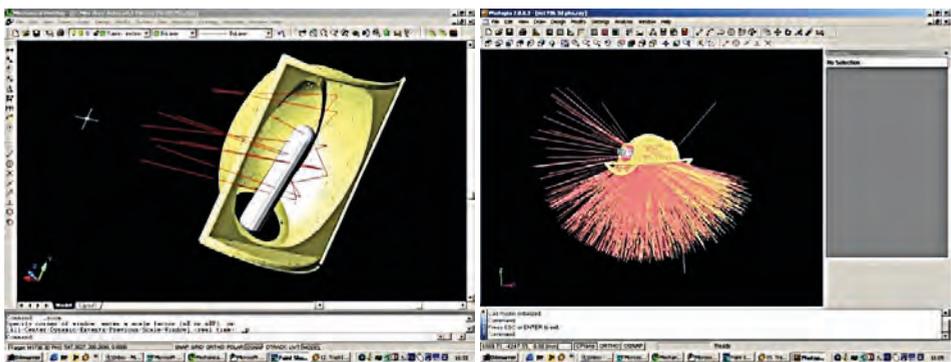


Figura 3. Diseño necesario con lámparas de descarga.

Ahora, cuando los fabricantes de luminarias de alumbrado exterior utilizan el LED, la luz se emite sólo en una dirección y suele emplearse una lente superpuesta encima de cada uno de los LED que componen la luminaria, con el objeto de sumar una fotometría conjunta, y conformar así la fotometría total de la propia luminaria que, en general, es más eficiente que con las lámparas de descarga, siempre que se diseñe correctamente y se disponga de los LED apropiados para cada aplicación, lo que da lugar a factores de utilización mayores.



Figura 4. Diseño con tecnología LED.

De esta forma, al usar correctamente este tipo de fuente de luz (LED) en instalaciones de alumbrado exterior, como se ha señalado aumenta considerablemente el factor de utilización con relación al uso de luminarias equipadas con lámparas de descarga, o lo que es lo mismo, la luz se distribuye en una mayor cantidad hacia la zona que se desea iluminar, sin perderse en los alrededores. De este modo el consumo eléctrico de la luminaria se aprovecha de una forma más eficiente sin iluminar zonas adyacentes indeseablemente.

5.1.4.1. Factor de utilización

El factor de utilización es la relación existente entre el flujo procedente de una luminaria que incide en la superficie a iluminar y el flujo emitido por la fuente de luz instalada en la luminaria.

$$f_u = \frac{\text{Flujo superficie iluminada}}{\text{Flujo fuente de luz}} \text{ en } \%$$

También se define el factor de utilización (f_u) como la relación existente entre la iluminancia media inicial ($\text{lux} = \text{lm}/\text{m}^2$) de la superficie iluminada, y el flujo luminoso instalado por metro cuadrado (lm/m^2) en fuentes de luz.

$$f_u = \frac{\text{Iluminancia media inicial}}{\text{Flujo fuentes de luz } / \text{m}^2} = \frac{E_i}{F / S}$$

Se verifica que:

$$f_m = \frac{E_{\text{servicio}}}{E_{\text{inicial}}} = \frac{E}{E_i}$$

y, por tanto,

$$E_i = \frac{E}{f_m}$$

De donde se deduce:

$$f_u = \frac{E}{F / S} \cdot \frac{1}{f_m} = \frac{E \cdot S}{f_{m,F}}$$

El factor de utilización evalúa las prestaciones intrínsecas de las luminarias y su aptitud para optimizarlas, teniendo en cuenta las características dimensionales de la superficie a iluminar (longitud y anchura) y de la instalación de alumbrado exterior (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz).

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

5.1.4.2. Clasificación de las luminarias

En relación a la distribución de la intensidad luminosa, las luminarias se clasifican en función del alcance longitudinal, dispersión transversal y control de deslumbramiento.

El alcance es la distancia longitudinal a la que la luz emitida por la luminaria queda distribuida a lo largo de la calzada, y queda definida por la distancia (A) en metros en función de la altura (h) de montaje de la luminaria, así como por el ángulo de elevación del centro del haz (γ_{\max}).

Tabla 1. Alcance de una luminaria.

Alcance	Corto	Intermedio	Largo
Distancia	$A < 1,73 h$	$2,73 h \leq A \leq 2,75 h$	$A > 2,75 h$
Ángulo	$\gamma_{\max} < 60^\circ$	$60^\circ \leq \gamma_{\max} \leq 70^\circ$	$\gamma_{\max} > 70^\circ$

La dispersión es la distancia transversal a la que la luz emitida por la luminaria queda distribuida a lo ancho de la calzada y se define mediante la posición de la línea, paralela al eje de la calzada, que es tangente al contorno de la curva del 90% de la intensidad máxima de de la calzada γ_{90} . De las dos posibles tangentes al contorno de la mencionada curva se adoptará la más alejada.

Dicha distancia (D) a la que llega la luz emitida por la luminaria a lo ancho de la calzada también se expresa en metros en función de la altura (h) de montaje de la luminaria.

Tabla 2. Dispersión de una luminaria.

Dispersión	Estrecha	Media	Ancha
Distancia	$D < 1 h$	$1 h \leq D \leq 1,43 h$	$D > 1,43 h$
Ángulo	$\gamma_{90} < 45^\circ$	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$	$\gamma_{90} > 55^\circ$

Mediante el sistema de reglaje de las luminarias se sitúa la lámpara en la posición asignada respecto al reflector, de forma que se adapta la distribución luminosa (alcance y dispersión) a las características geométricas de la calzada a iluminar.

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

- Características y eficacia fotométrica.
- Optimización del factor de utilización en función de los niveles de iluminación, las características dimensionales de la calzada a iluminar y geométricas de la instalación.
- Flujo hemisférico superior instalado mínimo, adoptando luminarias *cut-off* o *semi cut-off* que limiten el resplandor luminoso nocturno y la luz intrusa o molesta.
- Prestaciones mecánicas y su conservación en el transcurso del tiempo, especialmente en lo que respecta al mayor grado de hermeticidad del sistema óptico IP 65 o IP 66, preferiblemente este último.
- Utilización de cierres que mantengan el factor de transmisión de luz a lo largo del tiempo, preferentemente vidrio.
- Resistencia a los choques.
- Estética de la luminaria.

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

Para la elección de las luminarias en el alumbrado vial ambiental se aconseja considerar prioritariamente los criterios siguientes:

- Calidades estéticas que permitan su integración en el emplazamiento.
- Prestaciones mecánicas que permitan un mantenimiento cómodo y una excelente resistencia al vandalismo y la corrosión, con un grado elevado de estanqueidad en el bloque óptico, preferiblemente IP 65.
- Características fotométricas y limitación de deslumbramiento, con un flujo hemisférico superior instalado controlado, que limite el resplandor luminoso nocturno y reduzca la luz intrusa o molesta.

En el caso en que el fabricante suministre tanto la luminaria y el proyector con los equipos auxiliares (balasto, arrancador y condensador) incorporados, el responsable del cumplimiento de la norma de luminarias será el fabricante.

Cuando la luminaria, dotada de alojamiento para el equipo auxiliar, y el proyector se suministre sin equipamiento eléctrico (balasto, arrancador y condensador o *driver*), será responsabilidad del instalador la utilización y conexión adecuada de dichos equipos para asegurar el cumplimiento de los requisitos incluidos en la norma de luminarias del conjunto completo. Para ello se deberá seguir escrupulosamente las instrucciones proporcionadas por el fabricante de la envolvente de luminaria, especialmente en lo relativo a calentamientos y protección contra los choques eléctricos, así como el tipo de potencia de fuente de luz máxima a instalar en la luminaria.

5.1.4.3. Luminarias para LED

Son luminarias constituidas por múltiples fuentes luminosas cuya correcta orientación en la luminaria, unido al desarrollo de un idóneo sistema óptico para dirigir el haz de luz, permiten conseguir fotometrías adecuadas para cada aplicación, mejorando el factor de utilización con disminución de la luz molesta.

Entre los distintos sistemas ópticos para la fuente de luz LED pueden destacarse los siguientes:

- **Óptica plana**, en la que cada lente individual proporciona una distribución luminosa idéntica.
- **Óptica 3D**, que desarrolla diferentes sistemas de lentes que se orientan en la propia luminaria, de manera que cada LED proporciona una pequeña parte de la distribución fotométrica (combinación de lentes diferentes).
- **Óptica basada en reflectores**, en la que se utiliza el flujo directo que proporciona cada LED con el que está equipada la luminaria, así como el que aporta por reflexión sobre un material altamente reflectante.

La matriz de intensidades luminosas de las luminarias LED se obtienen mediante goniofotómetro calibrado, ensayando directamente el conjunto de la luminaria constituida por el grupo óptico de LED, incluyendo su propia alimentación eléctrica (*drivers*). Se cumplirá lo dispuesto en las normas UNE-EN 13201-1 y UNE-EN 13201-2.



Figura 5. Ejemplo de alumbrado exterior.

Cabe destacar también que, siempre que los LED se empleen correctamente y bajo condiciones óptimas, así como con lentes adecuadas y estudiadas para cada aplicación de alumbrado exterior, ofrecen mejores rendimientos fotométricos y, por tanto, consiguen mayores interdistancias entre puntos de luz ofreciendo una mejor uniformidad sobre la zona a iluminar y, por supuesto, con una calidad de luz mucho mayor que otras fuentes de luz tradicionalmente utilizadas en el ámbito del alumbrado exterior.

Una luminaria LED, puede llegar a cubrir distancias longitudinales de hasta 4,5 veces la altura de implantación y distancias transversales de hasta 1,5 veces dicha altura, siempre con la óptica adecuada para cada aplicación, y no solo eso, es fácil combinar lentes o desarrollar lentes específicas para aplicaciones concretas, como pueden ser carriles bici, playas de peaje, aceras anchas o estrechas, parkings, etc.

5.1.4.4. Relaciones entre parámetros

En primer término la relación entre la anchura de la calzada y la altura del punto de luz es la siguiente:

* Relación anchura/altura (a/h)

- Implantación unilateral $a/h \leq 1,2$
- Implantación bilateral tresbolillo $1,2 < a/h \leq 1,5$
- Implantación bilateral en oposición $1,5 < a/h \leq 2,5$

* Implantación en curvas

En tramos curvos no se aconseja utilizar la implantación en tresbolillo, ya que no señala bien el trazado de la vía de tráfico y puede ocasionar errores en el guiado visual del conductor.

En el caso de implantación unilateral, deben situarse los puntos de luz en la parte exterior de la curva, reduciendo la separación entre luminarias.

En cualquier caso, se recomienda establecer la interdistancia entre puntos de luz a valores comprendidos entre 3/4 y 1/2 de los calculados para tramos rectos, tanto más cuanto menor sea el radio de la curvatura.

* Altura mínima de implantación (h_{\min})

La altura de los puntos de luz depende de la anchura de la calzada y debe tenerse en cuenta el retranqueo o avance de la luminaria respecto a la misma.

En general para las implantaciones unilateral, bilateral tresbolillo y central, la altura del punto de luz (h) se recomienda sea igual o superior a la anchura de la calzada (a), es decir:

$$h \geq a$$

Para la implantación bilateral en oposición, dicha altura (h) se considera debe ser superior a la mitad de la anchura de la calzada, en consecuencia:

$$h \geq a/2$$

* Relación separación/altura (s/h)

Al objeto de que la uniformidad longitudinal de luminancia sea suficiente ($U_l > 70\%$), se recomienda respetar las siguientes relaciones entre la separación entre puntos de luz (s) y su altura (h):

- Luminarias con lámparas de S.A.P.: $s/h \approx 4,0$
(sodio alta presión)
- Luminarias con lámpara de V.M.: $s/h \approx 3,5$
(vapor de mercurio)
- Luminarias con lámpara de H.M.: $s/h \approx 3,5$
(halogenuros metálicos)
- Luminarias con lámpara de S.B.P.: $s/h \approx 3 - 3,5$
(sodio baja presión)
- Luminarias con LED: $s/h \approx 3,5 - 4,5$

5.1.5. Tipología de alumbrado urbano

Cada iluminación en el medio urbano puede ser caracterizada por la función que desempeña y por las características de los materiales instalados (tipos de lámparas, LED, luminarias, soportes, etc., tipo de implantación, altura, separación entre puntos de luz, etc.).

El alumbrado urbano se define en primer término por su función. ¿Qué se desea iluminar (una calle, una plaza, una fachada, un puente, etc.) y con qué finalidad?

En el medio urbano pueden considerarse cinco funciones de la iluminación:

- **Alumbrado de vías de tráfico rodado:** se hace referencia a prescripciones fotométricas precisas necesarias para la visibilidad, seguridad y confort de los usuarios.
- **Alumbrado peatonal:** privilegia sobre todo las calidades decorativas y de ambiente, aun cuando puede hacer referencia a otras características fotométricas.
- **Iluminación paisajista:** interesa la valoración luminosa de los paisajes urbanos tales como ríos y riberas, murallas, frondosidades, equipamientos paisajísticos y acuáticos, etc.

- **Iluminación ornamental:** corresponde a la escenificación luminosa de las fachadas de los edificios, monumentos, obras de arte, etc.
- **Alumbrado gráfico:** definido mediante la creación de diferentes señales luminosas que señalicen o jalonen la ciudad.

Evidentemente, según el tipo de espacio urbano, pueden combinarse diversas funciones. Las direcciones de alumbrado definen los diferentes ángulos y orientaciones bajo las cuales las superficies o los volúmenes son iluminados: de arriba hacia abajo, frontal, de abajo hacia arriba, lateral, rasante, a contra luz, etc.

5.1.5.1. Vías motorizadas y de uso mixto

Como se ha indicado, los tipos de implantación de puntos de luz son los siguientes: unilateral, bilateral tresbolillo, bilateral pareada, central y catenaria.

Es de señalar que la implantación axial, es decir aquella en la que los aparatos de alumbrado están situados según el eje de la calzada, mediante sistemas de catenaria que puede resultar admisible para las calles estrechas cuya anchura no supere la altura de la luminaria, e incluso constituir una buena solución en el caso de calzadas bordeadas de árboles, apenas se utiliza en nuestro país.

En el alumbrado urbano la clasificación de los tipos de vías se basa en la utilización de las mismas, pudiendo distinguirse tres grandes categorías de vías:

- Vías utilizadas únicamente por usuarios motorizados.
- Vías de uso mixto.
- Los espacios prioritarios peatonales.

* Vías motorizadas

Están presentes tanto en el medio urbano como interurbano. Son las vías con calzadas separadas o no, donde los cruces son a menudo a distinto nivel (enlaces) y están prohibidos los accesos (autopistas y autovías).

Estas vías de tráfico tienen en general bandas de parada urgente o arcenes. Este grupo comprende las autopistas, autovías, la mayor parte de las vías rápidas urbanas, cinturones de circunvalación y vías de penetración.

Las implantaciones utilizadas son generalmente del tipo central (con medianas iguales o inferiores a 3 m) o bilateral en oposición. Se utilizaban principalmente lámparas de vapor de sodio a alta presión, que actualmente se sustituyen por LED.

En la implantación de puntos de luz el soporte se situará a una distancia mínima aproximada de 0,8 a 0,9 m del bordillo de la calzada, pudiendo reducirse dicha separación a 0,7 m en zonas céntricas urbanas.

* Vías de uso mixto

En medio urbano son principalmente las avenidas, bulevares, las calles e incluso en algunos casos las vías rápidas urbanas, circunvalaciones y vías de penetración.

Se caracterizan por la presencia más o menos preponderante de las diferentes categorías de usuarios (motorizados, ciclistas, peatones).

En el medio interurbano, son vías de tráfico de calzada única o de dos calzadas separadas, para las cuales es posible atravesar la mediana y en todas ellas los ciclistas y los peatones son admitidos.

De acuerdo con el tipo de vía a iluminar y su entorno se utilizan todas las formas de implantación de los puntos de luz.

La eficacia de la instalación de alumbrado podrá ser favorecida mediante la elección de una luminaria de elevado rendimiento dotada de LED, con una adecuada implantación que logre un prominente factor de utilización de la instalación.

Aun cuando hasta hace poco tiempo se han instalado lámparas de vapor de sodio a alta presión, se recomienda emplear los LED que, por razones de calidad de la luz (acertada temperatura de color e índice de rendimiento de color superior a 70), mayor eficacia y factor de utilización, se consideran más idóneas.

* Avenidas y bulevares

Vías de dimensiones importantes, las avenidas y bulevares estructuran y diseñan la ciudad.

En el terreno de los principios, el proyecto de alumbrado de una avenida o de un bulevar comprende el alumbrado de las calzadas, de las aceras y algunas veces la iluminación ornamental de monumentos o de fachadas de edificios de carácter singular.

Las dimensiones de las avenidas o del bulevar ofrecen posibilidades muy variadas. Se debe considerar su configuración, el número de carriles de circulación y de vías de estacionamiento, la presencia o no de un paseo o andén peatonal central, la existencia de medianas y de vías laterales paralelas, alineaciones de plantación de árboles, etc.

La calzada se ilumina a partir de:

- Una implantación unilateral, bilateral (tresbolillo o en oposición).
- Una implantación central.
- Una implantación axial mediante catenaria.
- Agrupación combinada de las implantaciones anteriores.

También pueden utilizarse diferentes combinaciones de las cinco disposiciones básicas (unilateral, tresbolillo, pareada, central y axial).

En la ciudad para la iluminación de una calzada, la altura del punto de luz está generalmente comprendida entre 5 y 12 m, aunque la altura habitualmente más utilizada se sitúa entre 7 y 10 m.

La altura de instalación de las luminarias y el tipo de implantación, perfilan y trazan una trama de puntos luminosos en el espacio nocturno de la avenida.

Sin embargo, en la ciudad en las zonas de calzada y aceras relativamente estrechas, con frecuencia la implantación más utilizada es la luminaria sobre brazo acoplado en fachada, ya que es una instalación discreta durante el día y libera al máximo el espacio público.

En general, si las aceras no son muy anchas, el flujo emitido hacia atrás por las luminarias resulta suficiente para iluminar directamente la parte baja de las fachadas de los edificios. No obstante, a partir de 4 m de anchura de acera, existencia de pantalla de arbolado o con un importante uso peatonal, se recomienda instalar una iluminación específica de las aceras mediante columnas de poca altura de acertado diseño.

Por otra parte, la presencia de estos soportes puede permitir estructurar agradablemente la perspectiva de la avenida durante el día.

La elección de una modalidad de implantación y de una tipología de alumbrado supone trabajar sobre cortes transversales de la avenida, que visualicen mejor las relaciones de escala entre calzada, aceras y altura de fachadas.

El proyecto de alumbrado de una avenida también debe tener en cuenta su perfil longitudinal, así como las diferentes intersecciones y puntos singulares que la estructuran, de manera que se creen ritmos o secuencias en su composición nocturna.

De la misma forma, cuando una avenida es muy larga o atraviesa distritos o zonas de distinta naturaleza, puede ser interesante crear diversas secuencias de alumbrado. Por el contrario, si se desea, también el alumbrado podrá reducir estas singularidades y restituir la linealidad de la avenida.

La temperatura de color del alumbrado peatonal puede diferenciarse del de la calzada, generalmente realizado hasta ahora con lámparas de vapor de sodio a alta presión.

Para las aceras podrán utilizarse lámparas con temperatura de color más fría y mejor rendimiento de color, siendo en todos los casos recomendable la instalación de luminarias LED.

Cuando exista una alineación de árboles, puede ser interesante destacarlos mediante un alumbrado paisajístico apropiadamente adaptado (luminaria o proyector específico previsto sobre soportes, proyectores soterrados en el suelo o integrados en los fosos de iluminación de los monumentos o fachadas, etc.).

Los carteles y rótulos publicitarios, los escaparates y entradas o portadas de las tiendas, aun cuando frecuentemente son independientes del proyecto de alumbrado, participan también en un porcentaje considerable en la imagen de la avenida.

* Calles

En sus principios de aplicación, el proyecto de alumbrado de una calle es similar al de una avenida. Se debe tener presente:

- El alumbrado de la calzada y el de las aceras.
- Las luces complementarias o parásitas que provienen de los escaparates y portadas de las tiendas, carteles y rótulos publicitarios luminosos.
- El eventual alumbrado paisajístico de la alineación de árboles.
- La iluminación ornamental de las fachadas de ciertos edificios que bordean la calle y los horarios de funcionamiento.

El alumbrado de la calzada puede efectuarse a partir de luminarias instaladas sobre soporte o brazo adosado en fachada y, en su caso, aunque mucho menos frecuentemente, con luminarias suspendidas en el eje de la calle en implantación axial con catenaria, así como mediante implantaciones unilateral, bilateral tresbolillo, bilateral en oposición o central en el caso de existencia de mediana.

Además de una elección juiciosa de la temperatura de color de las lámparas utilizadas, se debe prestar una atención particular sobre la calidad de la luz a instalar, mediante una selección de un índice de rendimiento de color mínimo satisfactorio ($R_a > 70$), que puede lograrse mediante LED, con una mayor eficiencia energética.

5.1.5.2. Espacios con prioridad peatonal

Estas vías son utilizadas por los peatones y los ciclistas, a las que generalmente tiene acceso los usuarios motorizados con velocidad limitada.

Se pueden distinguir las pequeñas calles y callejuelas, las vías peatonales (calles y paseos), los espacios particulares (áreas de reposo, de servicio, de estacionamiento, etc.).

* Vías peatonales

El alumbrado de una vía peatonal debe permitir prioritariamente la creación de un ambiente agradable, al tiempo de asegurar unas condiciones de visión y de confort visual, al menos, aceptables para los usuarios.

El proyecto de alumbrado debe tener en consideración la necesidad de un encaminamiento peatonal, así como las imprescindibles transiciones con la red donde el usuario dominante es el automóvil. El aspecto de los lugares debe ser legible.

Una vía peatonal puede iluminarse a partir de luminarias sobre brazos instalados en las fachadas, sobre soportes (implantación según la anchura de la calle, en el centro o a los lados), o bien por balizas o bornes luminosos bajos.

La voluntad de diferenciar la red peatonal o la de integrarla visualmente al conjunto de la red viaria, debe orientar la elección de las luminarias equipadas con LED.

* Paseos peatonales

Los paseos peatonales son paseos abiertos con plantación de árboles, generalmente bastante alejados de las vías de tráfico rodado (muelle en el borde del río, paseo público, paseo al borde de un parque, etc.).

Desprovistos de todas las aportaciones de luces complementarias que adornan y realzan las vías peatonales, su alumbrado debe abordarse de forma específica: se precisa velar por el respeto de los contrastes y, en los paseos de grandes dimensiones, preservar las zonas de sombra a condición de que en las mismas no se presenten problemas de seguridad.

El alumbrado de los caminos peatonales puede realizarse con la ayuda de soportes especiales, en los que se haya cuidado con esmero su diseño.

Otros tipos de alumbrado pueden aportar un complemento de ritmo al paseo: balizas o bornes luminosos bajos, para destacar detalles e incluso efectuar un balizamiento luminoso, alumbrado acertado de elementos particulares del equipamiento o acondicionamiento urbano, tales como su mobiliario, letreros, mupis, marquesinas de paradas de autobús o tranvía, edículos de la vía pública (kioskos, servicios públicos, WC, etc.), fuentes, estatuas etc.

Paralelamente las hojas de los árboles pueden iluminarse de modo que generen una decoración visual interesante. Este alumbrado paisajístico puede crearse directamente a partir de soportes específicos dotados con luminarias apropiadas o mediante proyectores instalados en los mismos o soterrados en el suelo, dotados de LED.

* Carriles bici

Las exigencias fundamentales de seguridad en los carriles bici son que el ciclista pueda identificar con facilidad:

- El límite entre el carril bici y su entorno.
- Los objetos (piedras, ramas, etc.) sobre la superficie.
- Los badenes, obstáculos y curvas.
- Las grietas y baches.
- La velocidad y situación de otros usuarios del carril bici.
- Los cruces con calles o carreteras.

En el alumbrado de los carriles bici no se requieren alturas de montaje elevadas, dado que la anchura de los mismos suele oscilar entre 2 y 4 metros, y se aconseja instalar luminarias dotadas con LED, con una adecuada distribución luminosa que controlen el deslumbramiento, de forma que el flujo luminoso incida en el mayor porcentaje posible sobre el carril bici.

5.1.5.3. Plazas y cruces

A continuación se exponen los criterios para la iluminación de plazas y cruces.

* Plazas

El alumbrado de una plaza debe ser concebido teniendo en cuenta:

- Su forma y dimensiones.
- Su situación en la red de las vías de circulación.
- Los diferentes flujos de tráfico que la bordean.
- El papel que juega en la composición nocturna del espacio urbano.

Antes de elaborar el proyecto de alumbrado de la plaza, es deseable conocer:

- El tipo de equipamiento paisajístico previsto.

- La localización de las esculturas, estatuas o fuentes.
- Si está situada encima de un parking o de un metro.
- Los accesos subterráneos y las rejillas de ventilación.

Estos elementos de programación permiten jerarquizar las prioridades visuales y los ambientes nocturnos.

De una manera general, inicialmente se aborda separadamente las exigencias ligadas a la calzada y tráfico de vehículos, de la de peatones, para más tarde integrar ambas necesidades para concebir una imagen nocturna global de la plaza.

Para una plaza de grandes dimensiones de uso prioritario peatonal, el alumbrado puede realizarse a partir de una trama de soportes específicos regularmente repartidos.

Son posibles otros escenarios de alumbrado:

- Los soportes se instalan de modo que se marquen los ejes más visualizados.
- El carácter monumental de la plaza puede ser acentuado por grandes soportes, implantados según uno de los ejes principales.
- El alumbrado del contorno edificado se favorece voluntariamente, y el centro peatonal puede ser objeto de una valorización o puesta en escena de los elementos decorativos que jalonan la plaza, o de un tratamiento gráfico del suelo con ayuda de un balizamiento luminoso.

✱ Cruces

Los puntos singulares interrumpen la linealidad del alumbrado y las separaciones entre los puntos de luz no pueden ser respetadas.

La implantación de los puntos luminosos debe pues, primeramente considerar las características del cruce y, seguidamente, solamente los tramos generados por estos equipamientos singulares.

El alumbrado de glorietas y rotondas debe contribuir a integrarlas formalmente en el espacio urbano, y su iluminación puede ser estudiada para:

- Afirmar su carácter circular por una implantación periférica de los soportes.
- Hacer perceptible el obstáculo central.
- Favorecer el volumen total de lo edificado y el trazado de las vías principales, sin que deje de ser perceptible la forma de la glorieta (soportes situados paralelamente a las fachadas, e implantación de soportes en las vías de acceso, prestando una atención especial a la legibilidad o posibilidad de lectura nocturna del obstáculo central).
- Materializar o subrayar el acondicionamiento de la zona central de la glorieta, mediante balizas luminosas que delimiten claramente los obstáculos (sin perturbar la visión de los automovilistas).
- Valorizar el equipamiento creado en el centro: alumbrado paisajista, puestas en escena de la escultura central, etc.

En medio urbano, la iluminación de una glorieta o rotonda de medianas dimensiones a partir de un único soporte de gran altura implantado en el centro no es especialmente aconsejado. En efecto, este sistema, adecuado en el caso de carreteras, está poco adaptado a las configuraciones urbanas y, además, puede perturbar la percepción y la visión nocturna de la ciudad.

El alumbrado de la intersección de varias vías implica también la elección de un mobiliario de alumbrado (soportes, báculos, luminarias, etc.) apropiado. En la medida de lo posible se evitará instalar un nuevo tipo de mobiliario.

A menudo resulta preferible adoptar el mobiliario de alumbrado del eje viario más estructurante, de manera que se ofrezca una lectura más continua de la red viaria y de un mejor descubrimiento de la morfología urbana.

El alumbrado de las grandes glorietas o rotondas necesita generalmente de soluciones específicas con la ayuda, en su caso, de soportes de gran altura, sobre todo en zonas periurbanas.

5.1.6. Calidad de la luz de los LED

La luz que ofrece el LED es de alta calidad, ya que se trata de una fuente luminosa que emite toda su energía en forma de luz comprendida en el espectro visible del ojo humano. Pero además, puede centrarse en el ancho de banda de cualquiera de los colores o incluso, si se habla del uso de la luz blanca LED, como

suele realizarse en la mayoría de las instalaciones de alumbrado exterior, tiene la propiedad de poder ofrecer diferentes tonalidades de blancos, ya sean cálidos, neutros o fríos.

De esta manera ofrece además en todos ellos una reproducción cromática excelente, y todo esto con una eficiencia, que es mayor que la de las mejores fuentes luminosas tradicionalmente usadas con anterioridad.



Figura 6. Ejemplo alumbrado exterior.

Resumiendo, el LED ofrece una luz blanca de alta calidad con una óptima reproducción cromática, que favorece la vida al ser humano, ya que ofrece un

confort visual extraordinario, una luz continua y blanca con la tonalidad deseada (cálida, neutra o fría, según se requiera), con una reproducción cromática excelente en todos casos, que facilita la contemplación de la ciudad de noche con todos sus detalles y colores, ofreciendo un reconocimiento facial inmejorable que conlleva una elevada seguridad ciudadana. Todo en la luz ofrecida por el LED son ventajas para el ojo humano.

Si cabe el único punto discutible a tener en cuenta es el uso de múltiples fuentes luminosas en cada luminaria (número variable de LED), que puede implicar cierto deslumbramiento si la óptica no es correcta o no está bien diseñada para el alumbrado exterior. Todo lo cual se soluciona con buenas ópticas que incorporan lentes apropiadas para cada aplicación.

5.1.7. Iluminación ornamental

Un adecuado diseño de la iluminación ornamental requiere considerar, entre otras, las dimensiones del edificio o monumento a iluminar, su situación y alrededores, las terminaciones de las fachadas, así como los contrastes entre fachadas y fondos.

Para la redacción del proyecto de iluminación ornamental se aconseja, entre otras, las siguientes acciones a ejecutar:

- Concretar los resultados que se quieren lograr.
- Determinar la ubicación y sistema de implantación de los proyectores.
- Precisar la luminancia de los materiales y detalles de la fachada.
- Fijar la temperatura y rendimiento de color de las fuentes de luz.
- Dimensionar el número de proyectores a instalar, tipo de distribución de la intensidad luminosa y potencia.

En la iluminación ornamental los contrastes son generalmente más importantes que su homogeneidad, y las sombras resultan tan trascendentes como la propia luz.

El impacto visual de la fachada del edificio iluminado depende considerablemente del brillo de los alrededores. Cuanto más oscuro sea el fondo, menor es la

cantidad de luz necesaria para realzar el edificio, cuya forma se destaca mejor cuando sus contornos son visibles.

Se acentúa la configuración de torres, cúpulas y capiteles, si se consigue un adecuado modelado mediante luces y sombras, recomendando iluminar como máximo desde tres direcciones.

Los monumentos deben iluminarse de manera que se ponga de manifiesto su carácter, edad y, donde sea posible, su significado histórico.

Si la iluminación ornamental de la fachada se reduce progresivamente desde la base hasta el tejado, se incrementa la impresión de altura del edificio, mientras que si las partes más bajas de un edificio están ocultas a la visión a distancia por las construcciones de los alrededores, resulta conveniente disminuir el brillo hacia el suelo.

El autor del proyecto o memoria técnica de diseño en cada caso concreto deberá buscar las pautas de emplazamiento idóneo de los proyectores, que permitan conseguir los valores de los factores de utilización y de mantenimiento mejores alcanzables, con la finalidad de limitar el resplandor luminoso nocturno, reducir la luz intrusa o molesta y lograr una instalación eficiente desde el punto de vista del ahorro energético, mediante tecnología LED.

Se recomienda realizar un estudio del alumbrado ornamental del edificio o monumento desde, al menos, dos direcciones de visión. Tener en cuenta dos direcciones de visión influye sobre la ubicación de los proyectores y la percepción a lograr del edificio iluminado.

Si la dirección de apuntamiento de los proyectores es la misma que la de visión, las fachadas de los edificios iluminados aparecerán sin relieve, es decir, planas.

Para obtener un efecto acertado, se considera que las dos direcciones (visión y alumbrado) deberán formar un ángulo comprendido entre 30° y 70°.

La elección y cantidad de proyectores a implantar depende, entre otros factores, de la naturaleza de los materiales del edificio o monumento, del efecto luminoso que se pretende alcanzar y del entorno del edificio poco o muy luminoso.

Suele resultar necesario prever una iluminación en sentido opuesto al del flujo luminoso principal con la finalidad de mitigar las sombras pronunciadas que, ge-

neralmente, corresponde aproximadamente a una proporción del 10 al 30% del flujo luminoso principal.

También alternativamente se puede optar por iluminar con un contraste negativo, de suerte que se ilumine el fondo del edificio, al objeto de que los elementos situados en primer plano, aparezcan en efecto silueta.

Se recomienda, realizar, bien simulaciones virtuales con el ordenador para poder apreciar los efectos obtenidos o ejecutar in situ reiteradas pruebas y ensayos, o ambas cosas, que es lo habitual, antes de proceder a la instalación definitiva de la iluminación ornamental del edificio o monumento.

Cuando el entorno del edificio a iluminar es un fondo oscuro o sombrío, se estima no se necesita proporcionar una cantidad importante de luz para que el edificio sea más claro que el fondo y destaque del mismo.

En el caso de que en las proximidades del edificio a iluminar existan otros edificios cuyo alumbrado interior, por ejemplo, permanezca encendido por la noche, se necesita prever mayor cantidad de luz para conseguir que el edificio destaque sobre los demás. Otro tanto sucede si el fondo, sobre el que se encuentra el edificio, tiene una luminancia elevada.

En algunas ocasiones los árboles y las verjas o vallas que rodean un edificio se recomienda poder utilizarlos como parte decorativa, que podrán verse en silueta sobre la fachada iluminada del edificio. Para ello, los proyectores se emplazarán detrás de los árboles y verjas, de forma que no sean vistos por el observador. De esta manera quedará reforzada la impresión de profundidad.

En todo caso, para el alumbrado ornamental se recomienda considerar lo especificado por la Publicación CIE nº 94, en lo que respecta al diseño de dicha iluminación en función de los tipos de planta de los edificios (cilíndrica, poliédrica, etc.), forma de los tejados, existencia de balconadas y galerías, así como en lo referente al alumbrado de puentes, fortificaciones y murallas, estatuas y esculturas, ventanas, elementos acuáticos, etc.

5.1.7.1. Sistemas LED en iluminación ornamental

La iluminación ornamental es un sector donde los LED se encuentran prácticamente en un terreno conquistado.

Fachadas de edificios, monumentos, esculturas, puentes, etc., se ponen en valor mediante su alumbrado con LED incorporados en las propias fachadas, o a distancia merced a la proyección de luz con aparatos de alumbrado con tecnología LED.

Dado que la iluminación ornamental tiene por objeto embellecer la ciudad, la creatividad es uno de los elementos clave en el proceso previo de reflexión para el diseño del alumbrado, anterior a la decisión final que se plasma en el correspondiente proyecto luminotécnico.

Este fuerte valor de la imagen justifica en muchos casos las inversiones, a veces importantes, que se precisan inicialmente, pero teniendo en cuenta el débil consumo de energía y la larga duración de la vida útil de los LED.

En lo relativo a la iluminación ornamental en color, los sistemas LED ofrecen numerosas posibilidades luminosas con una buena graduación de los colores. No obstante, existe un criterio firme en la necesidad de emplear esta tecnología de color juiciosamente.

Un ejemplo de iluminación ornamental dinámica es la torre Eiffel en París, que constituye una explosión de luz en color, con más de 400 proyectores dotados de LED de diferentes colores, con un consumo débil comparado con el ocasionado con fuentes de luz convencionales.

Otra instalación a considerar es la iluminación ornamental de la Grand-Place de Bruselas con 1650 proyectores equipados con LED, de los cuales 1600 iluminan las magníficas fachadas prominentes de los edificios monumentales.

Para la iluminación de la Grand-Place, perteneciente al patronato mundial de la UNESCO, debían adoptarse soluciones delicadas.

Aun cuando al inicio del diseño la iluminación se basaba en la utilización únicamente de luz blanca, en el transcurso de la realización del proyecto el escenario evolucionaba, de manera que al final se fijaron dos ambientes de alumbrado, el primero de ellos el cotidiano a partir de las tonalidades blancas de los LED, y el segundo reservado para las grandes ocasiones mediante LED de colores, dinámico e incluso con espectáculo de sonido.

En cuanto a los colores las posibilidades son ilimitadas, ya que es sabido que puede obtenerse un color cualquiera a partir de la suma de tres colores espectrales tomados como primarios, la denominada trivarianza de colores (azul, verde y rojo).

5.2. Alumbrado de parques y jardines

5.2.1. Introducción

Un proyecto de alumbrado enfocado a iluminar parques y jardines públicos debe tener en cuenta tres premisas principales basadas en un consumo energético eficaz, impacto ambiental mínimo y lograr una buena inversión calidad/precio.

Por esto, en el diseño de un buen alumbrado para un parque o jardín se deben combinar la eficacia, el ahorro, y la seguridad y comodidad del usuario. Siempre teniendo en cuenta una adecuada iluminación de todos los parques y jardines, ya que son espacios dinámicos y vivos, que se deben adaptar a las diferentes estaciones, luminosidades y usos que se les den.

Cuando cae la noche, los cromatismos del parque y la claridad, o lo tenue de sus luces, son factores que influyen en la afluencia de la gente.

El hecho de que las personas utilicen el parque o jardín estará marcado por la iluminación que exista: distribución, intensidad y efecto sobre elementos del jardín.

El diseño de los jardines se realiza pensando en la percepción de las zonas verdes a la luz del día, pero, dado el horario normal de utilización de los parques, se hace también necesario que los parques y jardines puedan ser contempladas bajo la luz proporcionada por un sistema de iluminación.

Cabe destacar el potencial estético que tiene la iluminación artificial como herramienta en el diseño de parques y jardines, creando y acentuando siluetas, estableciéndose planos de iluminación y penumbra, poniendo en valor cuantos elementos sean de interés, y acentuando la perspectiva y el efecto tridimensional.

Es importante asimismo determinar los efectos que se quiere conseguir, ya que es evidente que no requerirá la misma solución luminotécnica una zona que se desea constituya un entorno, con otras cuyos principales objetivos sean la iluminación nocturna de los jardines.

El alumbrado de paisajes pasa por evitar la iluminación directa encima de plantas y objetos. A tal efecto se aconseja el empleo de la iluminación indirecta que se logra cuando la luminaria está oculta y sólo son vistos los efectos de la luz.

Las técnicas básicas empleadas comúnmente para el alumbrado de parques y jardines incluyen diferentes grados de luminosidad dependiendo del lugar del jardín.

Así, se establecen zonas con iluminación tenue, otras con intensa luminosidad, áreas donde se establecen cruces de luces, y espacios concretos donde se instalan adornos luminosos.

Para la mejor descripción del perfil de algunas especies de plantas se recurre al contraluz, con fondos luminosos uniformes. Si además se iluminan esos objetos de una manera tenue y desde delante, se puede recuperar la forma volumétrica sin perder su silueta.

5.2.2. Eficiencia energética de los LED

Considerando sus prestaciones, se recomienda que el alumbrado de parques y jardines se lleve a cabo con LED, dada su elevada eficiencia energética.

Cuando se desarrolló el primer LED en 1962, no llegaba a una eficiencia de 1 lm/W, hoy en día los chips que utilizan los fabricantes de luminarias para alumbrado público están en torno a 150 lm/w. La progresión en eficiencia ha sido brutal, como ninguna otra fuente luminosa haya tenido jamás, y se espera que esta relación de lm/W siga creciendo todavía.

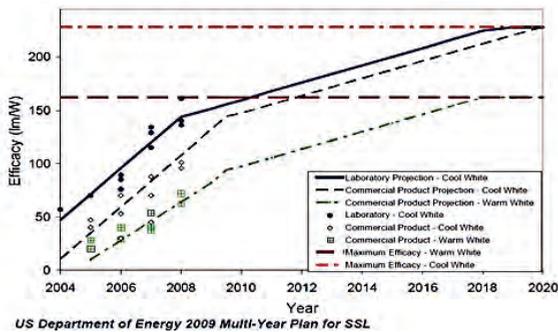


Figura 7. Evolución de la eficiencia prevista en tecnología LED.

Si se compara el LED con otras fuentes de luz dedicadas al alumbrado exterior, es difícil encontrarle rival, sobre todo si se analiza su calidad lumínica. Es por ello que hoy en día es la primera fuente en la que un diseñador de alumbrado exterior piensa para

cualquier aplicación de este ámbito, porque además pueden recibir reducciones de emisión lumínica y con ello disminuciones de consumo instantáneas y programadas, debido a su control electrónico. Todo ello con inversiones económicas muy pequeñas que hacen que el retorno de la inversión se dé en un plazo muy corto.

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

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

siendo:

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

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

S = superficie iluminada (m^2);

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

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

ϵ_L = eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares ($\text{lum}/\text{W} = \text{m}^2 \text{ lux}/\text{W}$);

f_m = factor de mantenimiento de la instalación (en valores por unidad).

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

$$\mathcal{E} = \epsilon_L \cdot f_m \cdot f_u \left(\frac{\text{m}^2 \times \text{lux}}{\text{W}} \right)$$

donde:

Eficiencia de la fuente de luz y equipos auxiliares (ϵ_L): Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz y la potencia total consumida por la misma más su equipo auxiliar.

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

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

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

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

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

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

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

Evidentemente, la eficiencia energética de los LED es bastante superior al resto de fuentes de luz, y dado que tanto el factor de mantenimiento como de utilización en las instalaciones de alumbrado exterior con LED, también superan a las ejecutadas con lámparas de descarga, finalmente la eficiencia energética de las mismas resulta óptima.

5.2.3. Consideraciones sobre el alumbrado de parques y jardines

No se debe pretender en modo alguno alcanzar con iluminación artificial el grado de luminosidad igual al de la luz solar y además, hay que tener en cuenta el hecho de que el ojo humano percibe distinta la expresión de los colores a consecuencia de los diferentes tonos e intensidades de la iluminación artificial. A veces se intenta reproducir los efectos diurnos en el jardín mediante la instalación de una iluminación de gran intensidad.

Sin embargo, es recomendable dosificar los puntos que conviene iluminar, haciéndolo de forma que la luz posea un efecto que ayude a dar viveza a los colores y matice los diferentes tonos.

El diseño tiene que estar pensado para limitar el resplandor luminoso nocturno. A tal efecto, debe impedirse la distribución de luz hacia arriba, para lo cual se apantallarán las luminarias dirigidas hacia arriba para que limiten su proyección de luz hacia estrictamente el objeto a iluminar.

El Real Decreto 1890/2008, por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior y sus Instrucciones Técnicas Complementarias EA-01 y EA-07 tiene como objetivo mejorar la eficiencia y el ahorro energético de las instalaciones de alumbrado exterior.

En cuando al alumbrado de parques y jardines, las zonas que se deben considerar son los accesos al parque o jardín, así como también sus paseos, escaleras, glorietas, áreas de estancia, etc. En estas zonas se deben tener en cuenta los criterios y niveles mínimos de iluminación establecidos para el alumbrado de estos espacios públicos.

Se requieren, por lo general, fuentes de luz que proporcionen luz blanca para obtener una buena reproducción cromática ($IRC=70$), recomendable para áreas donde la visión periférica de los usuarios es importante, por tanto, se recomiendan los LED blancos.

Las luminarias forman parte del mobiliario urbano de un municipio. Las elegidas para iluminar los parques deberían presentar un alto nivel de grado de protección de hermeticidad superior a IP66.

Si las luminarias están situadas a una altura de montaje baja deben tenerse en cuenta el vandalismo y utilizar materiales resistentes para la fabricación de las

luminarias con unos índices recomendables de IK10. Y, por último, serán siempre anticontaminantes desde el punto de vista del resplandor luminoso nocturno.

Hoy en día, un buen alumbrado debe ser eficaz y económico. Un consumo energético superior no siempre significa un mayor servicio sino que el grado de eficiencia óptima se consigue cuando hay una proporción adecuada entre el consumo y el confort.

La eficiencia energética en iluminación hace referencia a la reducción del consumo de energía sin que por ello se vean alterados los niveles lumínicos y protegiendo el medio ambiente.

Por ello, a la hora de diseñar el alumbrado exterior de los parques y jardines de un municipio, se deben establecer los niveles de iluminación mínimos necesarios para el desarrollo de las actividades que tienen lugar en estos espacios, sin olvidar la seguridad y comodidad de los usuarios, al tiempo de limitar el resplandor luminoso nocturno.

El aspecto estético de los elementos de iluminación, es decir la forma y el estilo de las luminarias y columnas deberían integrarse bien en el entorno, llegando en muchos casos a diseñar luminarias que formen parte del propio mobiliario en papeleras, bancos, o elementos llevados al máximo objetivo que aúnen mobiliario, iluminación y decoración, incorporando la tecnología LED a éstos.

El consumo de energía de un municipio debe ser eficiente y racional, y para ello se debe promover el ahorro energético y reducir el resplandor luminoso nocturno, garantizando siempre la seguridad y comodidad de los usuarios.

5.2.3.1. Niveles de iluminación

De conformidad con lo dispuesto en el apartado 3.4 de la Instrucción Técnica Complementaria ITC-ÉA-02, los viales principales, tales como accesos al parque o jardín durante las horas nocturnas, deberán iluminarse como las vías de tipo E (tabla 5 de la IT-ÉA-02).

En el diseño del alumbrado de parques y jardines, cuando se utiliza exclusivamente la iluminación por balizamiento sin iluminar la superficie de paso, dichos elementos se considerarán fuera de la instalación de alumbrado, en lo referente a los cálculos de eficiencia energética, tal como se especifica en las excepciones del artículo 2.4 del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, aprobado por Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre.

5.2.4. Vida de los LED

El LED ofrece la posibilidad de disponer de una luminaria de alumbrado exterior con una vida que hasta ahora no era imaginable. No hay un tiempo de vida estimado para cada LED, se tiene que pensar en la vida global de una luminaria.

Se debe tener en mente la idea de un producto global, y por tanto, no puede considerarse que el LED tiene una vida en horas dada, ya que si la gestión térmica, la electrónica o el diseño mecánico de la luminaria no están correctamente realizados, el LED, no aportará uno de sus máximos beneficios, su larga durabilidad manteniendo buenas prestaciones lumínicas y de eficiencia energética.

Para medir la vida útil estimada de una luminaria LED en horas de funcionamiento, los fabricantes aportan una serie de parámetros, de tal manera que la vida útil de una luminaria de tecnología LED vendrá determinada en horas de vida por tres magnitudes: el mantenimiento de flujo total emitido por la luminaria (L_{xx}), el porcentaje de fallo de los LED (B_{xx}) y una temperatura ambiente de funcionamiento.

Por ejemplo: L90 B10 100.000 horas $t_a=25\text{ }^\circ\text{C}$, donde significa que hasta 100.000 horas y a una temperatura ambiente de funcionamiento de $25\text{ }^\circ\text{C}$ el flujo total emitido por la luminaria es al menos de un 90% del inicial, con una tasa máxima de fallo del LED del 10%.

Es así como se debe evaluar la vida útil de una luminaria LED, y no hablar de las horas de funcionamiento del chip por sí solo, ya que lo que se va a utilizar es la luminaria, y el diseño de ésta, afecta en mucho a la vida del propio LED.

5.2.5. Espacios verdes y vías con plantación de árboles

En general con cierta frecuencia los grandes equipamientos de parques y jardines vallados se suelen cerrar por la noche. Se vuelven entonces, a lo largo de las calles o de las plazas de su entorno, como fachadas oscuras. Su alumbrado se justifica en la ciudad, particularmente en invierno.

La iluminación de ciertos ejes de circulación de los parques, perceptibles desde el exterior, la puesta en escena de la vegetación e hitos (esculturas) reseñables, elegidos por el impacto que ofrecen en ciertas perspectivas nocturnas, permite reducir esa sensación desagradable de agujero negro contribuyendo a un mejor descubrimiento de la ciudad nocturna y de su morfología.

Las verjas de grandes dimensiones y las entradas de los jardines pueden también utilizarse como soportes de luminarias integradas.

El eventual alumbrado de los espacios verdes debe respetar la jerarquía del paisaje que se ha desarrollado en el transcurso de los años mediante tipologías complementarias y progresivas: bosques acondicionados, parques, jardines, plazoletas, paseos y vías con plantación de arbolado. Se debe también tener en cuenta las diferentes percepciones posibles: visiones lejanas o próximas, percepción de los automovilistas y de los peatones.

Se considerará asimismo el ciclo día/noche del vegetal para regular acertadamente el funcionamiento de las instalaciones de alumbrado y participar en el ahorro de energía.

En las vías de la ciudad con plantación de árboles, la alineación de árboles participa, tanto de día como por la noche, de la animación de las perspectivas urbanas. El tipo de plantación, las especies de árboles, su forma, altura, densidad de follaje, deben incorporarse en el proyecto de alumbrado, tal y como se ha señalado con anterioridad.

Como en el caso de una vía que carece de plantación de árboles, el proyecto de alumbrado se concibe considerando el alumbrado de las calzadas, de las aceras, así como de la decoración arquitectónica o iluminación ornamental de las fachadas.

No obstante, en una vía con plantación de árboles, la presencia de los mismos es la que establece el ritmo de los puntos de implantación de los soportes. Igualmente la separación entre dos puntos de luz, viene determinada hasta cierto punto por el modo de plantación y la distancia media existente entre dos árboles.

El soporte debe estar situado entre dos árboles, en el centro, de manera que se respete lo mejor posible el crecimiento de las ramas, y se minimicen las perturbaciones debidas a la ejecución de las cimentaciones de hormigón y a las redes eléctricas de alimentación (zanjas, arquetas, etc.).

La separación entre puntos de luz resultará, por tanto, necesariamente un múltiplo de la interdistancia entre árboles. Si los soportes están desalineados en relación a la plantación de árboles, esta obligación se reduce.

Cuando los árboles son altos (superiores a 7 m) y frondosos y las luminarias no pueden instalarse fuera de las hojas de los mismos, los soportes necesarios para la instalación del alumbrado de la calzada estarán equipados de un brazo, cuya longitud se elegirá de forma que el punto de luz esté situado fuera del volumen de hojas del árbol próximo.

Asimismo, cuando las plazas de aparcamiento están situadas entre árboles plantados en el estacionamiento, el brazo de la columna o el propio báculo permite ubicar la luminaria verticalmente sobre la calzada a iluminar.

Para los árboles emplazados en hilera y, cuando el eje de implantación de los soportes está colocado verticalmente sobre la frondosidad en el lado de la calzada (respetando las distancias de seguridad en relación al bordillo), la utilización de un brazo no es forzosamente necesaria para un buen alumbrado de la calzada. Por el contrario, la acera deberá estar dotada de un alumbrado específico, independientemente del de la calzada.

Para los árboles podados en forma de arco o bóveda por encima de la calzada, se elegirá, si la anchura de la misma lo permite, la instalación de soportes de altura ligeramente inferior al referido arco de frondosidad, de manera que se superponga visualmente una bóveda de follaje a la de la luz, o bien se optará por implantar un alumbrado axial mediante catenaria.

Si el alumbrado específico de las aceras está dirigido hacia las fachadas, los árboles aparecerán a contraluz. Este efecto puede ser interesante en función de la forma de los árboles y de la densidad del follaje.

La elección de las fuentes de luz y de su temperatura de color debe también tener en cuenta las especies de árboles y los coloridos de las hojas. Los LED de color blanco cálido convienen mejor a las hojas o follajes verde suave, amarillo o rojo, mientras que los LED de color blanco frío resultan más adecuados para la frondosidad verde oscuro. Se puede optar por LED que valoricen los tintes verdes.

Finalmente, es útil recordar que en el caso de un acondicionamiento o equipamiento urbano, debe preverse en el proyecto de alumbrado el crecimiento de los árboles.

A mayor abundamiento, todo proyecto de alumbrado en vías dotadas de plantación de árboles debe integrar las variaciones estacionales de los árboles, de modo que se pueda aportar una respuesta apropiada comprendiendo, si fuera necesario, la utilización de regímenes de alumbrado diferenciados.

5.2.6. Mantenimiento del sistema LED

Las luminarias LED requieren de menos mantenimiento que las luminarias equipadas con lámparas de descarga tradicionalmente usadas en alumbrado exte-

rior, ya que cada 16.000 horas, aproximadamente, era necesario realizar un cambio de lámpara, mientras que con las luminarias LED, se pueden alcanzar con cierta frecuencia hasta casi las 100.000 horas sin sustituir la fuente luminosa.

Además la electrónica asociada al LED, permite utilizar herramientas de telegestión que ayudan a realizar un mantenimiento preventivo y conocer las horas de funcionamiento de cada luminaria y anticiparse a su sustitución cuando sea necesario.



Figura 8. Mantenimiento de luminarias.

Con todas estas ventajas el uso de luminarias LED en alumbrado exterior es cada vez más habitual en nuestras calles, parques y jardines, de forma que cuando hay un nuevo proyecto la primera fuente luminosa que se baraja es el LED, e incluso, si la instalación es antigua e ineficiente y se propone su sustitución, el periodo de retorno de la inversión, es muy asumible para que en un corto plazo de tiempo, el uso del LED en este tipo de instalaciones resulte rentable.

5.3. Alumbrado de carreteras

5.3.1. Introducción

De acuerdo con lo indicado en el Anexo II de la Guía de Aplicación del Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008, las implantaciones utilizadas son generalmente unilateral, del tipo central (con medianas iguales o inferiores a 3 m), o bilateral en oposición.

Hasta fechas recientes se instalaban principalmente lámparas de vapor de sodio a alta presión, que en la actualidad se sustituyen por LED.

En la implantación de puntos de luz se recomienda situar el soporte a una distancia mínima aproximada de 0,8 a 0,9 m del bordillo de la calzada.

En vías clase A (véase la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02), así como en aquellas otras con una elevada intensidad de tráfico, los soportes cuya ubicación pueda resultar conflictiva, se aconseja reubicarlos adecuadamente.

Para una circulación segura se recomienda resulten perfectamente visibles el trazado de la carretera, los límites de la misma, los posibles nudos (intersecciones y enlaces) y cualquier otra zona especial de vial. El alumbrado exterior vial se considera debe contribuir a conseguir lo señalado y para ello:

- Deberá incrementarse la visibilidad de la calzada respecto a las zonas colindantes y la visibilidad de la señalización horizontal, vertical y el balizamiento (marcas viales de los bordes de la calzada, líneas centrales, separación de carriles, barreras de seguridad, balizas, captafaros, hitos, etc.).
- La disposición de los puntos de luz (luminarias) deberá permitir detectar a suficiente distancia el trazado de la carretera, los cruces y otras zonas especiales de viales, jalonando su recorrido.
- El cambio de tipo de fuente de luz de diferente color a la del resto de la vía de tráfico en enlaces, intersecciones, glorietas, circunvalaciones y puntos singulares donde la relación entre accidentes nocturnos y diurnos es elevada, ayudará al guiado visual.

Por lo que respecta a la visión de la señalización horizontal y, en concreto, de las marcas viales, la cuestión esencial será asegurar una buena visibilidad por la noche, así como en condiciones de pavimento mojado. En éste último caso los captafaros, los hitos retrorreflectantes y las marcas viales en relieve, al estar por encima de la película de agua de la calzada producida por la lluvia, mantienen la visibilidad proporcionada por el alumbrado viario y los propios faros del vehículo, conservándose el guiado visual y la seguridad viaria.

En intersecciones, enlaces, glorietas, zonas de incorporación de nuevos carriles, pasos elevados, curvas pronunciadas y viales en pendiente, áreas en las que se forman embotellamientos, etc., debido a que el trazado viario puede plantear

problemas muy complicados en cuanto a visión y maniobra de los vehículos, los proyectos y memorias técnicas de diseño del alumbrado viario de estas zonas especiales requieren una singular consideración.

En el alumbrado viario de estas zonas especiales se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Necesidad de efectuar un reconocimiento previo in situ con la finalidad de verificar sobre el terreno las posibilidades reales de implantación de la instalación de alumbrado.
- Evitar la instalación de puntos de luz en isletas de pequeñas dimensiones, separadoras o direccionales del tráfico de vehículos, cuya visibilidad puede reforzarse bordeando las mismas con dispositivos retroreflectantes, e incluso luminosos en zonas periurbanas pero evitando el deslumbramiento.
- Implantar soportes que correspondan al mismo modelo o como mínimo presenten la misma silueta.

En el caso de zonas especiales aisladas situadas en un itinerario que carece de alumbrado viario, la iluminación de dichas zonas deberá permitir a los conductores de los vehículos lo siguiente:

- A larga distancia (800 a 1000 m) divisar una zona luminosa que provoque su atención.
- A media distancia (300 a 500 m) comenzar a percibir una idea de la configuración de la zona especial, mediante un guiado visual llevado a cabo merced a una adecuada disposición de los puntos de luz.
- A corta distancia, ver los obstáculos y trayectoria a seguir sin ningún tipo de ambigüedad.
- A la salida de la zona especial dotada de alumbrado, que durante un tramo, al menos, de 200 m, exista un progresivo decrecimiento de los niveles de iluminación, que posibilite la adaptación de la visión del nivel luminoso de la zona especial a la oscuridad del itinerario viario, de forma que se evite el denominado efecto agujero negro.

En el supuesto de iluminación de nudos (enlaces e intersecciones) mediante soportes a gran altura equipados con proyectores, además de cumplir lo indicado en el epígrafe 3.1 de la Instrucción técnica complementaria ITC-EA-04, el des-

lumbramiento máximo admisible GR, debe ser igual o inferior a 45 ($GR_{max} \leq 45$), tal y como concreta el punto 3.7 de la Instrucción ITC-ÉA-02, siendo el índice de deslumbramiento GR el que define la Publicación CIE nº 112.

En los proyectos y en las memorias técnicas de diseño de alumbrado de carreteras, la implantación de puntos de luz en tramos rectos, así como las soluciones luminotécnicas en curvas, intersecciones, enlaces, puentes, calzadas elevadas, rampas pronunciadas, etc., se recomienda se ajusten a lo determinado en las Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras y Túneles del Ministerio de Fomento de 1999.

5.3.2. Selección de tramos de carretera a iluminar

Según el Anexo III de la Guía Técnica de Aplicación del Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008, los faros de los vehículos funcionan por la noche como indicadores visuales, pero su eficiencia decae cuando aumentan la velocidad, el número de vehículos que circulan (IMD) o la complejidad de las escenas nocturnas.

Respecto a las prestaciones de los faros de los vehículos conviene tener en cuenta que durante los primeros 40 m, la iluminación proporcionada por las luces de cruce y de carretera de un vehículo es prácticamente la misma. Más allá de los 60 m las luces de cruce del vehículo no tienen eficacia.

A partir de 60 m el alumbrado público facilita una iluminación superior a la de la luz de carretera del vehículo, que también pierde su efectividad a partir de 100 m de distancia.

A una velocidad de 120 km/h la distancia para poder detener un vehículo (distancia de parada) es de 150 m, lo que implica más de 80 m que permanecen invisibles los obstáculos para el conductor de un vehículo que circula a dicha velocidad con las luces de cruce.

La distancia de parada resulta permanentemente de 2 a 3 veces superior a la distancia de visibilidad proporcionada por las luces de cruce de un vehículo, lo cual implica un grave riesgo.

El alumbrado viario de un tramo de carretera, que restablece el campo visual tridimensional permitiendo una buena evaluación de las distancias, asegura una

visibilidad continua sobre una distancia 3 o 4 veces superior a la de parada del vehículo.

Debe tenerse en cuenta que los niveles de iluminación alcanzados con las instalaciones de alumbrado vial, oscilan entre 5 y 10 veces la magnitud de los niveles luminosos conseguidos con las luces de cruce de los vehículos.

En un tramo de la carretera iluminado ante la presencia de un obstáculo, por ejemplo, un camión parado en el arcén, el conductor de un vehículo inicia la maniobra de desvío del orden de 200 a 250 m antes, que en un tramo de carretera que carece de alumbrado vial.

De conformidad con la Publicación CIE nº 115 de 2010, las cuestiones que deben considerarse cuando se plantea la iluminación de un tramo de carretera son las siguientes:

Evaluar la necesidad del alumbrado del referido tramo de carretera teniendo en cuenta el volumen de tráfico (IMD) y su velocidad.

Estimar los ahorros de los costes de utilización de dicho tramo de carretera que se logran por los beneficios de su iluminación, cuyo cálculo se basa en la tasa de víctimas mortales y en el promedio de lesiones (heridos graves). En autopistas y autovías también pueden considerarse los ahorros obtenidos en el tiempo que se tarda en realizar el recorrido.

El coste de cada víctima mortal y herido muy grave por accidente de tráfico, puede evaluarse aproximadamente en 3 millones de euros en los estudios de accidentalidad.

A la vista de lo anterior, de los criterios de la Comisión Internacional de Iluminación y de acuerdo con las vigentes Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras y Túneles del Ministerio de Fomento, así como de conformidad con la Publicación CIE nº 115 de 2010, se aconseja llevar a cabo una selección entre los posibles tramos de carretera a iluminar al objeto de fijar cuáles de ellos deben ser dotados de alumbrado, lo que exige el establecimiento de factores y criterios que ayuden a determinar la implantación de dichas instalaciones.

Los factores que se recomiendan pueden adoptarse para la implantación de alumbrado exterior y que figuran en las referidas Recomendaciones, son los siguientes:

1. **Tipo de Vía:** Autopista, autovía, vía rápida o carretera convencional, su situación y trazado.
2. **Zonas especiales de viales:** enlaces e intersecciones, glorietas y rotondas, zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada, curvas y viales sinuosos en pendientes, zonas de incorporación de nuevos carriles o pasos inferiores.
3. **Intensidad de tráfico.**
4. **Velocidad.**
5. **Composición del tráfico.**
6. **Tiempo de utilización de las luces de cruce.**

Una intensidad de circulación de 2.000 veh/h/c (vehículos/hora/carril) en una autopista, autovía o carretera desdoblada, constituye un límite inmediatamente anterior a que dicha vía llegue a colapsarse. Si se considera un cómputo diario de 15 horas, dicha intensidad circulatoria máxima recomendable asciende a 30.000 veh/día/carril.

En Francia se iluminan los tramos rectos de autopistas de 4 carriles (dos en cada sentido de circulación) cuando la IMD alcanza 50.000 veh/día, es decir, 12.500 veh/día/carril, del orden de un 42% del límite de la capacidad de la vía (30.000 veh/día/carril).

A título informativo es de señalar que en una ciudad, una vía de tráfico con una intensidad de 10.000 veh/día/carril, supone el límite en el que se paraliza por congestión la circulación de vehículos.

Para la instalación de alumbrado en tramos de carreteras también deben considerarse los supuestos en los que, debido a la intensidad de tráfico, únicamente pueden utilizarse las luces cortas o de cruce de un vehículo en un alto porcentaje de tiempo.

Por tanto, cuando en un determinado tramo de carretera, los vehículos debido a la intensidad de tráfico (IMD) deban utilizar solamente la luz de cruce durante un tiempo elevado, se aconseja dotar a dicho tramo de carretera de alumbrado viario.

5.3.2.1. Valores de la intensidad de tráfico (IMD) para iluminar carreteras

En las Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras y Túneles del Ministerio de Fomento, como criterio meramente orientativo para decidir la iluminación de un tramo de una carretera, se consignan unos valores límites mínimos de intensidad media diaria (IMD).

Asimismo, en el caso en el que la relación entre el número de accidentes nocturnos y diurnos sea de 2 en trayectos rectos y de 1,5 en intersecciones y enlaces, se recomienda dotar de alumbrado viario a dichos tramos de carretera.

No obstante, el Anexo III de la Guía de Aplicación del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, aprobado por Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, recomienda encarecidamente los siguientes valores mínimos de intensidad de tráfico (IMD) para iluminar carreteras.

* Autovías y carreteras desdobladas

Con carácter general se estima deben iluminarse, al menos, los tramos rectos en campo abierto de aquellas autovías o carreteras desdobladas de 4 carriles (2 en cada sentido de circulación) con $IMD > 50.000$ veh/día, tal y como está establecido en Francia, o bien aquellos con $IMD > 37.500$ veh/día, en zonas en las que el promedio de días con lluvia sea superior a 120 días al año.

* Puntos singulares

Debido a los problemas específicos de visión también se recomienda dotar de alumbrado los puntos singulares, tales como enlaces e intersecciones, glorietas, zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada, curvas pronunciadas y viales sinuosos en pendiente, zonas de incorporación de nuevos carriles o pasos inferiores.

* Carreteras convencionales

Es de señalar que, según estadísticas recientes de la Dirección General de Tráfico el 77% de los accidentes mortales tuvieron lugar en éste tipo de carreteras convencionales, frente a un 23% en autopistas, autovías y carreteras desdobladas.

Resulta necesario iluminar los tramos de carreteras convencionales, especialmente los de 2 carriles, uno en cada sentido de circulación, considerados peligrosos por falta de alumbrado, es decir, aquellos donde la circulación de vehículos tiene tal intensidad de tráfico que impide prácticamente la utilización de las luces largas o de carretera de los vehículos.

Una situación de este género existe en tramos de carreteras convencionales con una IMD > 20.000 veh/día, o bien en aquellos tramos con IMD > 15.000 veh/día en zonas en las que el promedio de días con lluvia sea superior a 120 días al año, cifras aunque más elevadas que los 10.000 veh/día establecidos en Francia y 6.000 veh/día en Bélgica, se consideran menos restrictivas y más asumibles económicamente que las consignadas en las vigentes Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras y Túneles del Ministerio de Fomento.

* Zonas urbanas y periurbanas

Las zonas urbanas, periurbanas, entradas y travesías de poblaciones, deben iluminarse adecuadamente una vez efectuados los análisis y estudios técnicos que se requieran, dado que se trata de zonas proclives a los accidentes por la composición (vehículos pesados, ligeros, motocicletas, bicis, etc.) e intensidades de tráfico, existencia de circulación de peatones, etc.

5.3.3. Prescripciones de las luminarias LED

Lo primero que se debe tener en cuenta para estas luminarias a implantar en instalaciones de alumbrado exterior, es la aplicación que van a cubrir.

En este caso, se trata de alumbrado exterior, y para ello las necesidades a satisfacer son funcionalidad y fiabilidad.

En lo tocante a la funcionalidad, hay que considerar que la principal función que debe proporcionar una luminaria LED es la de iluminar apropiadamente la aplicación a la que va a ser destinada, lo que se consigue mediante una correcta y adecuada fotometría, por lo que una luminaria LED debe disponer de varias soluciones fotométricas, para poder adaptarla a cada situación dentro del alumbrado exterior, ya sean carreteras, puntos singulares, calles estrechas, anchas, vías peatonales, carriles bici, etc.

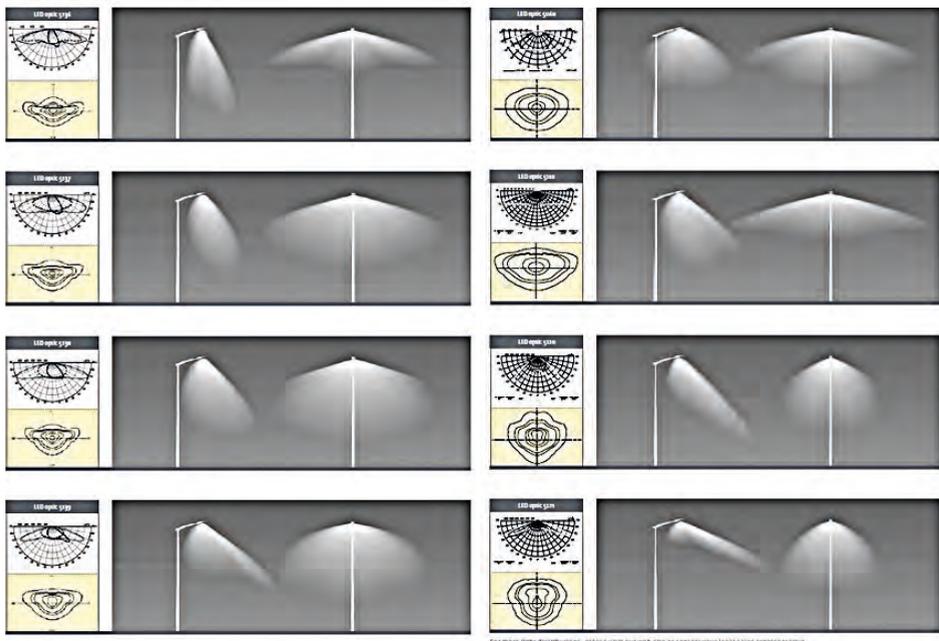


Figura 9. Distintas soluciones fotométricas.

Pero además es importante contrastar la respuesta fotométrica de la luminaria, respecto a la situación de alumbrado exterior que se desea iluminar. Esto se realiza mediante el estudio fotométrico y el cálculo de la eficiencia energética de la instalación, ambos acorde al referido Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, vigente en España. Toda modificación en una instalación, o implantación de una nueva solución de alumbrado, debe llevar asociada de manera obligatoria su cálculo lumínico y de eficiencia energética, sin ellos, se desconoce el comportamiento de la solución adoptada.

Pero a mayor abundamiento se deben considerar unos mínimos a cumplir con respecto a la luminaria para que ésta sea fiable y tenga una larga vida en la instalación, por lo que siempre se deben solicitar los siguientes datos a los fabricantes:

Marca y modelo de la luminaria LED a utilizar incluyendo de ella, lo siguiente:

- Memoria descriptiva de la luminaria, detalles constructivos, materiales empleados, forma de instalación, conservación, posibilidad de reposición de distintos componentes y demás especificaciones.

- El diseño de la carcasa de la luminaria no permitirá la acumulación de suciedad u otros elementos del medio ambiente que puedan perjudicar su eficiencia, de forma que se garantice su funcionamiento sin requerir labores de conservación y limpieza distintas de las previstas en el plan de mantenimiento. En caso de duda, el fabricante podrá ser requerido para que presente el correspondiente ensayo justificativo.
- El diseño de la luminaria permitirá, como mínimo, la reposición del sistema óptico y el dispositivo de control electrónico de manera independiente, de forma que el mantenimiento de los mismos no implique el cambio de la luminaria completa.
- Planos, a escala conveniente, de planta, alzado y perspectiva de la luminaria.
- Ficha técnica de la luminaria, donde se describan sus características, dimensiones, prestaciones y parámetros técnicos de funcionamiento.
- Potencia nominal asignada y consumo total de la luminaria.
- Factor de potencia de la luminaria en los regímenes normales y reducidos propuestos.
- Número de LED, marca y modelo de LED y su sistema de alimentación (intensidad, voltaje).
- Temperatura máxima asignada (t_c) de los componentes.
- Distribución fotométrica, flujo luminoso total emitido por la luminaria y flujo luminoso emitido al hemisferio superior en posición de trabajo.
- Rendimiento de la luminaria. El rendimiento de una luminaria no deberá ser un parámetro por sí solo determinante, ya que lentes y/o protectores adicionales de luminarias pueden hacer variar y/o disminuir éste. Será su aplicación en el estudio lumínico concreto y su valor de eficiencia obtenido, el que determinará su eficacia e idoneidad.
- Vida útil estimada para la luminaria en horas de funcionamiento. El parámetro de vida útil de una luminaria de tecnología LED vendrá determinado en horas de vida por tres magnitudes: el mantenimiento del flujo total emitido por la luminaria (L_{xx}), el porcentaje de fallo de los LED (B_{xx}) y una temperatura ambiente de funcionamiento. Por ejemplo: L90 B10 100.000 horas $t_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$.

- Gráfico sobre el mantenimiento lumínico a lo largo de la vida de la luminaria, indicando la pérdida de flujo cada 10.000 horas de funcionamiento.
- Rango de temperaturas ambiente de funcionamiento sin alteración de sus parámetros fundamentales, en función de la temperatura ambiente exterior, indicando al menos de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Características de emisión luminosa de la luminaria en función de la temperatura ambiente exterior, en un rango de temperaturas de funcionamiento de al menos $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Grado de hermeticidad de la luminaria, detallando el del grupo óptico y el del compartimiento de los accesorios eléctricos, en el caso de que sean diferentes.
- Los valores mínimos serán los que se señalan en el Reglamento CE nº 245-2009, donde en el Capítulo 3. Criterios de Referencia de las luminarias, que establece con carácter orientativo los valores mínimos para el bloque óptico según las clases de alumbrado de las vías públicas:
 - IP6x Para las clases de alumbrado: ME1 a ME6 y MEW1 a MEW6.
 - IP5x Para las clases de alumbrado: CE0 a CE5, S1 a S6, ES, EV y A.

No obstante, para garantizar la mejor calidad de las instalaciones de alumbrado exterior se recomienda en todo tipo de vía de tráfico rodado, la utilización de luminarias con bloque óptico tipo IP66.

Características de los LED instalados en la luminaria:

- Número de LED, marca y modelo de LED y su sistema de alimentación (intensidad, voltaje).
- Potencia nominal individual de cada LED. Flujo luminoso emitido por cada LED. Curvas de mortalidad, en horas de funcionamiento, en función de la temperatura de unión (Tj).
- Vida útil estimada de cada LED para la intensidad determinada, en horas de funcionamiento.
- Índice de reproducción cromática.
- Temperatura de color.

Cuando el LED pueda alimentarse a diferentes corrientes o tensiones de alimentación, los datos anteriores se referirán a cada una de dichas corrientes o tensiones.

Marcado CE: Declaración de Conformidad y Expediente Técnico o documentación Técnica asociada.

5.3.4. Reducción de niveles de iluminación en carreteras

De conformidad con lo especificado en el Anexo III de la Guía Técnica de Aplicación del citado Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008, se expone la reducción máxima recomendable de niveles de iluminación en carreteras.

A la hora de adoptar medidas de ahorro energético, como la reducción de los niveles de iluminación e incluso el apagado de dichas instalaciones en determinados tramos, hay que tener presente que la totalidad del alumbrado exterior supone en España un 1,35% del consumo total de energía eléctrica, correspondiendo al alumbrado de autovías y carreteras a lo sumo un 0,40%.

En la norma europea EN 13.201 Iluminación de Carreteras y que actualmente es la norma armonizada UNE-EN 13.201, en el caso de autopistas, autovías y carreteras desdobladas con $IMD \geq 25.000$ veh/día y carreteras convencionales con $IMD \geq 15.000$ veh/día, el valor mínimo que debe alcanzar la luminancia media es de 2 cd/m^2 y el mínimo de uniformidad global $U_0 = 0,4$.

Los niveles establecidos en la mencionada norma europea EN 13201 se fijaron después de múltiples trabajos, experiencias prácticas y estudios de investigación desarrollados en la Comisión Internacional de Iluminación en la entonces Comunidad Económica Europea entre otros, por W.J.M. Van Bommel y J.B. de Boer *Road Lighting*, relativos al concepto de poder revelador (*revealing power RP*) o probabilidad de visión.

Los valores de la norma europea EN 13.201 se adoptaron en el vigente Reglamento 1890/2008, anteriormente referenciado, con la particularidad de que los niveles mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de luminancias e iluminancias medias en la calzada dispuesto en la citada norma Europea, son valores de referencia en dicho Reglamento, de forma que los niveles máximos de luminancia o de iluminancia medias no podrán superar en más de un 20% los niveles medios de referencia consignados en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02, a efectos de la eficiencia energética de las instalaciones. También el deslumbramiento perturbador TI y la relación entorno SR son valores de referencia.

Por el contrario, el mencionado Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008, establece los niveles mínimos de uniformidad de la norma EN 13.201, como valores exigibles de obligado cumplimiento.

5.3.4.1. Probabilidad de visión

La probabilidad de visión RP se define como el porcentaje de objetos, con una reflectancia similar a la de la ropa de los peatones, situados en diversos puntos entre 60 y 160 m delante del observador (campo de visión de un conductor de vehículo), de una calzada dotada de alumbrado viario con distintos niveles de iluminación (luminancia e iluminancia media y uniformidades mínimas, así como valores máximos de deslumbramiento perturbador), que pueden ser vistos o percibidos por una serie de observadores.

La probabilidad de visión o poder revelador RP es función de tres parámetros luminotécnicos: la luminancia media de la superficie de la calzada (L_m), la uniformidad global (U_o) de dicha luminancia y el deslumbramiento perturbador (TI) o incremento umbral.

Es importante tener presente que la influencia del nivel de luminancia media de la calzada sobre la probabilidad de visión no es lineal.

Tabla 3. Para calzadas iluminadas con uniformidades mínimas globales $U_o = 0,4$ (adecuada) y $U_o = 0,2$ (deficiente) y, en ambos casos, con deslumbramiento perturbador máximo $TI = 7\%$, calificado como idóneo, la evolución de la probabilidad de visión o poder revela.

$U_o = 0,4; TI = 7\%$		$U_o = 0,2; TI = 7\%$	
L_m	RP	L_m	RP
2,00 cd/m ²	85%	2,00 cd/m ²	60%
1,50 cd/m ²	81%	1,50 cd/m ²	18%
1,00 cd/m ²	70%	1,00 cd/m ²	7%
0,75 cd/m ²	20%	0,75 cd/m ²	4%
0,50 cd/m ²	7%	0,50 cd/m ²	2%

De la tabla anterior cabe deducir que cuanto más elevados son la luminancia media (L_m) y la uniformidad global (U_o), mayor es la probabilidad de visión RP.

En el caso de una instalación de alumbrado viario con una adecuada uniformidad global mínima $U_o = 0,4$ y un idóneo deslumbramiento perturbador máximo $TI = 7\%$, al disminuir la luminancia media de la calzada de 2 cd/m^2 a la mitad, es decir, a 1 cd/m^2 , manteniendo la uniformidad, la probabilidad de visión RP baja un 15%. En cambio con idéntica uniformidad ($U_o = 0,4$) y un nivel de luminancia media de la calzada $L_m = 0,75 \text{ cd/m}^2$, se produce una caída enorme de un 65% respecto al origen ($L_m = 2 \text{ cd/m}^2$) en la probabilidad de visión o poder revelador RP.

En el supuesto de una iluminación viaria con una deficiente uniformidad global mínima $U_o = 0,2$ e idéntico apropiado deslumbramiento perturbador máximo $TI = 7\%$, con una luminancia media de la calzada $L_m = 2 \text{ cd/m}^2$, la probabilidad de visión es solamente $RP = 60\%$. Con la misma uniformidad ($U_o = 0,2$) y un nivel de luminancia medio de la calzada $L_m = 1,50 \text{ cd/m}^2$ dicha probabilidad de visión alcanza solamente el valor $RP = 18\%$ y, finalmente, manteniendo la uniformidad ($U_o = 0,2$) el poder revelador $RP = 7\%$ (valor ínfimo) corresponde a una luminancia media de la calzada $L_m = 1,00 \text{ cd/m}^2$.

Por tanto, si reduciendo el mismo porcentaje el flujo luminoso emitido por todas las lámparas de la instalación de alumbrado vial, es decir, manteniendo la uniformidad, disminuyen los niveles de luminancia media de la calzada, la probabilidad de visión desciende pudiéndose admitir como máximo un nivel mínimo de luminancia media $L_m = 1 \text{ cd/m}^2$, que con una uniformidad global mínima $U_o = 0,4$ y un deslumbramiento perturbador máximo $TI = 7\%$ proporciona una probabilidad de visión $RP = 70\%$.

Cuando se disminuyen los niveles de luminancia media de la calzada desconectando lámparas al tresbolillo, o bien dos de cada tres u otros sistemas de apagados parciales, se viene abajo la uniformidad global mínima pasando en el primer caso de $U_o = 0,4$ a $U_o = 0,2$ y la probabilidad de visión prácticamente desaparece, ya que para un nivel $L_m = 1 \text{ cd/m}^2$, $RP = 7\%$.

También desciende considerablemente la uniformidad global U_o de una instalación de alumbrado viario cuando, debido a causas naturales (lluvia), la calzada está mojada. De ahí que en las zonas en las que el promedio de días con lluvia sea superior a 120 días al año, se exija menor intensidad media diaria de vehículos IMD para mantener iluminados los tramos de autovías y carreteras desdobladas y convencionales, con unos niveles de luminancia media de la calzada suficientes y superiores a los requeridos para calzadas secas.

Por último, el deslumbramiento perturbador o incremento del umbral TI debe limitarse, tal y como establece la norma europea EN 13201, ya que la evolución de la probabilidad de visión RP en función del nivel de luminancia media (L_m) en una instalación de alumbrado viario con una adecuada uniformidad global mínima $U_o = 0,4$ y un alto deslumbramiento $TI = 30\%$ es la siguiente.

Tabla 4. Evolución de la probabilidad de visión RP en función del nivel de luminancia media (L_m) en una instalación de alumbrado viario con una adecuada uniformidad global mínima $U_o = 0,4$ y un alto deslumbramiento $TI = 30\%$

$U_o = 0,4; TI = 30\%$	
L_m	RP
2,00 cd/m ²	72%
1,50 cd/m ²	63%
1,00 cd/m ²	30%
0,75 cd/m ²	8%
0,50 cd/m ²	5%

El efecto negativo de un elevado deslumbramiento perturbador $TI = 30\%$ en una instalación de alumbrado viario con una adecuada uniformidad global mínima $U_o = 0,4$ es importante, dado que para un nivel de luminancia media de la calzada $L_m = 1$ cd/m² con un deslumbramiento limitado $TI = 7\%$, el poder revelador es $RP = 70\%$ (Tabla 3), mientras que para idéntica luminancia media de la calzada $L_m = 1$ cd/m² e igual uniformidad ($U_o = 0,4$), cuando el deslumbramiento perturbador es elevado $TI = 30\%$ la probabilidad de visión solamente es $RP = 30\%$ (Tabla 4).

Por ejemplo, si se considera que la carretera con mediana y puntos de luz de doble luminaria, tiene una luminancia media $L_m = 2$ cd/m², una uniformidad global mínima $U_o = 0,4$ y un deslumbramiento perturbador máximo $TI = 7\%$ (Tabla 3), si se desconectan permanentemente el 50% de las lámparas en disposición al tresbolillo, la instalación de alumbrado viario pasa a tener una luminancia media $L_m = 1$ cd/m² con una uniformidad global mínima de $U_o = 0,2$ y un deslumbramiento perturbador máximo $TI = 7\%$, alcanzando la probabilidad de visión un valor insignificante $RP = 7\%$ (Tabla 3).

Si además en el horario de 00:00 a 05:00 horas, sobre el resto del 50% de las lámparas que permanecen encendidas actúa el regulador reduciendo el flujo un 50%, la instalación de alumbrado viario se queda con una luminancia media $L_m =$

0,5 cd/m², una uniformidad global mínima $U_o = 0,2$ y un deslumbramiento perturbador máximo $TI = 7\%$ con una probabilidad de visión en la práctica inexistente del 2% (Tabla 3).

5.3.4.2. Niveles mínimos de iluminación admisibles

Antes de actuar en una instalación de alumbrado viario, se considera deben ejecutarse las mediciones de luminancias e iluminancias medias en las calzadas, así como la comprobación de las correspondientes uniformidades.

Posteriormente, se estima conveniente proceder a disminuir los niveles de luminancia e iluminancia medios pero manteniendo las uniformidades, para lo cual se reducirá el mismo porcentaje de flujo en todas las lámparas de la instalación de alumbrado viario, sin que en ningún caso se realice la desconexión de lámparas tanto en disposición al tresbolillo como en cualquier tipo de implantación (unilateral, bilateral, etc.), apagado de 2 de cada 3 puntos de luz, etc., por cuanto ello significa una caída muy importante de la uniformidad por debajo de los valores mínimos admisibles, lo que conculca lo dispuesto en el Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008, dejando la instalación sin probabilidad de visión.

En función de la situación del tramo recto de autovía o carretera desdoblada así como carretera convencional con la calzada seca, o en zonas en las que el promedio de días con lluvia sea superior a 120 días al año (calzada mojada), y las intensidades medias diarias IMD, una vez regulada o reducida la iluminación, los niveles mínimos de luminancia e iluminancia medias y de uniformidad global mínima, así como los valores máximos de deslumbramiento perturbador, se considera deberán ser los siguientes:

- $U_o = 0,4$ y $TI = 7\%$, nivel mínimo $L_m = 1$ cd/m² (RP = 70%), según Tabla 3.
- $U_o = 0,4$ y $TI = 30\%$, nivel mínimo $L_m = 1,5$ cd/m² (RP = 63%), según Tabla 4.
- $U_o = 0,2$ y $TI = 7\%$, nivel mínimo $L_m = 2$ cd/m² (RP = 60%), según Tabla 3.

En este último caso ($U_o = 0,2$ y $TI = 7\%$), se incumplen los valores mínimos de uniformidad establecidos en la ITC-EA-02 del Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008, por lo que resulta inadmisibile.

Por tanto, en tramos de autovías y carreteras cuando se mantenga la uniformidad mínima $U_o = 0,4$ (condición sine qua non), podrán reducirse los niveles de

luminancia e iluminancia media como máximo hasta un 50% de los valores de referencia establecidos en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-ÉA-02 del mencionado Reglamento, siempre que los valores mínimos de luminancia media resultantes de dicha reducción no sean inferiores a 1 cd/m² en tramos rectos y 1,5 cd/m² en curvas y viales sinuosos en pendiente, o sus valores equivalentes de iluminancia media (aproximadamente 15 y 22,5 lux respectivamente, dependiendo no obstante del tipo de pavimento).

En los puntos singulares de autovías y carreteras, denominados en el aludido Reglamento como zonas especiales de viales (enlaces, intersecciones, etc.), los niveles de iluminancia media y uniformidad mínima se ajustarán a lo establecido en la tabla 9 de la ITC-ÉA-02 del mencionado Reglamento, de modo que como mínimo la iluminancia media de la calzada deberá ser $E_m = 30$ lux equivalente a 2 cd/m², con una mínima uniformidad media de iluminancia $U_m = 0,4$.

En resumen, considerando los valores de la probabilidad de visión, puede establecerse:

✳ Valores mínimos de luminancia

Siempre que $U_o \geq 0,4$ los valores mínimos de luminancia admisibles serán los siguientes:

Autovías y carreteras:

- Tramos rectos $L_m = 1$ cd/m².
- Curvas y viales sinuosos en pendiente: $L_m = 1,5$ cd/m².
- Enlaces, intersecciones, glorietas, etc.: $L_m = 2$ cd/m².

5.3.5. Apagado de instalaciones de alumbrado de carreteras

A tenor de lo señalado en el Anexo III de la Guía Técnica de Aplicación del referido Reglamento, el apagado de las instalaciones de alumbrado exterior en tramos rectos de autovías y carreteras situadas en campo abierto, se considera requiere realizar un estudio previo de cada tramo que, entre otros extremos, considere los siguientes parámetros:

- Tipo de vía, su situación y trazado.
- Velocidad.
- Composición del tráfico.
- Intensidades medias y horarias de tráfico.
- Relación entre el número de accidentes nocturnos y diurnos.
- Accidentalidad en el tramo y en zonas similares sin alumbrado.

Cuando durante un periodo de tiempo suficiente, al menos 1 año, se compruebe en el tramo recto objeto de dicho estudio, que las intensidades medias y horarias de tráfico son bajas, lo que permite en un elevado porcentaje de tiempo circular a los vehículos con las luces largas o de carretera; que además el número de accidentes nocturnos y diurnos es análogo, la velocidad no es elevada y, por último, que la accidentalidad resulta afín a la de otras zonas similares no iluminadas, se estima en principio podría realizarse transitoriamente el apagado de las instalaciones del citado tramo recto de autovía, carretera desdoblada o convencional situado en campo abierto.

De cualquier manera con posterioridad al apagado, se estima necesario efectuar un seguimiento de los accidentes de tráfico nocturnos para, en su caso, persistir en el apagado transitorio o volver a encender las instalaciones de alumbrado viario.

Por motivos de seguridad no se recomienda apagar las instalaciones de alumbrado exterior de tramos rectos de autovías, carreteras desdobladas y convencionales situadas en zonas urbanas y periurbanas, así como con independencia de su situación las zonas especiales de viales, tales como enlaces, intersecciones, glorietas, curvas y viales sinuosos en pendiente, zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada, tramos de incorporación de nuevos carriles, etc., manteniendo encendidas dichas instalaciones, aun cuando pudiera plantearse restringir los niveles de iluminación en determinadas franjas horarias, sin comprometer la seguridad vial.

5.3.6. Reposición de instalaciones existentes por tecnología LED

El apartado 3 del artículo 2 del Reglamento aprobado por Real Decreto 1890/2008, entre otros extremos, determina que se aplicará a las instalaciones exis-

tentes antes de su entrada en vigor cuando, mediante un estudio de eficiencia energética, la Administración Pública competente lo considere necesario.

Para justificar la necesidad de aplicación del referido Reglamento a las instalaciones existentes, se entiende no se considera preciso realizar un estudio de eficiencia energética en aquellas instalaciones que, dados sus altos niveles de luminancia e iluminancia medias, muy superiores a los valores máximos establecidos en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 y, consecuentemente, elevados consumos de energía eléctrica resultan manifiestamente ineficientes.

A estos efectos, pueden estimarse tramos de autovías y carreteras con iluminación excesiva, aquellos cuyos niveles de luminancia e iluminancia medias superen en más de un 50% los valores máximos exigidos en la Instrucción ITC-EA-02 del citado Reglamento, aprobado por Real Decreto 1890/2008.

Se juzga razonable adaptar en una primera fase estas instalaciones con iluminación excesiva a lo establecido en el mencionado Reglamento en un plazo de tiempo relativamente corto, mediante la implantación de sistemas LED.

Se valoran poco eficientes las instalaciones de alumbrado exterior que, o bien no alcancen los valores mínimos de eficiencia energética requeridos en la Instrucción ITC-EA-01 del citado Reglamento, o superen los niveles máximos de luminancia e iluminancia medias establecidos en la Instrucción ITC-EA-02 de dicho Reglamento, sin sobrepasar el 50% de los mismos.

Para el ahorro en el consumo de energía se admite la reducción de la potencia instalada a la baja, sustituyendo las luminarias existentes por otras con tecnología LED que, además de mejorar las prestaciones lumínicas, permiten una considerable eficiencia energética.

En los tramos de autovía y carretera iluminados se recomienda proceder con cierta urgencia a la sustitución de todas las luminarias que incorporen lámparas de vapor de mercurio de alta presión, por otros sistemas completos que utilicen la nueva tecnología LED, dado que el ahorro en el consumo de energía eléctrica puede superar el 80%. Es sabido que, a partir de abril de 2015, las lámparas de vapor de mercurio serán retiradas definitivamente del mercado, pues se prohíbe su venta.

Una vez efectuada la mencionada sustitución, debe abordarse mediante un plan de etapas a desarrollar en el transcurso de un cierto tiempo no dilatado, el cambio de alumbrado existente con lámparas de vapor de sodio a alta presión, por sistemas de iluminación con tecnología LED, empezando por las instalaciones

poco eficientes o que superan los referidos niveles máximos de iluminación sin sobrepasar el 50%, para continuar con el resto de dichas instalaciones, en aras de la obtención de una mejora sustancial en la eficiencia energética.

5.3.7. Aprovechamiento de la tecnología LED

Tanto en la iluminación de los nuevos tramos de carretera, como en la necesaria renovación de las instalaciones existentes, la aplicación de la tecnología LED asociada a la aplicación de una adecuada gestión de las mismas mediante el denominado alumbrado inteligente (*Smart Lighting*), se pueden alcanzar ahorros energéticos de hasta un 80%, e incluso mayores, respecto a las instalaciones tradicionales.

No deben olvidarse las innegables calidades luminotécnicas de los LED, su escaso mantenimiento, larga vida útil y sus posibilidades a la hora de utilizar los sistemas de gestión de alumbrado que, entre otras prestaciones, facilitan la iluminación bajo demanda, dando lugar a instalaciones fiables lo más eficientes posible.

La oportunidad de regulación del flujo luminoso que permiten los LED, gracias a la aplicación de sistemas inteligentes de gestión, ha logrado el referido ahorro energético y la consiguiente disminución de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, lo que conlleva una sustancial mejora en el medio ambiente.

En lo que concierne exclusivamente a los LED su tecnología ofrece varias ventajas frente a los sistemas de iluminación convencionales, como por ejemplo su rápida respuesta de forma que su encendido y apagado es instantáneo, del orden de microsegundos, frente a milisegundos de las lámparas incandescentes tradicionales. Además, dicho encendido se realiza sin tipo alguno de parpadeo ni periodos de arranque.

En los LED el consumo es bajo mientras que la eficacia luminosa (lm/W) es elevada y, por tanto, producen mayor luz por cada vatio consumido. Todo ello funcionando a baja tensión de alimentación, por lo que se evitan peligros de electrocución y no necesitan protección. Asimismo, los LED tienen robustez mecánica y, consecuentemente, son resistentes a golpes y vibraciones, al ser objetos 100% sólidos de un reducido tamaño.

La luz emitida por los LED, al ser unidireccional, se puede dirigir a la zona que se desee iluminar con un mayor aprovechamiento, lo que se traduce en un menor

consumo. Dicha luz igualmente es de calidad, ya que el color lo genera el propio LED que, en ausencia de emisión de radiaciones infrarroja y ultravioleta, son colores saturados casi monocromáticos que permiten captar el objeto iluminado con mucho detalle, dado que es una luz mucho más nítida y brillante, con un amplio espectro cromático que posibilita elegir entre una amplia variedad de colores, lo cual es importante en el alumbrado ornamental.

Los LED son regulables sin variación de color en un amplio rango, desde la potencia nominal hasta el mínimo. Tienen una larga vida útil que unido a su robustez reduce notablemente los costes de mantenimiento y reposición. Se considera que en el entorno de las 50.000 horas de funcionamiento su flujo decae por debajo del 70% inicial. No obstante, hay que tener en cuenta que la temperatura reduce la eficiencia del LED y acorta su vida útil.

Finalmente, los LED no contienen mercurio ni otros elementos tóxicos.

5.4. Alumbrado de túneles y pasos inferiores

5.4.1. Normativa de aplicación

Antes de analizar los cambios que se generan a raíz de la entrada de la tecnología LED en el mundo del alumbrado y más en concreto en el mundo de los túneles y pasos inferiores, se detallan las normativas actuales en vigor a nivel nacional e internacional.

Las normativas actuales vigentes en España son las siguientes:

- REAL DECRETO 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior: en el que se consideran como valores de referencia los niveles de iluminación especificados en la Publicación CIE nº88/2004 (apartado 3.8 de la ITC- EA-02).
- Publicación CIE 88/2004. Guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores.
- Recomendaciones del Ministerio de Fomento para la iluminación de carreteras y túneles de 1999.

- Informe UNE–CR 14380 IN, de 2003. Aplicaciones de iluminación. Alumbrado de túneles.
- REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado, que constituye la transposición al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2004/54/CE, de 29 de abril.

Otra normativa relativa al alumbrado de túneles y pasos inferiores es la siguiente:

- Publicación CIE nº 189/2010. Cálculo de los Criterios de Calidad del Alumbrado de Túneles.
- Publicación CIE nº 193/2010. Alumbrado de Emergencia en Túneles de Carretera.

Cabe destacar que las Recomendaciones del Ministerio de Fomento de 1999 constituyen una norma cuyo uso en el alumbrado de túneles tiende a desaparecer, simplemente se constata su aplicación en proyectos antiguos de alumbrado de túneles, con la salvedad de que para el alumbrado de carreteras los parámetros de cálculo siguen siendo similares, mientras que para túneles han cambiado.

El Real Decreto 635/2006 se centra más en el alumbrado de seguridad, tanto para la evacuación de vehículos como de personas a pie.

Como se ha indicado con anterioridad, el Real Decreto 1890/2008, adopta como niveles de referencia los especificados en la publicación CIE nº 88/2004. También hay que contemplar el informe UNE CR 14380 IN que es anterior (2003) a la citada Publicación nº 88/2004 de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE).

Si se considera el alumbrado normal de un túnel tanto, en la Publicación CIE 88/2004, como en el informe UNE CR 14308 IN (2003), se analizan las variables a tener en cuenta a la hora de proyectar el alumbrado.

Parámetros necesarios para la redacción de un proyecto de iluminación de un túnel:

- Sección y longitud del túnel.
- Orientación.
- Velocidad.

- Intensidad de tráfico (por hora y carril, en caso de tener imd se estima en 1/8 la imd por carril de circulación).
- Tipo de circulación (unidireccional o bidireccional).
- Análisis de las bocas de entrada (% de cielo, calzada, roca, praderas).
- Tipo de asfalto empleado (clase r3 normalmente), tipo de paredes y techo (reflexión aprox.).
- Condiciones meteorológicas de la zona (para la elección de la calzada, húmeda o seca).
- Tipo de iluminación (simétrica, contraflujo, etc.).

Con estos parámetros definidos, las diferentes normas hablan de distintos métodos de cálculo de la luminancia en el interior del túnel (zonas: umbral, transición, interior y salida).

La publicación CIE N° 88/2004 establece dos métodos de cálculo:

- Método del contraste percibido.
- Método de la I20.

Mientras que el informe UNE CR 14380 IN (2003) anterior a la Publicación CIE n° 88/2004, hace mención a 4 métodos de cálculo:

- Método de la L20.
- Método de la L20 ponderada con el tráfico.
- Método de luminancia de velo, tal y como se ha utilizado en Holanda.
- Método de espacio y adaptación, tal y como se ha aplicado en Francia.

Los métodos más empleados son el de la L20 y la L20 ponderada con el tráfico, siendo el resto perfectamente aplicables. El único problema del método de la L20 según la publicación CIE n° 88/2004 es que resulta poco elástico porque basa su diseño única y exclusivamente en la velocidad de circulación, sin tener en cuenta la intensidad de tráfico o el tipo de circulación (unidireccional o bidireccional), a efectos del alumbrado diurno.

La publicación CIE nº 88/2004, en aras de la seguridad vial, es más rigurosa en cuanto a los niveles de iluminación exigidos que el informe UNE CR 14380 IN (2003), lo que implica que dicho informe incida más en la eficiencia energética al requerir menores niveles de iluminación y, consecuentemente, inferiores costes de instalación, explotación y mantenimiento, en detrimento de la seguridad vial.

5.4.2. Alumbrado de túneles y pasos inferiores

El Anexo II de la Guía Técnica de Aplicación del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, establece una serie de criterios generales para la redacción de un proyecto de alumbrado de túneles y pasos inferiores, que a continuación se recogen.

Durante el día a la entrada de los túneles se originan importantes problemas de visión en los conductores de los vehículos, que afectan gravemente a la seguridad vial, debido al brusco descenso entre los niveles de iluminación del exterior e interior de los mismos.

Por tanto, la entrada de un automóvil en un túnel supone para el conductor del vehículo efectuar una adecuada adaptación visual, que permita superar el riguroso y súbito tránsito desde las elevadas luminancias antes de entrar, a las prácticamente nulas dentro del túnel.

Esta sobrevenida y repentina adaptación visual constituye el nudo gordiano de la visión del conductor en un túnel, ya que teniendo en cuenta las prestaciones visuales del ojo humano, dicha adaptación requiere un cierto tiempo que depende de la diferencia entre los niveles de iluminación del exterior y del interior del túnel, de forma que cuanto mayor resulte dicha diferencia más tiempo se precisará para llevar a cabo la adaptación visual.

El referido tiempo de adaptación visual o adecuación a la severa bajada en los niveles de iluminación, implica para una concreta velocidad del vehículo una determinada distancia recorrida, que aumentará a medida que crezca la velocidad del mismo.

En consecuencia, desde el punto de vista luminotécnico, en un túnel deben contemplarse diferentes zonas que necesitarán distintos niveles de iluminación decrecientes, a medida que se penetre en el interior del mismo y se desarrolle la adaptación visual.

Las zonas a considerar son las siguientes: acceso (zona exterior inmediata a la entrada del túnel), entrada (zonas de umbral y transición), interior y finalmente zona de salida.

En la figura siguiente se ha representado una sección longitudinal de un túnel largo unidireccional interurbano, detallando las longitudes y niveles de luminancia de las diferentes zonas del mismo. La nomenclatura y correspondiente definición de dichos niveles luminotécnicos se concreta a continuación:

- L_{20} = Luminancia en la zona de acceso.
- L_{th} = Luminancia en la zona de umbral.
- L_{tr} = Luminancia en la zona de transición.
- L_{int} = Luminancia en la zona del interior.
- L_{ex} = Luminancia en la zona de salida.

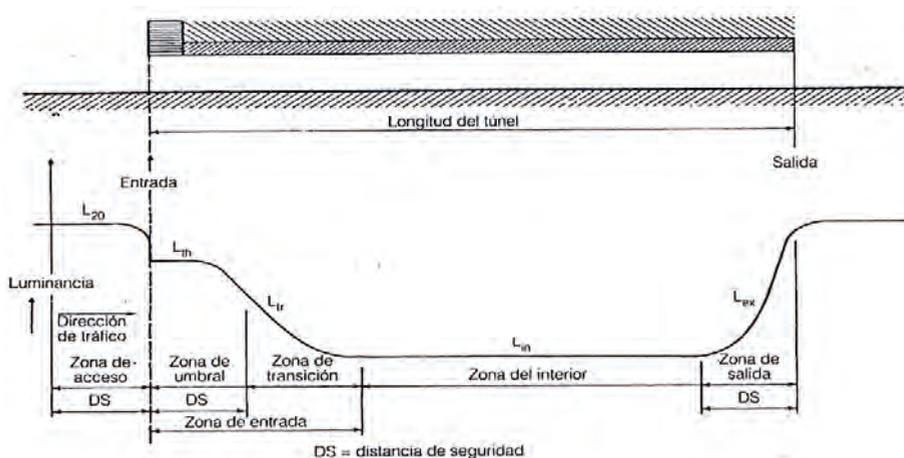


Figura 10. Sección longitudinal de un túnel largo unidireccional interurbano, con especificación de la luminancia y longitudes de las diferentes zonas del mismo.

Las principales características fotométricas necesarias para establecer la calidad del alumbrado de un túnel son las siguientes:

- Nivel de luminancia de la calzada.
- Nivel de luminancia de las paredes, en particular hasta una altura de 2 m.

- Uniformidad de distribución de luminancia en calzada y paredes.
- Control del efecto *flicker*.

Al circular por un túnel se experimenta el efecto *flicker* o sensación de parpadeo cuando se conduce un vehículo a través de cambios periódicos espaciales de luminancia, tales como los ocasionados por la luz solar en las pantallas o paralúmenes implantados en túneles, o generalmente los producidos por las luminarias instaladas en las paredes o techos de los túneles, cuando existe una separación inadecuada entre las mismas, con una elevada velocidad de cambio en la distribución de la intensidad lumínica.

La impresión molesta o incomodidad visual experimentada por el conductor del vehículo debido al efecto *flicker* o sensación de parpadeo, depende fundamentalmente de los factores siguientes:

1. El número de cambios de luminancia por segundo (frecuencia *flicker*).
2. La duración total del efecto *flicker*.
3. La velocidad de cambios de claridad a oscuridad en un solo ciclo.
4. La relación de pico-luz a valle-oscuridad dentro de cada periodo (profundidad de modulación de luminancia).

La influencia de los tres primeros puntos obedece a la velocidad del vehículo y a la separación entre luminarias.

Los puntos tercero y cuarto también dependen de las características fotométricas de las luminarias (distribución de la intensidad luminosa), así como de la interdistancia o espaciamiento entre las mismas.

La zona de acceso, situada delante de la entrada del túnel, comienza a una distancia del mismo igual a la distancia de parada de los vehículos, que depende de la velocidad máxima autorizada en el túnel.

En la zona de umbral, durante la primera mitad de la distancia de parada, el nivel de luminancia es constante e igual al de comienzo de dicha zona (L_{th}). A partir de la mitad de la distancia de parada en adelante, el nivel de luminancia disminuye linealmente hasta un valor al final de la zona de umbral, igual a $0,4 L_{th}$.

La zona de transición comienza al final de la zona de umbral y termina al comienzo de la zona interior. La disminución de los niveles de iluminación en la zona de transición se realiza gradualmente, siguiendo una curva tipo normalizada por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), con la finalidad de proporcionar el tiempo suficiente a los conductores de los vehículos para adaptar o ajustar su visión a niveles luminosos más bajos.

La longitud variable de la zona de transición es función de la velocidad máxima autorizada en el túnel, y del gradiente del nivel de iluminación entre la terminación de la zona de umbral y el inicio de la zona de interior.

Habitualmente, en la zona de transición se sustituyen los niveles de la curva normalizada (CIE), por valores ligeramente superiores que se obtienen mediante escalonamientos sucesivos de aproximación a dicha curva, de forma que la relación máxima de luminancia permitida al pasar de un escalón a otro es de 3, aunque en el último escalón dicha relación no debe ser superior a 2 veces la luminancia de la zona interior del túnel (L_{int}).

La zona del interior con un nivel constante de luminancia (L_{int}), es la parte del túnel que sigue a la zona de transición y, por tanto, se extiende desde el final de la zona de transición hasta el comienzo de la zona de salida.

En los túneles largos la zona de interior se divide en dos subzonas, la primera de ellas corresponde a la longitud cubierta por un vehículo en 30 segundos circulando a la velocidad máxima permitida con unos niveles de iluminación (L_{int}), y la segunda constituye el resto de la zona interior hasta la zona de salida, con niveles de iluminación inferiores a los de la primera subzona.

La zona de salida comienza cuando termina la zona interior y finaliza en el portal de salida del túnel. En esta zona, en una longitud igual a la distancia de parada antes de dicho portal, la luminancia debe aumentar linealmente desde el valor de la zona interior (L_{int}), hasta un nivel 5 veces el de dicha zona a una distancia de 20 m del portal de salida del túnel. En túneles bidireccionales la iluminación de la zona de salida será idéntica a la de la zona de entrada.

En la zona exterior, cuyo alumbrado funciona lógicamente sólo durante la noche, o zona inmediata al portal de salida del túnel, se recomienda considerar una longitud a iluminar igual a dos veces la distancia de parada, aun cuando no se estima necesaria una distancia superior a 200 m, con un nivel no inferior a 1 cd/m².

5.4.2.1. Sistemas de iluminación de túneles

Para la iluminación de túneles pueden utilizarse el sistema de iluminación simétrico, en el que las luminarias tienen una distribución de la intensidad luminosa simétrica respecto al plano $C90/270^\circ$ (plano perpendicular a la dirección del tráfico), y el sistema de iluminación a contraflujo, en el que las luminarias tienen una distribución de la intensidad luminosa asimétrica, dirigida contra el sentido de circulación del tráfico de vehículos.



Figura 11. Iluminación de túneles.

El sistema de iluminación a contraflujo crea un mayor contraste entre los obstáculos (vehículos) y el fondo (superficies de las paredes y calzada del túnel), que permite mayor visibilidad con menores niveles de iluminación (luminancias), que las que se necesitan en el sistema de iluminación simétrico.

La tabla que se expone a continuación ha sido obtenida aplicando el método de dimensionamiento del Centro de Estudios de Túneles (CETU) y ha sido incorporada a las Recomendaciones Relativas al Alumbrado de Vías Públicas de la Asociación Francesa de Iluminación (AFE).

Tabla 5. Niveles de luminancia en servicio y longitud el alumbrado de refuerzo.

NIVEL DE VELOS PARÁSITOS	VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN	NIVEL DE LUMINANCIA EN LA ENTRADA (parte más iluminada) Sistema de Iluminación		LONGITUD DEL ALUMBRADO DE REFUERZO PARA ALCANZAR EL NIVEL DE ILUMINACIÓN DE LA ZONA INTERIOR DEL TÚNEL Nivel de Iluminación en la Zona Interior		
		Km/h	SIMÉTRICO (cd/m ²)	CONTRAFLUJO (cd/m ²)	8 d/m ² (m)	5 d/m ² (m)
FUERTE	130	-	(440)	600	660	790
	110	(550)	210	360	410	640
	90	(280)	120	300	350	510
	70	150	90	240	290	350
	50	70	-	150	180	270
MEDIO	130	-	(290)	550	620	740
	110	(360)	140	300	350	590
	90	180	80	250	300	490
	70	100	60	200	250	350
	50	50	-	120	150	270
DÉBIL	130	-	140	470	530	670
	110	180	70	230	260	420
	90	90	40	170	220	390
	70	50	30	140	180	340
	50	25	-	80	100	220

Esta tabla de la (AFE) proporciona un orden de magnitud de la luminancia media en servicio (L_{th}) en la entrada del túnel (primera parte de la zona umbral) en función de:

- Importancia de los velos parásitos (ligados a las luminancias del entorno de la entrada del túnel), que perturban la percepción visual del conductor del vehículo.
- La velocidad de aproximación del vehículo.
- Tipo de sistema de iluminación adoptado.

La referida tabla de la (AFE) puede utilizarse para un estudio preliminar, predimensionamiento o anteproyecto.

En la tabla los valores entre paréntesis casi nunca se ejecutan en la práctica, asimismo en la iluminación mediante sistema simétrico, con velocidades superiores a 70 km/h con velos fuertes, 90 km/h con velos parásitos medios, o 110 km/h con velos débiles, se da lugar a niveles de luminancia difícilmente realizables.

Por otra parte, los niveles de luminancia media de la tabla de la (AFE) corresponden a periodos para los cuales las condiciones luminosas exteriores son las más desfavorables (soleamiento máximo en orientación desfavorable del sol).

De conformidad con las vigentes Recomendaciones Relativas al Alumbrado de Vías Públicas de la Asociación Francesa de Iluminación (AFE), que incorporen los resultados de los trabajos realizados por el Centro de Estudios de Túneles (CETU), en la entrada de túneles para una velocidad de 70 km/h se necesita con el sistema de iluminación a contraflujo un nivel de iluminación (luminancia) 1,6 veces menor que con el sistema simétrico, mientras que para una velocidad de 90 km/h el nivel requerido es 2,2 veces más bajo y finalmente en el caso de 110 km/h el nivel de iluminación es 2,6 veces inferior.

A partir de una velocidad de circulación de 110 km/h, únicamente resulta viable el sistema de iluminación a contraflujo para el resolver los problemas de visión de los conductores de los vehículos.

Resultan evidentes las ventajas respecto al ahorro de energía eléctrica del sistema de iluminación a contraflujo para el alumbrado de refuerzo de la zona de entrada de los túneles unidireccionales, que exige que las luminarias se implanten en el techo del túnel y nunca en las paredes. Este sistema de iluminación a contraflujo no puede utilizarse en el alumbrado de la entrada de túneles bidireccionales.

El sistema de iluminación simétrico se utiliza en todos los casos en la zona del interior de los túneles y en la zona de entrada de los túneles bidireccionales, pudiéndose implantar también este sistema en la zona de entrada de los túneles unidireccionales cuando la velocidad de circulación está muy limitada, del orden de 50 km/h.

El dimensionamiento y cálculo de las instalaciones de alumbrado de túneles, se estima debe realizarse de acuerdo con lo establecido en la Publicación CIE nº 88 de 2004, y en el Real Decreto 635 /2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado, que constituye la transposición de la Directiva 2004/54/CE.

Igualmente, el Anexo III de la Guía Técnica de Aplicación del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre), determina unas recomendaciones de ahorro en el alumbrado de túneles que seguidamente se exponen.

5.4.2.2. Valores de luminancia en los túneles

A ser el método de cálculo el mismo, los valores obtenidos para la luminancia en la zona de acceso (L_{20}) es igual para las Recomendaciones del Ministerio de Fomento de 1999, informe UNE–CR 14380 IN de 2003 y Publicación CIE nº 88 de 2004, mientras que el valor de $K = L_{th}/L_{20}$ es diferente para cada uno de los tres documentos, lo que implica que la luminancia de la zona umbral (L_{th}), sea también distinta.

Ello es debido a que en las Recomendaciones de 1999 el valor de (K) depende, además de la velocidad de circulación de los vehículos, de los factores de ponderación de la intensidad y composición del tráfico, guiado visual y comodidad en la conducción.

En el informe UNE–CR 14380 IN de 2003 la relación $K = L_{th}/L_{20}$, asimismo además de la velocidad de circulación de los vehículos, depende de los factores de ponderación de la densidad, tipo y mezcla de tráfico.

En cambio, en la Publicación CIE nº 88 de 2004 el valor de (K) únicamente es función de la velocidad de circulación de los vehículos.

Por orden de magnitud, los valores de (K) más elevados corresponden a ésta última Publicación de 2004, seguidos de los valores del informe UNE de 2003, siendo las relaciones más bajas $K = L_{th}/L_{20}$ las de las Recomendaciones de 1999.

Todo ello conlleva a que el valor más alto de la luminancia de la zona umbral (L_{th}) sea el obtenido aplicando la Publicación CIE nº 88 de 2004 que, como se ha indicado anteriormente, prima sobre todo la seguridad vial.

No obstante, en los momentos actuales en los que ahorro energético tiene un gran peso específico, también se suele aplicar el informe UNE–CR 14380 IN de 2003, habiéndose prácticamente descartado en túneles el uso de las Recomendaciones del Ministerio de Fomento de 1999.

Por otra parte, es sabido que la velocidad de circulación determina la longitud de la zona umbral del túnel. Una reducción de 10 km/h en la velocidad de circulación de vehículos, puede aportar una reducción de potencia instalada en el alumbrado del túnel próxima al 15%, con el consiguiente ahorro en el consumo de energía eléctrica.

Otra posibilidad de disminuir la potencia instalada para el alumbrado del túnel, consiste en una mayor aproximación a la curva tipo normalizada de la CIE de variación progresiva de la luminancia en la zona de transición, que constituye el resultado de numerosas pruebas experimentales en función de la adaptación del ojo desde altos niveles de luminancia a muy bajos, que han dado lugar a la siguiente expresión matemática de dicha valoración:

$$L_{tr} = L_{th} (1,9 + t)^{-1,428}$$

Aun cuando adaptar la instalación de alumbrado completamente a la mencionada curva CIE exige un proceso de cálculo de mayor complejidad, si es posible reducir la potencia sobredimensionada mediante la clásica reducción escalonada de niveles de luminancia, al combinar luminarias con lámparas de vapor de sodio a alta presión que dispongan de reactivancias con regulación electrónica, o mediante LED dotados de drivers con regulación de flujo luminoso por medio de sistema 1-10 V, luminancímetros específicos debidamente instalados en la entrada del túnel para L_{20} y un sistema de gestión técnica centralizado adecuado.

Se puede conseguir una reducción que oscila entre el 10% y el 25% del consumo energético, comparado con la tradicional regulación por escalones, en función de la situación geográfica del túnel.

La experiencia de las reformas de los túneles de Somosierra y el Bruc aconseja utilizar dos luminancímetros por entrada de túnel, debidamente calibrados y contrastados, de forma que el sistema de gestión centralizado mediante algoritmos de regulación, gestione los niveles de iluminación de acuerdo con la media de medición de los dos equipos de medida (luminancímetros).

5.4.3. Medidas de ahorro en alumbrado de túneles

Respecto al consumo energético en la iluminación de túneles debe considerarse que, mientras en una instalación convencional de alumbrado a cielo abierto la potencia instalada por kilómetro es del orden de 7,5 a 9 kW, en la iluminación también convencional de túneles la potencia instalada varía entre 60 y 85 kW por kilómetro, es decir, es casi 10 veces mayor.

Además, una relación importante a efectos de consumo energético es la relación kWh/m² año, unidad de medición muy utilizada por la Unión Europea en la evaluación energética de edificios, y cuyo valor habitual en el alumbrado de tú-

neles supera los 40 kWh/m² año, cifra que con la implantación de sistemas LED con regulación idónea en la iluminación permanente, reducción de la velocidad de vehículos y adaptación a la curva normalizada de la CIE en la zona de transición, además de otras medidas, que se exponen a continuación, debe permitir que el consumo energético sea inferior a 30 kWh/m² año.

En los túneles viarios no urbanos, es decir, en los túneles de carretera el consumo energético se distribuye entre el alumbrado, tanto el de refuerzo en las bocas de entrada como el permanente en el interior, la ventilación y los servicios.

Dado que las instalaciones de alumbrado del túnel suponen aproximadamente un 85% de la energía total consumida, la actuación sobre el mismo para el ahorro energético debe ser prioritaria.

Por otra parte, el alumbrado de refuerzo en las entradas (zonas umbral y de transición) implica entre un 60% y un 80% de la potencia total, por lo que el alumbrado permanente varía entre un 40% y un 20%, que conlleva una media de un 30% de la potencia total.

Al objeto de lograr ahorrar en el consumo de energía eléctrica se considerará la orientación de cada túnel, así como las luminancias de velo atmosférico, de parabrisas y equivalente o de *Fry* y, en su caso, las medidas adoptadas para disminuir las luminancias ambientales exteriores a la entrada de los túneles, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Prever líneas de árboles o pantallas vegetales que oculten lo más posible el cielo y el horizonte en su lejanía, tapando el sol bajo o rasante sobre el horizonte que resulta muy deslumbrante y, por tanto, perjudicial para la visión de los conductores. Estas disposiciones también presentan, por otra parte, el mismo interés para la zona de salida de los túneles.
- Implantar calzadas oscuras mediante pavimentos asfálticos con agregados sombríos o negros que, en lo posible, conserven dicha oscuridad a lo largo del tiempo.
- Ocultar o enmascarar todos los elementos claros del entorno (fachadas de edificaciones, muros, etc.), que se encuentran en el campo de visión del conductor que se aproxima a la entrada del túnel.

Estas medidas permiten reducir considerablemente los niveles de iluminación de la zona de entrada del túnel, que supone el coste más importante en el consu-

mo de energía eléctrica de la instalación del alumbrado del túnel, ya que cuanto menor es la diferencia entre el nivel de iluminación exterior y el del interior del túnel, menor es la distancia durante la cual tiene que adaptarse la visión del conductor.

Por otra parte, una disminución apreciable del deslumbramiento debido a la visión de la salida del túnel puede lograrse, cuando constructivamente sea posible, modificando el trazado de la salida del túnel mediante una ligera curvatura en los túneles largos. Esta solución permite evitar que los ojos del conductor del vehículo no se sientan atraídos por la visión directa de la salida del túnel, visión que limitaría la percepción de eventuales obstáculos y que además podría dar lugar a que el conductor inconscientemente aumentase la velocidad del vehículo.

Esta propuesta de modificación del trazado de la salida del túnel se debe evitar en los túneles cortos donde la visión de la salida es un factor que mejora la visibilidad.

Asimismo, conviene descartar en la medida de lo posible las orientaciones del túnel este–oeste cuando la cubierta del mismo sea reducida, especialmente en el caso de una trinchera cubierta, dado que en este caso resulta prácticamente imposible restablecer la visibilidad de un automovilista que tiene el sol sobre los ojos.

5.4.3.1. Reducción de los niveles de iluminación en túneles

Sin menoscabo del cumplimiento de los requisitos mínimos de seguridad establecidos en el Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, de forma que la iluminación asegure una visibilidad adecuada, se considera que en la zona interior de los túneles, inicialmente fuera de las zonas de adaptación (umbral y transición a la entrada, así como zona de salida), se pueden reducir los niveles de iluminación del alumbrado normal, es decir, sin considerar el alumbrado de seguridad y la iluminación de emergencia, de acuerdo con la sistemática que seguidamente se expone.

* Durante el día

En periodo diurno en la zona interior de los túneles, el nivel de luminancia media en la calzada del alumbrado base o permanente en la primera subzona (longitud que a la velocidad máxima autorizado es cubierta por un vehículo en 30

segundos), se recomienda sea del 50% del establecido en la tabla 6.7.1 túneles largos de la Publicación CIE nº 88 de 2004 sin que, por razones de seguridad, en ningún caso resulte inferior a 3 cd/m², manteniendo siempre la uniformidad.

En la segunda subzona que corresponde a la longitud de la zona interior restante, en ciclo diurno el nivel de luminancia media en la calzada del alumbrado base, se juzga debe ser también el 50% del que figura en la tabla 6.7.2 túneles muy largos de la Publicación CIE nº 88 de 2004, sin que asimismo por motivos de seguridad, en supuesto alguno resulte inferior a 2 cd/m², manteniendo siempre la uniformidad.

Cuando se trate de túneles urbanos, en ningún caso el nivel mínimo de luminancia media será inferior a 4 cd/m², manteniendo siempre la uniformidad.

Por tanto, durante el día en la zona interior de los túneles puede establecerse:

* Niveles mínimos de luminancia

Siempre que se mantenga la uniformidad U_{σ} , los niveles mínimos de luminancia admisibles son los siguientes:

- Túneles de autovías y carreteras.
 - Primera subzona: $L_m \geq 3 \text{ cd/m}^2$
 - Segunda subzona: : $L_m \geq 2 \text{ cd/m}^2$
- Túneles urbanos.
 - Zona interior: : $L_m \geq 4 \text{ cd/m}^2$

En periodo diurno en lo que atañe al alumbrado de la zona de entrada (umbral y transición) de los túneles, podrá reducirse el nivel luminoso al 50% en las condiciones siguientes:

- Interurbanos bidireccionales.

Cuando su longitud sea igual o inferior a 120 m, a excepción de aquellos en los que se cumpla:

- Salida no visible.
- Velocidad > 70 km/h.
- Tráfico ≤ 2000 veh/día/sentido.
- Interurbanos unidireccionales.

Cuando su longitud sea igual o inferior a 150 m, a excepción de aquellos en los que se cumpla:

- Salida no visible.
- Velocidad > 70 km/h.
- Tráfico ≤ 10000 veh/día/túnel.
- Interurbanos de poco tráfico y velocidad reducida.

Cuando su longitud sea igual o inferior a 200 m, a excepción de aquellos en los que se cumpla:

- Salida no visible.
- Urbanos.

Cuando su longitud sea igual o inferior a 125 m, a excepción de aquellos en los que se cumpla:

- Salida no visible.

También pueden reducirse los niveles de iluminación de la zona de entrada (umbral y transición) en periodo diurno, limitando la velocidad de circulación de los vehículos.

Cuanto más elevada es la velocidad de un vehículo, mayor resulta la distancia de parada del mismo, de forma que para un conductor situado en la zona anterior a la entrada del túnel (zona de acceso), más larga es la distancia desde la boca del mismo hacia el interior en la que el conductor del vehículo tiene que ver dentro del túnel, lo que supone mayor longitud de la zona umbral a iluminar, dado que dicha longitud es igual a la distancia de parada del vehículo.

De acuerdo con las Recomendaciones Relativas al Alumbrado de la Vías Públicas de la Asociación Francesa de Iluminación (AFE) que ha incorporado el método de dimensionamiento del Centro de Estudios de Túneles (CETU), debido a la disminución de la distancia de parada y, por tanto, de la longitud de la zona de umbral del túnel del orden de un 20 a un 25%, cuando se reduce la velocidad de circulación de 90 a 70 km/h, puede ahorrarse por esta menor longitud con alumbrado de refuerzo, en torno a un 20 – 25% de la potencia instalada en la zona umbral del túnel, con el consiguiente ahorro en el consumo de energía eléctrica.

Por una parte, a mayores distancias un obstáculo situado en el interior del túnel subtende un ángulo más pequeño en el ojo del conductor y, por tanto, es menos visible para el conductor desde la zona de acceso.

Por otra parte, la capa de aire entre dicho conductor que se encuentra en la zona de acceso y la entrada del túnel es mayor, lo que significa superiores luminancias atmosféricas de velo y reducción del contraste del obstáculo y, en consecuencia, también disminución de la visibilidad del mismo. Todo ello exige niveles de iluminación de la zona de umbral más elevados y, en consecuencia, por ambas causas, esta última y la mayor longitud de la zona de umbral a iluminar, superiores costes económicos.

En consonancia con las referidas Recomendaciones Relativas al Alumbrado de las Vías Públicas de la Asociación Francesa de Iluminación (AFE), los niveles de iluminación (luminancias) de la zona umbral del túnel (L_{th}), disminuyen entre un 25% (sistema de iluminación a contraflujo) y un 45% (sistema de iluminación simétrico), cuando se reduce la velocidad de circulación a la entrada del túnel de 90 a 70 km/h, con un considerable descenso en la potencia instalada y, por tanto, en el consumo de energía eléctrica.

✳ Durante la noche

En el transcurso de la noche si el túnel se encuentra en un tramo de carretera con instalación de alumbrado, los niveles de iluminación en la zona interior se entiende deben ser, al menos, iguales a los de la vía de tráfico de acceso, no excediendo en ningún caso del 20% de dicho valor, recomendándose un nivel de luminancia media en la calzada de 1 cd/m².



Figura 12. Iluminación de túneles.

Si el túnel constituye parte de un tramo de carretera que no está iluminado, en periodo nocturno, la luminancia media de la calzada en la zona interior se considera no debe ser menor de 1 cd/m^2 , con una uniformidad global mínima del 40% y una uniformidad longitudinal, al menos, del 60%.

En ciclo nocturno cuando la velocidad de los vehículos sea mayor de 50 km/h, se estima debe iluminarse la vía de tráfico posterior a la salida del túnel, en una longitud igual a 2 veces la distancia de parada y como mínimo en un recorrido de 200 m, con una luminancia media en la calzada superior a $1/3$ de la luminancia media nocturna de la calzada en la zona interior del túnel y, como mínimo, 1 cd/m^2 .

El deslumbramiento perturbador o incremento de umbral TI también se estima debe ser inferior al 15% para las zonas umbral, transición e interior del túnel.

* Otras consideraciones

También, se debe prestar especial atención a la adecuación de los regímenes de funcionamiento de la iluminación en los túneles a la hora natural, de modo que durante la noche no permanezcan en servicio los regímenes de los días soleados y/o nublados.

El control de los encendidos de los regímenes de iluminación en los túneles mediante la utilización de luminancímetros en lugar de células fotoeléctricas, puede llegar a representar un ahorro energético de hasta un 25%.

En los túneles se estima debe cuidarse especialmente el mantenimiento de las instalaciones de iluminación, por tanto, se deben comprobar y limpiar los fotómetros de control de las zonas de acceso y umbral del túnel, así como proceder a calibrarlos al menos una vez al año, es decir, realizar un mantenimiento y control sistemático de los mismos. Todo ello con la finalidad de permitir conservar las prestaciones de dichas instalaciones en el transcurso del tiempo, y así garantizar la seguridad exigida por el Real Decreto 635/2006 y la Directiva 2004/54/CE, de 29 de abril.

5.4.4. Alumbrados de seguridad y de emergencia

El Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, hace referencia a dos tipos de alumbrado, uno de seguridad y otro de emergencia.

El primero se proporcionará de modo que permita una visibilidad mínima para que los usuarios del túnel puedan evacuarlo en sus vehículos en caso de avería del suministro de energía eléctrica, mientras que la iluminación de emergencia estará situada a una altura no superior a 1,5 m y deberá proyectarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para la evacuación a pie con un mínimo de 10 lux y 0,2 cd/m² (se consideran niveles medios).

La publicación CIE 88/2004 y el informe UNE CR 134380 IN (2003) recomiendan que el nivel de iluminancia media en el alumbrado de emergencia deba ser al menos de 10 lux de iluminancia media y 2 lux de iluminancia mínima. Deberá ir conectado a una fuente de alimentación de energía ininterrumpida y puede ser parte del alumbrado nocturno del túnel (intercalando lámpara pero cumpliendo mínimos). Ambos documentos delegan el alumbrado de escape en caso de incendio a la norma UNE-EN 1838.

De este combinado de normativa y recomendaciones se deduce que debe haber dos tipos de alumbrado de emergencia.

- Alumbrado de seguridad: (en caso de fallo eléctrico) donde mediante un sistema de alimentación ininterrumpida se consiga un nivel en calzada de 10 lux de iluminancia media con 2 lux de iluminancia mínima.

- Alumbrado de evacuación: alumbrado que estará a una altura no superior a 1,5 m y deberá proyectarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para la evacuación a pie con un mínimo de 10 lux y 0,2 cd/m² (niveles en vía de evacuación), y se recomienda una iluminancia mínima de 1 lux en la vía de evacuación para evitar uniformidades demasiado bajas.

5.4.5. Comportamiento de los LED

Después de analizar las normativas vigentes y los sistemas de iluminación de túneles, se contemplan los cambios más significativos de la tecnología LED frente a la tecnología de lámpara de descarga de vapor de sodio de alta presión.

Hay tres grandes diferencias entre los LED y el VSAP, que se describen a continuación

- Temperatura de color.
- Mantenimiento de la instalación.
- Control y regulación.

✳ Temperatura de color

La tecnología LED presenta todo tipo de temperaturas de color en sus fuentes de luz, pero lo más habitual es trabajar en el rango de los 4000 K, mientras que las lámpara de descarga de vapor de sodio de alta presión (VSAP) tienen una temperatura de color de 2.000 K.

La diferencia aparente es que la luz del LED es más blanca (fría) mientras que la de VSAP es más amarilla (cálida), pero hay un efecto a bajo nivel de luminancia denominado el efecto Purkinje, que hace que se tenga mayor percepción de luz con menos potencia luminosa en los casos de luz fría frente a cálida. Esto genera que en el alumbrado nocturno con LED pueda quedar más ajustado al nivel exigido que en el caso de las lámparas de descarga.

A efectos de nivel diurno, este efecto se pierde porque por encima de las 30 cd/m² aproximadamente, el ojo humano deja de discriminar la temperatura de color de las fuentes de luz.

* Mantenimiento de la instalación

La longevidad del LED es una ventaja de esta tecnología frente a la de descarga. Un mantenimiento preventivo en un túnel con afluencia media de tráfico implica una reposición masiva de lámparas y condensadores cada dos años aproximadamente. Mientras que con un proyector LED y su driver deberían no tener problemas hasta pasados los 5 años como mínimo. Respecto a la limpieza, ambas tecnologías necesitan un mantenimiento estimado en al menos una vez al año, aunque habría que analizar en profundidad el tipo de túnel y sus características de tráfico.

* Control y regulación

Otro punto a favor de la tecnología LED es la regulación y el control.

Dado que tanto la fuente de luz LED como sus drivers (equipos electrónicos de encendido y control) permiten encender instantáneamente las fuentes de luz y además regularlas linealmente desde el 1 al 100%, hacen que su comparación con la VSAP sea muy positiva, porque aunque la tecnología del VSAP va encontrando medidas para su regulación, siempre estará limitada por su no encendido instantáneo y por una regulación constreñida en un tanto por ciento.

Para un control adecuado y una idónea regulación, es importante tener buenos aparatos de medida de iluminación en el exterior del túnel que permitan una rápida respuesta en el ajuste de los niveles del interior del túnel con las exigencias cambiantes del exterior.

Se suelen realizar diferentes regímenes de encendidos en la vida del alumbrado de un túnel.

- Alumbrado diurno soleado – A pleno sol.
- Alumbrado diurno nublado – A 50% de la instalación de refuerzo.
- Alumbrado crepuscular – Al amanecer y anochecer.
- Alumbrado nocturno – De noche.
- Alumbrado nocturno – De noche con poca cantidad de tráfico.
- Además del alumbrado de seguridad y evacuación.

Toda esta regulación con tecnología LED se consigue ajustando el flujo lumínico de cada proyector, consiguiendo así mantener los niveles de uniformidad a lo largo de todo el túnel.

No obstante lo anterior, una circunstancia límite para la utilización de los LED es la iluminación diurna de la entrada de los túneles, debido a los altos niveles luminosos que se precisan.

Actualmente en la iluminación de la entrada de los túneles hasta la fecha todavía se estima recomendable que el alumbrado de refuerzo se lleve a efecto mediante proyectores con lámparas de VSAP, de forma que la iluminación de la entrada se ejecute conjuntamente por aparatos equipados con LED y proyectores con lámparas VSAP, iluminando el resto de zonas del túnel con tecnología LED.

Con todo y eso, recientemente una empresa europea ha llevado a cabo la iluminación del primer túnel de autopista en Norteamérica exclusivamente con LED.

El referido túnel *Carlin* situado en el noreste de Nevada, que consta de dos perforaciones con una longitud aproximada de 425 metros y una anchura de 10 metros, anteriormente estaba iluminado mediante una combinación de 1.253 luminarias dotadas con lámparas de vapor de sodio a alta presión de 100 W, 150 W y 400 W de potencia.

La nueva solución con sistemas LED, se compone de 789 luminarias en dos versiones, la primera con luminarias para túneles de 240 LED y 266 W de potencia, y la segunda con dichas luminarias pero 120 LED y 133 W de potencia, lo que ha supuesto la instalación de un número sustancialmente menor de luminarias y potencia instalada para alcanzar los niveles de iluminación requeridos, con luz blanca que incrementa el confort de los usuarios del túnel y un mantenimiento mucho menos costoso y rápido.

* Alumbrado permanente

En cuanto a la utilización de luminarias LED para el alumbrado permanente en túneles, no solamente resulta recomendable, sino que en la actualidad debería requerirse como solución prácticamente imprescindible en las reformas o nuevas instalaciones, utilizando drivers con regulación mediante sistema 1–10 V o de similar robustez, al objeto de adaptar las condiciones de alumbrado del túnel y de consumo energético a las necesidades del tráfico (densidades y condiciones de seguridad), cumpliendo siempre los niveles mínimos exigibles de luminancia y uniformidad.

Por tanto, se aconseja la utilización de LED en la iluminación de la zona interior y últimos tramos de la zona de transición, así como en alumbrado nocturno y de régimen de medianoche (nocturno con poco tráfico) a lo largo de todo el túnel, ya que en éstos tipos de tramos y regímenes de encendido el número de horas de funcionamiento es muy elevado, generalmente las 24 horas del día o casi, no siendo por otra parte además necesario un alto flujo luminoso por luminaria LED.

Al día de la fecha, a pesar del aludido túnel Carlín en Estados Unidos, todavía no resulta rentable utilizar luminarias LED para todo el resto del tramo de la zona de transición y de la zona umbral, debido a que para la obtención de los elevados niveles de iluminación a alcanzar en dichos tramos para los regímenes diurnos soleados y nublados, obliga a la instalación de un desmesurado número de luminarias LED, lo que hasta cierto punto supone una solución disparatada en su coste.

5.5. Gestión del alumbrado exterior: *smart lighting*

5.5.1. Introducción

El alumbrado exterior ha sufrido una revolución en el último lustro, debido primordialmente a la generalización del uso del LED como fuente de luz. Esta nueva tecnología ha permitido diseñar luminarias con un desarrollo de funciones que hasta ahora eran inimaginables.

En concordancia con esta técnica LED y merced a ella, han ido evolucionando nuevos conceptos de alumbrado inteligentes que facilitan a las instalaciones de iluminación a que ofrezcan luz bajo demanda o a petición, gracias a interacciones de los usuarios de las mismas, dando lugar a instalaciones lo más eficientes posible.

Estas nuevas tecnología, asociadas a las instalaciones de alumbrado con sistemas LED, están conformadas por los sensores y las telegestiones que pueden funcionar de manera independiente o conjunta, en una red autónoma o interoperable, y con las que se puede llegar a ahorros en el consumo de energía eléctrica de hasta un 85%.

El principal impulso para este cambio se debe a varios factores entre los que se encuentran el rápido índice de urbanización en curso, los crecientes proble-

mas de movilidad, los costes energéticos y, más recientemente, la desaceleración económica global.

Estos factores afectan seriamente a los parámetros de crecimiento claves, tanto económicos, como sociales y medioambientales, constituyendo una de las principales preocupaciones que requieren una respuesta rápida mediante la reducción del gasto público, del que una parte importante se debe al coste de la energía eléctrica.

Los sistemas denominados de control inteligente de las instalaciones de alumbrado exterior se conectan fácilmente con las grandes redes de datos de las *Smart Cities*, merced a las normas de protocolo abierto actualmente existentes.

La flexibilidad de los sistemas de control inteligentes produce adaptaciones al crecimiento natural y progresivo de la ciudad donde están implantados. Estos sistemas pueden gestionarse por cualquier dispositivo con interconectividad inalámbrica, gracias al uso de los protocolos más comunes y abiertos.

Este tipo de soluciones que integran diferentes e innovadoras tecnologías en el ámbito del alumbrado exterior, como los LED, ofrecen al usuario de la ciudad bienestar, seguridad y sostenibilidad, pero sobre todo, ponen los recursos de la ciudad al servicio del ciudadano, lo cual es la finalidad esencial de una *Smart City*.

5.5.1.1. Fundamentos básicos para la mejora de la gestión

Si se considera el alumbrado exterior, existen cuatro motivos o fundamentos básicos por los que una ciudad que pretende ser *Smart*, debe adecuar su alumbrado público, que se exponen seguidamente:

1. Mejorar la gestión de las instalaciones de alumbrado.

Los desvíos y el cierre de carreteras durante las operaciones de mantenimiento suponen muchas molestias, además de pérdidas económicas y de tiempo, aumento de las distancias recorridas, dificultades para los residentes, emisiones evitables de gases de efecto invernadero.

Por todo ello resulta muy importante utilizar herramientas modernas para gestionar una instalación de alumbrado exterior del modo más eficiente posible.

Al limitar las operaciones de mantenimiento, las soluciones inteligentes de alumbrado reducen la factura de la mano de obra y la frecuencia de la perturbación del tráfico.

Las prestaciones de información de estos sistemas inteligentes permiten supervisar y valorar la instalación de iluminación de forma independiente, así como proporcionar la información necesaria para gestionar de manera más inteligente la red de alumbrado exterior durante toda su vida de servicio.

2. Producir un ahorro sustancial en el consumo de energía.

Las soluciones *Smart Lighting* integran la última tecnología de vanguardia en la materia.

La combinación de la instalación de LED con la implantación de sistemas de control, permite conseguir un ahorro energético de hasta el 85% en comparación con las instalaciones equipadas con fuentes de luz tradicionales.

Por medio de prestaciones inteligentes, como la *Constant Light Output* (compensación de la depreciación del rendimiento luminoso) *virtual Power Output* (que ajusta la potencia según las exigencias) y la *Selective Dynamic Lumen Output* (que se adapta a las necesidades reales), los sistemas de control *Owlet* evitan el exceso de luz y el despilfarro de energía.

3. Facilitar la luz bajo demanda.

Cuando la utilización de los espacios públicos es muy reducida o simplemente no se usan, mantener la iluminación a plena potencia implica un derroche de energía.

Los escenarios de regulación y las prestaciones de luz a demanda o petición, pueden adaptar el alumbrado y sus niveles de iluminación a las necesidades reales que precisan el lugar y la hora.

La nueva generación de alumbrado inteligente y de sistemas de regulación y control incluye sensores de detección de movimiento, que pueden funcionar tanto en puntos de iluminación individuales como en una red completa.

Cada nivel de luminaria puede ser configurado individualmente con varios parámetros, como una salida de luz mínima o máxima, tiempos de

demora de mínimo a máximo, así como una duración determinada de tiempo de encendido y apagado.

Además, la instalación de alumbrado exterior se puede controlar para adecuar los parámetros en un momento concreto, o en ocasiones especiales.

4. Confirmar la fiabilidad de las instalaciones.

Al controlar cada punto de luz, los sistemas avanzados de alumbrado exterior previenen las averías, detectando los problemas operativos que puedan presentarse (fuentes de luz rotas, temperatura del dispositivo, sobretensiones, etc.).

Si surgen problemas, el sistema cambia a un programa de fallos que asegura que la instalación de iluminación no se apague.

Los sistemas de alumbrado inteligente tienen un interfaz de gerencia de activos fácil de manejar, que permite una gestión operacional optimizada de los gastos y servicios.

5.5.2. Tipos de sensores

Junto con el gran avance que ha supuesto la tecnología LED en el alumbrado exterior, los sensores y/o detectores de localización de movimiento, velocidad, presencia, volumen de tráfico, etc., han marcado una importante alteración en el ámbito de la iluminación inteligente, ya que unidos al control remoto de las luminarias gracias a la telegestión, controlan, regulan y gobiernan las fuentes de luz de manera inteligente bajo las demandas de la instalación de alumbrado exterior.

Los tipos de sensores que se consideran en la iluminación exterior son los sensores de luz solar, de detección de movimiento y, por último, sensores de velocidad y dirección.

- Sensores de luz solar.

Las soluciones inteligentes pueden ser gestionadas por sensores fotoeléctricos que encienden las luminarias exactamente cuando la luz solar diurna resulta insuficiente (día nublado, anochecer, etc.), para proporcionar seguridad y bienestar en el espacio público.

- Sensores de detección de movimiento.

En áreas de actividad no lineal (plazas, aparcamientos, calles en zonas y urbanizaciones residenciales, lugares con poca actividad nocturna, etc.), el nivel de iluminación puede ser regulado hasta el mínimo la mayor parte del tiempo.

Empleando sensores de detección del movimiento pueden elevarse dichos niveles tan pronto como se descubra la presencia de un peatón o un vehículo lento en la zona.

Esta función de la luz a demanda aumenta la seguridad y el bienestar de los usuarios y, al mismo tiempo, ahorra energía lo cual no es baladí.

- Sensores de velocidad y dirección.

Comparado con los sensores de detección de movimiento, un sensor de velocidad y dirección funciona con un área de localización más amplia para clasificar el elemento en movimiento identificado, siguiendo su velocidad y dirección. Esta clasificación proporciona la respuesta adecuada de acuerdo con escenarios de iluminación predefinidos.

Las soluciones dotadas con sensores de velocidad y dirección funcionan en grandes áreas para garantizar la seguridad y el bienestar de manera más sostenible.

5.5.3. Sistemas de control

Dependiendo del modelo de control, existen tres tipos principales de sistemas de control, el *stand alone* o independiente, la red autónoma y la red interoperable.

A) *Stand alone* o independiente

Que puede resumirse en la siguiente expresión: una columna, un control. Cada luminaria se comporta independientemente debido a su propia unidad de control.

Este tipo de soluciones independientes son recomendables para la iluminación inteligente básica en áreas de actividad no lineal, como zonas peatonales, parques, aparcamientos, almacenes, etc.

En este sistema de control una célula fotoeléctrica integrada se sitúa en la parte superior de las luminarias, de forma que ésta se encienda o se apague según el nivel existente de luz natural.

La célula fotoeléctrica permite una instalación inmediata sin puesta en servicio. De este modo es muy fácil reajustarla en luminarias existentes.

En el sistema de control independiente la presencia de personas o vehículos es detectada por sensores de movimiento (infrarrojos/microondas).

Además de reducir el consumo de energía, esta prestación de luz a demanda o petición contribuye a la seguridad de una zona. Cada sensor se configura para evitar una detección innecesaria. Este tipo de solución independiente tiene las siguientes ventajas:

- Baja inversión y rápida amortización.
- Ahorro energético de hasta el 30%.
- Conformidad con los requisitos reguladores.
- Instalación sencilla.
- Configuración en fábrica.
- Costes de energía reducidos.

B) Red autónoma

Las luminarias disponen de un sistema de comunicación que las conecta a todas ellas entre sí, al objeto de gestionar la instalación de alumbrado exterior de manera autónoma.

Ofrece más flexibilidad con funciones independientes y un nivel más amplio de posibilidades en términos de interacción con los sensores o detectores.

El escenario de regulación autónoma puede reforzarse con funciones de detección de movimiento.

Para gestionar la instalación los sensores pueden estar centralizados o descentralizados. Cuando se detecta movimiento, el escenario de detección se cambia al contexto de regulación programada a fin de proporcionar seguridad y confort a los usuarios.

La red de telegestión *Owlet* resulta perfectamente adecuada para plazas, aparcamientos, parques, almacenes, instalaciones deportivas, carreteras, calles, etc.

Las ventajas del sistema de control mediante red autónoma son las siguientes:

- Rápida amortización.
- Uso optimizado del esquema de iluminación.
- Flexibilidad.
- Ahorro energético de hasta el 50%.
- Conformidad con los requisitos reguladores.
- Instalación sencilla.
- Programación fácil y sin herramientas.
- Costes de energía reducidos.
- Red fiable y ampliación fácil de la misma.
- Interfaz asequible de usar para programación.
- Inalámbrica in situ.

C) Red interoperable

Es un sistema de telegestión para supervisar, controlar, medir y gestionar una red de alumbrado. Es una combinación única de tecnologías orientadas al futuro y un interfaz de Web fácil de manejar.

Se proporcionan soluciones avanzadas para operar una instalación de alumbrado exterior de forma remota desde cualquier lugar del mundo.

La red de iluminación se gestiona a través de Internet mediante un navegador de web simple, de modo que puede controlarse cada punto de luz individual en cualquier momento. Mediante la comunicación bidireccional puede supervisarse el estado operativo, el consumo de energía y los posibles fallos.

Las ventajas que ofrece este sistema interoperable de control son:

- Control total de la instalación mediante la gestión de activos.
- Rápida amortización debido a un coste de propiedad total óptimo.
- Flexibilidad y compatibilidad.
- Ahorro energético de hasta un 85%.
- Conformidad con los requisitos reguladores.
- Tecnología punta (radiofrecuencia, GPS, web, etc.).
- Instalación rápida mediante configuración inalámbrica.
- Interfaz fácil de usar por el usuario, con reprogramaciones.
- Costes de energía reducidos.
- Gestión de activos, alarmas, datos e informes.
- Integración de terceros.
- Sencilla ampliación progresiva de la red.

Todos estos sistemas de control facilitan el uso de la nueva tecnología LED que ha transformado e innovado el mundo del alumbrado exterior, posibilitando la puesta en servicio de estos tres sistemas de control a disposición del usuario de la ciudad, lo que los convierte en una integración perfecta como *Smart Lighting* en una *Smart City*.

6.1. Instalación de iluminación por LED de la fuente de Cibeles

6.1.1. Introducción

La Fuente de Cibeles es la fuente más emblemática de la ciudad de Madrid (Figura 1) y constituye un activo e imagen de la capital en el exterior, siendo referencia en multitud de eventos y celebraciones, no solo deportivas sino por otros acontecimientos que se llevan a cabo en la Plaza de Cibeles, como han sido en los últimos años la celebración del Día del Cáncer, el Día de Irlanda (San Patricio), el Día de Holanda, Cabalgata de los Reyes Magos, Festejos de la Navidad, etc.



Figura 1. Fuente de Cibeles.
Fuente: empresa IMESAPI, S.A.

6.1.2. Diagnosis de la instalación – Instalación de Iluminación tradicional

La instalación de iluminación tradicional que tenía anteriormente la Fuente de Cibeles data del año 1.997, y se realizaba mediante proyectores equipados con 232 lámparas reflectoras incandescentes PAR-38 (120 W) y 52 lámparas reflectoras incandescentes PAR-56 (300 W) Figura 2.



Figura 2. Iluminación tradicional Cibeles.

Fuente: empresa IMESAPI, S.A.

Esta instalación se encontraba en condiciones aceptables, no obstante suponía un alto consumo energético anual, y actualmente no cumpliría con el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior.

Además, esta instalación de iluminación no podía proporcionar las funcionalidades de iluminación con cambios de color que en los últimos años se demandan de la fuente de Cibeles, por no contar con una instalación de esas características.

6.1.3. Cambio de instalación de iluminación tradicional a LED

A) Solución propuesta

Para solventar los inconvenientes mencionados anteriormente, se propuso la sustitución de la instalación de iluminación tradicional por instalación de iluminación con proyectores de acero inoxidable equipados con lámparas de diodos LED, es decir, la sustitución de los 232 proyectores PAR 38 por 232 proyectores LED de 20 W y los 52 proyectores PAR 56 por 52 proyectores LED de 40 W.

La ejecución de esta mejora, que se realizó durante el mes de octubre de 2013, ha comprendido las actuaciones siguientes:

- Desmontaje de los equipos e instalación eléctrica antigua que no era utilizada para la nueva instalación.
- Montaje de la nueva instalación: proyectores LED, fuentes de alimentación, controladores DMX, controlador informático, soportes, líneas eléctricas, cuadro eléctrico, etc., Figura 3.
- Pruebas de iluminación, configuración de los equipos, ajustes de programación y puesta en servicio.



Figura 3. Montaje de proyectores LED en el surtidor de la fuente.
Fuente: empresa IMESAPI, S.A.

B) Características técnicas

La nueva instalación de iluminación de la Fuente de Cibeles con lámparas LED, Figura 4 y 5, va equipada con controladores DMX que ofrecen una amplia gama de posibilidades mediante la utilización de programas informáticos. Los software de funcionamiento de estos programas, permiten crear programas y secuencias específicas de color y duración, realizando diferentes escenarios de cambio de luz totalmente personalizadas para los eventos que se programen en la fuente de Cibeles, Figura 6.

Antes de crear las secuencias o efectos es necesario configurar los grupos de proyectores de la instalación. Los programas de iluminación se crean en el PC y se graban en soportes informáticos que posteriormente se cargan en el controlador que se encuentra en la sala de máquinas de la fuente. En este caso, se ha ejecutado un control por sectores, mediante canales de control, siendo los siguientes:

- Anillo exterior que se divide en 54 sectores con canales DMX independientes (control 2 a 2 proyectores) y con control sobre 108 proyectores.
- Anillo interior que se divide en 54 sectores con canales DMX independientes (control 2 a 2 proyectores) y con control sobre 108 proyectores.
- Zona central, con 52 proyectores con tres ópticas distintas para iluminar la escultura central, con un único canal DMX.
- 8 proyectores en cada surtidor, cada uno con un canal DMX independiente.

Las características técnicas de los equipos instalados son las siguientes:

- Proyector Halospot RGB DMX 20 W, 24 V, orientable y de acero inoxidable.
- Proyector Kibeles, RGB DMX, 40 W, 24 V, orientable según dos ejes y de acero inoxidable.
- Ópticas de los proyectores de la zona central:
 - 10 proyectores sin lente.
 - 14 proyectores con lente concentradora (Marrow).
 - 28 proyectores con lente media (Médium).
- Alimentación DMX con fuente externa de 480 W.
- Sistema de control OnDMX, con 512 canales DMX de salida, Plug&Play y puerto USB 2.0.



Figura 4. Nueva Instalación de Iluminación con LED.
Fuente: Felipe Nombela.



Figura 5. Nueva Instalación de Iluminación con LED.
Fuente: Felipe Nombela.



Figura 6. Iluminación Día del Cáncer.

Fuente: Felipe Nombela.

C) Ventaja fundamental. Ahorro en consumo energético

La sustitución de la instalación eléctrica actual, por proyectores de acero inoxidable equipados con lámparas de diodos LED, supone un importante ahorro en el consumo eléctrico, con la consiguiente reducción de emisión de CO₂ a la atmósfera. Según las horas de funcionamiento al año de la instalación de iluminación de la fuente de Cibeles, el ahorro energético es el siguiente:

- **Horas de funcionamiento:** 2.160 h/año.
- **Ahorro en el consumo de energía teórico:**
 - **Consumo actual con lámparas PAR:**
 - $232 \text{ PAR } 38 \times 120 \text{ W} + 52 \text{ PAR } 56 \times 300 \text{ W} = 43.440 \text{ W}$
 - $43,44 \text{ kW} \times 2.160 \text{ h/año} = 93.830,4 \text{ kWh al año}$
 - **Consumo previsto con lámparas LED máximo:**
 - $232 \text{ proy LED} \times 20 \text{ W} + 52 \text{ proy. LED} \times 40 \text{ W} = 6.720 \text{ W}$

- $6,72 \text{ kW} \times 2.160 \text{ h/año} = 14.515,2 \text{ kWh al año}$
- **Diferencia anual: 36.720 W de potencia.**
- **Diferencia anual: 79.315,2 kWh al año.**
- **Reducción del 84,5%.**
- **Reducción de emisión de CO₂ a la atmósfera: 25.267,33 kg de CO₂ al año.**

✳ **Comprobación real del ahorro en el consumo de energía**

Para corroborar que realmente se produce ahorro en el consumo de energía con la nueva instalación de iluminación con LED de la fuente de Cibeles, se ha realizado comprobación de consumos durante un periodo en el que todavía funcionaba la instalación de iluminación tradicional y otro periodo pero de la misma duración en el que ya ha funcionado la nueva instalación de iluminación con LED.

Los resultados, durante un periodo de tres meses, reflejan una reducción en el consumo de aproximadamente el 80%.

D) Otros ahorros conseguidos en la fuente con la nueva instalación de iluminación

Como ya se ha mencionado anteriormente, en los últimos años, la Fuente de Cibeles se utiliza como emblema para diversos acontecimientos que se celebran en la Plaza, teniendo que ser iluminada del color que se requiera para el acto en cuestión. La instalación de iluminación tradicional de la fuente no podía proporcionar cambios de color, por tanto, era necesario colocar filtros de color en cada proyector, teniendo que previamente vaciar de agua la fuente, sin que fuera necesaria su limpieza. Por tanto, con la nueva instalación de iluminación con LED, al poder proporcionar cualquier color que se requiera para el evento determinado, se ha producido ahorros en el consumo de agua potable de la fuente.

E) Más ventajas generales de la nueva instalación de iluminación con LED

La sustitución de los proyectores PAR-38 (120 W) y PAR-56 (300 W) por proyectores de acero inoxidable equipados con lámparas de diodos led, además del

ahorro en el consumo de energía, supone otras importantes ventajas, que son las siguientes:

1. Mayor rendimiento, con una luminosidad por kW, 10 veces más eficiente que la lámpara PAR.
2. Ahorro en el consumo eléctrico.
3. Mayor vida útil, llegando a 50.000–60.000 horas, muy superior las 1800 horas de las PAR, evitándose reposiciones anuales de lámparas lo que supone un ahorro económico (Cibeles 2.160 horas/año)
4. Las fuentes luminosas Led emiten luz de diferentes colores y equipados con controladores DMX ofrecen una amplia gama de posibilidades mediante la utilización de programas informáticos que permiten realizar diferentes escenarios de cambio de luz.

6.2. Proyecto: Soto del Real

El municipio madrileño de Soto del Real fue pionero en apostar por la renovación completa de su alumbrado, implantando tecnología LED en las 3.227 luminarias instaladas en esta localidad.

Diversos objetivos promovieron este cambio: conseguir mejor calidad en la iluminación y reducir la factura energética instaurando soluciones más eficientes. Ambos objetivos se han alcanzado. Las luminarias de Schröder-Socelec: TECEO, CITEA LED y farol clásico LFH LED, han permitido una reducción del 82% del consumo energético en comparación con el anterior sistema de iluminación con fuentes de luz convencionales.

La nueva propuesta de iluminación planteada se adapta a la estética del municipio en sus diferentes aplicaciones, a la vez que mejora la uniformidad y los niveles de iluminación (cumpliendo con el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior).

Además de ofrecer un alumbrado de altísima calidad, el nuevo sistema de iluminación ha aumentado considerablemente el confort y la seguridad en toda la localidad, creando un ambiente nocturno cálido y sociable que refuerza la identidad de la ciudad.



Figura 7. Imágenes del proyecto.

6.3. Proyecto: Sabadell

Sabadell siempre se ha caracterizado por ser una ciudad innovadora que afronta siempre nuevos proyectos, entre ellos, el convertirse en una *Smart-City*. Como parte de este proyecto, se ha renovado el sistema de alumbrado, instalando más de 7.500 luminarias con tecnología LED. Cabe destacar que ha sido el primer municipio de más de 200.000 habitantes, que ha tomado esta decisión, logrando un alumbrado que emociona, ofrece mayor seguridad y bienestar a sus habitantes durante la noche, consiguiendo además importantes ahorros energéticos.

En este proyecto, se han instalado diferentes luminarias de Schröder-Socelec por ofrecer una solución global y eficiente, que proporciona un resultado fotométrico óptimo en las diferentes aplicaciones del entorno urbano: alumbrado de calles, carreteras, zonas residenciales, zonas peatonales, plazas, jardines, estaciones de autobuses e incluso, la iluminación de túneles urbanos. Los resultados obtenidos, avalan los cálculos fotométricos que previamente se realizaron, adecuando el alumbrado al Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior.



Figura 8. Imágenes del proyecto.

Las luminarias instaladas: TECEO 1-2, CITEA LED, VALENTINO, KIO LED y los proyectores NEOS 2-3 LENSOFLEX, se integran a la perfección en el ambiente urbano, combinando diseño y eficiencia. La nueva tecnología LED implantada, junto con un sistema de regulación horario en base a las necesidades de cada zona, representan ahorros muy considerables, superiores al 50% respecto a las tecnologías previas, suponiendo un ahorro del 30% de la factura global del alumbrado exterior.



Figura 9. Imágenes del proyecto.



Fundación de la Energía
de la Comunidad de Madrid
www.fenercom.com



ANFALUM
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE
FABRICANTES DE ILUMINACIÓN

