

GUÍAS

Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación

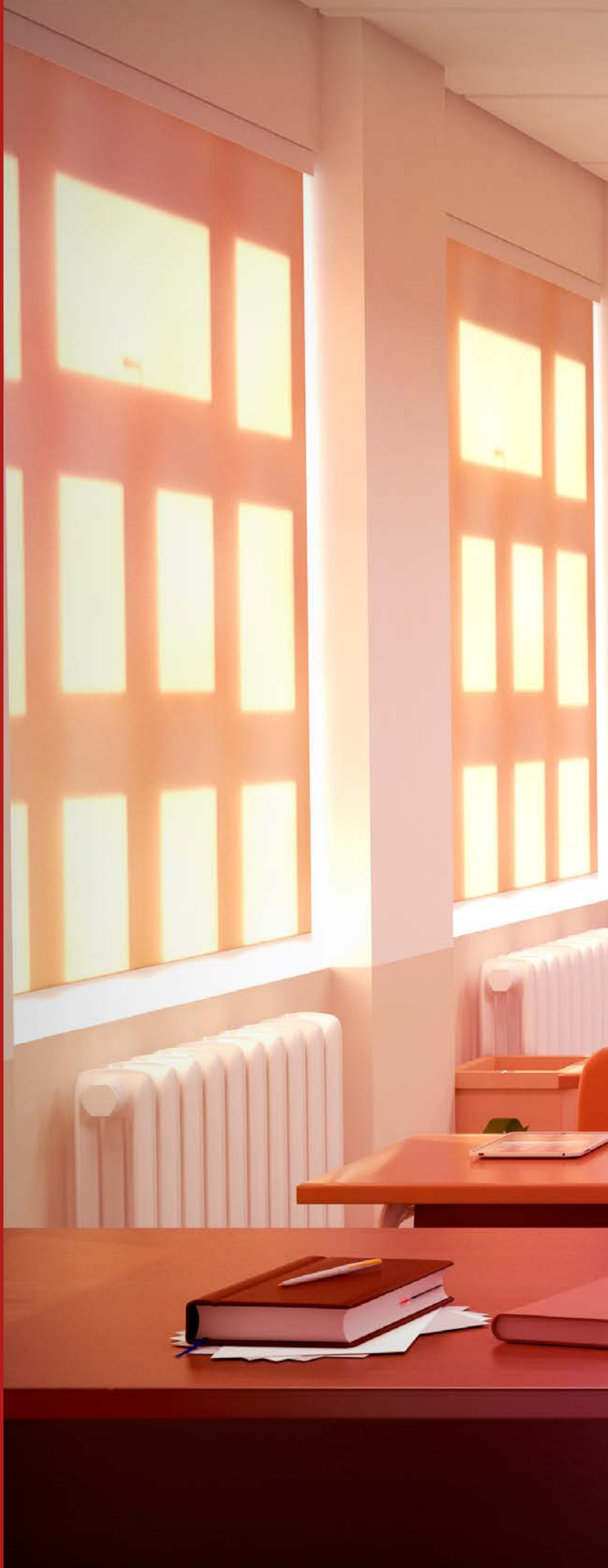
CENTROS DOCENTES



www.idae.es



www.ceisp.com





Comité Español
de Iluminación



IDAE

Instituto para la Diversificación
y Ahorro de la Energía

GUÍA TÉCNICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN

CENTROS DOCENTES



GUIA IDAE 017: *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros Docentes*
Madrid, Junio 2020
NIPO: 665-20-019-1

Esta guía, que es una actualización de la publicada en el año 2001, tiene como objeto establecer una serie de pautas y recomendaciones en la selección de los sistemas de iluminación, luminarias, lámparas, equipos y sistemas de control, así como los criterios básicos de diseño y redacción de las especificaciones técnicas de las instalaciones de iluminación en centros docentes.

Esta publicación es fruto del convenio de colaboración firmado entre el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Comité Español de la Iluminación (CEI) para la redacción de cuatro publicaciones, al objeto de contribuir a la difusión de técnicas y componentes para la mejora de la eficiencia energética en las instalaciones de iluminación, proponiendo para ello, a nuestro más justo criterio, soluciones avanzadas, de los mercados nacional e internacional, y mostrando aplicaciones relevantes a la actividad a la que cada publicación se dedica.

IDAE
Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía

Autores: IDAE y CEI
Coordinación y revisión: Departamento de Servicios y Agricultura del IDAE
Edita: IDAE
Diseño e ilustraciones: Departamento de Comunicación del IDAE
Maquetación: Composiciones RALI S.A.

ÍNDICE

1. Introducción.....	7
2. Objeto.....	11
3. Campo de aplicación.....	13
4. Clasificación de actividades	15
4.1. Actividad visual y espacios	15
4.2. Espacios de representación	26
4.3. Actividades especiales	26
4.4. Valoración del tiempo anual de actividad	27
5. Criterios de calidad y diseño.....	29
5.1. Iluminancia, iluminancia media, iluminancia horizontal e iluminancia vertical	29
5.2. Uniformidad de iluminancias	31
5.3. Control del deslumbramiento	33
5.4. Modelado.....	39
5.5. Color	40
5.6. Ergonomía del puesto de trabajo.....	42
5.7. El alumbrado en relación con el deslumbramiento, la seguridad y el confort	48
6. Sistemas de iluminación	51
6.1. Alumbrado directo frente al indirecto	51
6.2. Sistemas de alumbrado. Alumbrado normal y de emergencia	54
6.3. Tipos de fuentes luminosas recomendadas	56
6.4. Fuentes de luz	58
6.5. Equipos eléctricos auxiliares.....	88
6.6. Tipos de equipos auxiliares recomendados.....	99
6.7. Tipos de luminarias recomendadas.....	100
6.8. Tipos de sistemas de regulación y control	107
6.9. Tratamiento de la iluminación decorativa.....	107

7. Parámetros de iluminación recomendados	109
8. Eficiencia de los sistemas de iluminación	113
8.1. Eficacia de lámparas recomendada	114
8.2. Rendimiento de luminarias recomendado	114
8.3. Consumo propio de equipos recomendado	116
8.4. Factores de reflexión recomendados	116
8.5. Coeficiente de utilización mínimo	116
9. Criterios de eficiencia energética en la instalación, explotación, mantenimiento, control y gestión energéticos.....	117
9.1. Maniobras y selectividad de la instalación	117
9.2. Sistemas de regulación y control	118
9.3. Mantenimiento	125
9.4. Gestor energético	132
10. Índice de eficiencia energética	135
10.1. Impacto de la iluminación en el consumo energético global	135
10.2. Importancia del ahorro energético en iluminación	137
10.3. Eficiencia energética de una instalación de iluminación	139
10.4. Ciclo de vida de la instalación de iluminación	141
10.5. CTE – HE 3: exigencias energéticas en una instalación de iluminación	141
10.6. Caracterización y cuantificación de las exigencias.....	142
10.7. Verificación y justificación del cumplimiento de la exigencia	147
10.8. Cálculos.....	148
10.9. Mantenimiento y conservación	149
10.10. Caso práctico: centro de educación primaria	150
11. Procedimiento para la realización de un proyecto energéticamente eficiente	153
11.1. Procedimiento para proyectos nuevos	153
11.2. Procedimiento para proyectos existentes	160
12. Casos prácticos de proyectos de rehabilitación	163
13. Normativa y recomendaciones	177
14. Glosario de definiciones técnicas	181
15. Bibliografía y webs de interés	187

1 Introducción



Un centro docente es un conjunto de dependencias dedicadas a la enseñanza en el más amplio de los sentidos donde desarrollan sus actividades niños, jóvenes y adultos.

Las instalaciones de iluminación de las distintas dependencias que componen un centro docente deben estar dotadas de sistemas que proporcionen un entorno visual confortable y adecuado para llevar a cabo las diversas actividades que se van a desarrollar en dichas dependencias. Si el diseño, la instalación y el mantenimiento de los elementos que intervienen en la iluminación son de calidad, obtendremos los resultados de confort visual requeridos, garantizándose la máxima eficiencia energética, y, por tanto, los mínimos costes de explotación.

Una buena iluminación proporcionará a estudiantes y profesores un ambiente de trabajo agradable y estimulante, así como un confort visual que les permitirá desempeñar su actividad sin sobreesfuerzos visuales, independientemente de las condiciones visuales de cada uno.

En una instalación de alumbrado de un local destinado a la docencia, podemos encontrar diversos problemas:

- ✓ Luz natural que entra por los ventanales y que, bien por deslumbramiento, bien por pérdida de contraste sobre la tarea visual, dificulta la correcta visualización de los planos de trabajo visual existentes en el aula (pizarras convencionales o electrónicas, folios de apuntes o, incluso, el propio docente).
- ✓ Luminarias mal ubicadas o deficientemente apantalladas, que permiten la visión directa de las lámparas, produciendo deslumbramiento.

- ✓ Lámparas con temperatura de color y potencia inadecuadas para la instalación que, tanto por defecto como por exceso, pueden dificultar la correcta tarea de alumnado y profesorado.
- ✓ Una deficiente distribución de los emisores de luz, tanto natural como artificial, que hacen que la propia sombra de la mano o del cuerpo del alumno distorsione la realización de la tarea visual. En este sentido, se recomienda que aquellas aulas que tengan una importante presencia de ventanales laterales sean orientadas (localización de la pizarra, orientación de los pupitres, etc.) de manera que la luz natural incida desde la izquierda del alumno.

Estas y otras causas dan lugar a una mala iluminación, que penaliza a los alumnos, especialmente a aquellos con problemas de visión o de concentración, lo que puede dar lugar a un aumento del índice de fracaso escolar.

La metodología docente tradicional, en la que el profesor escribe o dibuja sobre una pizarra y explica verbalmente a los alumnos el contenido del texto o gráfico, requiere adaptar una serie de soluciones en la iluminación para que permita una perfecta visión entre ambos, como son las siguientes:

- ✓ Los niveles de iluminación existentes en los espacios ocupados por alumnos y profesor deben guardar relaciones que permitan un correcto desempeño de la tarea visual, evitando en lo posible diferencias significativas a favor de unos u otro.
- ✓ Aprovechamiento de la luz proveniente de las ventanas y/o lucernarios siempre que no redunde en deslumbramiento o pérdidas de contraste.
- ✓ Adecuada uniformidad en todos los planos de trabajo.
- ✓ Iluminación específica para la pizarra que evite brillos y deslumbramientos.
- ✓ El color de la luz emitida por las fuentes de luz tiene también una gran importancia en el comportamiento de los alumnos y en el rendimiento: las luminarias que proporcionan luz fría (elevada temperatura de color) favorecen la concentración, siendo recomendables en las aulas, mientras que las luces cálidas (baja temperatura de color) proporcionan ambientes más sociables y relajados, siendo recomendables en otras estancias de los centros docentes.

Por tanto, el abordaje del diseño y el mantenimiento de una instalación de alumbrado desde una perspectiva integradora y multidisciplinar, considerando todos los elementos que puedan influir en el correcto desempeño de las actividades, tales como el color y la textura de las superficies fijas o móviles, los elementos auxiliares, el mobiliario, los elementos de control de la luz natural y artificial, etc., posibilitará alcanzar un máximo rendimiento académico.

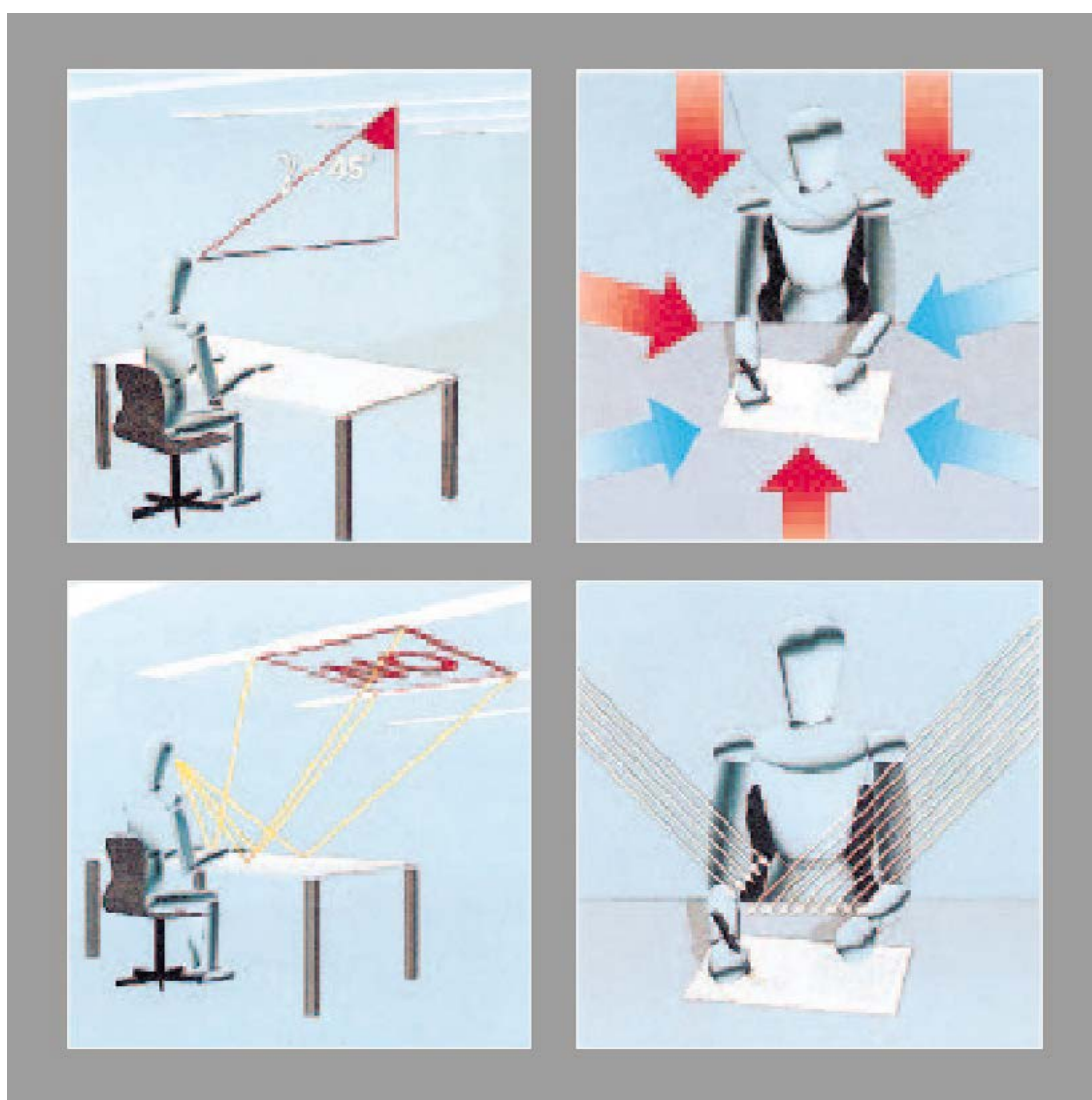
Desde el punto de vista energético y medioambiental, podemos destacar que, aunque el peso específico de la iluminación respecto al consumo total de energía de un centro docente varía entre un 20% y un 90%, según la zona geográfica donde esté ubicado, el consumo en iluminación de este sector, y, por consiguiente, su impacto sobre el medio ambiente, es muy considerable.

Pero lo más destacado del sector de la iluminación en centros docentes es que se estima que tiene un importante potencial de ahorro, lo que supondría reducir las emisiones anuales de CO₂ considerablemente.

Incluso otras instalaciones con un alto consumo energético en centros educativos, como, por ejemplo, la climatización en verano, pueden optimizar su funcionamiento gracias a una adecuada

instalación de iluminación. A modo de ejemplo, es un hecho probado que el paso de fuentes de luz que emiten una gran cantidad de calor a otras cuya emisión térmica es casi nula permite considerables ahorros eléctricos en aire acondicionado.

Por tanto, es muy importante la utilización de iluminación eficiente, mediante luminarias de alto rendimiento, que incorporen equipos de bajo consumo y fuentes de luz de alta relación lumen/vatio, unidas al uso de sistemas de regulación y control adecuados a las necesidades del local a iluminar, lo que permitirá tener unos buenos niveles de confort sin sacrificar la eficiencia energética.



Iluminación eficiente, mediante luminarias de alto rendimiento, que incorporen equipos de bajo consumo.

2 Objeto

El objeto de esta guía técnica es establecer una serie de pautas y recomendaciones para los técnicos responsables del proyecto y/o mantenimiento de las instalaciones de iluminación de centros docentes.

Para ello se pretende establecer un procedimiento a seguir por el técnico en las fases de diseño, cálculo, selección de equipos (fuentes de luz, luminarias, equipos auxiliares de encendido, sistemas de regulación y control, etc.) y estudio energético y económico de alternativas, así como para los aspectos de mantenimiento y explotación de la instalación desde el punto de vista de la eficiencia y el ahorro energético con la finalidad de:

- ✓ Cumplir con las recomendaciones de calidad y confort visual.
- ✓ Crear ambientes agradables y confortables para los usuarios de las instalaciones.
- ✓ Racionalizar el uso de la energía con instalaciones de la mayor eficiencia energética posible.

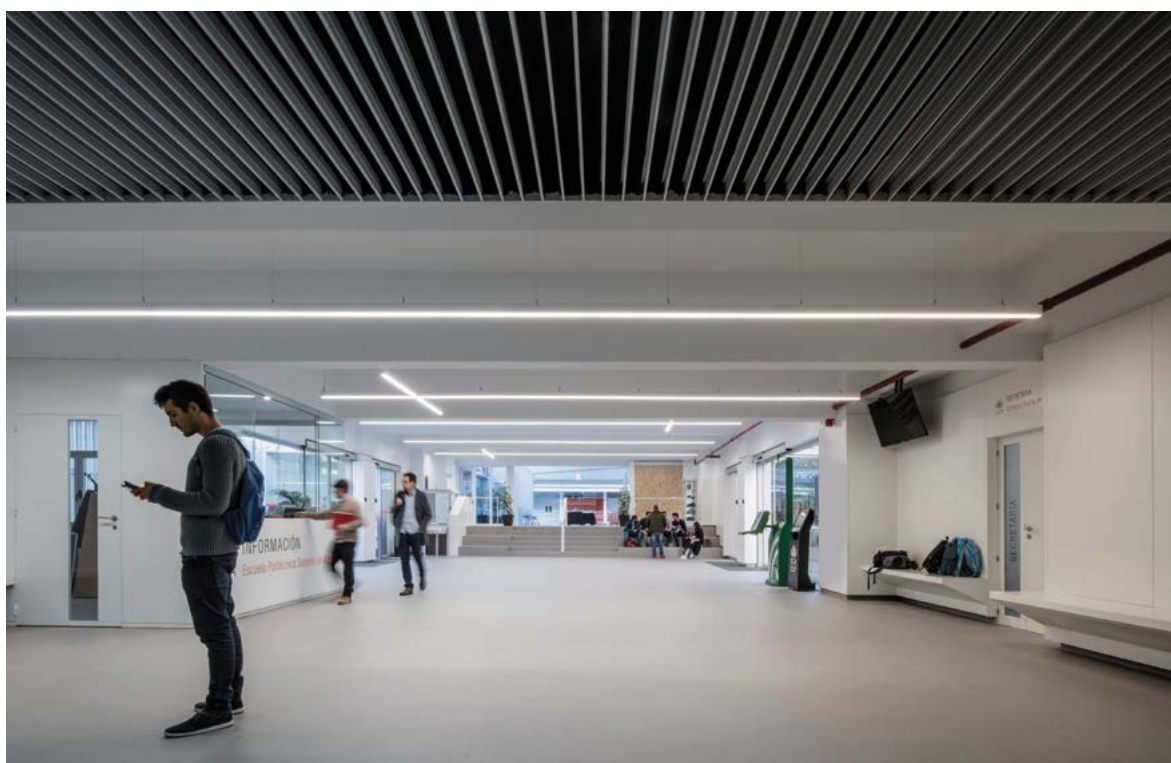


Imagen cedida por Carandini.

3 Campo de aplicación

El ámbito de esta guía técnica lo constituyen todos aquellos locales, edificios y conjuntos de edificios en los que se llevan a cabo actividades de educación y formación de diversa índole. Estos edificios pueden ser:

- ✓ Colegios.
- ✓ Institutos de enseñanza secundaria.
- ✓ Centros de formación profesional.
- ✓ Facultades y escuelas universitarias.
- ✓ Academias.
- ✓ Aulas educativas.

Además de las aulas y laboratorios directamente relacionados con la docencia teórica y práctica, en un centro docente existen otros espacios destinados a actividades auxiliares estrechamente relacionadas con la enseñanza. Estos espacios pueden ser:

- ✓ Aulas para actividades especiales.
- ✓ Talleres.
- ✓ Bibliotecas, salas de lectura y salas de estudio.
- ✓ Gimnasios y canchas deportivas.
- ✓ Piscinas.
- ✓ Duchas y aseos.
- ✓ Vestíbulos, pasillos y escaleras.
- ✓ Oficinas de administración.
- ✓ Despachos.
- ✓ Comedores y cocinas.
- ✓ Salones de actos, capillas, etc.
- ✓ Exteriores (accesos, aparcamiento, etc.).



4 Clasificación de actividades

Al abordar el diseño del alumbrado de un centro docente, observamos la existencia de distintas tareas que requieren de un tratamiento específico. Por tanto, al considerar las distintas dependencias en las que desarrollan sus actividades alumnos, profesores y personal auxiliar se tendrán en cuenta requisitos lumínicos específicos, pero sin renunciar a una cierta coherencia, ya que todos los miembros de la comunidad educativa pueden pasar de unas a otras en determinados momentos.

La luz natural será un elemento importante, pero siempre en condiciones que no impliquen deslumbramientos o pérdidas de contraste, pues en ese caso los inconvenientes pueden superar a las ventajas.



4.1. Actividad visual y espacios

En los centros docentes se pueden distinguir, genéricamente, los siguientes grupos de dependencias según las tareas visuales para las que estén diseñadas.

1) Espacios con actividad visual elevada:

Aulas de enseñanza práctica (dibujo, pintura, escultura, trabajos manuales, informática)

Los locales destinados a estas actividades deben ser iluminados de forma distinta a las aulas de enseñanza teórica, donde la uniformidad del nivel de iluminación debe predominar sobre otras propiedades.

En general, la luz del día proveniente del exterior es una aportación valiosa siempre que esté adecuadamente distribuida. Más allá del evidente ahorro energético, la principal razón reside en su excelente reproducción cromática, ya que, en estas aulas, la fiel reproducción del color es muy importante. Por esta razón, las fuentes de luz utilizadas deben tener una buena reproducción cromática, siendo su índice de rendimiento del color (Ra), igual o superior a 80.

Puede utilizarse iluminación suplementaria, con fuentes de luz direccionales para tareas de exposición y modelado, con el fin de crear, si así se desea, zonas con niveles de iluminación más intensos.

Es recomendable la utilización de sistemas de regulación de la luz emitida por las luminarias.

Mención aparte merecen las aulas destinadas a impartir clases de informática, por la problemática de los brillos y reflejos producidos sobre las pantallas de los ordenadores por las fuentes de luz artificial y los ventanales.

Laboratorios

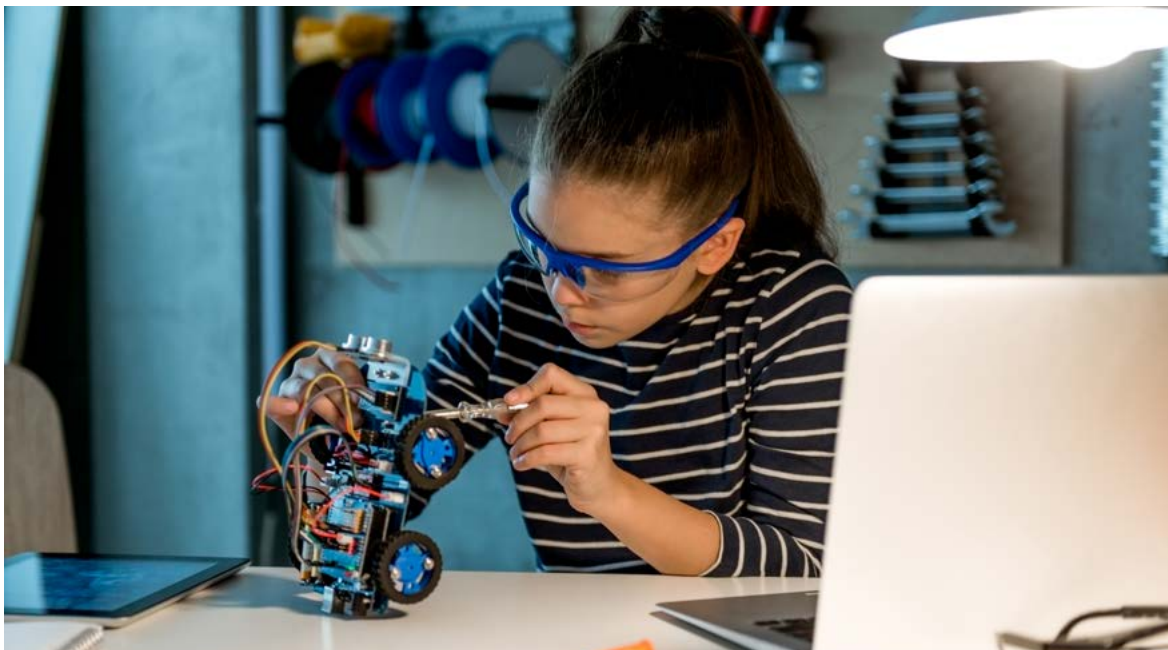
Es aconsejable la utilización de luz artificial para asegurar los niveles y la uniformidad adecuados en todo momento, lo cual redundará en la seguridad de alumnos y profesores. No en vano, las actividades desarrolladas en un amplio número de laboratorios (óptica, luminotecnia, espectroscopia, etc.) requieren oscuridad o penumbra. Por tanto, las ventanas o lucernarios, si los hay (muchos laboratorios están situados en sótanos), deben estar provistos de cortinaje opaco que permita trabajar únicamente con luz artificial cuando ello sea necesario.

En todos ellos, Ra deberá ser igual o superior a 80.



Talleres

En las áreas destinadas a talleres se tendrán en cuenta las consideraciones expuestas para aulas de enseñanza práctica. No obstante, en instalaciones con fuentes de luz fluorescentes será necesaria la utilización de balastos electrónicos, ya que, de otro modo, el parpadeo del fluorescente a la frecuencia de la red puede dar lugar al denominado efecto estroboscópico, por el que los objetos cuya velocidad de rotación coincida con la del parpadeo se perciban en reposo. Esta consideración ha de tenerse especialmente en cuenta cuando los talleres contengan tornos u otras máquinas giratorias.



Bibliotecas

Las bibliotecas de los centros educativos pueden abarcar desde una simple aula de lectura con estanterías en alguna de sus paredes hasta las más complejas instalaciones de facultades y escuelas técnicas.

Algunas bibliotecas incluyen un área de lectura, donde se requiere un nivel de iluminación uniforme, adecuado para la lectura de letra impresa, junto a áreas de estanterías para almacenamiento de libros, las cuales requieren una iluminación especial.

Si existen ventanas, las estanterías que contienen los volúmenes deben formar ángulo recto con estas.

Si el alumbrado de las estanterías es artificial, este deberá proporcionar una adecuada iluminación vertical sobre aquellas.

En las bibliotecas que se encuentren ubicadas en salas de especial valor histórico o artístico, que son frecuentes en los centros universitarios, la iluminación habrá de ser acorde con el entorno, tratando de no desvirtuar el valor estético de la sala.



2) Espacios con actividad visual normal:

En este apartado dedicaremos especial atención al alumbrado de aulas, asimilando este al de otros locales como seminarios, salas de profesores y oficinas administrativas. Dedicaremos unas líneas al alumbrado de cocinas y gimnasios, que, por las características de las tareas realizadas en ellos, requiere un trato especial.

Aulas

Dentro del alumbrado de los centros docentes, el de las aulas es el más común y, a la vez, el que más requiere la atención del proyectista, ya que es en ellas donde el alumnado pasa la práctica totalidad de su tiempo. En este sentido, la irrupción masiva de la proyección de diapositivas informatizadas supone un reto para el proyectista, ya que ahora la tarea visual del alumnado no se centra únicamente en el texto o los dibujos de la pizarra, sino que nos encontramos con clases en las que unos contenidos se explican sobre pizarra y otros, sobre pantallas para diapositivas, cuando no se produce incluso el uso simultáneo de ambas herramientas docentes. Adicionalmente, el uso creciente de las pizarras electrónicas se erige como otro factor a tener en cuenta.

Por tanto, la iluminación de las aulas debe posibilitar la realización de diversas tareas visuales que van desde la toma de notas hasta la realización de exámenes, utilización de calculadoras, visualización de pantallas, utilización de ordenadores portátiles o tabletas, etc.



En un aula estándar, cuya superficie puede oscilar entre 60 y 80 m² (pueden existir otras aulas de dimensiones distintas, pero el criterio de iluminación será el mismo que el utilizado para la estándar), es habitual que una de las paredes esté ocupada por ventanales. Algunas aulas pueden tener también lucernarios, por lo que la luz natural siempre estará presente.

En primer lugar, analizaremos la penetración de la luz natural en el aula. Si esta es muy profunda, consideraremos el aumentar la reflectancia del fondo. Posteriormente consideraremos la instalación de las luminarias en el techo.

Una vez que la iluminancia, o nivel de iluminación, haya sido determinada, otros factores como el deslumbramiento, sombras y colores deben ser considerados en la elección de fuentes de luz y luminarias.

Las luminarias a instalar dependen de la altura y tipo del techo. En techos altos, pueden ser utilizadas luminarias suspendidas (directas/indirectas) que emitan luz hacia el techo y hacia los planos de trabajo. Una iluminación indirecta bien diseñada evita las sombras. No obstante, la mayor parte de las aulas disponen de techos bajos, que requieren luminarias adosadas o empotradas en falsos techos.

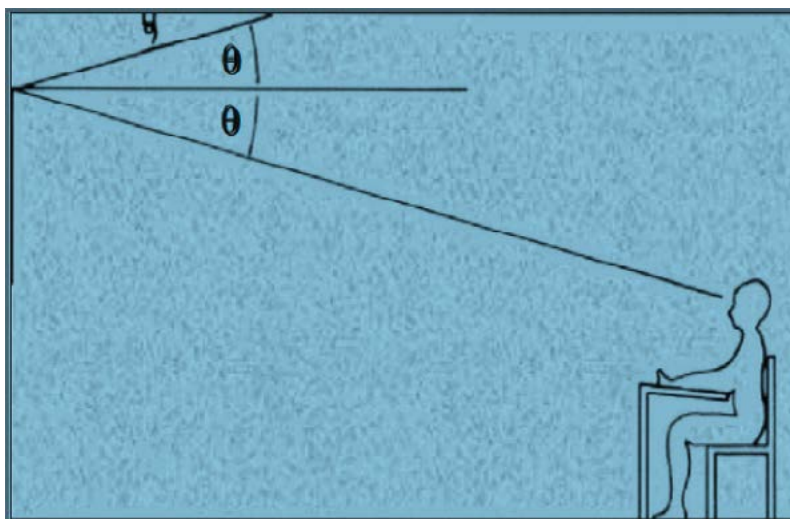
Las luminarias de un aula pueden ser colocadas en varias posiciones. Sin embargo, se debe tener especial cuidado en la orientación de estas, de acuerdo con los siguientes factores:

- ✓ Posición y orientación de los pupitres y mesas de trabajo.
- ✓ Situación y proximidad de las ventanas.
- ✓ Altura de los techos.
- ✓ Características fotométricas de las luminarias.
- ✓ Flexibilidad del espacio para otras funciones.
- ✓ Situación de la pantalla de diapositivas y/o la pizarra.

La pizarra no debe ser brillante ni necesariamente negra. Su iluminación debe reunir dos condicionantes:

- No debe producir reflejos sobre su superficie.
- Se debe obtener una adecuada iluminación en la parte más baja de esta, asegurando que la relación entre las iluminancias mínima y media (uniformidad media) existente en el tablero sea superior a 1/3.

Si las luminarias son colocadas muy próximas a la pizarra, la luz puede no ser suficiente en su parte inferior. Si están más lejos, los brillos serán observados desde los pupitres de los alumnos, es decir, la luminaria se situará a una distancia tal que los ángulos θ de incidencia y reflexión hacia el alumnado, según se define en la figura, coincidan.



Se deben considerar también los brillos producidos por la luz recibida de otras luminarias o desde las ventanas existentes en la sala.

Mención aparte merecen las pantallas para la proyección de diapositivas. Se trata de elementos sobre los que se forma la imagen proyectada por un cañón o proyector y que la reflejan de manera difusa hacia el alumnado. Por tanto, cuando estén en uso, se evitará la incidencia de luz proveniente del exterior o de la propia instalación del aula para asegurar una buena visualización de sus contenidos. En este sentido, las denominadas «pizarras electrónicas» también son elementos con luminancia propia, por lo que habrán de evitarse reflejos e incidencia directa de luz y asegurar que se mantiene el contraste adecuado, en general 3/1 (ver tabla 5.2), para que el alumnado pueda llevar a cabo su tarea visual con efectividad.

Cocinas

Si la luz natural proveniente del exterior no es suficiente, las cocinas deben dotarse de un alumbrado artificial adecuado a la tarea a realizar, con luminarias de características especiales, dotadas de un elevado grado IP y con elementos protectores que impidan la caída de cristales por la rotura de alguna fuente de luz.

Las fuentes de luz habitualmente utilizadas son los tubos fluorescentes.

Gimnasios

Los gimnasios y espacios destinados a la educación física ocupan generalmente las salas más amplias del edificio. Por ello pueden ser empleados como salas polivalentes dedicadas a actividades no relacionadas con la educación física, tales como reuniones generales, auditorio, representaciones dramáticas o musicales, graduaciones, actividades extraescolares o incluso como salón de baile en el caso de centros de enseñanza media y universitaria.



El alumbrado debe diseñarse de acuerdo con estas actividades y ser fácilmente adaptable a sus requerimientos luminosos. Un buen diseño del alumbrado de un gimnasio debe prever la creación de varios circuitos para reducir o ampliar los requisitos de iluminación cuando sea necesario. Dada la presencia de espejos habitualmente, debe ser tenido esto en cuenta en el diseño, ajustando los valores de reflexión de paredes a las circunstancias reales.

Asimismo, la utilización de luminarias portátiles o suplementarias debe ser tomada en cuenta para casos especiales.

Las lámparas habitualmente utilizadas, adecuándolas a la altura de los techos de estas salas, son las de descarga y los tubos fluorescentes, con una creciente presencia del LED.

Las luminarias utilizadas en los gimnasios deben llevar rejillas protectoras, si no existe una red a tal fin que ocupe todo el techo de la sala.

Piscinas

Si el centro docente alberga piscina, para la iluminación de esta se debe intentar aprovechar al máximo la luz natural a través de grandes superficies acristaladas situadas en las paredes o en el techo, teniendo especial cuidado con los brillos y reflexiones producidos sobre el agua, que pueden dificultar la vigilancia de los monitores sobre las personas que se encuentran en el interior de esta.

El alumbrado artificial se realizará situando las luminarias fuera de la vertical del vaso de la piscina, para facilitar el mantenimiento y evitar riesgos de tipo eléctrico ante un eventual desprendimiento.

Las luminarias empleadas deben poseer un alto grado IP, mínimo IP65, y una gran seguridad contra la rotura de vidrios y lámparas, habida cuenta de la falta de protección contra cortes y heridas de los usuarios de la piscina.



Algunas piscinas pueden incorporar, como elemento fundamentalmente decorativo, iluminación propia a través de las paredes del vaso, utilizando para ello luminarias especiales.

3) Espacios con actividad visual baja:

- ✓ Vestíbulos.
- ✓ Pasillos y escaleras.
- ✓ Comedores y cafeterías.
- ✓ Aseos y duchas.
- ✓ Almacenes.
- ✓ Zonas de espera y paso.
- ✓ Zonas exteriores.

En los espacios de actividad visual baja, los requerimientos del alumbrado no son tan exigentes como en las aulas u otros lugares donde se desarrollan actividades visuales altas o normales.

Las lámparas habitualmente utilizadas son los tubos fluorescentes con una creciente presencia del LED.

Vestíbulos, pasillos y escaleras

Los vestíbulos y escaleras no deben iluminarse como meros lugares de paso, ya que pueden considerarse como espacios de ampliación de las aulas, y, en algunas ocasiones, sobre todo en las zonas próximas a la puerta de acceso, como continuación de estas.

Donde los pasillos sean utilizados únicamente como lugares de paso o movimiento de personas, se deberá reforzar la iluminación en sus intersecciones, para seguridad y guiado.

Es muy usual que las paredes de los pasillos sean utilizadas para la colocación de tabloneros de anuncios, fotografías, trabajos de los alumnos, obras de arte, etc. En ese caso, los lugares ocupados por estos deberán tener una iluminación especial.

En el alumbrado de escaleras se debe evitar que los peldaños produzcan sombra en el inmediato inferior, por lo que la iluminación deberá realizarse en los descansillos superior e inferior, y si los tramos fuesen largos, también a lo largo de estos.

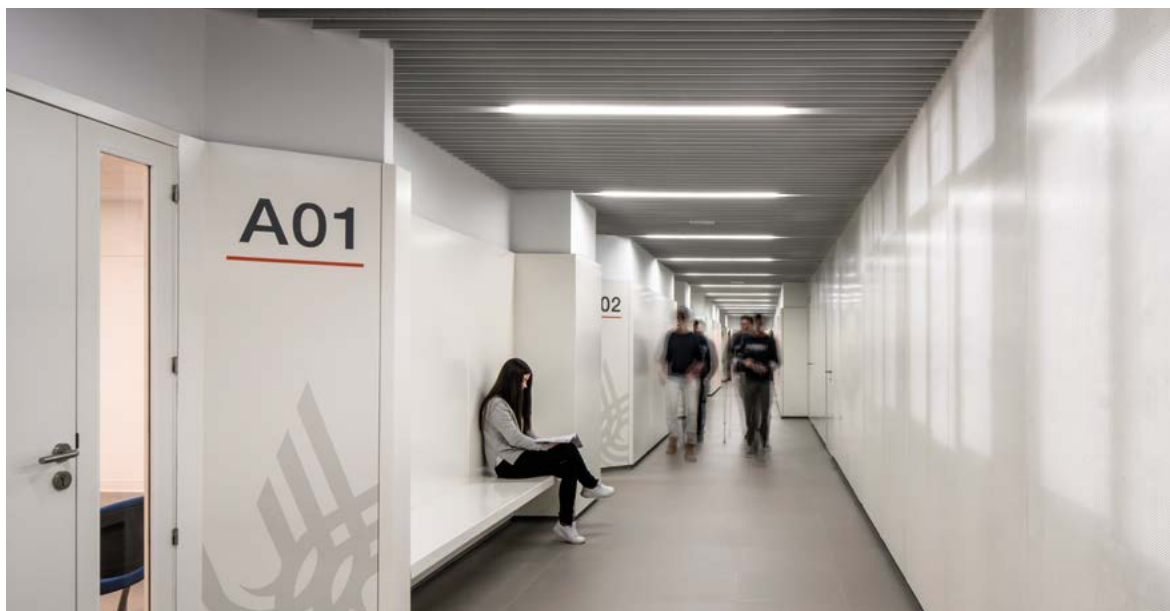


Imagen cedida por Carandini.

Comedores

En el caso de las salas destinadas a comedores, como en los gimnasios, el alumbrado debe ser previsto para las múltiples tareas que, además de la habitual, se realizan en ellas (juegos, reuniones, etc.).

Cuando los alumnos no tienen libertad de movimientos, se ha de considerar la protección contra el deslumbramiento y radiación directa del sol.

Con el objeto de que se perciba una sensación de limpieza y los alimentos presenten un buen aspecto, serán necesarias aceptables reproducciones cromáticas, superiores a 80, y temperaturas de color no excesivamente bajas, en torno a 4.000 K.



Duchas y aseos

En estas instalaciones, el alumbrado debe ser individual por cada cubículo o bien compartido con luminarias colocadas de forma que puedan iluminar a varios de ellos sin producir sombras acusadas.

Dado el ambiente de gran humedad reinante, son recomendables las luminarias estancas (mínimo IP66) con fuentes de luz LED, lámparas fluorescentes tubular o compacta y la utilización de interruptores temporizados o utilización de detectores de presencia para el control de encendido.

Almacenes

El tiempo de permanencia en estas salas suele ser corto, pero no por ello debemos dejar de dotarlos con la iluminación adecuada a las tareas a realizar, que, en algunos casos, como en los almacenes de material escolar y archivos, requieren niveles similares a los de las aulas.

No es el caso de otros almacenes, como, por ejemplo, los destinados a material deportivo, artículos de limpieza, etc., donde los requerimientos de luminancia son inferiores.

Exteriores

En muchos centros docentes, la actividad continúa tras la puesta del sol, y es por ello importante tener en consideración varios aspectos relacionados con el alumbrado de exteriores.

Las fachadas de los edificios, sus alrededores y las áreas para actividades deportivas exteriores deben ser iluminados para la realización de la actividad y por seguridad general, así como por la protección contra el vandalismo y robo, todo ello cumpliendo siempre con los requisitos de las correspondientes normativas sobre iluminación exterior y protección del cielo nocturno.

El alumbrado exterior y el de seguridad están tan próximos el uno al otro que deben ser considerados conjuntamente. A menudo la misma instalación puede servir para los dos propósitos.

El alumbrado exterior de los centros docentes debe facilitar la aproximación y entrada en estos durante las horas nocturnas, tanto a pie como en cualquier vehículo, facilitar la seguridad del edificio y de su contenido y realzar la arquitectura de este.

Paseos, caminos, calles interiores y aparcamientos, muy frecuentes en campus universitarios, deben ser iluminados durante las horas nocturnas de forma convencional. Las entradas y salidas del edificio deben ser más intensamente iluminadas con fuentes de luz eficientes como el LED, el sodio de alta presión (SAP) o los halogenuros metálicos.

El alumbrado de las fachadas del edificio por medio de proyectores alejados de este es una excelente estrategia para conseguir el alumbrado de seguridad en los siguientes sentidos:

- ✓ Facilitando la visión directa de las personas y de la estructura exterior del edificio.
- ✓ Permitiendo la observación de los intrusos, bien directamente por sus siluetas recortadas contra los puntos emisores de luz o por la sombra proyectada sobre las paredes del edificio.
- ✓ Reduciendo o eliminando el deslumbramiento que a menudo producen los proyectores situados en las paredes del edificio.

No obstante, y como se ha mencionado anteriormente, la iluminación de fachadas deberá ser congruente con las normativas destinadas a evitar la contaminación lumínica, por lo que dicha iluminación se debe llevar a cabo siempre de arriba hacia abajo.

Son necesarias fuentes de luz de alta eficacia que instaladas en luminarias estancas y resistentes frente a actos vandálicos pueden proporcionar un resultado atractivo, eficiente y funcional al sistema de alumbrado exterior y de seguridad.

El rendimiento de color de las lámparas utilizadas no tiene por qué ser excelente.

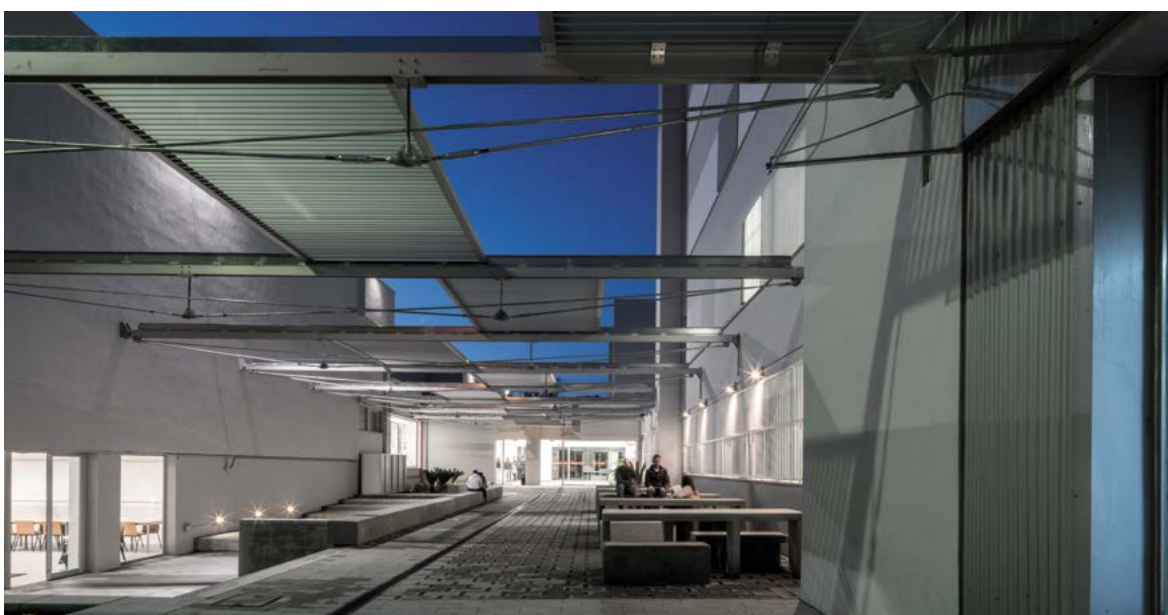


Imagen cedida por Carandini.

4.2. Espacios de representación

En los centros docentes existen determinados locales o zonas especialmente significativas que requieren soluciones en las que no siempre deba ser predominante la exigencia de la eficiencia energética. Estos pueden ser el salón de actos y las zonas de valor histórico o artístico, frecuentes, por ejemplo, en centros universitarios.

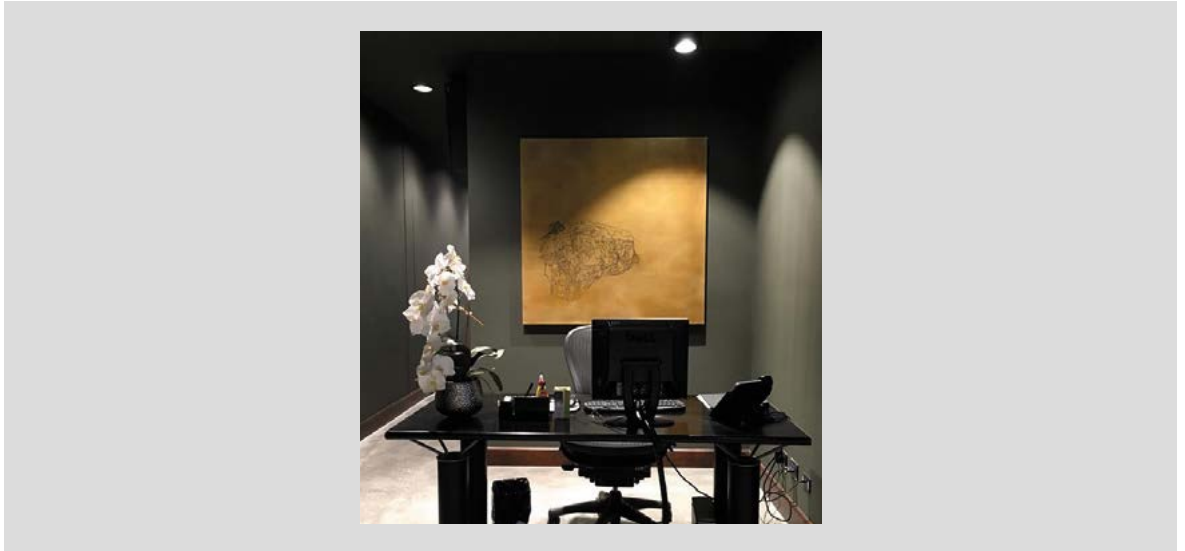


Imagen cedida por Carandini.

4.3. Actividades especiales

Podemos definir como aulas especiales aquellas en las que se realiza una actividad con exigencias de iluminación distintas a las habituales. Entre estas podemos resaltar las aulas para alumnos discapacitados, aulas de informática y el salón de actos.

Algunas aulas pueden ser específicamente diseñadas para alumnos discapacitados. En estos casos será necesario un nivel de iluminación inferior o superior al normal, motivado por los problemas de visión de los alumnos.

Los alumnos con dificultades en la audición a menudo dependen de la comprensión de los gestos o de la lectura de los labios del profesor o de sus compañeros, por lo que es necesario que las caras de estos aparezcan perfectamente iluminadas. La iluminación en este tipo de aulas debe proveer del modelado suficiente para que el movimiento de los labios sea percibido por los alumnos.

En las aulas de informática, la presencia de brillos generados tanto por la luz natural como por la artificial sobre las pantallas de los ordenadores se convierte en el principal problema a resolver para la consecución de un buen alumbrado.

Será necesaria la utilización de luminarias dotadas con reflectores y apantallamientos especiales, así como el control riguroso de la luz solar proveniente del exterior.

Estas salas requieren un estudio ergonómico profundo, que trataremos en un próximo apartado.

El salón de actos es el espacio multidisciplinar por excelencia, incluso superando al gimnasio y al comedor. Por lo tanto, los sistemas de iluminación deben adaptarse a las múltiples tareas que se pueden desarrollar en él, proveyendo del suficiente nivel de iluminación para tareas como realización de exámenes, y de sistemas de regulación para los casos de proyección de películas, cintas de vídeo, diapositivas, representaciones teatrales, etc.

Si por problemas de acceso las luminarias no se pudiesen ubicar en el techo, debemos considerar la posibilidad de colocar las luminarias en las paredes de la sala.

Las lámparas utilizadas deben reproducir adecuadamente los colores, aun a costa de su eficiencia energética.



4.4. Valoración del tiempo anual de la actividad

El tiempo anual de la actividad de cada local o espacio es muy importante a la hora de valorar el ahorro energético que supondría la implantación de un sistema de iluminación eficiente en cada tipo de espacio.

En los centros de enseñanza primaria y secundaria se han de considerar de seis a ocho horas diarias durante unos nueve meses al año. En otros tipos de centros, la duración de la actividad puede estimarse entre diez y doce horas diarias.

Esto representa una utilización anual de:

- ✓ Enseñanza primaria y secundaria
 $7 \text{ h} \times 20 \text{ días} \times 9 \text{ meses} = 1.260 \text{ horas/año.}$
- ✓ Otros centros
 $12 \text{ h} \times 20 \text{ días} \times 9 \text{ meses} = 2.160 \text{ horas/año.}$

A estos tiempos hay que añadir los empleados en la limpieza, si bien es cierto que en este caso el encendido de la iluminación se puede realizar por sectores.

5 Criterios de calidad y diseño



Son los criterios a aplicar en la definición, estudio, proyecto e instalación de un sistema de iluminación.

5.1. Iluminancia, iluminancia media, iluminancia horizontal e iluminancia vertical

Se define la iluminancia o nivel de iluminancia sobre una superficie determinada como la cantidad de flujo luminoso (cuya unidad es el lumen) que, directamente emitido o bien reflejado, incide sobre la unidad de superficie. Su unidad (lumen/m^2) es el lux, y el instrumento adecuado para su medida es el luxómetro.

Unidad: $\text{lux} = \text{lm/m}^2$.

Símbolo: E.

Instrumento: luxómetro.

El nivel de iluminancia necesario en una estancia debe fijarse en función de:

- ✓ El tipo de tarea a realizar (necesidades de agudeza visual, adaptación, etc.).
- ✓ Las condiciones ambientales.
- ✓ Duración de la actividad.

Según el tipo de actividad, las iluminancias a considerar serán las siguientes:

- ✓ Horizontal: es la iluminancia sobre superficies horizontales, como pupitres.
- ✓ Vertical: es la iluminancia sobre superficies verticales, como pizarras.
- ✓ Cilíndrica media.

En el plano horizontal, la iluminancia media estará definida por el promedio de la iluminancia medida en un número determinado de puntos. El número mínimo de puntos a considerar va en función del índice del local (K). Dependiendo de la complejidad del local, este promedio puede ser ponderado, dándose un mayor peso a unos puntos de medida que a otros según la distribución de luminarias que se pretenda instalar en el local.

La iluminancia media (E_m) estará definida por el valor medio del sumatorio de puntos de la rejilla de cálculo que nos permitan verificar los valores del área de trabajo, área circundante inmediata y área de fondo.

Para establecer los valores de la iluminancia media en un plano (en el caso de centros docentes, uno de los planos sobre los que se estudia este nivel medio es el plano de trabajo de las mesas, por lo tanto, un plano horizontal paralelo al suelo y a una altura de 0,8 m), el número mínimo de puntos a considerar estará en función de las dimensiones del local (aulas, bibliotecas, etc.), generando una rejilla de celdas cuadradas con una relación longitud/anchura comprendida entre 0,5 y 2.

Los valores típicos de espaciado son los siguientes (UNE-EN 12464-1):

Longitud del área (m)	Distancia máxima entre los puntos de rejilla (m)	Número mínimo de puntos de rejilla
0,4	0,15	3
0,6	0,2	3
1	0,2	5
2	0,3	6
5	0,6	8
10	1	10
25	2	12
50	3	17
100	5	20

Tabla 5.1. Valores de espaciado.

En otros planos de tarea, como pueden ser un plano inclinado de una mesa de trabajo, un cuadro o una pizarra en un plano vertical, los puntos donde establecer la media aritmética se tomarán en función del tamaño de la tarea y de la distancia de la o las luminarias a esta.

Resulta obvio indicar que el grado de rendimiento visual y, con él, la sensación de bienestar (o satisfacción visual) experimentados por un estudiante o profesor de un centro docente dependen directamente de la calidad y el nivel de alumbrado existente.

El cálculo del índice del local va en función del factor K:

$$K = L \times A / H \times (L + A)$$

siendo:

L = longitud del local,

A = anchura del local,

H = distancia del plano de trabajo a las luminarias.

El número de puntos de medida mínimo será:

$K < 1$	→	4 puntos.
$1 < K < 2$	→	9 puntos.
$2 < K < 3$	→	16 puntos.
$K > 3$	→	25 puntos.

En el plano vertical, la iluminancia media vendrá dada por el valor medio de la iluminancia en un número determinado de puntos. El número mínimo de puntos a considerar irá en función de la actividad a la que este dedicada la superficie.

5.2. Uniformidad de iluminancias

El valor de la iluminancia media en una dependencia determinada no basta para determinar la calidad de la iluminación sobre esta, ya que la luz puede estar mal distribuida. A tal efecto se define la uniformidad de iluminancias, U_m , como:

$$U_m = E_{\min} / E_m$$

siendo:

$E_{\min}$: iluminancia mínima sobre la superficie.

E_m : iluminancia media sobre la superficie.

La utilidad de este parámetro queda patente si consideramos un aula en la que las luminarias de las últimas filas no funcionen y las luminarias de las primeras filas sean excesivamente potentes, dando lugar incluso a deslumbramientos y molestias. En un aula como esta, la iluminancia media podría cumplir con las recomendaciones de la norma, ya que la excesiva potencia de las primeras luminarias compensaría a las luminarias que no funcionan a la hora de hacer la media. Sin embargo, la iluminancia mínima media en el aula sería muy baja (puntos de medida bajo las luminarias que no funcionan), y, por tanto, el cociente $U_m = E_{\min} / E_m$ sería también muy bajo, quedando por debajo de las especificaciones de la normativa, que en el caso de aulas de centros educativos requiere una uniformidad media igual o superior a 0,6 y en algunas aplicaciones específicas, superior a 0,7.

Iluminancia cilíndrica media

Para una buena comunicación visual y el reconocimiento facial en un espacio en el que se mueven o trabajan personas, es necesario que el volumen del citado espacio esté iluminado. Esto se satisface

proporcionando una iluminancia cilíndrica media mantenida (iluminancia del plano vertical media, E_z) que no debe ser menor de 50 lux, con una $U_o \geq 0,10$ en un plano horizontal a una altura determinada (por ejemplo, 1,2 m para personas sentadas y 1,6 m para personas de pie sobre el suelo).

En los centros docentes, el valor de E_z no debe ser menor de 150 lux, con una $U_o \geq 0,10$

Edificios educativos				
Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ lux	UGR_L —	R_o —	Observaciones
Aulas, aulas de tutoría	300	19	80	La iluminación debería ser controlable
Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
Sala de lectura	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
Pizarra	500	19	80	Evitar reflexiones especulares
Mesa de demostraciones	500	19	80	En salas de lectura, 750 lux
Aulas de arte	500	19	80	
Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	90	$TC_p \geq 5.000$ K
Aulas de dibujo técnico	750	16	80	
Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	80	
Aulas de manualidades	500	19	80	
Talleres de enseñanza	500	19	80	
Aulas de prácticas de música	300	19	80	
Aulas de prácticas de informática	300	19	80	Trabajo con EPV: véase el apartado 4.11
Laboratorio de lenguas	300	19	80	
Aulas de preparación y talleres	500	22	80	
Halls de entrada	200	22	80	
Áreas de circulación, pasillos	100	25	80	
Escaleras	150	25	80	
Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	80	
Salas de profesores	300	19	80	
Biblioteca: estanterías	200	19	80	
Biblioteca: salas de lectura	500	19	80	
Almacenes de material de profesores	100	25	80	
Salas de deportes, gimnasios, piscinas (uso general)	300	22	80	Para actividades más específicas, se deben usar los requisitos de la norma EN 12193
Cantinas escolares	200	22	80	
Cocina	500	22	80	

Tabla 5.2. Establecimientos educativos.

Relaciones de luminancia

En principio, la cantidad de luz en el sentido de adaptación del ojo a la tarea debería especificarse en términos de luminancia. La luminancia de una superficie mate es proporcional a la iluminancia o nivel de iluminación sobre dicha superficie.

Cuando el ojo explora una tarea se adapta a la luminancia de esta. Si el ojo abandona la tarea y mira a un área de diferente luminancia, deberá adaptarse a esta, y si retrocede a la tarea original, ha de volver a adaptarse. A fin de ser capaz de ver los detalles de la tarea visual con rapidez y exactitud bajo circunstancias prácticas, las diferencias de luminancia dentro del campo de visión no deberán ser excesivamente elevadas.

Al mismo tiempo, el entorno visual total en un local de un centro docente deberá ser tal que permita a los músculos del ojo el margen completo de enfoque y apertura. Por esta razón, y para evitar la creación de un entorno monótono, debe existir una variación en las luminancias del campo de visión del trabajador.

El confort visual queda afectado negativamente por un exceso de grandes diferencias de la luminancia en las zonas del campo de visión.

La necesidad de evitar un exceso de grandes diferencias de luminancia significa evitar el deslumbramiento directo e indirecto de las luminarias, ventanas, etc.

5.3. Control del deslumbramiento

En general, el deslumbramiento es un efecto no deseado en el diseño y práctica de la iluminación. El deslumbramiento se puede producir por visión directa de fuentes de luz (lámparas, LED, luminarias, ventanas, etc.) o por reflexión producida en superficies de alta reflectancia, que pueden estar en el campo de visión del observador.

El deslumbramiento directo de fuentes de luz se elimina con la utilización de luminarias que redistribuyan el flujo de estas de forma idónea para la actividad a realizar.

El grado de deslumbramiento directo admisible en el campo visual del observador va en función del tipo de actividad que se realiza en el local. En concreto, nos interesará el llamado deslumbramiento molesto, que es aquel que produce una sensación molesta sin necesariamente originar pérdida de eficacia visual.

UGR (unified glare rating): índice de deslumbramiento unificado



El deslumbramiento se puede producir de forma directa por lámparas, luminarias y ventanas o por reflexión producida por superficies de alta reflectancia (brillantes) que puedan estar en el campo de visión del observador.

El grado de deslumbramiento directo admisible en el campo visual del observador va en función del tipo de actividad que se realiza en el local.

Con el UGR se analiza el deslumbramiento en una instalación para posición concreta del observador.

El control del deslumbramiento se puede lograr mediante la distribución idónea de puestos de trabajo y la utilización de sistemas de apantallamiento con regulación en ventanas y claraboyas.

Para validar la idoneidad de una instalación en un centro educativo en lo tocante a deslumbramiento, seguiremos las indicaciones de la norma UNE EN-12464 y de los documentos CIE 117-1995 y CIE 190:2010.

El índice de 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:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_B} \sum_i \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2} \right)$$

siendo:

L_B : la luminancia ambiente, calculada como E_{ind}/π , en donde E_{ind} es la iluminancia vertical indirecta en el ojo del observador.

L : la luminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador.

ω : el ángulo sólido de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador.

p : índice de posición de Guth para cada luminaria individual que se refiere a su desplazamiento desde la línea de visión.

A partir de esta ecuación, y teniendo en cuenta las características de emisión de una luminaria determinada y las características del espacio a iluminar (reflectancias, dimensiones del local, etc.),

los fabricantes proporcionan las llamadas tablas CIE UGR (ver figura), que proporcionan el valor del UGR, tanto en la dirección longitudinal como en la transversal.

El valor resultante está comprendido entre 10 y 30. Cuanto más bajo, menor será el deslumbramiento.

Se puede obtener un valor de UGR no tan exacto utilizando las tablas de deslumbramiento UGR estándar. Estas tablas proporcionan el valor UGR calculado para diferentes situaciones estándar de la luminaria seleccionada.

La norma UNE-EN 12464-1 establece el valor de referencia de UGR para un local en función de su tipo de actividad. Los programas de planificación luminotécnica permiten un cálculo exacto del UGR para una posición definida del observador dentro de un local. Los valores de UGR para las distintas zonas de un centro docente están recogidos en la tabla 5.3.

Valoración de deslumbramiento según UGR											
p techo		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
p paredes		50	30	30	30	30	50	30	50	30	30
p suelo		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local X Y		Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2 H	2 H	17,2	18,4	17,5	18,6	18,8	17,5	18,7	17,8	18,9	19,1
	3 H	17,1	18,1	17,4	18,4	18,7	17,9	19,0	18,3	19,2	19,5
	4 H	17,0	18,0	17,4	18,3	18,5	17,9	18,9	18,3	19,2	19,4
	6 H	17,0	17,8	17,3	18,1	18,4	17,9	18,8	18,2	19,0	19,4
	8 H	16,9	17,8	17,3	18,1	18,4	17,8	18,7	18,2	19,0	19,3
	12 H	16,9	17,7	17,2	18,0	18,3	17,8	18,6	18,2	18,9	19,3
4 H	2 H	17,5	18,5	17,8	18,7	19,0	17,8	18,8	18,1	19,0	19,3
	3 H	17,4	18,2	17,8	18,5	18,9	18,3	19,1	18,7	19,4	19,8
	4 H	17,4	18,1	17,7	18,4	18,8	18,3	19,0	18,7	19,3	19,7
	6 H	17,3	17,9	17,7	18,3	18,7	18,2	18,9	18,7	19,2	19,6
	8 H	17,2	17,8	17,7	18,2	18,6	18,2	18,8	18,6	19,2	19,6
	12 H	17,2	17,7	17,7	18,1	18,5	18,2	18,7	18,6	19,1	19,5
8 H	4 H	17,3	17,8	17,7	18,2	18,6	18,2	18,8	18,6	19,1	19,6
	6 H	17,2	17,7	17,7	18,1	18,5	18,1	18,6	18,6	19,0	19,5
	8 H	17,2	17,6	17,6	18,0	18,5	18,1	18,5	18,6	19,0	19,4
	12 H	17,1	17,5	17,6	17,9	18,4	18,1	18,4	18,6	18,9	19,4
12 H	4 H	17,3	17,7	17,7	18,2	18,6	18,2	18,7	18,6	19,1	19,5
	6 H	17,2	17,6	17,6	18,0	18,5	18,1	18,5	18,6	18,9	19,4
	8 H	17,1	17,5	17,6	17,9	18,4	18,1	18,4	18,6	18,9	19,4
Valoración de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1,0 H		+0,8 / -0,9					+0,3 / -0,5				
S = 1,5 H		+2,1 / -5,6					+1,4 / -2,2				
S = 2,0 H		+3,5 / -10,9					+1,6 / -4,1				
Tabla estándar		BK01					BK01				
Sumando de corrección		-2,1					-1,5				
Índice de deslumbramiento corregido en relación con 13.400 lm, flujo luminoso total											

Tabla 5.3. Tabla de UGR corregidos para una luminaria comercial determinada.

El valor de UGR de la instalación de iluminación no debe exceder el valor dado en las tablas del capítulo 7.

Por ejemplo, supongamos un aula de dimensiones 5×10 m y una altura de 3,8 m con luminarias adosadas al techo. Para una distancia del ojo del observador al suelo de 1,2 m nos queda una altura hasta el plano de las luminarias de 2,6 m, que es lo tomamos como parámetro H. Referidas a esta magnitud, las dimensiones del aula son $2 H \times 4 H$.

Supongamos unas reflectancias de techo, paredes y suelo, respectivamente, de 0,7/0,5/0,2.

En este caso, para la luminaria representada en la tabla 5.1 tendríamos un UGR mirando perpendicular al eje de la lámpara de 17, mientras que mirando longitudinalmente el eje de la lámpara sería de 17,9. Por tanto, para estas características de la instalación, esta luminaria sería apropiada para estas aulas de docencia ordinaria, pues el valor del UGR queda por debajo de los límites especificados en las tablas del capítulo 7 ($UGR < 19$).

Estas consideraciones son para un flujo luminoso total que se indica en la tabla.

Cuando se utilizan otras fuentes de luz distintas a las previstas por el fabricante de la luminaria o con otros valores de flujo luminoso, es necesario corregir el valor obtenido para un cálculo más preciso del deslumbramiento.

En ese caso, el valor de la tabla ha de ser corregido según la siguiente fórmula:

$$R_{UG}(\Phi) = R_{UG}(\Phi_0) + 8 \log_{10} \left(\frac{\Phi}{\Phi_0} \right)$$

donde:

$R_{UG}(\Phi_0)$ es el valor UGR procedente de la tabla UGR no corregido;

Φ es el flujo total actual de la lámpara (lm) y

$\Phi_0 = 1000$ lm.

Los valores de iluminación recomendados del UGR forman una serie cuyos saltos indican cambios evidentes del deslumbramiento. La serie de UGR es: 10, 13, 16, 19, 22, 25 y 28.

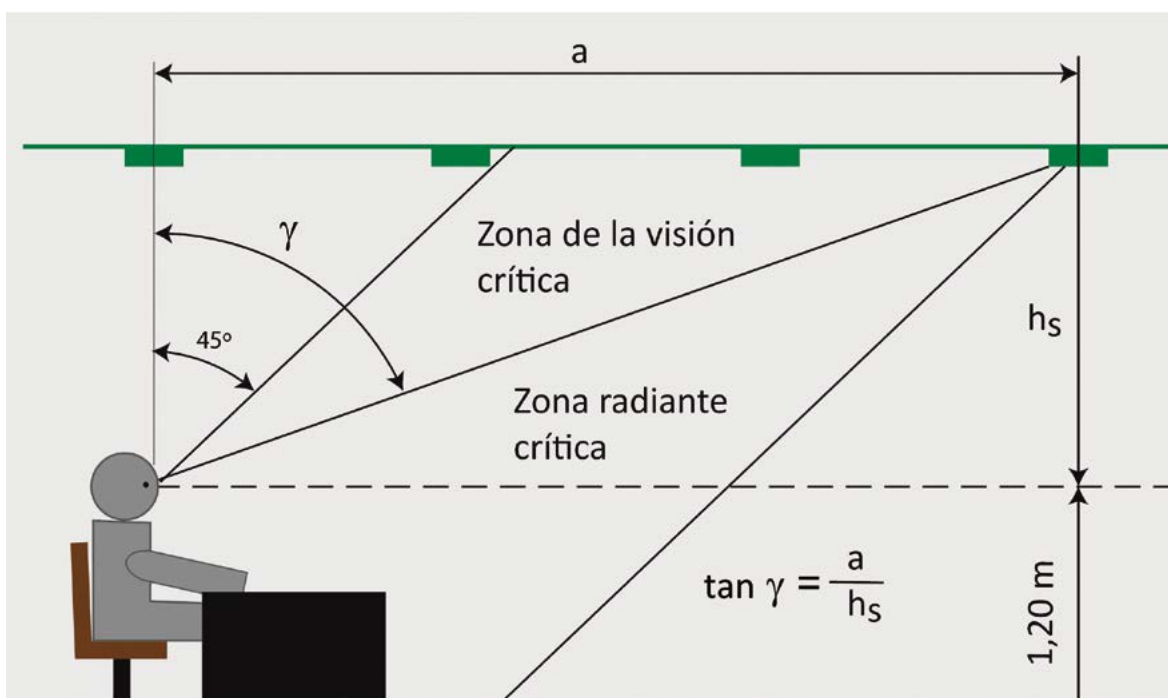
Cabe destacar las zonas con pantallas de ordenador o televisión; en estos casos, es necesaria la utilización de luminarias cuya luminancia para ángulos mayores de 60° contados desde la vertical, tanto para plano transversal como longitudinal, sea igual o inferior a 200 cd/m^2 . Estas luminarias se llaman de baja luminancia.

El deslumbramiento debido a la luz natural (ventanas) no tiene que ser un inconveniente para intentar su máximo aprovechamiento, tanto por el ahorro energético que se puede obtener como por el beneficio psicológico que aporta el contacto con el entorno. El control de este deslumbramiento se puede lograr mediante la distribución idónea de mesas, pupitres, pizarras, etc., y la utilización de sistemas de apantallamiento con regulación en ventanas y claraboyas (lamas, persianas, cortinas, etc.).



En la imagen siguiente se define la zona angular medida a partir de un eje vertical desde la luminaria hacia abajo, dentro del cual es más probable que se produzca deslumbramiento.

Para condiciones normales de visión, los ángulos críticos abarcan la gama de 45° a 85° (excepto en el caso de que las dimensiones del local sean tales que la luminaria más lejana sea solo visible bajo un ángulo más pequeño).



Zona en la que las luminarias tienen que cumplir lo establecido en cuanto al límite de luminancia para la reducción del deslumbramiento molesto.

Especial cuidado hay que prestar a la iluminación de las superficies verticales, como pizarras, mapas, pantallas, etc., donde se deben evitar reflejos que dificulten la visión total o parcial. Para su iluminación se deben utilizar luminarias tipo «bañador» de pared.



El deslumbramiento reflejado está influido, en gran manera, por el color y acabado de las superficies que aparecen en el campo de visión del observador, por lo que es recomendable que todas las superficies (del local y mobiliario) dispongan de un acabado mate que evite los reflejos molestos.

El cumplimiento de los criterios definidos nos garantiza la ausencia de deslumbramiento directo o reflejado, obteniendo el confort visual demandado por la mayoría de las actividades que se desarrollan en los centros docentes, donde fundamentalmente la atención se centra en el profesor y la pizarra.

Deslumbramiento reflejado y reflexiones de velo

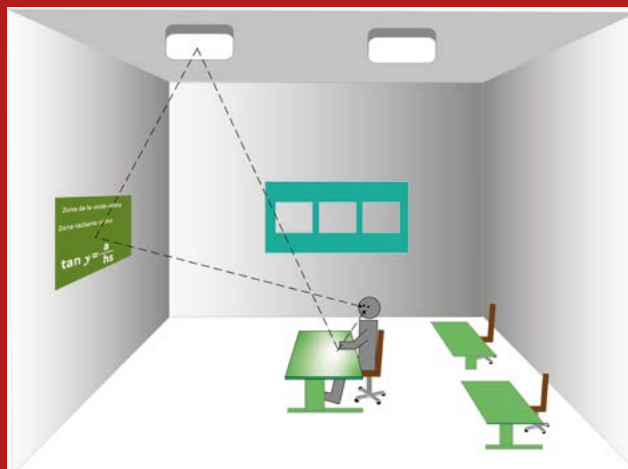
La luz de una fuente luminosa reflejada hacia los ojos de un observador, desde la tarea que contenga una superficie satinada o semimate (como, por ejemplo, escritura a mano con lápiz), puede disminuir la visibilidad de la tarea y producir una sensación de incomodidad. Esto es debido a que el deslumbramiento reflejado así creado ensombrece la tarea y reduce el contraste en esta.

El deslumbramiento reflejado está influido, en gran medida, por el color y acabado de las superficies que aparecen en el campo de visión del trabajador, por lo que es recomendable que todas las superficies (del local y mobiliario) dispongan de un acabado mate que evite los reflejos molestos.

Deslumbramiento reflejado y reflexiones de velo

El deslumbramiento reflejado está influido, en gran medida, por el color y acabado de las superficies que aparecen en el campo de visión del trabajador.

Es recomendable que todas las superficies (del local y mobiliario) dispongan de un acabado mate que evite los reflejos molestos.



5.4. Modelado

Con independencia del nivel de la enseñanza impartida (primaria, secundaria, universitaria, etc.), es fundamental la perfecta comunicación (por escrito, vía oral o gestual) entre la persona que imparte la materia y las que la reciben.

Los criterios de modelado son de gran importancia en la iluminación de las volumetrías, ya que la correcta percepción de las tres dimensiones o de la textura de un objeto permite un conocimiento real. Esto se consigue utilizando el efecto modelador del alumbrado direccional.

Modelado:



Capacidad del alumbrado para revelar forma y textura de un modo claro y agradable

Luz incidente sobre un objeto demasiado difusa → Modelado ligero y sensación de falta de relieve

Componente direccional muy fuerte → Modelado duro y las sombras deformarán los rasgos

Obtenemos un modelado aceptable cuando la relación entre iluminancia vertical y horizontal es superior a 0,25 en las principales direcciones visuales del observador.

Cuando la luz viene demasiado difusa, el modelado es ligero y tendremos la sensación de falta de relieve. Por otro lado, si la componente direccional es muy fuerte, el modelado es duro y las sombras deformarán los rasgos característicos de las personas.

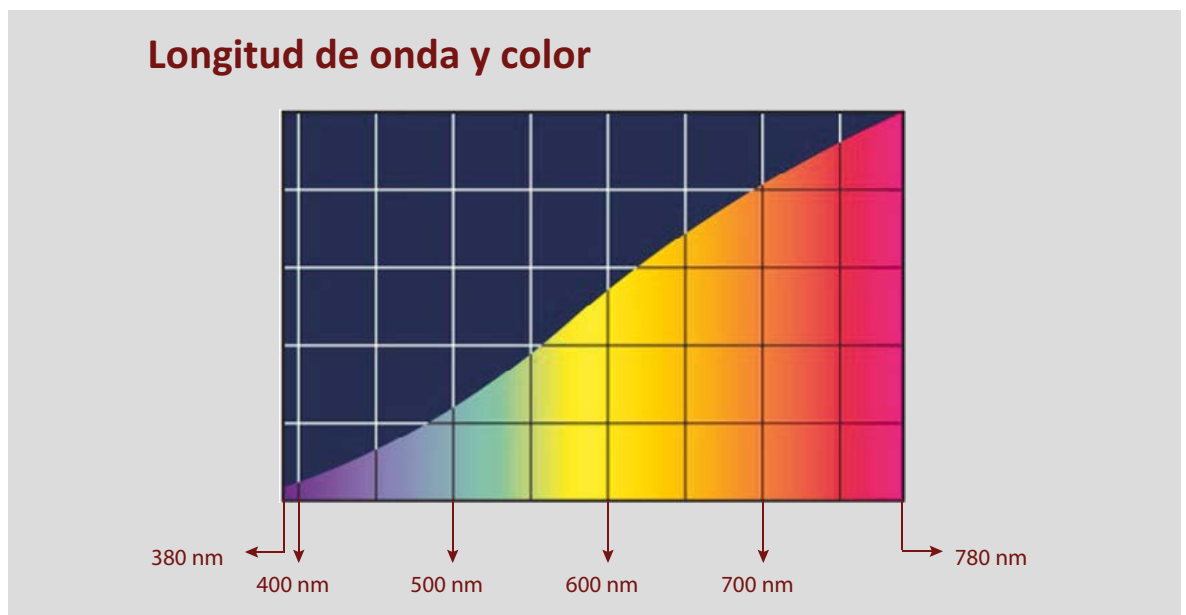
Obtenemos un modelado aceptable cuando la relación entre iluminancia vertical y horizontal es superior a 0,25 en las principales direcciones visuales del observador o posibles observadores. Este modelado nos permite tener un aula con los paramentos estructurales, mobiliario y personas que desarrollan su actividad en esta, iluminados para que su acabado superficial y forma resulten nítidos y agradables.

No obstante, las sombras pronunciadas, como las obtenidas por un modelado duro sobre un área pequeña, se pueden usar para producir efectos dramáticos intencionados; esto es útil en la enseñanza de técnicas escultóricas, exposiciones, etc.

5.5. Color

El color en un espacio o local iluminado artificialmente estará fuertemente influenciado por la fuente de luz seleccionada y, concretamente, dos de sus parámetros:

- Índice de reproducción del color (Ra) o grupo de rendimiento de color según CIE (1A, 2A, 1B, 2B).
- Temperatura de color (K).



Además, influirán la presencia o no de luz natural, la hora del día en que esta penetre y, por supuesto, el propio colorido del mobiliario, paredes y techo de la estancia.

Según la norma UNE 12464-1, las fuentes de luz seleccionadas para la iluminación de centros educativos tendrán siempre un índice de reproducción del color de al menos 80, elevándose hasta 90 en el caso de aulas de arte en centros de arte.

En principio, una temperatura de color adecuada de las fuentes a emplear (LED o fluorescentes) es entre 3.500 y 4000 K en todos los casos salvo en aquellas aplicaciones especificadas en la norma UNE 12464-1.

Tono de luz, temperatura de color	Tipo de actividad o de iluminación
Tonos cálidos < 3.300 K	Entornos decorados con tonos claros Áreas de descanso Salas de espera Zonas con usuarios de avanzada edad Áreas de esparcimiento Bajos niveles de iluminación
Tonos neutros 3.300–5.300 K	Lugares con importante aportación de luz natural Tarea visual de requisitos medios
Tonos fríos > 5.300 K	Entornos decorados con tonos fríos Altos niveles de iluminación Para enfatizar la impresión técnica Tareas visuales de alta concentración

Tabla 5.4. Tc *versus* actividad.

En cuanto a los acabados superficiales de paramentos y mobiliario, es importante tener en consideración el efecto psicológico de los colores sobre las personas (profesor, alumnos) que desarrollan su actividad en el aula.

En general, se recomiendan colores suaves como el verde pálido, azul celeste, gris perla o amarillo en paredes y blanco en el techo. El empleo de colores suaves no excluye la presencia puntual de elementos con colores vivos que eviten la monotonía.



5.6. Ergonomía del puesto de trabajo

Desde el punto de vista ergonómico, la instalación de alumbrado debe satisfacer una serie de aspectos que hagan de la actividad a desarrollar por el observador una tarea cómoda, es decir:

1. No debe crear problemas de adaptación visual ni de deslumbramiento.
 2. Sus valores de iluminancia media y uniformidad media han de ser los adecuados de manera que la agudeza visual del alumnado se aproveche al máximo.
 3. No debe obstruir la tarea visual y debe permitir posturas cómodas.
 4. Debe limitar la producción de ruido.
 5. Debe eliminar el efecto estroboscópico.
 6. Debe generar al recinto iluminado poca carga térmica.
1. La adaptación visual requerida se consigue mediante una transición adecuada de las condiciones con alta luminosidad a otras con menores niveles de iluminación y viceversa. Por otra parte, el deslumbramiento puede evitarse en la mayoría de las ocasiones mediante las adecuadas relaciones de luminancia entre la tarea visual y el fondo contra el que se enfoca de modo ocasional. Las relaciones óptimas de luminancias entre diferentes superficies de la instalación son las comentadas en la siguiente tabla.

Relación recomendada	
Tarea y alrededores inmediatos	5 a 1
Tarea y fondo general	10 a 1
Luminaria y entorno	20 a 1
Dos puntos cualesquiera	40 a 1

Tabla 5.5. Relación de luminancias.

Las características de las superficies pueden variar desde especulares (como espejos y escaparates, donde el brillo cambia con la dirección de observación, el tamaño, la posición y la intensidad de la fuente de luz, y el grado de especularidad de la superficie vista) a totalmente difusas, cuyo brillo es totalmente uniforme desde cualquier dirección de observación e independientemente de la dirección de la iluminación.

Si el tipo de superficie puede ser seleccionado, estas se deben elegir para evitar tener grandes diferencias de brillo entre distintas superficies. En la tabla 5.2 se exponen los límites máximos recomendados de relaciones de valores de luminancias entre diferentes partes de una estancia.

Cuando las reflectancias de las superficies no pueden ser seleccionadas, el control se debe realizar optimizando la orientación, posición y luminancia de las luminarias, y la iluminancia sobre las distintas superficies.

La reflexión de fuentes de luz en superficies transparentes o especulares, como ventanas y mostradores, puede causar deslumbramiento y la disminución de la visibilidad.

Adaptación visual



La adaptación visual requerida se consigue mediante adecuadas relaciones de luminancia entre la tarea visual y el fondo contra el que se enfoca de modo ocasional.

- Las superficies pueden variar desde especulares a totalmente difusas.
- Si han de seleccionarse varios tipos de superficies, se elegirán aquellas que tengan entre sí la menor diferencia de brillo posible.
- Cuando las reflectancias de las superficies no pueden ser seleccionadas, el control se debe realizar optimizando la orientación, posición y luminancia de las luminarias, y la iluminancia sobre las distintas superficies.

2. La agudeza visual está ligada al nivel de iluminación media. Estos niveles deberán cumplir con las recomendaciones que se aportan en el capítulo 7.
3. Una distribución idónea de luminarias, que cumpla con los requisitos de distribución fotométrica (deslumbramiento criterio UGR) demandados para el tipo de tarea visual a desarrollar en el local, nos proporcionará el cumplimiento de los puntos 2) y 3).

En las dependencias donde se desarrollen actividades con ordenadores, pantallas de visualización, televisores, etc., las luminarias a utilizar serán las denominadas como de baja o muy baja luminancia, con un UGR máximo de 19.

En las aulas dedicadas a sistemas informáticos, los usuarios de ordenadores tienen dos situaciones relacionadas con la luminancia que es importante tener en consideración. Una situación estática, donde la persona mira la pantalla, el teclado o un documento, y otra situación dinámica, cuando la persona está visualizando alternativamente cada uno de los tres elementos mencionados.

Entre estos elementos existe una diferencia de luminancia. En el caso de la situación estática con una reflectancia entre $0,20 \div 0,50$ para las superficies relevantes, y las pantallas de los monitores con fondo oscuro y caracteres brillantes, se puede estimar que el observador dispondrá de una escena adecuada.

En el caso de pantallas con caracteres oscuros y fondos claros, no se precisan medidas especiales que garanticen un valor de reflectancia definido en las superficies relevantes.

En una situación dinámica, para no producir una fatiga visual importante al observador, es preciso disponer de una escena muy bien equilibrada en luminancias entre el documento, las superficies relevantes y la pantalla, que va en función de la ambiental reflejada por el vidrio y por el fósforo de esta. Asimismo, es importante tener en consideración que en la escena que se origina tiene tanta importancia el plano horizontal (documento reflectancia entre 0,50÷0,70) como el vertical (pantalla reflectancia entre 0,20÷0,30 para los fósforos).

Si disponemos de un terminal con contraste negativo (fondo brillante, caracteres oscuros) podemos realizar un ajuste de la pantalla, obteniendo una instalación donde con toda probabilidad no tendremos desequilibrio de la luminancia dinámica.

Con un terminal de contraste positivo (fondo oscuro, caracteres brillantes) para mantener las características idóneas de instalación en cuanto a la luminancia dinámica, es preciso que el documento tenga una luminancia baja, y un equilibrio con el nivel de iluminancia requerido por la tarea a desarrollar en el aula.

Se deben tener en consideración las luminancias en ángulos que pueden ser reflejados por las pantallas, impidiendo el confort requerido por el campo de visión del observador. El resultado podrá ser aceptable utilizando luminarias con bajas luminancias en ángulos elevados con la vertical (inferior a 200 cd/m² en el sentido de visión del observador).

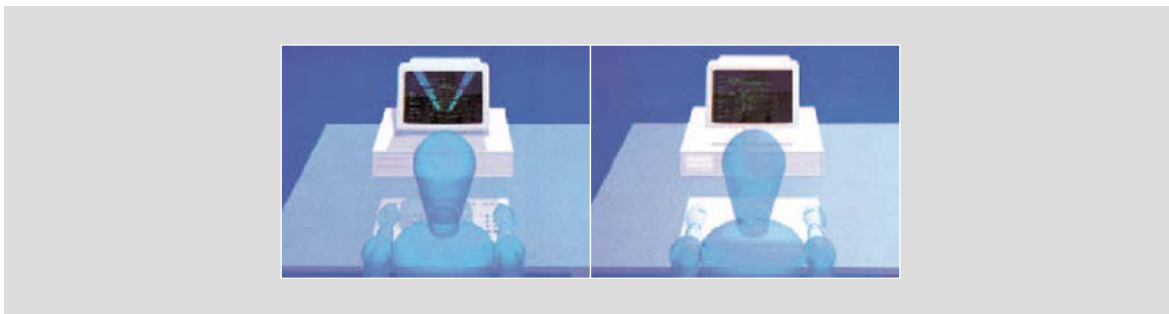
En tareas visuales muy concretas se puede precisar una iluminación indirecta. Con esta solución estamos penalizando la eficacia energética por el cumplimiento del confort visual requerido por el observador para realizar correctamente la tarea definida.

- 4 y 5. Para garantizar que no se producirá ruido por vibración, el efecto estroboscópico (parpadeo de la luz), así como un incremento mínimo de temperatura en el local, es recomendable utilizar balastos electrónicos de alta frecuencia.

En el caso de utilizar balastos electromagnéticos las pérdidas por efecto Joule no deberán sobrepasar en ningún caso el 15% de la potencia nominal de la lámpara o lámparas asociadas.

En cualquier caso, para los balastos de lámparas fluorescentes (exceptuando las lámparas compactas de bajo consumo), el conjunto lámpara-equipo no deberá sobrepasar los valores de la tabla 2 del capítulo 6 en función de su categoría.

6. Es posible integrar el sistema de refrigeración con el sistema de iluminación realizando la extracción de aire a través de las luminarias, con lo que se reduce la radiación térmica emitida por las luminarias, se incrementa la eficacia de las fuentes de luz fluorescentes, se alarga la vida de las fuentes de luz, y, según la configuración de la luminaria, se contribuye a la limpieza de esta, y por tanto, a su mayor eficacia, incrementando, así, de forma global, la eficiencia de todo el sistema de iluminación.



La dificultad de la tarea se incrementa cuando decrece el contraste entre el detalle y el fondo

Una tarea puede exigir más visión que otra, dependiendo de la velocidad o precisión requeridas para su ejecución. El ojo asimila detalles uno a uno, es decir, el ojo enfoca un detalle, lo asimila y se mueve hacia el siguiente detalle. Si la visibilidad es escasa, debido al reducido tamaño del detalle o por su bajo contraste de luminancia, disminuye la velocidad de asimilación y la tarea requerirá más tiempo de ejecución.

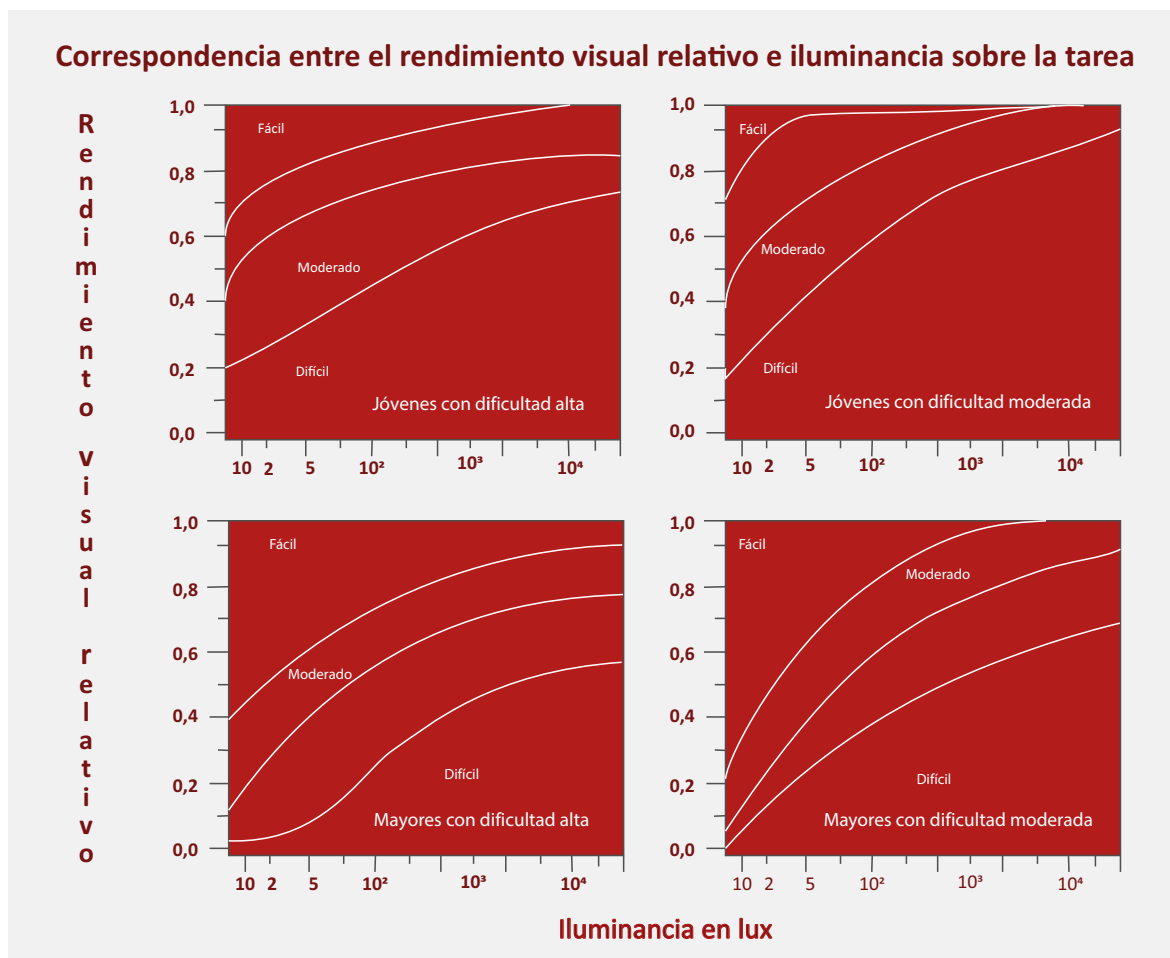
Cuanto más pequeño sea el detalle, mayor nivel de iluminación se necesita

La precisión o exactitud es más importante en unas tareas que en otras; por ejemplo, en la lectura, no es necesario asimilar cada letra por separado para comprender el significado de la palabra, mientras que cuando trabajamos con números, confundir un 3 con un 8 puede ser crucial.

La vista de la persona que realiza la tarea

La visión de una persona tiende a empeorar conforme pasan los años, por ello su visibilidad para una tarea determinada decrecerá.

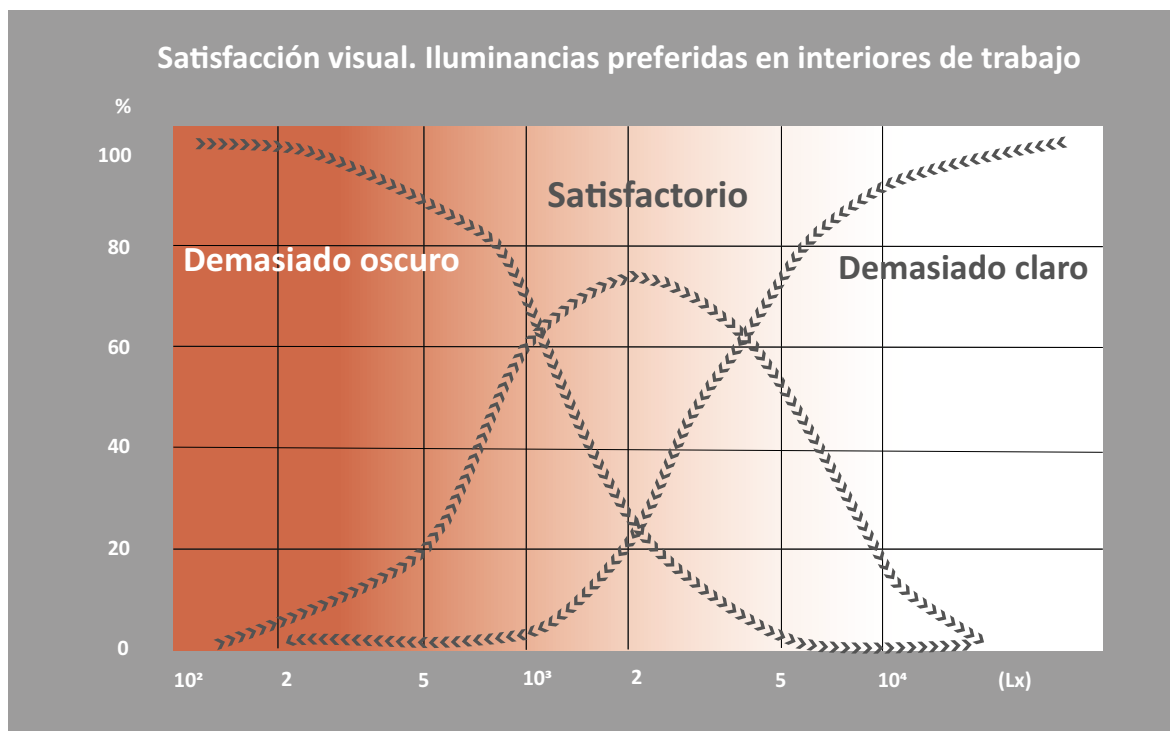
En general, se deduce que cuanto más difícil sea una tarea visual, mayores sean la velocidad y precisión requeridas para realizarla, y cuanto más edad tenga el trabajador, mayor deberá ser la iluminancia de la tarea.



Correspondencia entre el rendimiento visual relativo e iluminancia sobre la tarea, con parámetros de dificultad de la tarea para grupos de varias edades y dificultad diversa (jóvenes con dificultad alta; jóvenes con dificultad moderada; mayores con dificultad alta; mayores con dificultad moderada).

Satisfacción visual

Se han realizado muchas investigaciones con el objeto de determinar una gama de iluminancias horizontales adecuadas para su aplicación en lugares de trabajo de interiores. De los resultados obtenidos en las realizadas en Europa, efectuadas bajo condiciones de alumbrado con ausencia de deslumbramiento, se ha obtenido una curva promedio que indica el porcentaje de observadores que consideran «satisfactoria» una determinada iluminancia. Dicha curva se muestra en las siguientes imágenes, junto con las de las estimaciones «demasiado oscura» y «demasiado brillante».



Iluminancias preferidas en interiores de trabajo, combinación de contestaciones: demasiada oscuridad, satisfactorio, demasiado brillante. En el eje vertical, porcentaje de respuesta.

Como puede deducirse de la imagen, no existe ninguna iluminancia que satisfaga a todos; incluso en el punto de satisfacción óptima estarán los que preferirían un incremento de iluminancia y aquellos que desearían reducir su valor.

La experiencia práctica ha demostrado que, en la iluminación de centros docentes, una iluminancia para el alumbrado general de unos 1.000 lux es la que probablemente originará menos quejas, siempre y cuando se preste cuidadosa atención a la ausencia de deslumbramiento y a la obtención de un adecuado equilibrio de luminancias para la superficie del local.

Cuando las reflectancias de las superficies no pueden ser seleccionadas, el control se debe realizar optimizando la orientación, posición y luminancia de las luminarias y la iluminancia sobre las distintas superficies.

La luminancia del techo debe ser lo bastante elevada como para conseguir una impresión global confortable en el centro docente y con el fin de reducir el contraste entre dicha luminancia y la de las luminarias. Para prevenir que el techo por sí mismo cause deslumbramiento su luminancia no debe superar las 500 cd/m² (aunque desde el punto de vista de satisfacción visual deben preferirse valores comprendidos entre 100 y 300 cd/m²).

Para la mayoría de las instalaciones de alumbrado de centros docentes, las recomendaciones dadas más arriba respecto a la relación de luminancia pueden transformarse en una recomendación de reflectancias para las superficies del local y muebles, según la siguiente tabla.

Recomendación de reflectancias	
Superficie	Valores de reflectancia
Techos	0,7
Paredes	0,5-0,7
Mamparas	0,5-0,7
Suelos	0,2-0,4
Muebles	0,4-0,6
Cortinas/persianas	0,5-0,6

Tabla 5.6. Recomendaciones de reflectancia para las superficies del local y muebles.

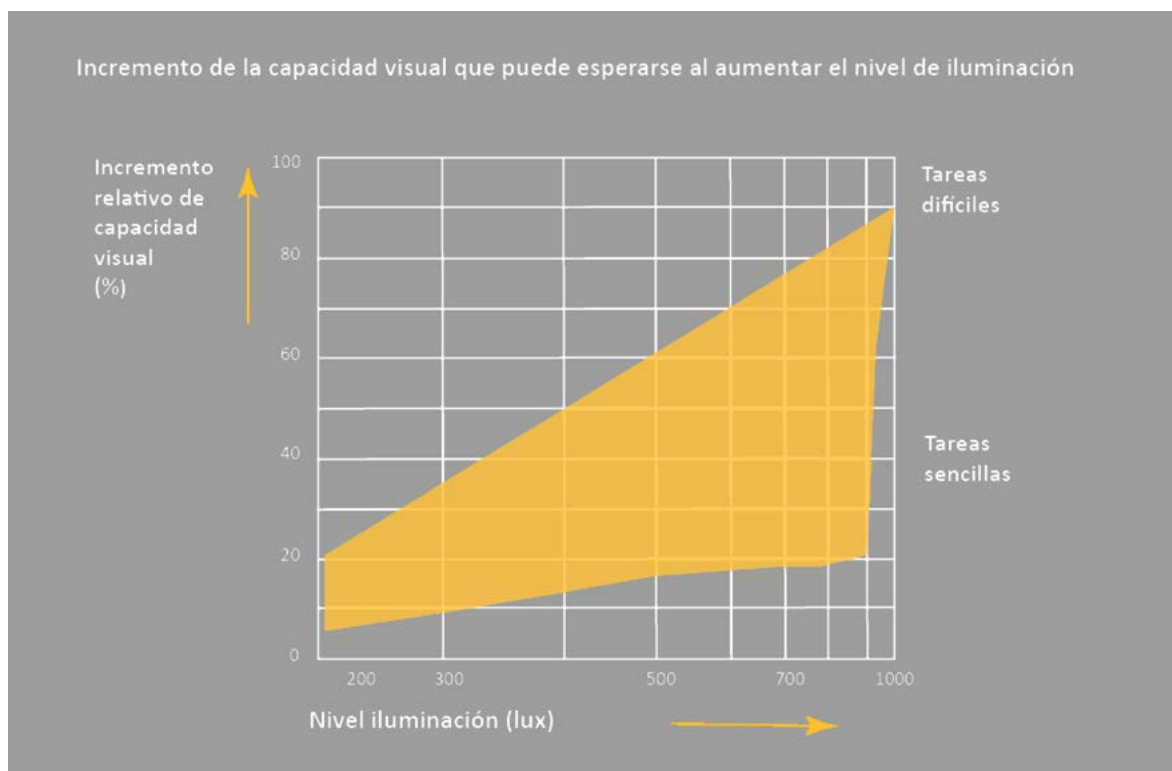
5.7. El alumbrado en relación con el deslumbramiento, la seguridad y el confort

Se han llevado a cabo muchas investigaciones respecto a los beneficios que pueden esperarse de un alumbrado de centros educativos de buena calidad. Aunque el nivel de iluminancia se ha tomado normalmente como unidad de medida de la calidad, debe ponerse de relieve que en dichas investigaciones otros aspectos cualitativos, tales como la limitación del deslumbramiento, el color, las relaciones de luminancias, etc., fueron también de calidad apropiada.

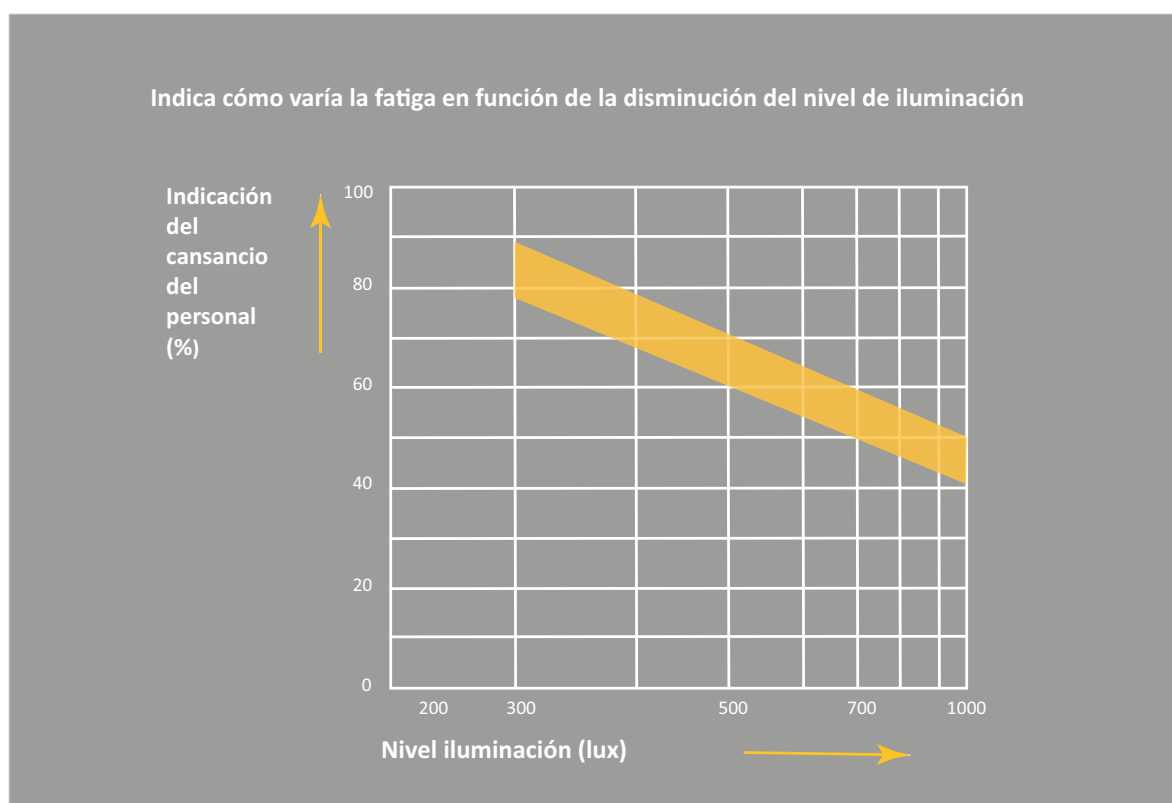
La mayoría de los beneficios registrados en dichas investigaciones se enumeran a continuación:

- ✓ Productividad.
- ✓ Menos errores.
- ✓ Menor fatiga.
- ✓ Aumento de la calidad en la estabilidad.
- ✓ Absentismo reducido.
- ✓ Reducción de la tensión ocular.
- ✓ Bienestar mejorado.

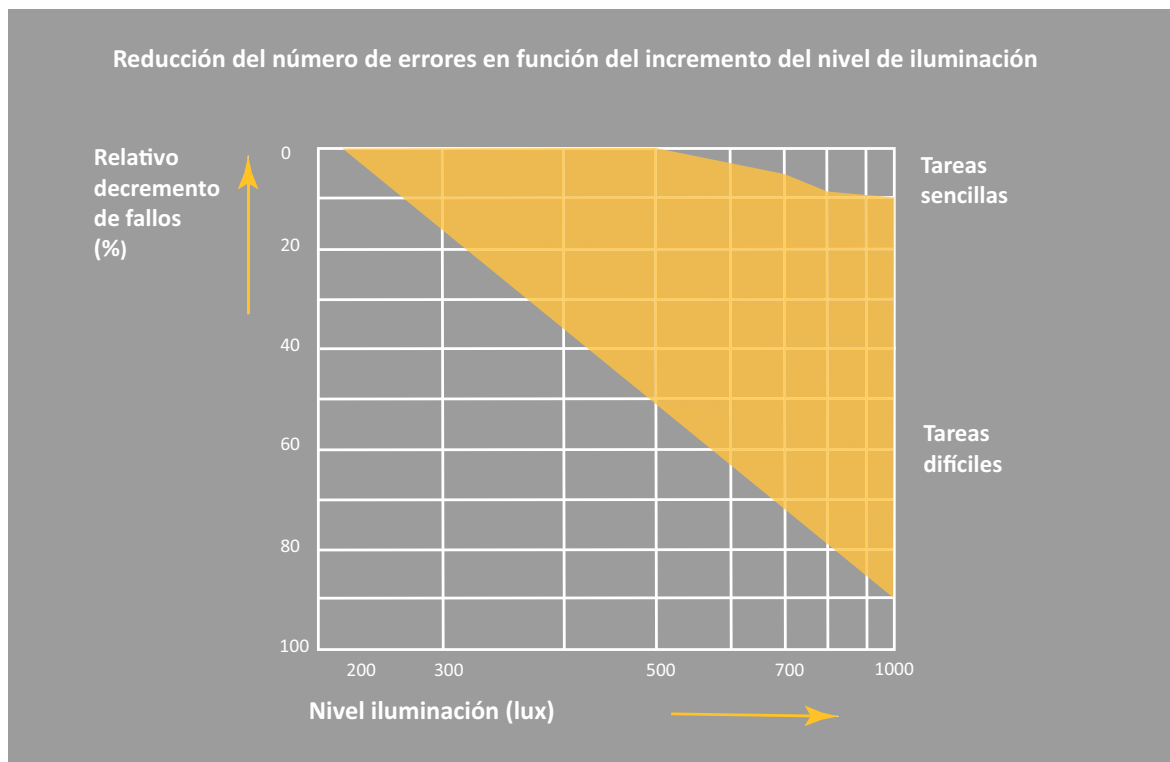
Las imágenes siguientes indican las tendencias generales en función de la iluminancia para algunos de estos beneficios.



Incremento de la capacidad visual que puede esperarse al aumentar el nivel de iluminación.



Indica cómo varía la fatiga en función de la disminución del nivel de iluminación.



Reducción del número de errores en función del incremento del nivel de iluminación.

6 Sistemas de iluminación



Imagen cedida por Carandini.

En este capítulo se enumeran las principales tipologías de iluminación y las principales fuentes de luz, equipos, luminarias y sistemas de control disponibles, así como los criterios básicos para su elección, siempre desde el punto de vista de la eficiencia energética.

Al objeto de conseguir tal instalación es importante que en la fase de diseño se considere la utilización de lo siguiente:

1. Una combinación de lámpara-balasto de alta eficacia.
2. Una luminaria eficiente y un sistema de alumbrado adecuado para la situación real considerada.
3. Un sistema de control adecuado, es decir, que facilite una buena eficiencia al uso de la instalación.

6.1. Alumbrado directo frente al indirecto

En todos los sistemas que veremos a continuación, el alumbrado general podrá ser directo, indirecto o una combinación de ambos.

Con el alumbrado directo casi toda la luz de las luminarias (del 90 al 100%) se emite hacia abajo y las superficies luminosas de estas son visibles. Las relaciones de luminancia y el modelado dependen de la distribución de intensidad luminosa del tipo de luminarias utilizado.

Buenas relaciones de luminancia y un buen modelado siempre se pueden obtener escogiendo el tipo de distribución correcto y adecuado a la situación en particular. Para asegurar que el techo adquiera la luminancia adecuada, la reflectancia del suelo no debe ser demasiado baja.

Los modernos sistemas de iluminación de centros docentes están formados por luminarias de montaje empotrado o en superficie prevista de óptica especular de alta eficiencia, preferiblemente con características de haz ancho. Para la mayor parte del trabajo de centros docentes, estas luminarias resultan excelentes: la distribución de luz no se reduce a la orientación descendente de manera que «instantáneamente» se obtiene una correcta distribución de sombras y luminancias en el espacio.

En ciertas dependencias de los centros docentes, incluso usando pantallas de ordenador, no se hace preciso el uso de luminarias de gran control de deslumbramiento, ya que, debido a las dimensiones del local, no se verán reflejadas en las pantallas de los ordenadores (inclinación máxima de pantalla, 15°).

En los centros docentes de planta abierta, deberá evitarse el uso de luminarias «oscuras» de haz concentrado y corte muy definido. Las mesas quedarían radiantes de luz, pero con «ondulaciones» marcadas en algunas paredes y ausencia de luz directa en las restantes. Con los modernos sistemas ópticos de haz ancho, de bajo brillo en ángulos por encima de 65° en todo el espacio que rodea la luminaria, el equilibrio entre la iluminancia vertical y horizontal mejora apreciablemente. Los alumnos y profesores apreciarán este tipo de alumbrado artificial, en especial cuando sus pantallas de ordenador tengan tratamiento antirreflejos y *software* positivo.

En contraposición, a un sistema que dirige la mayor parte de la luz (del 90 al 100%) hacia el techo y zonas superiores de las paredes lo denominamos indirecto. En este caso, es el techo el que refleja la luz incidente sobre él, el que se constituye en fuente primaria de iluminación.

Bajo condiciones normales, las superficies emisoras de luz de las luminarias no son visibles y, por tanto, el deslumbramiento directo de estas está totalmente controlado. En cambio, con el alumbrado indirecto, el techo tiene máxima luminosidad.

La iluminación indirecta le confiere a un espacio un carácter específico. Si se diseña para resaltar la arquitectura, puede resultar especialmente decorativa. Esto no quiere decir que automáticamente sea agradable para trabajar. Que el techo esté iluminado creará una intensa sensación de espacio, algo bueno de por sí, pero el ambiente en general será monótono, como el de un día nublado. La iluminación indirecta posee un par de características ilógicas:

1. La superficie mejor iluminada, el techo, será aquella en la que no trabaje nadie.
2. El techo se convierte, en efecto, en luminaria, un papel para el que rara vez está diseñado.

Las lámparas de descarga de alta intensidad en luminarias de tipo proyector son las más utilizadas en el alumbrado indirecto. De todas ellas tan solo la lámpara de halógenos metálicos cumple los requisitos de color para el alumbrado general de la zona de trabajo de las oficinas.

A veces se dice que el alumbrado indirecto evita el problema de la reducción del contraste en tareas satinadas y elimina el riesgo de imágenes especulares brillantes en las pantallas de ordenador. Pero hay que tener en cuenta que los sistemas de alumbrado directo pueden ser perfectamente diseñados para no tener dichos inconvenientes.

El factor de mantenimiento de un sistema de alumbrado indirecto es de entre un 5 y un 20% más bajo que el de uno directo (es decir, cuando se calcula un nivel de iluminación medio mantenido se ha de incrementar el valor inicial en un 20% para asegurar que antes del período de mantenimiento no nos encontremos por debajo del nivel establecido, en gran medida debido a la suciedad acumulada, tanto en la luminaria como en paredes y techo). Teniendo esto en cuenta y junto con el hecho de que la luz de una luminaria indirecta solo alcanza el plano de trabajo después de interreflexiones, significa que la eficiencia de una instalación de alumbrado indirecto es, en general, entre un 20 y un 60% más baja que la de un sistema directo equivalente, aun teniendo en cuenta que las luminarias que se utilizan son de gran eficiencia.

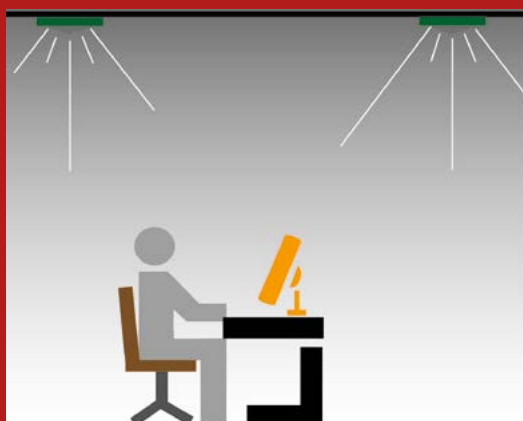
Las combinaciones de alumbrado directo e indirecto pueden conseguirse mediante el empleo conjunto de dos tipos diferentes de luminarias en el mismo sitio, o utilizando la luminaria denominada «directa-indirecta», que cuenta con componentes de luz tanto hacia arriba como hacia abajo. Este tipo de luminarias pueden estar equipadas con lámparas tanto fluorescentes o halógenas como de descarga de alta intensidad.

El alumbrado directo-indirecto es confortable siempre y cuando la componente hacia abajo satisfaga los requisitos en cuanto a limitación de deslumbramiento. Su eficiencia es intermedia entre la instalación directa y la indirecta.

La iluminación directa-indirecta local, suspendida, en una dependencia de un centro docente de planta abierta individual o de dimensiones reducidas, resultará estéticamente agradable, sobre todo si la altura supera la medida estándar de 2,7 m. La altura se realzará y la iluminación será un elemento decorativo.

Las luminarias deberán instalarse de manera que las paredes reciban abundante luz directa por encima de la altura de los ojos y se garantice suficiente luminancia en el entorno visual.

Actividad con pantallas



Las luminarias deberán instalarse de manera que las paredes reciban abundante luz directa por encima de la altura de los ojos y se garantice suficiente luminancia en el entorno visual.

6.2. Sistemas de alumbrado. Alumbrado normal y de emergencia

En cuanto a la disposición y ubicación de las luminarias, existen dos opciones básicas para el alumbrado normal de los centros docentes, a lo que habrá que añadir el alumbrado de emergencia.

1. Alumbrado general, proporcionado por una distribución regular de luminarias.
2. Alumbrado general más alumbrado local, en el que se complementa un nivel de alumbrado general con luminarias en los puestos de trabajo.
3. Alumbrado de emergencia.

Alumbrado general

Se utilizará alumbrado general mediante una distribución estándar de luminarias (tipo empotrar, adosar, suspender, etc.) en los distintos locales que tiene un centro docente, como son las siguientes:

- ✓ Vestíbulos, pasillos y escaleras.
- ✓ Comedor.
- ✓ Duchas y aseos.
- ✓ Almacenes.

Alumbrado general y local

Se utilizará Alumbrado general + localizado, que refuerce la zona de exposición y mejore la captación de imágenes del observador, impidiendo reflejos en:

- ✓ Aulas (pizarra, mesa del profesor).
- ✓ Aulas de enseñanza práctica (dibujo, pintura, escultura, trabajos manuales).
- ✓ Laboratorios.
- ✓ Talleres.
- ✓ Biblioteca.

En instalaciones específicas se requieren sistemas de iluminación indirecta que garantice una mejora en el confort visual; esta mejora nos viene proporcionada por la reducción de posibilidades de deslumbramiento directo.

Las aulas especiales, salón de actos, etc., por sus características constructivas o tipo de actividad a desarrollar (proyecciones, exposiciones, etc.), pueden requerir luminarias específicas (tipo spot, carril electrificado, etc.) o conjuntos formados por distintos tipos de luminarias.

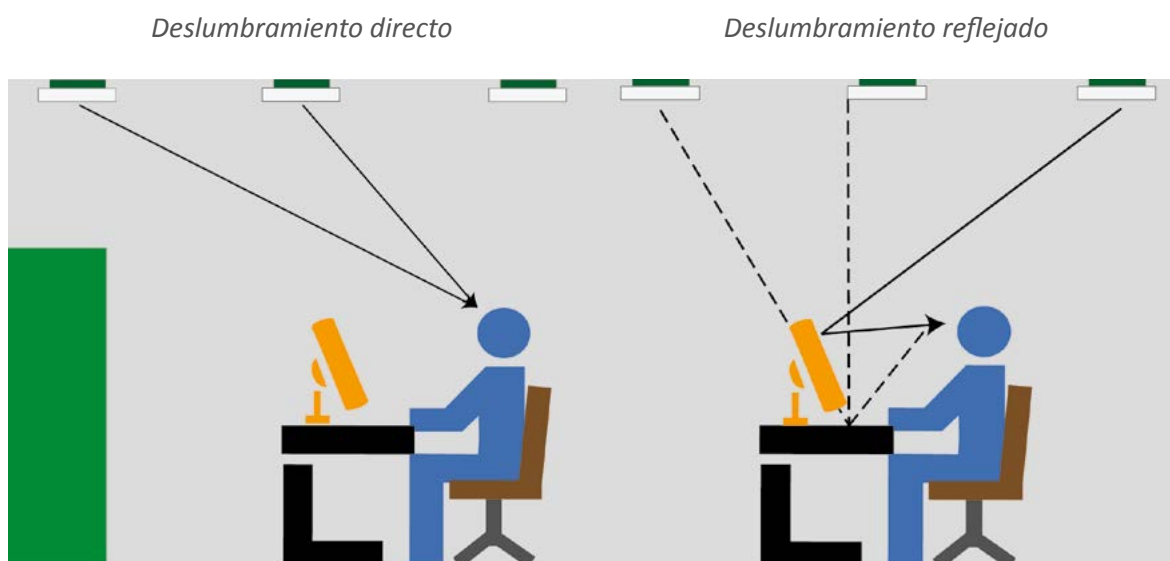
Con el deseo de ahorrar energía se ha pensado mucho sobre el hecho de iluminar la tarea visual mediante pequeñas fuentes de luz situadas en su proximidad, pero al menos el 50% del alumbrado del puesto de trabajo tiene que ser proporcionado por el alumbrado general a fin de mantener un

correcto equilibrio entre la luminancia de la zona de trabajo y la correspondiente al entorno global. El alumbrado general de bajo nivel se obtiene mediante una disposición regular de luminarias.

El alumbrado local del puesto de trabajo, necesario para complementar el general de bajo nivel, deberá permitir que la tarea se realice confortablemente para cualquier posible posición del alumno y/o profesor, lo que significa que para evitar deslumbramiento la luz debe apantallarse de tal forma que no alcance directamente sus ojos cuando esté sentado en posición normal de trabajo. Cuando se empleen luces de sobremesa, estas deberán lanzar su luz perpendicularmente a la dirección principal de visión a fin de evitar la posibilidad de producir reflexiones de velo en la tarea. Para alumnos y/o profesores diestros la luz debe provenir de la izquierda, y de la derecha para los zurdos, a fin de evitar que, cuando se realicen tareas de escritura, sean sus propias manos las que proporcionen sombras molestas.

Las luminarias que proporcionan el alumbrado local están o bien suspendidas del techo o sobre la mesa.

Las suspendidas tienen la ventaja de que no constituyen una obstrucción visual para las direcciones normales de visión, pudiéndose montar suficientemente altas sobre el plano de trabajo (entre 0,7 y 1 m) como para proporcionar en el área de la mesa un alumbrado uniforme y libre de deslumbramiento. La relación de uniformidad necesaria entre la mínima y la media de 0,8 es difícil de conseguir con una lámpara de sobremesa.



Alumbrado de emergencia

Independientemente del sistema de alumbrado previsto para la iluminación de centros docentes, tanto en lo referente al alumbrado normal como al de emergencia, se deberá cumplir lo reflejado en la sección SUA 4 del Documento Básico de Seguridad y Utilización, referente a la seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada.

En el caso de fallo del alumbrado normal, se dispondrá de un sistema de alumbrado de emergencia fijo con fuente de alimentación propia que entre en funcionamiento al producirse dicho fallo y que suministre el nivel de iluminación necesario para facilitar la visibilidad de los usuarios, de manera que pueda producirse el abandono de las distintas áreas de trabajo existentes en el centro docente, evite las situaciones de pánico y permita la visión de las señales indicativas de las salidas, así como la situación de los equipos y medios de protección y primeros auxilios existentes.

El alumbrado de emergencia deberá ajustarse a la legislación vigente:

- ✓ Directiva Comunitaria de Baja Tensión CEE 73/23 (RD 7/1988 y 154/1995).
- ✓ Norma Básica de Edificación, Condiciones de Protección contra Incendios en los Edificios (NBE-CPI/91 y NBE-CPI/96).
- ✓ Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RBT), Instrucción MI BT 025 (Hoja de interpretación n.º 25).
- ✓ Cualquier norma o directiva que posteriormente se apruebe y le sea de aplicación.

6.3. Tipos de fuentes luminosas recomendadas

Los tipos de lámparas recomendados para la iluminación de oficinas son los siguientes:

1. Fluorescentes tubulares lineales de Ø 26/16 mm.
2. Fluorescentes compactas integradas.
3. Fluorescentes compactas no integradas.
4. Lámparas de descarga de halogenuros metálicos (HM).
5. Lámparas de descarga de sodio de alta presión (SAP) (solo para exteriores).
6. Incandescente halógena.
7. Lámparas LED.

Seleccionar la más apropiada depende de muchos factores, como son la eficacia de la lámpara, las cualidades cromáticas, el flujo luminoso, la vida media, el equipo necesario, y aspectos medio ambientales, entre otros. En la tabla siguiente se pueden ver las características de las lámparas más idóneas para iluminación general, localizada y decorativa. Los pasos a seguir para seleccionar la lámpara más adecuada para cada dependencia serán los siguientes:

1. Seleccionar aquellas lámparas que cumplan los parámetros tono de luz o temperatura de color (K) e índice de reproducción cromática (Ra) recomendados para el local.
2. De aquellos tipos de lámparas que cumplan la condición anterior, seleccionar el de mayor eficacia, es decir, el que tenga un valor mayor del parámetro lm/vatio.
3. Seleccionar la lámpara con mayor vida media, medida en horas.

Las lámparas fluorescentes tubulares utilizadas hoy en día en el alumbrado de centros docentes son en su mayoría T8 (26 mm de diámetro) o T5 (16 mm de diámetro) con polvos fluorescentes trifósforos, consiguiendo de este modo una eficacia mucho mayor que los polvos estándar y, a la

vez, una mayor vida útil, debido a que la depreciación del flujo de la lámpara a lo largo de su vida es menor que en el caso de los fósforos estándar.

También se puede destacar que estas lámparas tienen tan solo 3 mg de mercurio, frente a los 15 mg que necesitan las lámparas con polvos estándar.

En el caso de las lámparas T5, siempre tendremos polvos de la nueva generación. Tal como se ha indicado al describirlas, estas lámparas trabajan siempre con equipo electrónico que, junto con el menor diámetro de la lámpara, hace que la eficacia del sistema sea mayor, pudiendo alcanzar los 105 lm/W.

Nos encontramos con dos tipos de lámparas que podremos llamar de alta eficacia (AE) y de alto flujo (AF). La diferencia entre ambas radica en que a igualdad de longitudes se las hace trabajar con mayor o menor potencia y, por lo tanto, variará su flujo.

El uso de las lámparas de alta eficacia o alto flujo dependerá, por un lado, de las alturas del local y, por otro, de los niveles que se quieran obtener en cada zona. Deberá buscarse aquella solución que, manteniendo las uniformidades y balances de luminancias adecuados, minimice el consumo energético total.

Tipo de lámpara	Rango de potencias (W)	Tono de luz	Ra	lm/W	Vida media, horas	Aplicación
Fluorescencia lineal Ø 26 mm	15-70	Cálido Neutro Frío	> 85	67-90	15.000	General
Fluorescencia lineal Ø 16 mm	13-80	Cálido Neutro Frío	> 85	80-97	24.000	General
Fluorescencia compacta	57-88	Cálido Neutro Frío	> 85	57-88	15.000	General Localizada Decorativa
Halogenuros metálicos	20-2.000	Cálido Neutro Frío	> 65	72-120	5.000-20.000	General Localizada Decorativa
Tubos LED Ø 26 mm	10-25	Cálido Neutro Frío	> 85	80	30.000	General
Bombillas LED	2,5-13	Cálido Neutro	> 80	50-80	15.000-40.000	Localizada Decorativa
Fuentes de luz LED	—	Cálido Neutro Frío	Según luminaria			General Localizada Decorativa

Tabla 6.1. Parámetros luminosos de fuentes de luz.

- ✓ De las lámparas fluorescentes compactas podremos usar tanto las no integradas como las integradas en sus distintas potencias y formatos.

Por ejemplo, una lámpara compacta no integrada puede ser adecuada para una luminaria de sobre-mesa, y una compacta integrada, para la iluminación de pasillos o servicios.

Todas estas lámparas satisfacen completamente los requisitos de las propiedades de color que se han de cumplir para usarlas en el alumbrado de centros docentes.

- ✓ De las lámparas de descarga de alta intensidad, tan solo las de un Ra superior a 80 cumplen los requisitos necesarios para usarse en el alumbrado de centros docentes. Estas lámparas de descarga son ideales cuando se trata de realizar alumbrado indirecto o cuando tenemos espacios muy altos, como pueden ser un *hall* o una caja de escaleras. También podremos usarlas cuando deseemos destacar algún elemento decorativo, como columnas, cuadros, arcos...

Es muy importante tener en cuenta que este tipo de lámparas necesita un tiempo de encendido y reencendido que puede variar entre 5 y 15 minutos. Por lo tanto, no se deberá realizar una instalación en la que solo esté presente este tipo de fuente de luz.

Respecto a las lámparas halógenas e incandescentes, aunque su eficacia está lejos de ser ideal para una buena gestión energética, pueden constituir una ayuda inigualable cuando se trata de decorar salas de reuniones donde se debe jugar con regulación. El hecho de que al regular este tipo de lámparas no solo varíe su flujo sino también su temperatura de color hace que sean las adecuadas para crear diferentes atmósferas en las salas de departamento o profesores. También pueden constituir una ayuda como elementos decorativos cuando deseamos que el ambiente de la dependencia no quede demasiado monótono.

Las lámparas que incorporan la tecnología LED, dadas sus características de larga vida útil y elevada eficacia, se están abriendo paso en la iluminación de centros docentes en sustitución de las lámparas incandescentes y fluorescentes. A la hora de la sustitución deberemos analizar no solamente los efectos derivados del ahorro energético, sino también sus parámetros luminotécnicos, en especial, su Tc y su Ra y sus parámetros eléctricos y térmicos de funcionamiento.

6.4. Fuentes de luz

La luz es un elemento esencial en la vida humana y, como tal, los elementos generadores de esa energía luminosa han tenido y tienen, en la actualidad, una gran importancia en el desarrollo y en el bienestar de la humanidad.

La generación de la luz artificial, que hoy en día nos parece un acto sencillo, como es pulsar un interruptor que active una de tantas fuentes de luz existentes a nuestro alcance, ha pasado por varias etapas: desde el control de la llama hasta la emisión de luz usando un diodo de material inorgánico u orgánico, con fases intermedias, utilizando como combustible el aceite, el gas, y, tras el descubrimiento de la electricidad, su aplicación a las lámparas incandescentes y de descarga, cuyo desarrollo sigue activo en la actualidad, culminando con la revolución que supone la generación de luz mediante dispositivos en estado sólido.

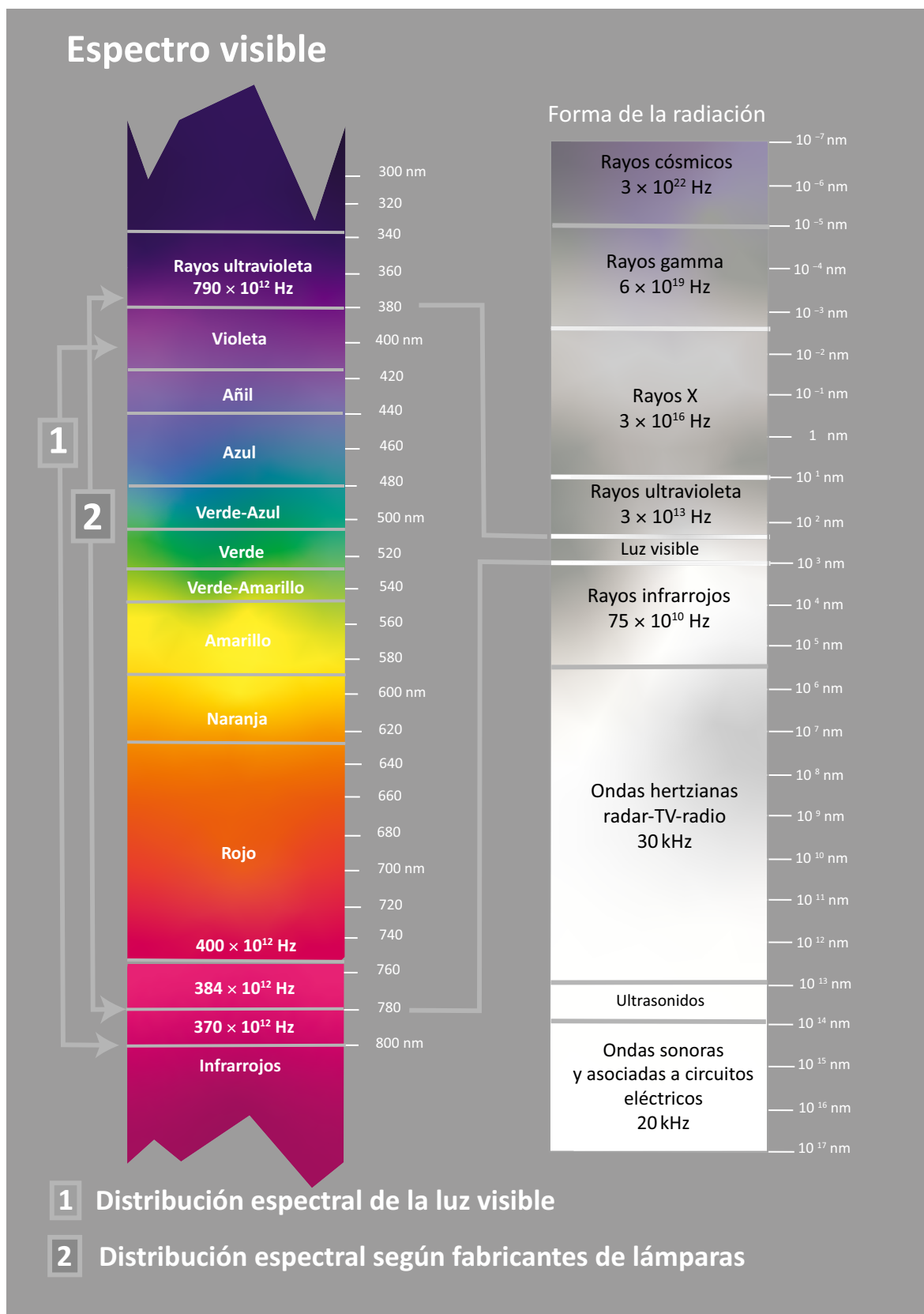
6.4.1. Generación de luz artificial

Las distintas tecnologías de generación de luz artificial utilizando la energía eléctrica las clasificamos en incandescencia, descarga y dispositivos en estado sólido emisores de luz.

6.4.1.1. Generación térmica o incandescencia

Cuando un cuerpo se somete a calentamiento, comienza a emitir energía de forma continua en función de la temperatura a la que se encuentre en cada momento. La energía emitida en longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm (*) y los 780 nm (denominado espectro visible) es la parte del espectro electromagnético capaz de activar la retina del ojo humano y enviar información de la visión al cerebro.

La energía luminosa emitida en longitudes de onda de 380 nm es la correspondiente al color azul, y la emitida a 780 nm correspondiente al color rojo.



Espectro visible.

Existe una relación entre la temperatura que adquiere un cuerpo y la longitud de onda donde se emite la mayor energía. Cuanto más elevada es la temperatura del cuerpo emisor, más se desplaza la longitud de onda máxima a colores más fríos (ley de desplazamiento de Wien).

La energía luminosa en una lámpara incandescente o halógena se produce por este tipo de emisión de energía. El calentamiento de un filamento de tungsteno por el que se hace pasar una corriente eléctrica genera calor y emisión luminosa. En función de la temperatura que alcance el filamento, el color de la luz emitida pasa de un amarillo rojizo a un blanco dorado. A mayor temperatura se obtiene más cantidad de luz, por lo tanto, la eficacia será mejor y la luz, más blanca. Pero para conseguir una adecuada vida útil (más elevada en las halógenas por el ciclo regenerativo del halógeno), la temperatura de funcionamiento está limitada en 2.800 K (*) para las lámparas incandescentes y entre 3.000 y 3.100 K para las halógenas.

(*) 1 nm = 0,000000001 m.

(**) K = kelvin a cero absoluto, equivalente a $-273,16^{\circ}\text{C}$.

6.4.1.2. Generación mediante descarga en gas

La generación de energía luminosa por descarga en gas se produce mediante la excitación de los electrones de los átomos de un gas contenido en un tubo de descarga. Normalmente, el gas suele ser mercurio o sodio. En ocasiones al mercurio se le añaden otro tipo de sales, como es el caso de los halogenuros metálicos.

Al aplicar una diferencia de potencial entre los extremos del tubo de descarga en el que está contenido el gas, se establece una corriente eléctrica y alguno de los electrones de esta, al chocar con los átomos del gas, puede ocasionar movimientos de electrones entre las distintas bandas energéticas del átomo. Si un electrón de un átomo del gas ha subido a una banda energética superior, tendrá que volver a su banda para restablecer el equilibrio energético del átomo, y en este retorno perderá parte de la energía adquirida en el choque. Estos saltos energéticos difieren en cada tipo de lámpara, y en función del tipo de gas y de la presión en que se encuentren en el tubo de descarga emitirán energía en distintas longitudes de onda, lo que determinará la distribución espectral de la luz emitida.

6.4.1.3. Dispositivos en estado sólido como emisores de energía luminosa

Cuando la excitación electrónica y los saltos energéticos relatados en el apartado anterior tienen lugar en el seno de un elemento sólido, excitando un semiconductor, se genera emisión de luz.

En función de los materiales que forman el semiconductor, se dividen en LED (*lighting emitting diode*, diodo emisor de luz) y OLED (*organic light emitting diode*, diodo orgánico emisor de luz).

Un LED es un diodo que al ser atravesado por una corriente eléctrica en unas determinadas condiciones emite luz. La composición química del material semiconductor utilizado para su fabricación definirá la longitud de onda emitida y, por lo tanto, su color.

Un OLED es un diodo orgánico que se basa en una capa electroluminiscente formada por una película de componentes orgánicos que generan luz al aplicarles una estimulación eléctrica.

6.4.2. Características de las fuentes de luz

Independientemente del tipo de generación luminosa, existe una serie de características básicas comunes a todas las fuentes de luz destinadas al alumbrado.

6.4.2.1. Apariencia de color

Esta característica de las fuentes de luz hace referencia al color de la luz emitida. Así, la luz blanca emitida por una fuente de luz puede variar desde tonalidades *cálidas* (anaranjadas) a *frías* (azuladas).

En las lámparas incandescentes, tal como se ha mencionado en apartado 6.4.1.1, el color de la luz emitida está estrechamente relacionado con la temperatura del filamento medida en kelvins (K). Al variar la temperatura del filamento, varía la apariencia de la luz emitida, siendo más cálida o dorada cuanto más baja es la temperatura del filamento y más fría o azulada cuando aumentamos la temperatura de este.

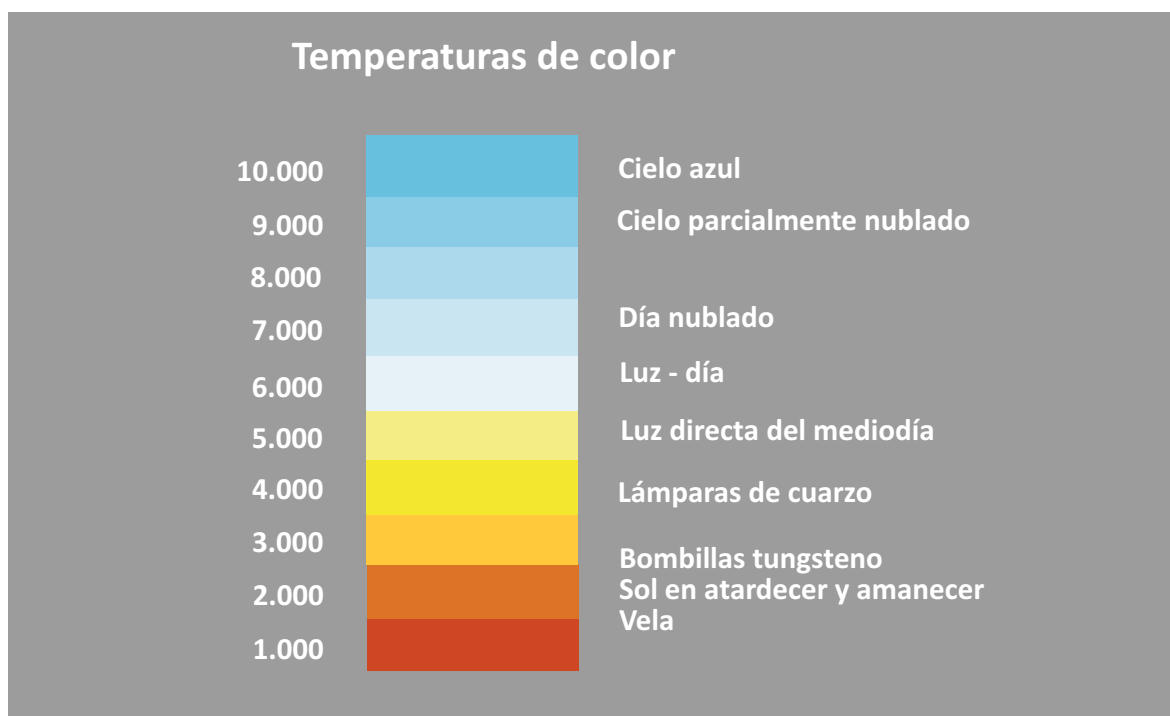
En otros tipos de fuentes luminosas, la temperatura de color de la luz emitida viene establecida por la temperatura de color correlacionada, que se obtiene por comparación con la emitida por una fuente de luz incandescente que tenga la misma apariencia de color que la analizada.

Según su temperatura de color, las fuentes de luz blanca utilizadas en el alumbrado se dividen así:

Blanco cálido ($T_c < 3.300 \text{ K}$)

Blanco neutro ($3.300 \text{ K} < T_c < 5.000 \text{ K}$)

Blanco frío ($T_c > 5.000 \text{ K}$)



Temperaturas de color.

6.4.2.2. Índice de reproducción de color (Ra)

Se conoce como tal al efecto que una fuente luminosa produce sobre el aspecto cromático de los objetos que ilumina, en comparación con el aspecto de dichos objetos iluminados con una fuente de luz de referencia. Dicho de otro modo, la capacidad que tiene una fuente de luz de devolver los colores que ilumina, tomando como referencia el color obtenido con una fuente de luz patrón.

Se establece la siguiente tabla para la valoración del Ra de las fuentes luminosas:

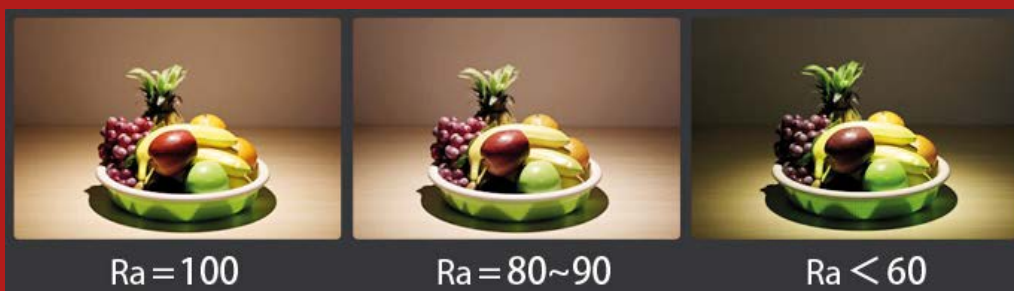
Ra < 60: pobre.

60 < Ra < 80: bueno.

80 < Ra < 90: muy bueno.

90 < Ra < 100: excelente.

Índice de reproducción cromática (Ra)



Valoración del Ra de las fuentes luminosas

Ra < 60	pobre
60 < Ra < 80	bueno
80 < Ra < 90	muy bueno
90 < Ra < 100	excelente

Índice de reproducción cromática (Ra).

Tanto en las lámparas fluorescentes como en las de descarga, ambas características (Tc y Ra) vienen indicadas por el código de tres dígitos que figura tras la potencia de la lámpara.

Por ejemplo: 840 significa un Ra superior a 80 y una Tc de 4.000 K y 930 significa un Ra superior a 90 y una Tc de 3.000 K.

6.4.2.3. Vida de las fuentes de luz

- Vida media: se define como el tiempo transcurrido hasta que falla el 50% de las lámparas de un lote representativo trabajando en unas condiciones especificadas (ciclos de conmutación de

3 horas, con 2 h y 45 minutos encendidas y 15 minutos apagadas para fluorescentes y ciclos de 12 horas, con 11 h encendidas y 1 h apagadas para descarga).

- Vida útil: período de tiempo transcurrido hasta que el flujo luminoso de la lámpara alcance un 70% de la inicial.

6.4.2.4. Flujo luminoso

Expresa la cantidad de energía emitida por segundo por una fuente de luz, ponderada respecto a la sensibilidad espectral del ojo humano.

Su unidad es el lumen (lm).

6.4.2.5. Intensidad luminosa

Se define como el flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección determinada.

La intensidad luminosa se expresa en candelas (cd).

6.4.2.6. Eficacia luminosa

Determina la capacidad de una fuente de luz en convertir en energía luminosa emitida en el intervalo de longitudes de onda del espectro visible (308-780 nm) la energía eléctrica utilizada.

El vocabulario internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional (CIE) define la eficacia luminosa de una fuente de luz como el cociente entre el flujo luminoso emitido y la potencia eléctrica consumida por dicha fuente de luz.

Se expresa en lúmenes por vatio (lm/W).

6.4.2.7. Etiquetado energético de las fuentes de luz

El Reglamento Delegado de la UE n.º 874/2012 establece requisitos relativos al etiquetado y a la información suplementaria que acompañará a las lámparas eléctricas, como las siguientes:

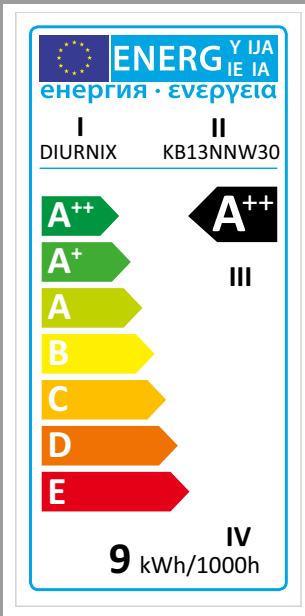
- a. Lámparas de filamento.
- b. Lámparas fluorescentes.
- c. Lámparas de descarga de alta intensidad.
- d. Lámparas LED y módulos LED.

Esta información queda reflejada en la etiqueta energética, la cual muestra una clasificación de siete categorías de eficiencia energética, desde la A a la G, siendo la A la de mayor rango, y la G, la de menor rango.

Quedan excluidas de esta clasificación las lámparas con flujo inferior a 30 lúmenes, las que funcionan con pilas y todas aquellas cuyo fin principal no es la generación de luz para alumbrado.

A partir del 1 de septiembre de 2021 será de aplicación el Reglamento Delegado (UE) 2019/2015 de la Comisión Europea de 11 de marzo de 2019, por el que se complementa el Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de las fuentes luminosas y se deroga el Reglamento Delegado (UE) n.º 874/2012 de la Comisión.

Etiquetado energético de fuentes de luz



I → Nombre/Marca comercial/Proveedor

II → Modelo de la lámpara (código alfanumérico del proveedor)

III → Clase de eficiencia energética (colocada a la altura de la categoría correspondiente)

IV → Consumo (en kW por 1.000 horas) ponderado y redondeado al consumo entero más próximo

Etiquetado energético de fuentes de luz.

6.4.3. Familias de fuentes de luz

Tal como se ha indicado en la introducción de este capítulo, la tecnología aplicada en la generación de la luz da lugar a tres grandes familias: incandescencia, descarga y dispositivos en estado sólido emisores de luz.



Familias de fuentes de luz.

6.4.3.1. Fuentes de luz incandescentes

En este tipo de lámparas, el principio físico de la generación de la luz es el de generación térmica o incandescencia.

Lámpara incandescente estándar

En estas lámparas una corriente eléctrica pasa por un filamento fino de alta resistencia, calentándolo hasta la incandescencia. Para evitar que el filamento, generalmente de tungsteno, se oxide, se encapsula en una ampolla de cristal que contiene un gas inerte o se genera el vacío en su interior.

La utilización de la lámpara hace que el filamento se vuelva más fino por la evaporación de los átomos del tungsteno, hasta que rompe por uno de los puntos de este, marcando el final de la vida de la lámpara.

Lámparas incandescentes estándar



La eficacia luminosa actual de estas lámparas es de 14 lm/W, aproximadamente, motivo por el que, desde 2012, han dejado de fabricarse y distribuirse en el mercado en aplicación de la Directiva Ecodesing 2009/125/CE del Parlamento Europeo.

Lámparas incandescentes estándar.

Características de estas lámparas:

- ✓ Cuando trabajan en condiciones nominales, la temperatura de color (T_c) puede oscilar entre los 2.700 y los 2.800 K. Son regulables mediante el control de la intensidad de corriente que pasa a través de su filamento, variando su T_c y el flujo luminoso en función de dicha intensidad. A menor emisión de luz, menor T_c .
- ✓ Espectro continuo, con $R_a = 100$.
- ✓ Tanto el flujo luminoso como la eficacia luminosa y la vida de la lámpara están muy influenciados por las variaciones de tensión de la red a la que están conectadas.
- ✓ La vida media se estima en unas 1.000 horas, si bien existen en el mercado lámparas incandescentes de mayor y menor duración, en función de la aplicación a la que van destinadas.
- ✓ La eficacia luminosa actual de estas lámparas es de 14 lm/W, aproximadamente, motivo por el que desde el pasado 2012 han dejado de fabricarse y distribuirse en el mercado, en aplicación de la Directiva Ecodesing 2009/125/CE del Parlamento Europeo.

Lámpara incandescente halógena

Es una lámpara incandescente en la que el filamento luminoso se encuentra dentro de una ampolla que contiene un gas inerte con una proporción de halógenos. Técnicamente se debe nombrar como «lámpara incandescente con halógenos».

El ciclo regenerativo del halógeno que se produce en el interior de la ampolla permite aumentar la temperatura del filamento hasta unos 3 000 K sin acortar la vida de este, proporcionando una

mayor emisión luminosa y de Tc algo más elevada que la generada por una incandescente estándar («luz mas blanca»). Asimismo, se incrementan sensiblemente la vida y la eficacia respecto a dicha lámpara, con el inconveniente de una mayor emisión infrarroja (calor). La elevada temperatura del filamento exige la utilización de envoltente de cristal de cuarzo.

En el mercado existen lámparas de este tipo que pueden trabajar en conexión directa a la red de 230 V o a través de un transformador de salida 12/24 V.

Lámparas incandescentes halógenas

Par	Elipsoidal	Dicroica	Bipin
			
			
QR 111	Lineal		

Según la Directiva ErP (EC) 244/2009, a partir del 1 de septiembre de 2018 ya no se podrán fabricar ni vender lámparas halógenas que hayan sido fabricadas después del 31 de agosto de este año.

Lámparas incandescentes halógenas

Según la Directiva ErP (EC) 244/2009, a partir del 1 de septiembre de 2018 ya no se podrán fabricar ni vender lámparas halógenas que hayan sido fabricadas después del 31 de agosto.

Aunque la prohibición de las bombillas halógenas entró en vigor a partir de 1 de septiembre de 2018, se espera que su eliminación sea gradual. Por su parte, la Unión Europea no obliga a que los ciudadanos se deshagan de bombillas si estas están en funcionamiento, pero sí se espera que las personas que disponen de estas luces las reemplacen tan pronto como se estropeen.

Lámpara halógena con tecnología IRC (infrared reflecting coating)

Se trata de una lámpara incandescente halógena que incorpora un recubrimiento interno al cristal de cuarzo de la lámpara que tiene como característica reflejar las longitudes de onda infrarrojas a la vez que deja pasar la luz visible.

Gracias a esta tecnología que permite alcanzar la temperatura del filamento con menor consumo energético, se consiguen ahorros próximos al 40% para proporcionar la misma cantidad de luz y una muy importante disminución de calor emitido.

6.4.3.2. Fuentes de luz de descarga en gas. Parte I (sodio, mercurio y halogenuros metálicos)

A continuación, se describen los tipos de lámparas que utilizan la descarga en un gas para la producción de energía luminosa.

Lámparas de vapor de sodio



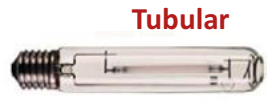
**Lámpara de SBP
(sodio de baja presión)**



**Lámpara de SAP
(sodio de alta presión)**



Elipsoidal



Tubular

**Lámparas de vapor
de sodio «Confort»**

Lámparas de vapor de sodio.

Lámpara de vapor de sodio de baja presión

En este tipo de lámpara, la radiación visible es producida por la descarga eléctrica en el interior de un tubo de descarga que contiene una mezcla de gases y vapor de sodio a baja presión. En estas condiciones se genera emisión de energía luminosa en longitudes de onda próximas a los 589 nm (luz amarilla anaranjada).

La eficacia de este tipo de lámparas oscila entre los 100 y los 198 lm/W, en función de la potencia de estas.

Aunque técnicamente no es correcto debido a su posición cromática, se definen como lámparas con una Tc de unos 1.800 K.

La vida útil puede superar las 12.000 horas siempre que se mantengan las especificaciones de funcionamiento facilitadas por el fabricante.

Necesitan un equipo auxiliar para su funcionamiento; el tiempo de encendido hasta alcanzar el régimen de funcionamiento nominal es de unos 12 minutos y no se puede regular la emisión de luz.

Dado el color de la luz emitida por estas lámparas, su uso queda reducido a aquellas aplicaciones en las que no es importante la reproducción cromática de los objetos iluminados.

Lámpara de vapor de sodio de alta presión

El tubo de descarga que incorpora este tipo de lámparas está relleno de xenón y una amalgama de sodio y mercurio a alta presión. La emisión de energía luminosa es mayoritaria en longitudes de onda entre los 550 y 650 nm, pero varía en función del tipo y potencia.

La eficacia de este tipo de lámparas oscila entre los 68 y los 150 lm/W, en función de la potencia de estas.

La apariencia de color es variable en función del tipo, alcanzando o superando levemente una Tc de unos 2.000 K. El rendimiento de color es pobre ($R_a = 25$).

La vida útil varía entre las 10.000 y las 22.000 horas siempre que se mantengan las especificaciones de funcionamiento facilitadas por el fabricante.

Necesitan un equipo auxiliar para su funcionamiento; el tiempo de encendido hasta alcanzar el régimen de funcionamiento nominal puede oscilar entre los 5 y 10 minutos y se puede regular la emisión de luz utilizando para ello un sistema adecuado a tal fin.

Dada la elevada vida útil de esta lámpara es idónea para su utilización en aquellas instalaciones con períodos de encendido diario de varias horas (iluminación pública e industrial) y donde la reproducción cromática no sea esencial.

Lámpara de vapor de sodio «confort»

Se trata de una lámpara de sodio de alta presión en la que se consigue un rendimiento de color más elevado, alcanzando valores de $R_a = 60$.

Permiten la regulación del flujo luminoso emitido, pero perdiendo sus características de color.

Lámpara de sodio blanco

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

No es recomendable su regulación porque tanto la Tc como el Ra se ven reducidos de forma muy notable.

Lámpara de vapor de mercurio de alta presión

Estas lámparas disponen de un tubo de descarga en el interior del cual hay mercurio y un gas de relleno inerte, normalmente argón. Como en todas las lámparas mencionadas hasta el momento, el citado tubo de descarga o quemador queda encapsulado en una ampolla de vidrio.

La eficacia de este tipo de lámparas oscila entre los 36 y los 59 lm/W, en función de la potencia de estas.

La apariencia de color es blanco-azulada, con una temperatura de color correlacionada de 6.000 K. El rendimiento de color es pobre ($R_a = 15$), existiendo una variante denominada «vapor de mercurio con color corregido con recubrimientos especiales» que alcanza un $R_a = 52$ y una $T_c = 3300$ K.

La vida útil varía entre las 12.000 y las 24.000 horas siempre que se mantengan las especificaciones de funcionamiento facilitadas por el fabricante.

Necesitan un equipo auxiliar para su funcionamiento; el tiempo de encendido hasta alcanzar el régimen de funcionamiento nominal es de aproximadamente 4 minutos y no es recomendable su regulación.

El RD 1890/2008, del 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, prohíbe la utilización, en estas instalaciones, de lámparas con eficacias inferiores a 65 lm/W; por lo tanto, queda excluido este tipo de lámpara para tales aplicaciones.

Lámpara de mezcla

También conocida como «lámpara de luz mezcla» por disponer en la misma ampolla de vidrio de una lámpara de vapor de mercurio y una lámpara de filamento incandescente conectadas en serie.

En el encendido, inmediato en la lámpara de incandescencia, es el filamento el que emite la luz, pero cuando la lámpara se estabiliza al cabo de unos tres minutos, el flujo luminoso procedente del tubo de descarga es aproximadamente el doble del que produce el filamento.

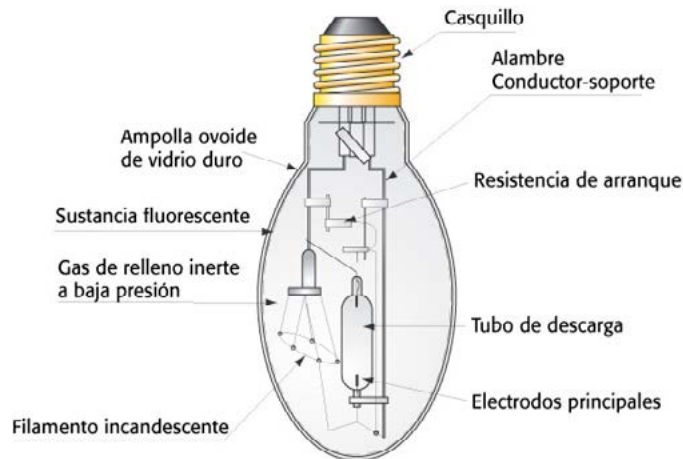
La denominación de esta lámpara es debida a que ambos tipos de luz se combinan o mezclan, dando lugar a unas características de lámpara completamente distintas a las de incandescencia o vapor de mercurio.

La Tc de estas lámparas varía de 3.450 K a 3.700 K, y los índices de reproducción cromática, de 50 a 65 ($50 < R_a < 65$).

Las eficacias son bastante pobres, con valores entre los 19 y los 26 lm/W.

La vida útil es muy variable, ya que estas lámparas son muy sensibles a las vibraciones y a las sobretensiones.

Al igual que la de vapor de mercurio, también queda excluida en su aplicación para alumbrado público.



Lámpara de mezcla.

Lámpara de halogenuros metálicos con tubo de descarga de cuarzo

Anteriormente se ha citado la posibilidad de mejorar el rendimiento en color de la lámpara de vapor de mercurio de alta presión mediante el uso de diferentes polvos fluorescentes adheridos en el interior de la ampolla de vidrio, pero ha sido la adición a la descarga de otros metales distintos al mercurio lo que ha permitido la mejora del índice de reproducción de color de la luz emitida.

Con base en los elementos incorporados, las lámparas de este apartado se dividen en tres grupos:

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

Por las distintas tecnologías empleadas en la fabricación de estas lámparas, es muy difícil conseguir dos lámparas exactamente iguales con respecto a las características de temperatura de color, índice de reproducción cromática, eficacia y vida útil, con variaciones importantes en los citados parámetros. Incluso los equipos auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento de las lámparas pueden ser incompatibles, por lo que antes de su aplicación se debe consultar a los fabricantes.

La depreciación del flujo luminoso de estas lámparas suele ser muy importante, debido principalmente a la migración de los componentes a través del tubo de descarga.

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



Lámpara de HM con tubo de descarga de cuarzo.

Lámpara de halogenuros metálicos con tubo de descarga cerámico

Este tipo de lámpara es el último desarrollo de lámparas de descarga en gas.

La utilización de la mezcla de yoduro metálico y tierras raras en un tubo de descarga cerámico permite la fabricación de lámparas de características de color superiores a sus equivalentes de halogenuros metálicos en tubo de descarga de cuarzo.

Como ejemplos, valgan los siguientes: la lámpara de cuarzo de $T_c = 3.000\text{ K}$ con un $R_a = 70$ pasa a tener un $R_a = 80$ con tecnología cerámica y la de $T_c = 4.200\text{ K}$ con un $R_a = 80$ pasa a tener un $R_a > 90$.

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

Es de destacar la aparición de lámparas de halogenuros metálicos con tubo de descarga de cuarzo para su aplicación en el alumbrado público, en sustitución de las lámparas de vapor de sodio de alta presión, consiguiendo importantes ahorros (reducción por punto de luz de 250 W a 150 W) y mejorando la percepción que tienen los ciudadanos con respecto al nivel de iluminación y el color, gracias a la luz blanca generada.

Las características fundamentales de la última generación de lámparas de halogenuros metálicos con tubo de descarga de cuarzo son las siguientes:

- ✓ Temperatura de color $T_c = 2.800\text{ K}$
- ✓ Índice de reproducción cromática entre 65 y 70 ($65 < R_a < 70$)
- ✓ Eficacias entre 96 y 120 lm/W.
- ✓ Funcionan solamente con equipo auxiliar electrónico.
- ✓ Son regulables, con el hándicap ya mencionado anteriormente.



Lámpara de HM con tubo de descarga cerámico.

6.2.3.3. Fuentes de luz de descarga en gas. Parte II (fluorescencia e inducción)

Técnicamente deberían ser denominadas como «lámparas de descarga de vapor de mercurio a baja presión», pero coloquialmente son más conocidas como lámparas fluorescentes.

Independientemente de cómo se genere esta, el principio tecnológico de funcionamiento de una lámpara fluorescente se basa en la descarga en una atmósfera de vapor de mercurio a baja presión, contenida en un tubo o ampolla de vidrio cubierto interiormente por una mezcla de polvos fluorescentes cuya función es convertir la radiación ultravioleta generada en la descarga en otras longitudes de onda comprendidas dentro del intervalo visible (380/780 nm) del espectro electromagnético.

Se dispone para este fin de una gran variedad de polvos fluorescentes (fósforos estándar, trifósforos, pentafósforos) que permiten producir luz de distintas temperaturas de color (T_c) y con las características de rendimiento de color (R_a) que se deseen.

Lámparas fluorescentes tubulares

Son, sin duda, la familia más extendida en el mercado y se denominan en función del diámetro exterior del tubo expresado en octavos de pulgada.

T12, con un diámetro de 38/40 mm, corresponde a 12/8 de pulgada.

T8, con un diámetro de 26 mm, corresponde a 8/8 de pulgada.

T5, con un diámetro de 16 mm, corresponde a 5/8 de pulgada.

T2, con un diámetro de 6 mm, corresponde a 2/8 de pulgada.

T1, con un diámetro de 2,8 mm, corresponde a 1/8 de pulgada.



Lámparas fluorescentes tubulares.

Las primeras fluorescentes en aparecer en el mercado fueron las T12, hoy en día prácticamente en extinción, salvo en algunas aplicaciones especiales.

En la actualidad las más utilizadas son las T8, de las que existe una amplísima variedad en función de su potencia, flujo luminoso emitido, temperatura de color, rendimiento de color, si son ahorradoras, de larga vida, para ambientes especiales, de colores, etc.

Pueden funcionar con equipo auxiliar electromagnético y electrónico.

Las T5 son de más reciente aparición en el mercado y están diseñadas para trabajar con equipo auxiliar electrónico. Tienen dimensiones y casquillos distintos a las T8, por lo que no son intercambiables con las anteriores. También existe una gran variedad en función de los parámetros ya indicados para las T8.

La vida media/útil, el flujo luminoso emitido, la Tc y el Ra de las lámparas fluorescentes varían en función del tamaño, la potencia, los polvos fluorescentes utilizados, el equipo auxiliar, la temperatura ambiente, etc., etc., por lo que es necesario consultar al fabricante sobre las características más adecuadas para cada aplicación.

La temperatura ambiente óptima para el correcto funcionamiento de las lámparas fluorescentes T12 y T8 es de 25 °C, mientras que las T5 están optimizadas para una temperatura ambiente de 35 °C. En ambos casos, a temperaturas inferiores o superiores a las indicadas existen importantes pérdidas de flujo.

Lámparas fluorescentes circulares

Son una versión especial de las lámparas fluorescentes, desarrolladas fundamentalmente para aplicaciones de carácter más decorativo que las tubulares lineales. Existen en diámetros de tubo T12, T8 y T5.

Dada su forma, tienen una vida y una eficacia menor es que las versiones lineales.

Lámparas fluorescentes compactas no integradas

Con el objeto de conseguir una lámpara de menor tamaño que las tubulares lineales o circulares, los fabricantes han variado la forma de estas, bien doblando el tubo en forma de U o reduciendo su longitud uniendo dos mitades en paralelo. Esta modificación del tubo de vidrio tiene como consecuencia la disminución de la eficacia de la lámpara y el acortamiento de su vida.

Los distintos tipos de casquillos utilizados en estas lámparas, de dos o cuatro patillas, hacen necesaria la utilización de equipos auxiliares electrónicos o electromagnéticos, respectivamente.

La gran mayoría de las lámparas compactas no integradas existentes en el mercado utilizan los trifósforos para el recubrimiento interior del tubo, lo que implica valores de rendimiento de color muy elevados ($R_a = 85$).

En función del equipo y del tipo de lámpara, la eficacia de estas lámparas oscila entre los 58 y los 88 lm/W y se pueden alcanzar vidas útiles entre las 6.500 y las 15.000 horas, existiendo modelos especiales que pueden alcanzar las 25.000 horas de vida útil.



Lámparas fluorescentes compactas no integradas.

Lámparas fluorescentes compactas integradas

La diferencia fundamental con respecto a las anteriores es que llevan integrado el equipo de encendido (generalmente electrónico) y su acabado es en casquillo convencional, E14 o E27, lo que las hace directamente intercambiables con las lámparas incandescentes estándar.

En el mercado existe una gran variedad en forma, tamaño y potencia de estas lámparas, por lo que es difícil establecer un criterio común de vida y eficacia, debiendo analizar las especificaciones dadas por el fabricante. En general, estas lámparas se fabrican en temperaturas de color cálidas, pero también las hay de temperatura de color fría.

Si se utilizan en sustitución de las incandescentes estándar se deberán tener en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ La Tc deberá oscilar entre los 2.700 K y 3.000 K.
- ✓ El número de encendidos afecta de modo muy importante a la vida de la lámpara.
- ✓ Como criterio general puede usarse la norma de dividir entre cinco la potencia de la lámpara incandescente estándar que se desea sustituir.
- ✓ Aunque el encendido es instantáneo, se necesitan varios segundos para alcanzar el flujo nominal.



Lámparas fluorescentes compactas integradas.

Lámparas de inducción

El principio de generación de luz de estas lámparas es idéntico al referido para las lámparas fluorescentes analizadas en los apartados anteriores de este capítulo.

En dichas lámparas el flujo de electrones necesario para su funcionamiento precisaba de la existencia de unos cátodos en los extremos del tubo. En la lámpara de inducción, la excitación eléctrica de los átomos de mercurio del gas tiene lugar por la acción de un campo electromagnético producido por un generador de alta frecuencia que transmite una corriente mediante una antena u otro sistema, en función del modelo de lámpara.

Al no existir electrodos, la vida de la lámpara es muy superior a la de una lámpara fluorescente de las nombradas anteriormente, pudiendo alcanzar las 60.000 horas de vida útil, con eficacias entre los 65 y 85 lm/W.

La tecnología de esta lámpara tiene sus orígenes en los trabajos de Nikola Tesla en la década de los noventa del siglo XIX, quien posteriormente patentó un sistema de luz basado en los principios de transferencia de la energía a las lámparas incandescentes y fluorescentes sin electrodos. Estas lámparas se comenzaron a comercializar un siglo más tarde, en los años noventa del siglo pasado. En la actualidad, por su limitada eficacia, bajo factor de utilización en instalación y elevado coste, estas lámparas han desaparecido de los catálogos de los principales fabricantes.



Lámparas de inducción.

6.4.3.4. Dispositivos en estado sólido emisores de luz (LED y OLED)

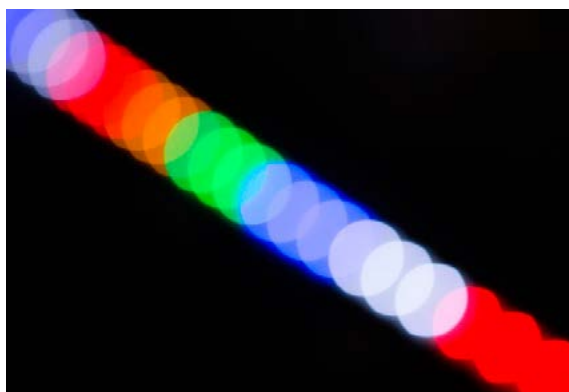
El principio físico de generación de energía luminosa en el que están basados estos dispositivos difiere de los analizados para las otras familias de fuentes de luz vistas anteriormente, al no existir ni un filamento metálico incandescente ni una descarga eléctrica en el seno de un determinado gas.

Como dispositivos en estado sólido emisores de luz analizaremos los LED y los OLED.

Los LED

El acrónimo LED proviene de las siglas en inglés de *lighting emitting diode* (diodo emisor de luz). Un LED es un diodo (componente electrónico semiconductor) que, al ser atravesado por una corriente eléctrica en unas determinadas condiciones, emite luz.

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

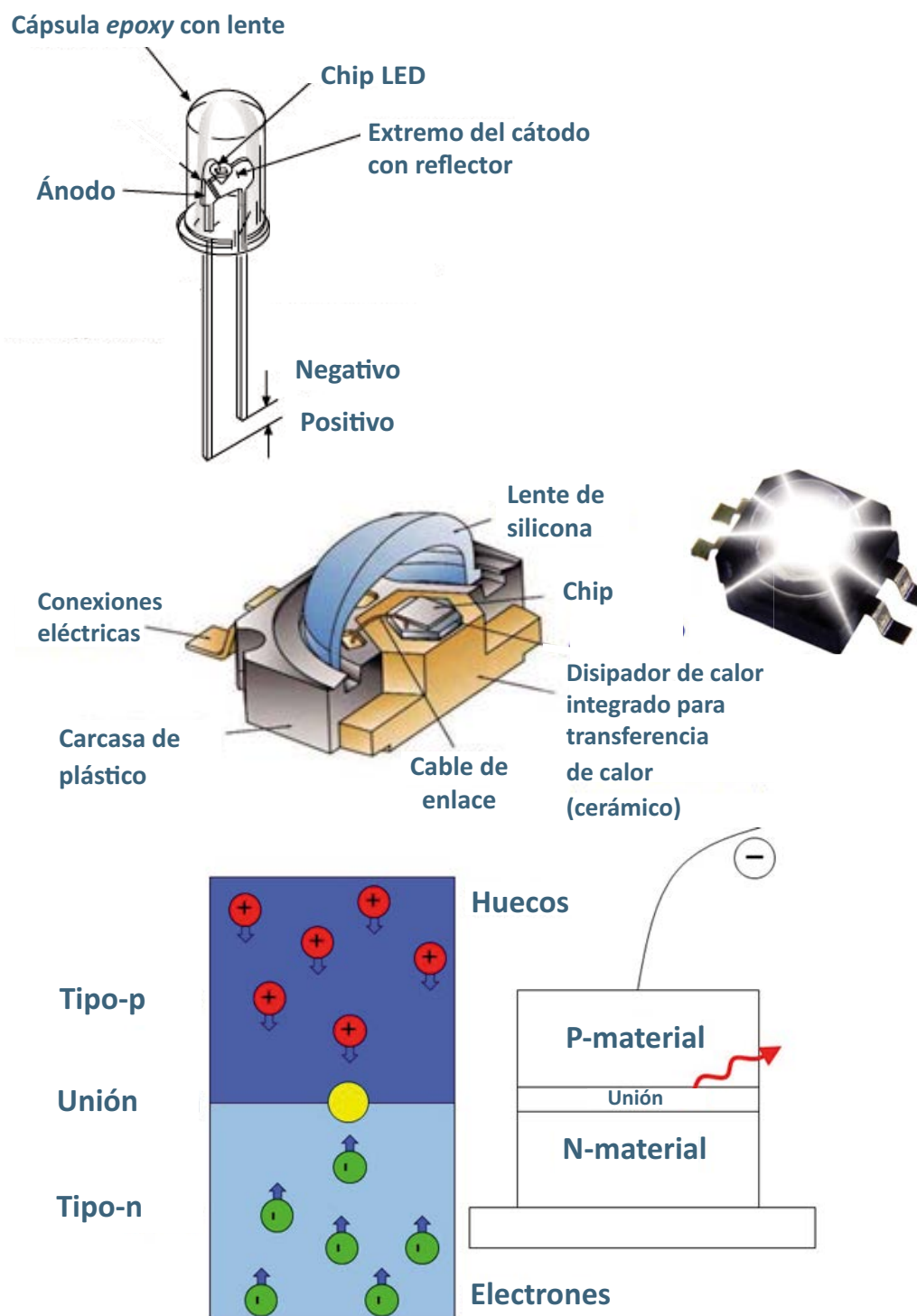


LED.

El LED, desde el punto de vista de emisión de energía luminosa, solamente funciona cuando es alimentado con una polarización correcta en sus bornes. No puede conectarse directamente a tensión de red, necesitando para su correcto funcionamiento la utilización de una fuente de alimentación, denominada comúnmente «*driver*».

En términos generales, la luz generada por los LED es monocromática, y los distintos colores son producto del material semiconductor utilizado en su fabricación.

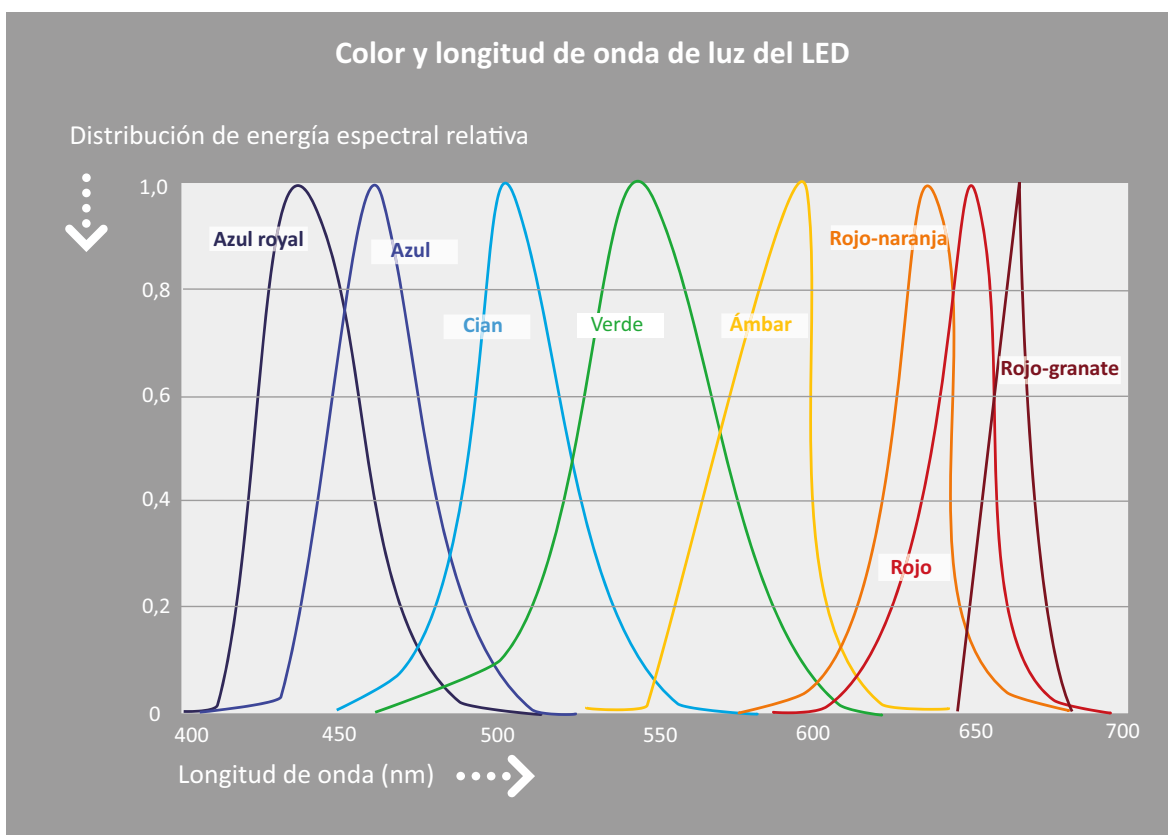
LED (*light emitting diode*)



En términos generales, la luz generada por los LED es monocromática, y los distintos colores son producto del material semiconductor utilizado en su fabricación.

Color	Longitud de onda (nm)
Azul royal	440 (pico)
Azul	470
Cian	505
Verde	530
Ambar	590
Rojo	625

Tabla 6.2. Relación color/Longitud de onda.



Color y longitud de onda luz del LED.

LED emisores de luz blanca

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

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

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

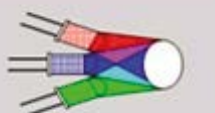
Mediante el segundo método se puede obtener luz blanca cálida o fría en función de los fósforos que se utilicen. Si se utilizan fósforos amarillos se tendrá un LED blanco frío y de un Ra en torno a 60. Si se utilizan fósforos rojos y verdes se puede obtener un LED blanco cálido de mejor reproducción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

A fecha de hoy, la tecnología utilizada en la fabricación de los LED no ha conseguido la unificación de las propiedades, incluso entre los LED obtenidos de la misma oblea. Con el objeto de obtener un cierto grado de homogeneidad para una aplicación determinada, se recurre al denominado «binning», que involucra la caracterización de los LED mediante sus características fundamentales: flujo, color y voltaje.

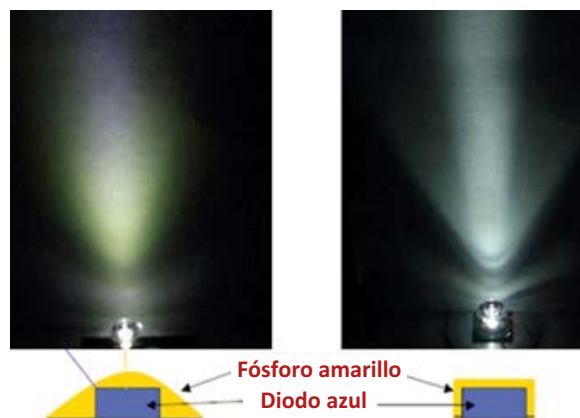
Este segundo método tiene una variante denominada de «fósforos remotos», consistente en montar una placa con varios LED azules en el interior de una cámara de alto grado de reflexión, denominada cámara de mezcla, donde las eventuales diferencias en color y flujo de los chips empleados se mezclan, dando lugar a una luz azul uniforme. La capa de fósforos y el difusor utilizado transforman esta luz azul en luz blanca de gran uniformidad.

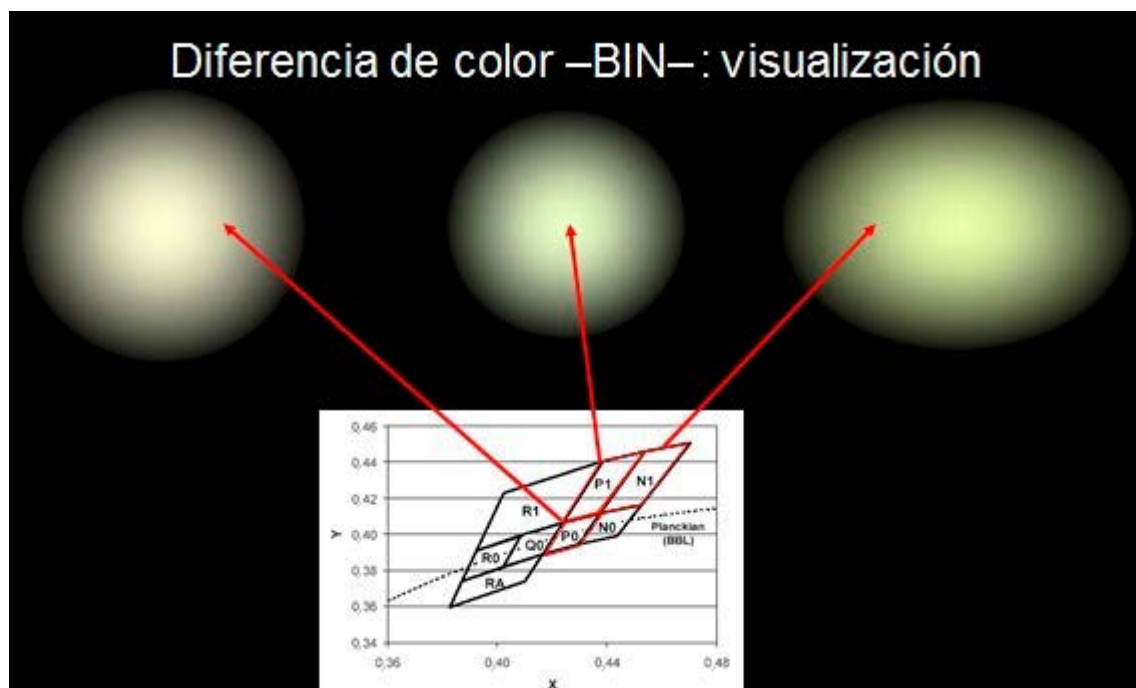
LED emisores de luz blanca

Mezcla de luz emitida por tres chips monocromáticos: azul, verde y rojo

	Técnica
	Mezcla de rojo-verde-azul (RGB)
	LED azul con un fósforo blanco/amarillo
	LED azul con un fósforo RGB

Combinación de un chip azul y capas de fósforo





Mezcla de colores.

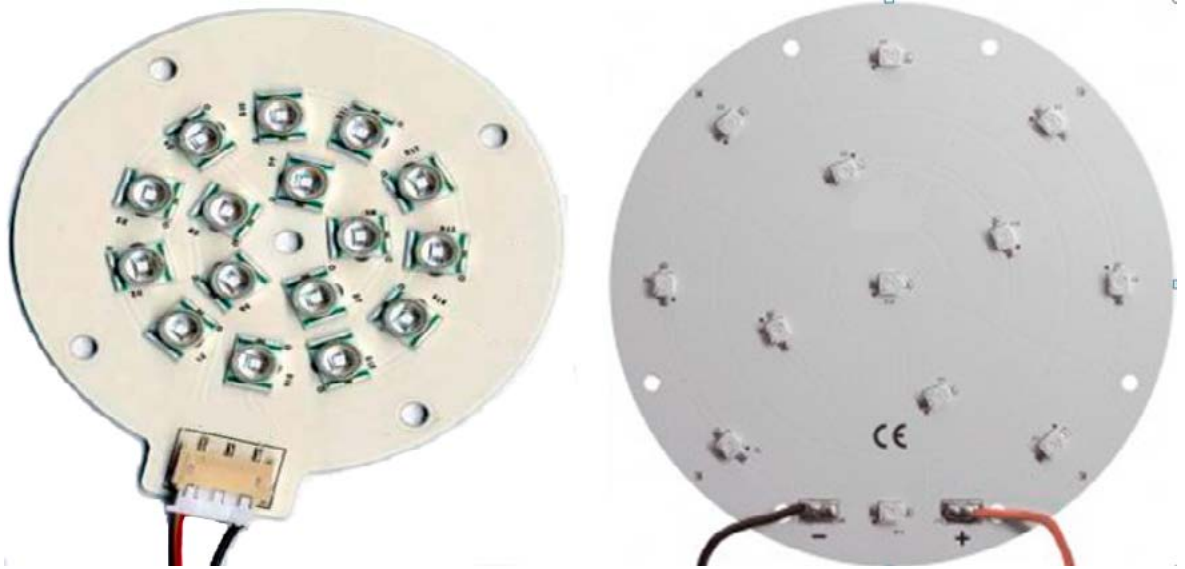
Con esta variante es posible incrementar la eficiencia del sistema en un 40%, asegurando la estabilidad del color. Al igual que el resto de las fuentes de luz anteriormente citadas, los LED empleados en el alumbrado deberán cumplir lo establecido en la norma UNE-EN 62471 («Seguridad fotobiológica de las lámparas») –y sus correspondientes revisiones–, en la que se hace referencia al posible daño para la retina al mirar directamente a dichas fuentes de luz.

La utilización de los LED en un alumbrado general, ya sea de interior o de exterior, al igual que sucede con las otras fuentes de luz descritas en este capítulo, está clasificada como exenta de riesgo o de riesgo muy bajo por la citada norma, siempre que sean utilizados en las condiciones indicadas por los fabricantes.

Conjuntos multi-LED-PCB (printed circuit board)

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

1. Establecer las conexiones eléctricas entre los LED y el *driver*. Pueden ser fabricados en fibra de vidrio o con un núcleo de metal (generalmente aluminio) con una ligera capa de fibra de vidrio, en cuyo caso se denominan MCPCB (*metal core printed circuit board*).
2. Transferir el calor generado por los LED al disipador térmico.



PCB.

Características del LED

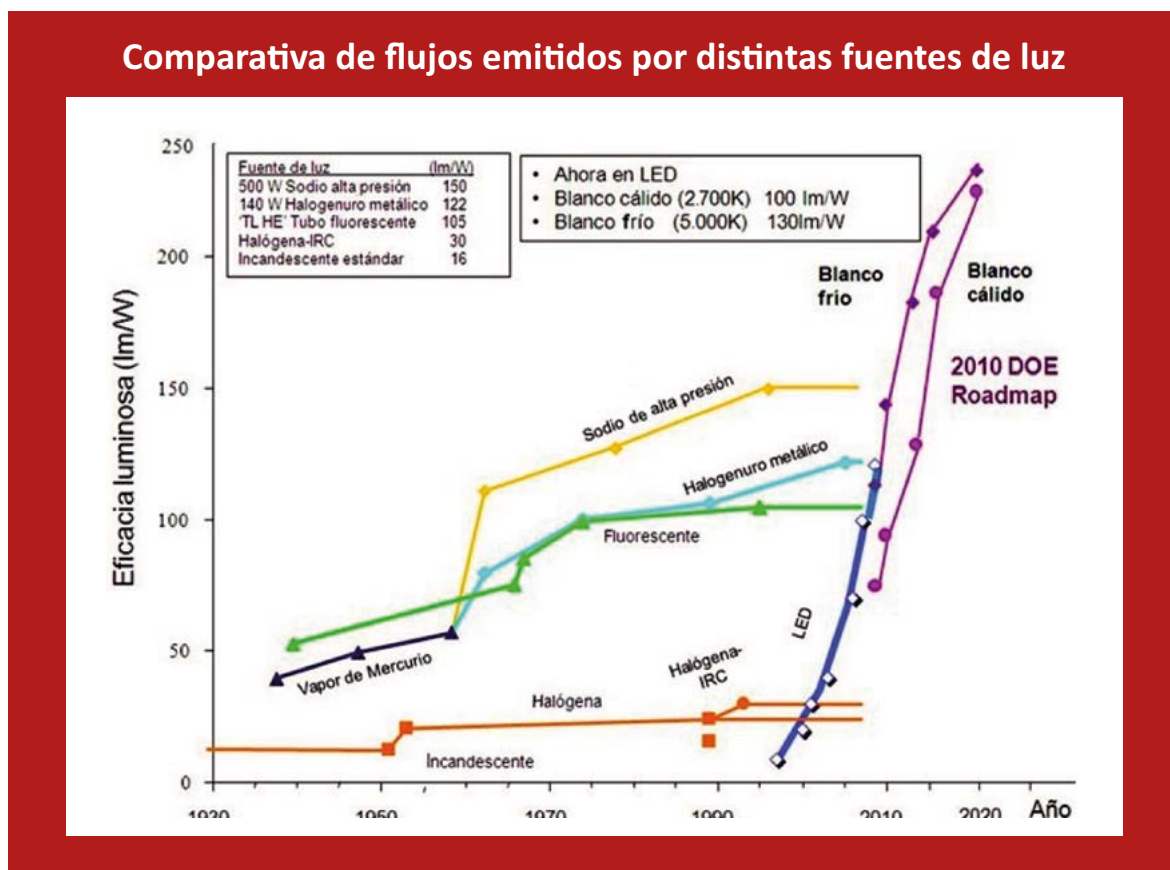
Frente a las otras fuentes de luz citadas en este capítulo, el LED aporta importantes ventajas (citaremos algunas a continuación) para su utilización en el alumbrado, tanto interior como exterior.

- a. Emisión de luz monocromática, ideal para iluminaciones arquitecturales y decorativas.
- b. Pequeñas dimensiones, que permiten gran flexibilidad y simplicidad de diseño de luminarias.
- c. Elevada eficacia lm/W en función de la intensidad de corriente con la que sea alimentado.
- d. Con la elevación de la corriente que circula por el LED (750 mA, 1 A) se incrementa el flujo emitido al mismo tiempo que la potencia consumida. Habitualmente con intensidades de corriente de 350 mA se consigue la mayor eficacia, alcanzando a día de hoy los 100 o 120 lm/W cuando varios LED trabajan en forma conjunta en una luminaria.
- e. Gran vida útil, de hasta 50.000 horas, dependiendo de la temperatura ambiente en la que trabaje el LED, de la corriente de alimentación y de la disipación térmica de la solución empleada.
- f. Sin radiación ultravioleta ni infrarroja.
- g. Emisión luminosa fácilmente direccionable mediante lentes o reflectores, pudiendo alcanzar mayores aplicaciones con luminarias que incorporen LED que las obtenidas en luminarias dotadas de otras fuentes de luz convencionales.
- h. Mayor resistencia a golpes y vibraciones que el resto de las fuentes de luz habitualmente utilizadas.
- i. Encendido instantáneo y fácilmente regulable.

Comparativa de fuente de luz LED con incandescencia, fluorescencia y descarga

El rápido desarrollo de la tecnología LED ha disparado las expectativas de crecimiento en el flujo de luz emitida por estos elementos, si bien la citada emisión puede quedar limitada por la posibilidad o no de la disipación térmica necesaria para su correcto funcionamiento, al incorporarlos en lámparas y/o luminarias.

En el gráfico siguiente se indica una comparativa de los flujos emitidos por las distintas tecnologías de fuentes de luz.



Comparativa de flujos emitidos por distintas fuentes de luz.

Lámparas LED con conexión directa a red

En este tipo de lámparas, la fuente de alimentación va incluida en el formato de estas, por lo que se hace necesaria la existencia de disipadores térmicos que permitan el correcto funcionamiento de dicha fuente.

Lámparas LED con conexión directa a red o *retrofit*



La fuente de alimentación va incluida en el formato de estas lámparas y necesitan disipadores térmicos que permitan su correcto funcionamiento.

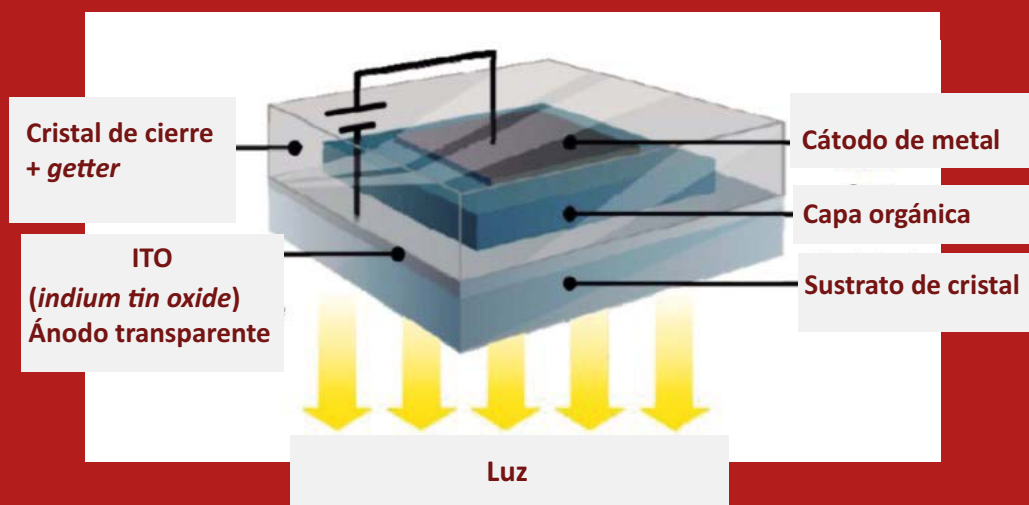
Lámparas LED de conexión directa a red o *Retrofit*.

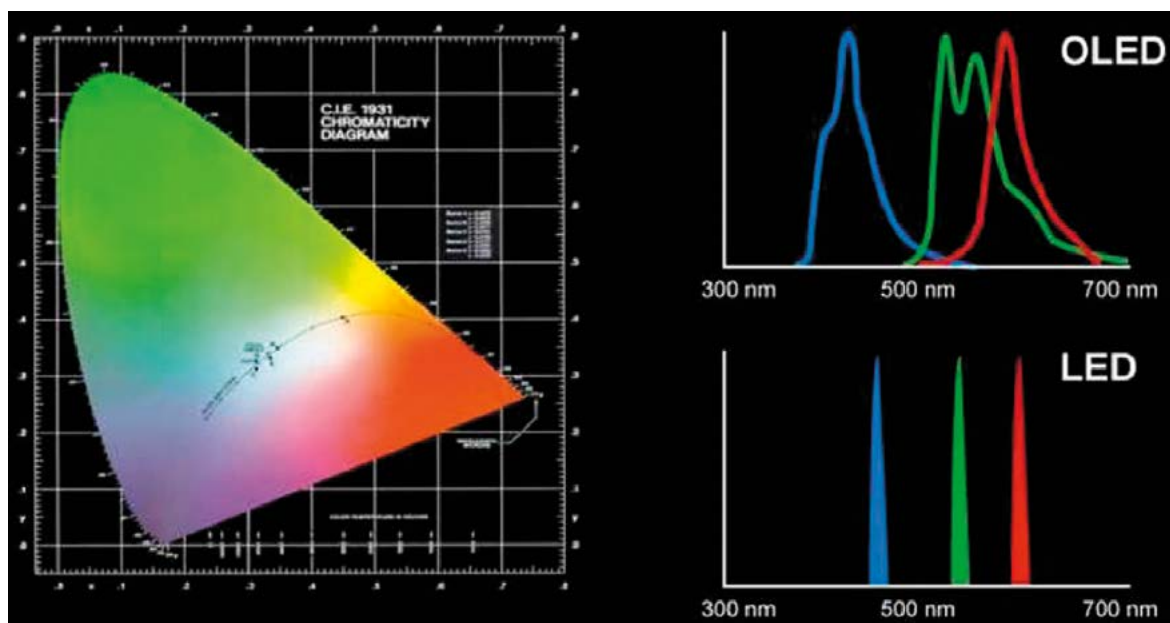
Los OLED (organic light emitting diode)

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

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

OLED (organic light emitting diode)





El OLED.

Actualmente se pueden encontrar dos tipos de OLED, en función de la tecnología empleada para la generación de energía luminosa: generación mediante moléculas, denominados SM-OLED (small molecule-OLED), y generación mediante polímeros, denominados PLED (*polymer light emitting diodes*).

Características del OLED

Para su aplicación en el alumbrado destacan por lo siguiente:

- ✓ Ligeros y de muy poco espesor, permitiendo aplicaciones en las que el peso y volumen sean determinantes.
- ✓ Elevada reproducción cromática de la luz emitida ($R_a > 80$).
- ✓ Larga vida útil (> 1.000 horas).
- ✓ Fuente de luz difusa.
- ✓ Bajo voltaje de funcionamiento.
- ✓ Sin sustancias peligrosas en su composición.

A día de hoy la utilización del OLED como fuente de luz se encuentra en su fase inicial de desarrollo, esperándose que a medio plazo se consigan eficacias superiores a 100 lm/W (actualmente unos 20 lm/W) y elevada vida útil a un costo competitivo para su utilización, especialmente en el alumbrado interior.

Del mismo modo, si la tecnología permite la fabricación del OLED totalmente transparente, tendrá una gran aplicación como elemento de construcción.

6.5. Equipos eléctricos auxiliares

La mayor parte de las fuentes de luz referidas en este capítulo necesitan de un equipo auxiliar para ser conexionadas a la red de alimentación eléctrica. Tanto las lámparas fluorescentes como el resto de las de descarga en gas y los dispositivos en estado sólido emisores de luz necesitan del citado equipo auxiliar para su correcto funcionamiento. Asimismo, algunas lámparas incandescentes halógenas de bajo voltaje necesitan de la presencia de un transformador en su circuito de conexión a la red eléctrica.

Tanto unos como otros pueden aparecer en sus versiones electrónicas o electromagnéticas.

6.5.1. Equipos asociados a fuentes de luz incandescente halógena de bajo voltaje

En el caso de las lámparas incandescentes halógenas de bajo voltaje (12/24 V), es necesaria la existencia de un transformador de tensión entre la lámpara y la red de alimentación (230 V).

Estos transformadores pueden ser electrónicos o electromagnéticos.

Algunas de las principales ventajas de los primeros son las siguientes:

- ✓ Más ligeros y compactos.
- ✓ Menores pérdidas por efecto Joule.
- ✓ Más silenciosos.
- ✓ Elevado factor de potencia.
- ✓ Protección contra sobrecargas y cortocircuitos.
- ✓ Posibilidad de regulación según tipos.



Equipos para halógenas de bajo voltaje.

6.5.2. Equipos auxiliares para lámparas de descarga

Como ya se ha comentado anteriormente, las lámparas de descarga requieren la presencia de un equipo auxiliar entre dichas lámparas y la red de alimentación. Estos equipos existen en versión electromagnética y electrónica.

6.5.2.1. Equipos auxiliares electromagnéticos para lámparas de descarga

Son equipos formados por varios elementos: arrancador, balasto o reactancia y condensador.

Arrancador

El arrancador es el componente que proporciona en el momento del encendido, bien por sí mismo o en combinación con el balasto, la tensión requerida para el cebado de la lámpara. El arrancador puede ser eléctrico, electrónico o electromecánico.

En casi todas sus versiones, la lámpara de descarga necesita de un arrancador auxiliar para comenzar la descarga, venciendo la diferencia de potencial existente entre sus electrodos. Es un componente del equipo auxiliar cuyas características eléctricas tienen una importancia fundamental en la vida de la lámpara. La tensión de pico, la corriente máxima (independiente/en serie), posición de fase, tensión de conexión e interrupción tienen que ser las idóneas para lo requerido por tipo y potencia.

Los más comúnmente empleados son arrancadores semiparalelos, arrancadores serie o de superposición y los arrancadores de montaje paralelo, existiendo versiones denominadas temporizados, que tras un determinado período de tiempo sin que la lámpara arranque se desconectan automáticamente.

También existe la versión de reencendido en caliente, especialmente utilizada en altas potencias de lámpara, usadas generalmente en iluminación deportiva.

En el caso de las lámparas fluorescentes este dispositivo (arrancador) se denomina cebador.



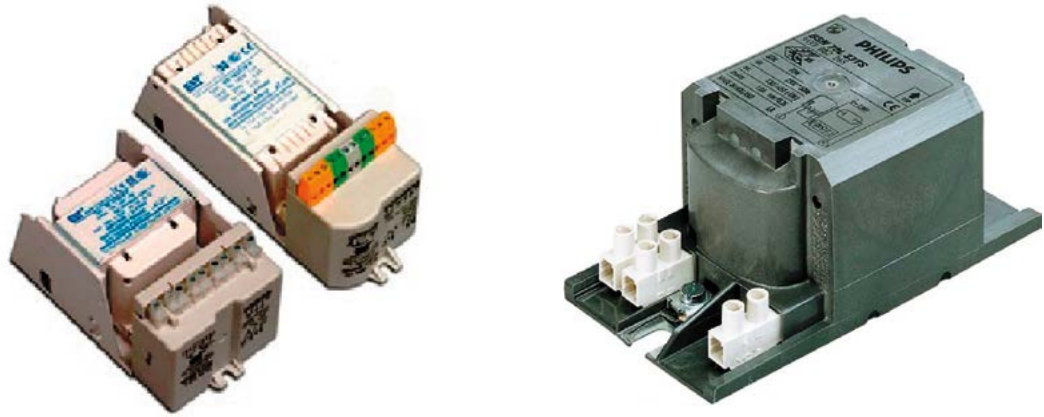
Arrancadores y cebadores.

Balasto

Una característica común a todas las lámparas de descarga es que ofrecen una impedancia al paso de la corriente eléctrica, que disminuye a medida que esta aumenta, motivo por el que no pueden ser conectadas directamente a la red de alimentación sin un dispositivo, denominado balasto o reactancia, que controle la intensidad de corriente que circula por ellas.

Los más comúnmente utilizados son los de choque, que pueden considerarse puramente inductivos. Para su utilización con lámparas de descarga en alta presión, también los hay autotransformadores y autorreguladores.

Especialmente destinados a las lámparas de sodio de alta presión, existen en el mercado equipos electromagnéticos denominados de doble nivel, cuyo balasto dispone de dos bobinados en serie, capaces de alimentar a la lámpara con dos intensidades y modificando, por tanto, el flujo luminoso emitido por ella. En estos equipos, la conmutación entre los dos niveles de impedancia del balasto se realiza a través de un relé temporizado o mediante un hilo de mando.



Balastos electromagnéticos.

El balasto electromagnético en funcionamiento con la lámpara posee un factor de potencia en torno a 0,5, lo que provoca un consumo de energía reactiva penalizado por las compañías eléctricas aplicando recargos en las facturas. Para corregir este problema se utiliza la carga capacitiva que genera el **condensador** intercalado en el circuito.

6.5.2.2. Equipos auxiliares electrónicos para lámparas de descarga

Como alternativa a los equipos electromagnéticos se han desarrollado los equipos auxiliares electrónicos, para lámparas tanto fluorescentes como de descarga en alta presión.

Estos equipos integran en un solo conjunto los sistemas de encendido, estabilización y compensación, y en muchas ocasiones de regulación del flujo luminoso emitido por la lámpara.

Fundamentalmente utilizados desde hace varios años como equipo de encendido (con y sin precaldeo) para las lámparas fluorescentes, también existen equipos electrónicos para lámparas de descarga (sodio a alta presión, halogenuros metálicos de quemador de cuarzo o cerámicos), si bien es cierto que no para todo tipo de potencia.

Las principales ventajas de los equipos electrónicos frente a los electromagnéticos son las siguientes:

- ✓ Mayor eficacia del sistema por menor consumo propio.
- ✓ Menor peso y tamaño.
- ✓ Simplificación del cableado (un solo elemento).
- ✓ Fiabilidad de encendido.
- ✓ Incremento de la vida útil de las lámparas y estabilidad del flujo y la temperatura de color.

- ✓ Menor sensibilidad a las variaciones de tensión de la red de alimentación.
- ✓ Posibilidad de regulación en muchos de sus modelos y potencias.



Equipos electrónicos.

Según la Directiva europea 2000/55/CE, de 18 de septiembre de 2000, relativa a los requisitos de eficiencia energética de los balastos de lámparas fluorescentes (exceptuando las lámparas compactas de bajo consumo), el conjunto lámpara-equipos no deberá sobrepasar los valores de la siguiente tabla.

Tabla para situar el tipo de balasto en su categoría	
Categoría	Descripción
1	Balastos para lámpara tubular
2	Balastos para lámpara compacta de 2 tubos
3	Balastos para lámpara compacta plana de 4 tubos
4	Balastos para lámpara compacta de 4 tubos
5	Balastos para lámpara compacta de 6 tubos
6	Balastos para lámpara compacta de tipo 2D

Tabla 6.3. Asignación de categoría a cada tipo de balasto.

Una vez situado el balasto en su categoría, la siguiente tabla nos indica la potencia máxima de entrada permitida para el conjunto balasto-lámpara.

EU2000/55/EC-Categoría 1		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
T	FD-15-E-G13-26/450	15	13,5	9	16	18	21	23	25	>25
	FD-30-E-G13-26/900	18	16	10,5	19	21	24	26	28	>28
	FD-18-E-G13-26/600	30	24	16,5	31	33	36	38	40	>40
	FD-36-E-G13-26/1200	36	32	19	36	38	41	43	45	>45
	FD-58-E-G13-26/1500	38	32	20	38	40	43	45	47	>47
	FD-38-E-G13-26/1047	58	50	29,5	55	59	64	67	70	>70
	FD-70-E-G13-26/1800	70	60	36	68	72	77	80	83	>83
EU2000/55/EC-Categoría 2		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
TC-L	FSD-18-E-2G11	18	16	10,5	19	21	24	26	28	> 28
	FSD-36-E-2G11	24	22	13,5	25	27	30	32	34	> 34
	FSD-24-E-2G11	36	32	19	36	38	41	43	45	> 45
EU2000/55/EC-Categoría 3		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
TC-F	FSS-18-E-2G10	18	16	10,5	19	21	24	26	28	> 28
	FSS-24-E-2G10	24	22	13,5	25	27	30	32	34	> 34
	FSS-36-E-2G10	36	32	19	36	38	41	43	45	> 45

EU2000/55/EC-Categoría 4		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
TC-D/TC-DE	FSQ-10-E-G24q=1	10	9,5	6,5	11	13	14	16	18	> 18
	FSQ-10-I-G24d=1									
	FSQ-13-E-G24q=1	13	12,5	8	14	16	17	19	21	> 21
	FSQ-13-I-G24d=1									
	FSQ-18-E-G24q=2	18	16,5	10,5	19	21	24	26	28	> 28
	FSQ-18-I-G24d=2									
	FSQ-26-E-G24q=3	26	24	14,5	27	29	32	34	36	> 36
	FSQ-26-I-G24d=3									
EU2000/55/EC-Categoría 5		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
TC-T/TC-TE	FSM-13-I - GX24d=1	13	12,5	8	14	16	17	19	21	> 21
	FSM-13-E-GX24q=1									
	FSM-18-I- GX24d=2	18	16,5	10,5	19	21	24	26	28	> 28
	FSM-18-E-GX24q=2									
	FSM-26-I - GX24d=3	26	24	14,5	27	29	32	34	36	> 36
	FSM-26-E-GX24q=3									

EU2000/55/EC-Categoría 6		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
TC-DO / TC-DDE	FSS-10-E-GR10q	10	9	6,5	11	13	14	16	18	> 18
	FSS-10-L/P/H-GR10q									
	FSS-16-I -GR8	16	14	8,5	17	19	21	23	25	>25
	FSS-16-E-GR10q									
	FSS-16-L/P/H-GR10q									
	FSS-21-E-GR10q	21	19	12	22	24	27	29	31	> 31
	FSS-21-L/P/H-GR10q									
	FSS-28-I-GR8	28	25	15,5	29	31	34	36	38	> 38
	FSS-28-E-GR10q									
	FSS-28-L/P/L-GR10q									
	FSS-38-E-GR10q	38	34	20	38	40	43	45	47	> 47
	FSS-38-L/P/L-GR10q									
EU2000/55/EC		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
TC	FSD-5-I-G23	5	4,5	4	7	8	10	12	14	> 14
	FSD-5-E-2G7									
	FSD-7-I-G23	7	6,5	5	9	10	12	14	16	> 16
	FSD-7-E-2G7									
	FSD-9-I-G23	9	8	6	11	12	14	16	18	> 18
	FSD-9-E-2G7									
	FSD-11-I-G23	11	11	7,5	14	15	16	18	20	> 20
	FSD-11-E-2G7									

EU2000/55/EC		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
T	FD-4-E-G5-16/150	4	3,4	3,5	6	7	9	11	13	> 13
	FD-6-E-G5-16/225	6	5,1	4	8	9	11	13	15	> 15
	FD-8-E-G5-16/300	8	6,7	5	11	12	13	15	17	> 17
	FD-13-E-G5-16/525	13	11,8	8	15	16	17	19	21	> 21
EU2000/55/EC		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
T9-C	FC-22-E-G10q-29	22	19	12	22	24	28	30	32	32
	FC-32-E-G10q-29	32	30	18,5	35	37	38	40	42	42
	FC-40-E-G10q-29	40	32	19,5	37	39	46	48	50	50

EU2000/55/EC		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
T5-E	FDH-14-G5-L/P-16/550		14	9,5	17	19				
	FDH-24-G5-L/P-16/550		21	13	24	26				
	FDH-21-G5-L/P-16/850		24	14	26	28				
	FDH-28-G5-L/P-16/1150		28	17	32	34				
	FDH-39-G5-L/P-16/850		35	21	39	42				
	FDH-35-G5-L/P-16/1450		39	23	43	46				
	FDH-49-G5-L/P-16/1450		49	29	55	58				
	FDH-54-G5-L/P-16/1150		54	31,5	60	63				
	FDH-80-G5-L/P-16/1150		80	47,5	88	92				
	FDH-95-GX5-L/P-16/1150		95	56,5	105	113				
	FDH-120-GX5-L/P-16-1450		120	71	133	142				

EU2000/55/EC		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
T5-C	FCH-22-L/P-2GX13-16		22	14	26	28				
	FCH-40-L/P-2GX13-16		40	24	45	48				
	FCH-55-L/P-2GX13-16		55	32,5	61	65				
	FCH-60-L/P-2GX13-16		60	35	66	70				
EU2000/55/EC		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
TC-LE	FSDH-40-L/P-2G11		40	24	45	48				
	FSDH-55-L/P-2G11		55	32,5	61	65				
	FSDH-80-L/P-2G11		80	47,5	88	92				
EU2000/55/EC		Potencia	Lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
TC-TE	FSMH-32-L/P-2GX24q=3		32	19,5	36	39				
	FSM6H-57-L/P-2GX24q=5		42	25	47	50				
	FSM8H-57-L/P-2GX24q=5									
	FSMH-42-L/P-2GX24q=4		57	33,5	63	67				
	FSM6H-70-L/P-2GX24q=6									
	FSM8H-70-L/P-2GX24q=6		70	41	77	82				
	FSM6H-60-L/P-2G8=1		63	37,5	70	75				
	FSM6H-85-L/P-2G8=1		87	51,5	96	103				
	FSM6H-120-L/P-2G8=1									
	FSM8H-120-L/P-2G8=1		122	72	135	144				
EU2000/55/EC		Potencia	lámpara	Clase						
Lámpara	Código	50Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Tipo	ILCOS	W	W	W	W	W	W	W	W	W
TC-DO	FSSH-55-L/P-GR10		55	32,5	61	65				
PROHIBIDO DESDE 21-11-2005 (clase C)										
PROHIBIDO DESDE 21-5-2002 (clase D)										

Tabla 6.4. Potencia máxima balasto-lámpara.

Todo balasto debe tener marcados, además de las características eléctricas:

- ✓ el nombre del fabricante y país de origen;
- ✓ los símbolos CE, ENEC o similar, que acreditan el cumplimiento de las normas relativas a su seguridad y funcionamiento;
- ✓ el índice de eficiencia energética EEI;
- ✓ la t_w (temperatura máxima de funcionamiento);
- ✓ el incremento de temperatura (Δt);
- ✓ la temperatura máxima de ambiente de funcionamiento (t_a), y
- ✓ el factor de potencia.

Además, pueden llevar impresas las marcas de conformidad de diferentes organismos de homologación.

Marcas de homologación



AENOR-ESPAÑA



ALEMANIA



IMQ-ITALIA



IRAM-ARGENTINA



ESLOVAQUIA



CENELEC-AENOR

Marcas de homologación.

En la elección de estos elementos, tanto electromagnéticos como electrónicos, se debe considerar la utilización de aquellos fabricados que cumplan con las normas y recomendaciones referentes a estos productos establecidas por los distintos organismos nacionales e internacionales.

Asimismo, el equipo auxiliar en su conjunto o cada componente deben cumplir de forma obligatoria:

- a. El marcado «CE» (Conformidad Europea), que representa el cumplimiento de la Directiva de Baja Tensión (LV) 73/23/EEC (obligatoria desde 1-1-97), y aplicable a todos los aparatos eléctricos de tensión nominal de 50 a 1.000 V en corriente alterna y de 75 a 1.500 V en corriente continua.
- b. Directiva de Compatibilidad Electromagnética (EMC) 89/366/EEC (obligatoria desde 1-1-96), y aplicable a todos los aparatos eléctricos y electrónicos que pueden generar radiointerferencias o verse afectados por perturbaciones generadas por otros aparatos de su entorno.

6.5.3. Equipos auxiliares electrónicos asociados a fuentes de luz en estado sólido (drivers)

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

Los más comúnmente usados en la tecnología LED de alta potencia (los habitualmente utilizados en iluminación interior y exterior) son los denominados «drivers» de corriente constante, que varían el voltaje para mantener un valor de intensidad constante a través del diodo.

Para los LED o módulos LED de baja potencia suelen utilizarse las fuentes de alimentación a tensión constante.

Además de lo definido para los equipos auxiliares respecto al cumplimiento del marcado CE y directivas relacionadas, los equipos auxiliares electrónicos asociados a las fuentes de luz LED se registrarán por la siguiente normativa:

- ✓ UNE-EN 61347-2-13. Dispositivos de control de lámpara. Parte 2-13: Requisitos particulares para dispositivos de control electrónicos alimentados con corriente continua o corriente alterna para módulos LED.
- ✓ UNE-EN 62384. Dispositivos de control electrónicos alimentados en corriente continua o corriente alterna para módulos LED. Requisitos de funcionamiento.

Como en todo equipo electrónico, es vital la temperatura máxima de trabajo de estos, que debe ir marcada en un punto de su envoltente.



Equipos auxiliares para LED.

6.6. Tipos de equipos auxiliares recomendados

Son los equipos eléctricos asociados a la fuente de luz los que deben proporcionar a esta los parámetros de trabajo dentro de los límites de funcionamiento establecidos en las normas y con las menores pérdidas de energía posible.

Hay que recalcar que tanto el condensador como el arrancador únicamente se utilizan con balastos electromagnéticos y no con los electrónicos, ya que estos llevan incorporados unos componentes electrónicos que desempeñan las funciones de ambos equipos.

Las características técnicas de los equipos auxiliares dependen de los parámetros eléctricos de la red y del tipo y potencia de la fuente de luz.

Balastos

El balasto es el componente que limita el consumo de corriente de la lámpara a sus parámetros óptimos; cuando el balasto es electromagnético, comúnmente se le conoce como reactancia, ya que es frecuente el uso de inductancias como dispositivo de estabilización.

El balasto asociado a la lámpara o lámparas debe proporcionar a estas los parámetros de trabajo dentro de los límites de funcionamiento establecidos en las normas y con las menores pérdidas de energía posibles.

En las instalaciones de centros docentes, dadas las necesidades de iluminación habitualmente requeridas y en cumplimiento del CTE, es recomendable la utilización de balastos electrónicos con regulación, por contar con las siguientes ventajas adicionales a las referidas en este mismo capítulo sobre fuentes de LUZ para los electrónicos sin regulación:

- ✓ Mayor confort, permitiendo ajustar el nivel de luz según las necesidades.
- ✓ Posibilidad de conectarse a sensores de luz y ajustar en automático la intensidad de luz de la fuente de luz y mantener un nivel constante de esta.
- ✓ Reducción adicional del consumo eléctrico: cuando el sistema está en regulación hasta el 70%, en el caso de los sistemas de regulación con la señal de 1-10 v, o del 100% en el caso de los sistemas digitales, cuando el nivel de flujo de las lámparas llega al 1%, y se desconectan automáticamente.

Arrancadores y condensadores

Solamente recordar que tanto el condensador como el arrancador únicamente se utilizan con balastos electromagnéticos y no con los electrónicos, ya que estos llevan incorporados unos componentes electrónicos que desempeñan las funciones de ambos equipos.

Para equipos auxiliares de otros tipos de lámparas (halógenas de bajo voltaje, etc.), se utilizarán de bajas pérdidas homologados, asegurando el cumplimiento de la legislación vigente.

6.7. Tipos de luminarias recomendadas

Las luminarias a utilizar en los centros docentes se pueden analizar por características de montaje, eléctricas o por condiciones operativas, pero siempre cumpliendo lo establecido en la norma UNE-EN 60598, que define como luminaria al aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas o fuentes de luz (excluyendo las propias lámparas), y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación.

Para las luminarias a instalar en cada zona se considerarán los aspectos siguientes:

1. Distribución fotométrica de la luminaria.
2. Rendimiento de la luminaria.
3. Sistema de montaje al techo, pared, etc.
4. Grado de protección (IP XX):
 - ✓ 1.ª cifra: grado de estanqueidad al polvo o partículas sólidas.
 - ✓ 2.ª cifra: grado de estanqueidad a los líquidos.
5. Grado de protección contra choques mecánicos (IK XX).
6. Clase eléctrica.
7. Cumplimiento de la normativa que se les aplica.

6.7.1. Distribución fotométrica de la luminaria

La forma de la distribución de luz de una luminaria depende del tipo de fuente de luz y del componente óptico que incorpore: celosía, reflectores, lentes, diafragmas, pantallas, etc. En la siguiente tabla se da una recomendación del tipo de aplicación para cada tipo de distribución.

Tipo de distribución		Aplicación
Difusa		Iluminación general y decorativa
Extensiva		Iluminación general
Intensiva		Iluminación general para grandes alturas
Asimétrica		Iluminación perimetral y pizarras
Iluminación orientable		Intensiva de acento y decorativa

Tabla 6.5. Recomendación del tipo de aplicación para cada tipo de distribución fotométrica de la luminaria.

Dependiendo de con qué tipo de distribución de haz se ilumine un objeto, se obtienen resultados drásticamente distintos. En un objeto con textura, la luz dirigida resaltará sus formas, y la luz difusa las disimulará. En algunos casos es recomendable que las sombras no sean demasiado marcadas, ya que esto endurece las formas.

Desde el punto de vista fotométrico, la luminaria será la adecuada para el tipo de actividad a desarrollar. De acuerdo con la clasificación CIE de porcentaje de flujo en el hemisferio superior e inferior de la horizontal, tenemos las siguientes clases de luminarias:

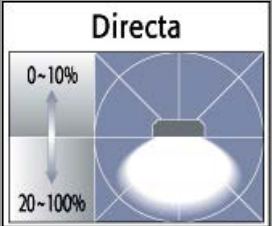
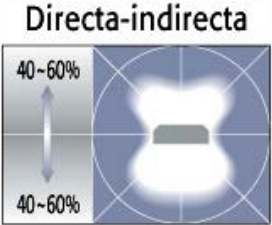
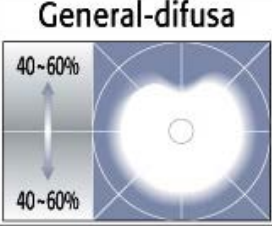
Clases de luminarias	Hemisferio superior	Hemisferio inferior
Directa 	0~10%	90~100%
Semidirecta 	10~40%	60~90%
Directa-indirecta  General-difusa 	40~60%	40~60%
Semiindirecta 	60~90%	10~40%
Indirecta 	90~100%	0~10%

Tabla 6.6. Clases de luminarias de acuerdo con la clasificación CIE de porcentaje de flujo.

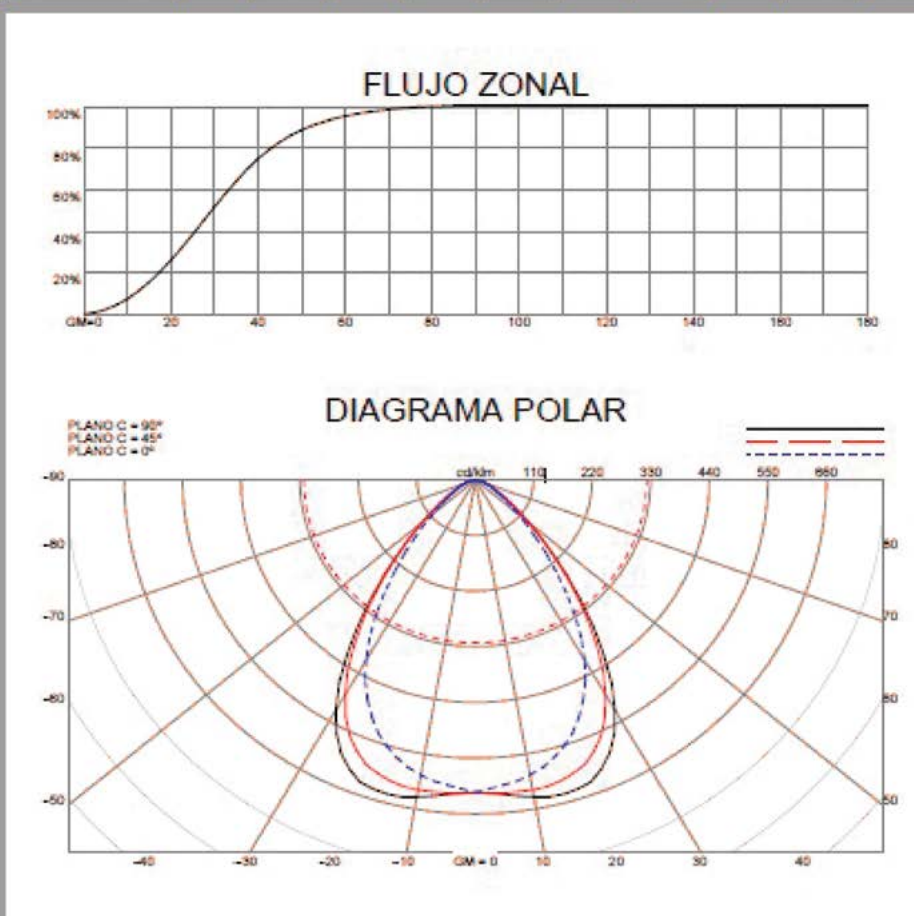
Con carácter general, y atendiendo a la clasificación CIE, podemos establecer que en aulas, laboratorios, oficinas, etc., las luminarias serán de clase directa, y en pasillos, gimnasio, talleres, etc., serán de clase directa, semidirecta o directa-indirecta.

6.7.2. Rendimiento de la luminaria

El criterio fundamental será seleccionar aquel modelo de luminaria que tenga el mayor rendimiento para la distribución fotométrica deseada. Esta información se obtiene de los diagramas polares de distribución de intensidades luminosas que aportan los fabricantes.

Luminaria modelo	RC120B W60L60 VAR-PC LED34S/-No									
Tipo de lámpara	1 x LED34S/840/-0.00-									
Código fotométrico	REC120B 1XLED34S_840 W60L60 VAR-PC.ltd									
Rendimiento total hemisferio inferior	100%									
Rendimiento total hemisferio superior										

Flujo CIE	74,5	94,4	95,9	100	100					
Índice del local	0,80	0,80	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
Valores CRR	0,52	0,59	0,66	0,72	0,78	0,82	0,87	0,89	0,92	0,94
Clase CIE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Clase UTE C 71-121										



Datos fotométricos de una luminaria.

6.7.3. Sistemas de montaje

Por las características de montaje que se presentan en los edificios educativos y centros de enseñanza, se pueden utilizar las siguientes luminarias:

- ✓ Empotradas.
- ✓ Suspendidas.
- ✓ Adosadas a techo.
- ✓ De carril.
- ✓ De pie.
- ✓ De sobremesa.

En las zonas exteriores destinadas a accesos se utilizarán luminarias de tipo viario, decorativo o de proyección.

6.7.4. Grado de protección (IP XX)

Las luminarias de alumbrado general en aulas, despachos, etc., no necesitan de un grado de estanqueidad elevado, al tratarse de luminarias abiertas. Solamente las luminarias destinadas a instalaciones específicas, tales como piscinas, salas de calderas y cocinas, exigirán un grado de estanqueidad determinado, que podríamos establecerlo en un IP54 o IP55.

6.7.5. Grado de protección contra choques mecánicos

Se gradúa de 01 a 10, desde impactos de 0,15 J (grado IK01) hasta impactos de 20 J (grado IK10).

Las luminarias deben tener el grado de protección adecuado en función de los posibles impactos que reciban y que deben soportar sin deterioro. La determinación del grado de protección se realiza en función de la ubicación de la luminaria, y de los daños que se puedan causar. Hay que considerar la posibilidad tanto de daños accidentales que se producen de forma fortuita como de daños ocasionados de forma voluntaria por vandalismo. Como regla general, aquellos recintos en los que se pueden producir impactos de tipo accidental, tales como laboratorios, talleres, gimnasios, etc., deberán tener un grado de protección mínimo de IK07, siendo de IK10 para aquellas luminarias que deben ser resistentes al vandalismo.

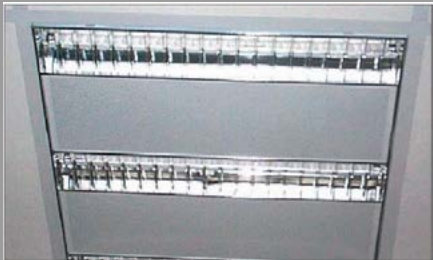
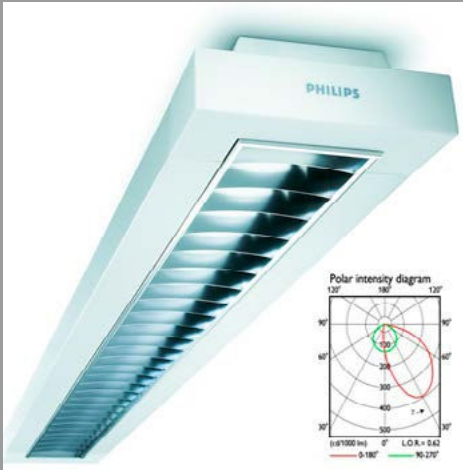
6.7.6. Clase eléctrica

Se utilizarán luminarias como mínimo de clase I, según EN 60598.

6.7.7. Cumplimiento de la normativa que se les aplica

Por las condiciones operativas, las luminarias cumplirán lo demandado por la legislación vigente para cada dependencia.

Para cumplir con los tan variados requerimientos técnicos y estéticos de la iluminación de los centros docentes, existe hoy en día un amplio espectro de tipos de luminarias disponibles. Se van a reseñar a título ilustrativo los tipos más interesantes para las áreas más comunes.

Tipo de luminaria	Área de uso	
Luminarias empotradas en falso techo con $UGR \leq 19$.	Iluminación general de salas con pantallas de ordenador o televisión.	
Luminarias suspendidas o adosadas directas e indirectas con $UGR \leq 19$.	Uso en alumbrado local para oficina tipo club, colmena, celda y reunión.	
Downlights de empotrar/ superficie.	Para zonas representativas como áreas de entrada, cafeterías, pasillos, etc.	

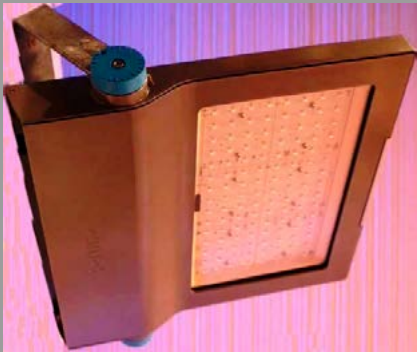
Tipo de luminaria	Área de uso	
Luminarias estancas para fluorescentes lineales.	Iluminación general de almacenes, cocinas, archivos, etc.	
Luminarias estancas de interior o zonas cubiertas para lámparas de descarga en gas de halogenuros metálicos o LED.	Iluminación general de almacenes, talleres, gimnasios, polideportivos, etc.	
Luminarias tipo proyector.	Para iluminación exterior de la fachada o bien interiores de gran altura.	
Luminarias tipo viario.	Para iluminación de aparcamientos, accesos, etc.	

Tabla 6.7. Tipos de luminarias más interesantes para cada área de uso.

6.8. Tipos de sistemas de regulación y control

Se distinguen cuatro tipos fundamentales:

1. Regulación y control bajo demanda del usuario por interruptor manual, pulsador, potenciómetro o mando a distancia.
2. Control del encendido y apagado según presencia en la sala.
3. Regulación de la iluminación artificial según aporte de luz natural.
4. Regulación y control por un sistema centralizado de gestión.

En el capítulo 9 se detallan las ventajas y aplicaciones recomendadas de los sistemas de regulación y control.

6.9. Tratamiento de la iluminación decorativa

En los edificios destinados a centros docentes, la iluminación decorativa tiene una función representativa o ambiental, más arquitectónica que funcional, destinada a crear una atmósfera acorde con la imagen con la que se quiera dotar al espacio o sala concreta.

Dado que la uniformidad no es esencial, la distribución de las luminarias no tiene que ser regular y podremos crear efectos que destaquen determinados puntos o elementos arquitectónicos o decorativos existentes en la zona, pero respetando siempre un nivel general mínimo de iluminación.

Aunque el ahorro energético no sea el objetivo a cumplir en este tipo de iluminación, se utilizarán fuentes de luz que aúnen a una adecuada temperatura de color la máxima eficacia, así como el aprovechamiento de luz natural siempre que sea posible.

Como parte de la iluminación decorativa, la iluminación de acento sobre determinados puntos (cuadros, figuras, plantas, etc.) existentes en las distintas zonas que conforman un edificio educativo contribuye a realzar el ambiente visual y a crear un ambiente de confort.

Los espacios más comunes para la implantación de una iluminación decorativa son las siguientes:

- ✓ Recepción o *hall* de entrada.
- ✓ Despachos de dirección.
- ✓ Salas de reunión.
- ✓ Cafetería y restaurante.

7 Parámetros de iluminación recomendados

Los parámetros de iluminación recomendados para las distintas dependencias de un centro docente son los siguientes:

Centros educativos

Tipo de interior, tarea y actividad	E_m (lux)	UGR _L	U_o	Ra	Requisitos específicos
Aulas, aulas de tutoría	300	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable
Aulas de educación de adultos y clases nocturnas	500	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable
Auditórium, sala de lectura	500	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable
Pizarras negras, verdes y blancas	500	19	0,70	80	Adecuada iluminancia vertical sobre el docente. Evitar reflexiones directas
Mesa de demostraciones	500	19	0,70	80	En salas de lectura, 750 lux
Aulas de arte	500	19	0,60	80	
Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	0,70	90	5.000 K < T _{cp} < 6.500 K
Aulas de dibujo técnico	500	16	0,70	80	
Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	0,60	80	
Aulas de manualidades	500	19	0,60	80	
Talleres de enseñanza	500	19	0,60	80	
Aulas de prácticas de música	300	19	0,60	80	
Aulas de prácticas de informática	300	19	0,60	80	Equipos con pantallas de visualización (EPV): ver norma EN 12464 (4.9)
Laboratorio de lenguas	300	19	0,60	80	
Aulas de preparación y talleres	500	22	0,60	80	
Vestíbulo de entrada	200	22	0,40	80	
Áreas de circulación, pasillos	100	25	0,40	80	
Escaleras	150	25	0,40	80	
Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	0,40	80	
Sala de profesores	300	19	0,60	80	

Tipo de interior, tarea y actividad	E_m (lux)	UGR_L	U_0	Ra	Requisitos específicos
Biblioteca: estanterías	200	19	0,60	80	
Biblioteca: aulas de lectura	500	19	0,60	80	
Almacenes de material de profesores	100	25	0,40	80	
Sala de deportes, gimnasios, piscinas	300	22	0,60	80	Norma EN 12193: Condiciones entrenamiento
Cantinas escolares	200	22	0,40	80	
Cocina	500	22	0,60	80	

Tabla 7.1. Recomendaciones para la iluminación en centros educativos según la norma UNE-EN-12464-1.

En los años recientes, y como resultado de la continua investigación y de la experiencia del diseño, se ha podido demostrar que es hora de abandonar las recomendaciones basadas en un simple valor. Existe la necesidad de una flexibilización a la hora de determinar los niveles de iluminación, de tal forma que los proyectistas puedan diseñar sistemas de alumbrado a medida para las necesidades específicas, haciendo especial énfasis en la eficiencia energética. Tal flexibilidad requiere que esté disponible la información adicional necesaria, si el nuevo enfoque quiere utilizarse con efectividad.

En este nuevo enfoque, la iluminancia recomendada en un centro docente sobre el plano que contiene la tarea depende de los cuatro factores siguientes:

- ✓ El tipo básico de actividad o actividades.
- ✓ La edad de los alumnos y/o profesores.
- ✓ La importancia de la velocidad y/o precisión en la realización de la tarea. ¿Cuán importante es realizar la tarea con rapidez?
- ✓ Si se presentan o no con regularidad dificultades de tarea poco usuales (tamaño y/o contraste).

Todos estos factores en conjunto determinarán la cantidad de luz necesaria.

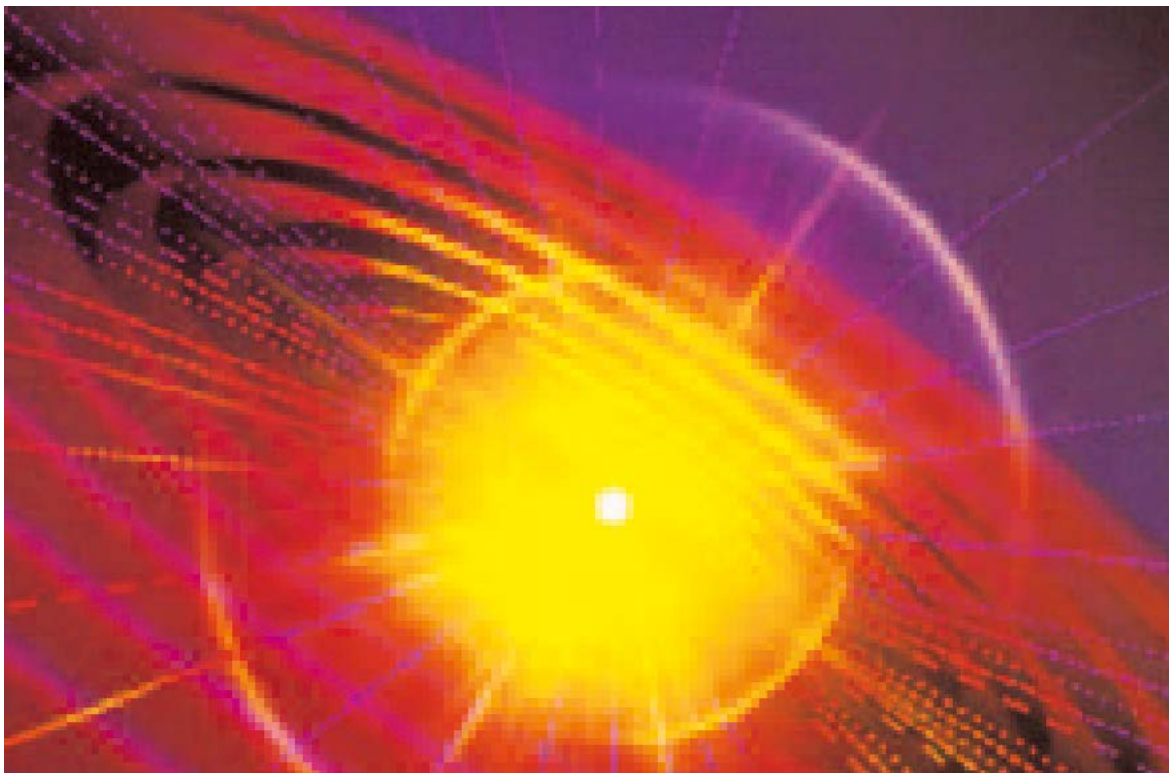
El primer paso para adecuarse a estos criterios es determinar la iluminancia adecuada para la actividad o actividades que se desarrollan en los centros docentes. La tabla anterior facilita el valor de iluminancia media mínima mantenida sobre el plano de la tarea para diversas actividades.

Cuando se consideran los tres factores restantes enumerados más arriba, la tabla adquiere las modificaciones propuestas en la tabla siguiente. Mediante esta, el proyectista o el usuario pueden determinar la ponderación de cada factor. El factor de modificación combinado, multiplicado por el 10%, nos indica el porcentaje con el que ha de corregirse el valor de iluminancia elegida.

Características del alumno y/o profesor y tarea			
Factor de modificación	2	0	2
Edad del trabajador	< 40	40-55	> 50
Velocidad/precisión	No importante	Importante	Crítica moderadamente
Detalle de la tarea	Fácil	Difícil	Difícil

Tabla 7.2. Ejemplo de elección de luminancia.

8 Eficiencia de los sistemas de iluminación



Por todo lo dicho en los apartados anteriores, podemos concluir que, para que un centro docente sea realizado con criterios energéticos razonables, tenemos que atender a los diferentes elementos que componen el sistema, a saber:

- ✓ Eficacia de las lámparas.
- ✓ Eficacia de los equipos necesarios para el funcionamiento de las lámparas.
- ✓ El rendimiento de las luminarias instaladas en el proyecto.
- ✓ Las características propias del centro docente: sus dimensiones, estructura, factores de reflexión.

8.1. Eficacia de lámparas recomendada

En los centros docentes, con carácter general, se deben utilizar fuentes de luz con una eficacia de 65 lúmenes/vatio.

Este rendimiento se debe cumplir independientemente de la calidad cromática requerida por la instalación.

Se admitirán excepcionalmente fuentes de luz con una eficacia lumen/vatio inferior a la establecida, en iluminaciones puntuales de zonas singulares que así lo demandan.

8.2. Rendimiento de luminarias recomendado

Las luminarias que se utilicen para el alumbrado general en locales (aulas, laboratorios, bibliotecas, etc.) tendrán un rendimiento hacia el hemisferio inferior > 60%.

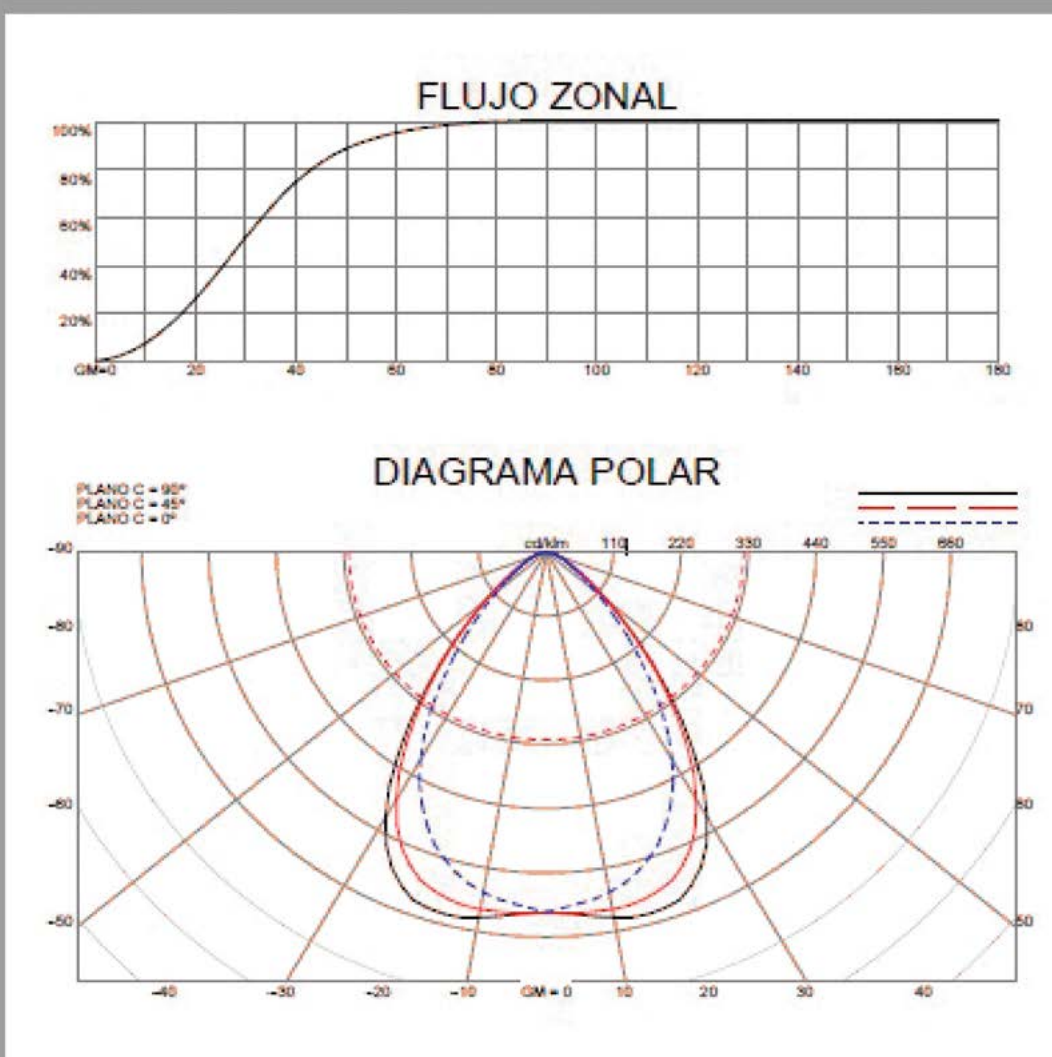
Para las luminarias de alumbrado exterior tipo proyección su rendimiento total será > 60%, para las de alumbrado decorativo, > 55% y para las de tipo viario, > 65%.

Rendimiento de luminarias recomendado	
Tipo de luminaria	Rendimiento mínimo
Abierta	60%
Cerrada	55%

Tabla 8.1. Rendimiento de luminarias recomendado.

Luminaria modelo	RC120B W60L60 VAR-PC LED34S/-No
Tipo de lámpara	1 x LED34S/840/-0.00-
Código fotométrico	REC120B 1XLED34S_840 W60L60 VAR-PC.ltd
Rendimiento total hemisferio inferior	100%
Rendimiento total hemisferio superior	

Flujo CIE	74,5	94,4	95,9	100	100					
Índice del local	0,80	0,80	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
Valores CRR	0,52	0,59	0,66	0,72	0,78	0,82	0,87	0,89	0,92	0,94
Clase CIE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Clase UTE C 71-121										



Datos fotométricos de una luminaria.

8.3. Consumo propio de equipos recomendado

El consumo de los equipos auxiliares no debe superar los porcentajes siguientes:

Consumo propio de equipos auxiliares recomendado	
Equipo	Consumo máximo recomendado
Lámparas fluorescentes	8-11%
Lámparas de descarga < 150 W	15%
Lámparas de descarga > 150 W	10%
Factor de potencia del conjunto	> 0,9

Tabla 8.2. Consumo propio de equipos auxiliares recomendado.

8.4. Factores de reflexión recomendados

El equilibrio de la reflectancia media de cada una de las superficies que componen el local, así como el de todos aquellos elementos que componen el mobiliario de este, debe tener una armonización que aporte al observador el confort visual demandado para el desarrollo de la tarea habitual.

Véanse los valores recomendados en el capítulo 5.

8.5. Coeficiente de utilización mínimo

Se considera coeficiente de utilización de una instalación de iluminación al cociente entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo y el emitido por la luminaria.

Dicho coeficiente va, por tanto, en función de los índices de eficiencia de los sistemas de iluminación mencionados y de la distribución fotométrica de la luminaria utilizada.

No obstante, aunque es un parámetro muy importante desde el punto de vista de ahorro energético, debe tenerse en cuenta el medio en el que se está trabajando.

Por ello, se estima que, para disponer de una instalación racional y energéticamente eficiente, el coeficiente de utilización resultante del sistema de iluminación seleccionado deberá ser superior a 0,5, aunque se pueden aceptar otros valores para casos locales que se deben justificar.

9 Criterios de eficiencia energética en la instalación, explotación, mantenimiento, control y gestión energéticos



9.1. Maniobra y selectividad de la instalación

Con el fin de lograr el mejor aprovechamiento de la energía consumida, la instalación de alumbrado se ha de proyectar de manera que se puedan realizar fácilmente encendidos parciales, ya sea para aprovechar la luz natural, o para ajustar los puntos de luz en funcionamiento a las necesidades del momento. Con este objeto resulta aconsejable el fraccionamiento de la maniobra de los distintos circuitos de un mismo local, mediante interruptores debidamente señalizados, es decir, desde el punto de vista de la eficiencia energética en la explotación de la instalación de iluminación, es fundamental la zonificación o parcialización de circuitos.

En el aspecto de la selectividad de la instalación, hay que destacar la importancia de que las luminarias deberán estar conectadas a varios circuitos, separando las que se encuentran próximas a las ventanas, de tal manera que se permita controlar el encendido de estas de forma independiente del resto de luminarias.

9.2. Sistemas de regulación y control

En determinados locales de un centro docente, como pueden ser el salón de actos o las aulas destinadas a proyecciones, resulta imprescindible el disponer de sistemas de regulación y control de la iluminación que permitan su ajuste a la situación. Es aconsejable extender estos sistemas al resto de las dependencias del centro, con la utilización, además, de sistemas automáticos centralizados que regulen el nivel de iluminación interior en función del existente en el exterior.

La implantación de sistemas de regulación y control reduce los costes energéticos y de mantenimiento de la instalación, e incrementa la flexibilidad del sistema de iluminación. Este control permite realizar encendidos selectivos y regulación de las luminarias durante diferentes períodos de actividad, o según el tipo de actividad cambiante a desarrollar y la aportación de luz natural cuando esta sea relevante.

Tal como se ha indicado en el capítulo 6, se distinguen cuatro tipos fundamentales:

1. Regulación y control bajo demanda del usuario por interruptor manual, pulsador, potenciómetro o mando a distancia.
2. Regulación de la iluminación artificial según aporte de luz natural.
3. Control del encendido y apagado según presencia en la sala.
4. Regulación y control por un sistema centralizado de gestión.

Estos sistemas apagan, encienden y regulan según detectores de movimiento y presencia, células de nivel por la luz natural o calendarios y horarios preestablecidos.

La utilización de estas técnicas es muy aconsejable y supone ahorros en energía muy importantes de hasta el 50 y 65%, dependiendo del tipo de instalación, y permiten alcanzar períodos de retorno perfectamente asumibles.

En el caso concreto del alumbrado de centros docentes, el sobre coste de la instalación de sistemas de regulación y control, si se planifica en la fase de diseño, puede tener un sobre coste no superior al 10% del costo total de los componentes de la iluminación artificial proyectada, con retornos de la inversión que pueden ser inferiores a un año.

Es aconsejable que cada circuito de una instalación disponga de un interruptor de encendido o apagado, con control superior al automático, para que pueda ser reactivado a voluntad del usuario si el sistema automático ha dejado a dicha instalación fuera de servicio.

Un control de alumbrado bien concebido puede ahorrar energía en dos sentidos:

- a. Haciendo buen uso de la luz natural, para reducir los niveles de la luz artificial cuando sea posible.

b. Apagando el alumbrado artificial cuando el espacio a iluminar no esté ocupado.

Algunos sistemas de control de la iluminación pueden parecer alienantes. Por ese motivo es esencial para los profesores y alumnos distinguir cómo y cuándo deben actuar los citados sistemas.

Los empleados (especialmente los profesores) de los centros en los que se pretenda instalar un sistema de control, especialmente si son reformas de alumbrados ya existentes, deben ser previamente informados y se ha de hacerles partícipes de la iniciativa, para evitar rechazos que puedan derivar en problemas laborales, ya que algunos pueden sentirse coaccionados ante acciones de control.

9.2.1. Control de la iluminación artificial mediante interruptores manuales y temporizados

Un simple interruptor manual es una poderosa herramienta para ahorrar energía. Los trabajadores pueden apagar el alumbrado durante su ausencia en una dependencia, horas de comidas, etc. Esto es raramente realizado en la práctica.

Cuando el primer ocupante de un local entra en él, la posibilidad de que encienda el alumbrado depende, principalmente, del nivel de luz natural existente en la sala. Sin embargo, el apagado del alumbrado no se produce hasta que el último ocupante del local lo haya abandonado.

Los interruptores deben estar perfectamente etiquetados, indicando sobre qué instalación o circuito actúa cada uno, y separados entre sí, para que el usuario no sienta la tentación de activar varios de ellos con un solo movimiento de la mano.

Las luminarias deben estar conectadas a varios circuitos, separando las que se encuentran próximas a las ventanas de aquellas situadas en el lado opuesto.

Como regla a seguir en estos casos, el número de interruptores manuales existentes para el control del alumbrado de local o sala no debe ser menor a la raíz cuadrada del número de luminarias instaladas. Por ejemplo, en un aula con doce luminarias, el número de interruptores manuales será, como mínimo, de cuatro.

El control de iluminación mediante interruptores temporizados es un sistema más radical que los manuales.

Las lámparas son apagadas desde un panel central a la misma hora cada día, coincidiendo con los tiempos libres. Los usuarios son libres de reencender aquellas lámparas que consideren necesarias.

En este sistema, la participación de profesores y alumnos es esencial, ya que deben involucrarse en el ahorro energético y comprender la importancia que el consumo tiene en el medio ambiente.

En cada caso, un interruptor de rango superior al temporizado debe permitir reencender las lámparas que a criterio del usuario se consideren necesarias.

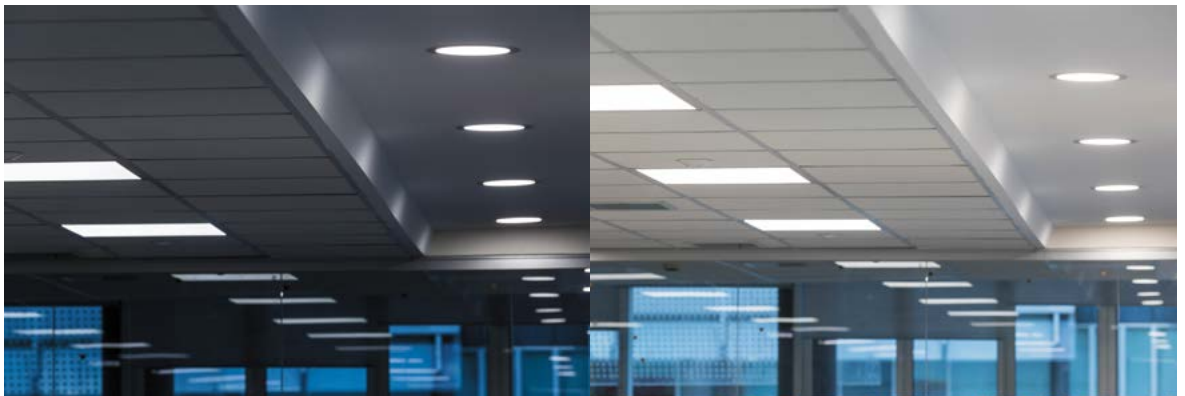
Interruptores temporizados independientes pueden ser utilizados en aquellas dependencias donde la permanencia de personas sea o deba ser por un tiempo limitado. Por ejemplo, en los servicios.

9.2.2. Control de iluminación artificial mediante controladores de luz natural

La luz natural puede aportar incrementos en la eficiencia del sistema de iluminación, en particular, cuando se combinan con sistemas automáticos de regulación de luz artificial. Este aporte de luz natural debe ser propiciado, en primera fase, por la incorporación en la propia estructura del edificio de elementos arquitectónicos como ventanas, lucernarios, claraboyas y paramentos verticales acristalados, y, en segunda fase, con la realización de un proyecto de regulación de los sistemas de iluminación artificial acorde a la contribución de la luz natural.

Cuando existe aportación de luz natural en el interior, es importante eliminar las zonas oscuras con el apoyo de luz artificial y que esta tenga el mismo color que la luz natural.

Cuando el nivel de luz natural sea excesivo se debe reducir con toldos, apantallamientos, cristales opales o persianas.



Los sistemas basados en el control de la luz natural que penetra en un local por medio de fotocélulas consisten en un sensor de luz, colocado habitualmente en el techo, que mide la cantidad de luz natural que reciben las mesas o pupitres situados debajo de él, y ajusta automáticamente la aportación de luz artificial necesaria para la correcta realización de la tarea que se desarrolla en el aula.

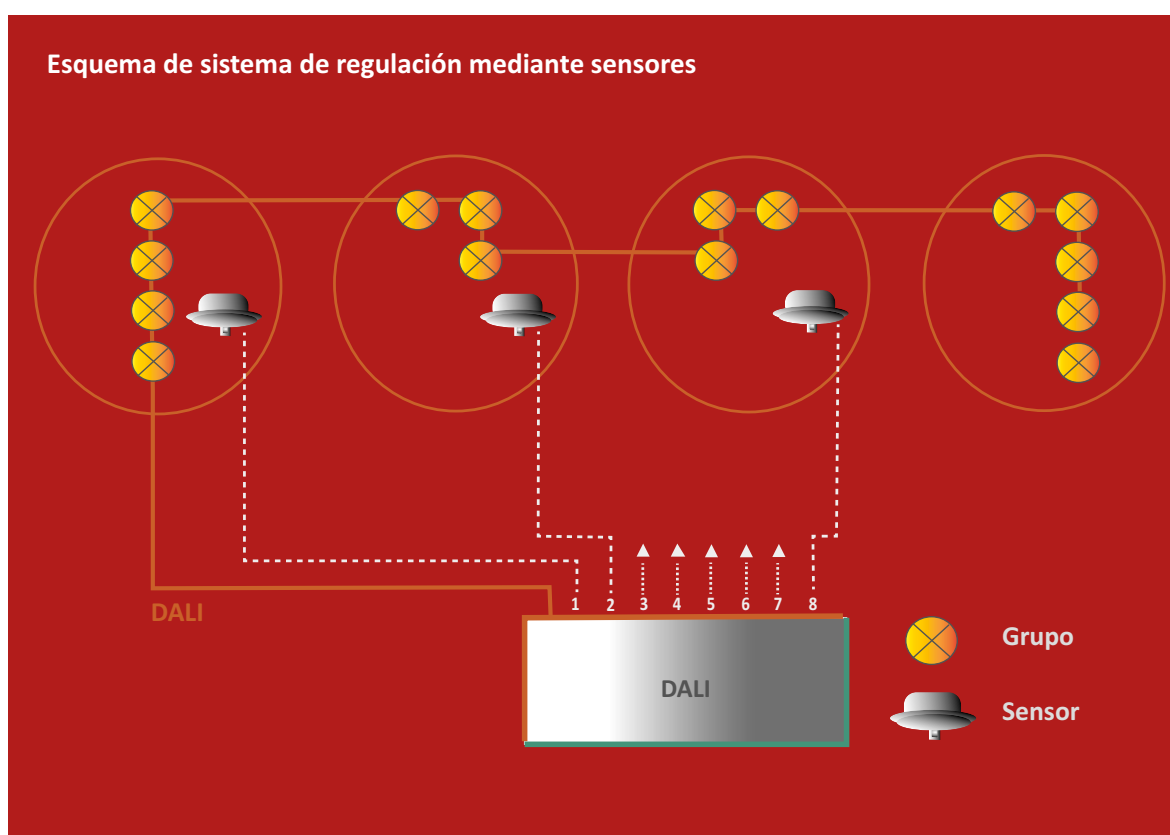
Existen dos tipos de sistemas de regulación:

1. Todo/nada: la iluminación se enciende y apaga por debajo o por encima de un nivel de iluminación prefijado.
2. Regulación progresiva: la iluminación se va ajustando progresivamente según el aporte de luz exterior hasta conseguir el nivel de luz prefijado.

La alternativa más adecuada es la de utilizar luminarias con balastos electrónicos de alta frecuencia regulables para hacer variar la aportación de flujo luminoso emitido por las lámparas en función de la variación de la luz natural.

Esta variación se puede obtener de dos formas principalmente:

- a. Con un dispositivo sensor de iluminación acoplado directamente a cada luminaria y que actúa solamente sobre el equipo de dicha luminaria. Esta solución no requiere de cableados adicionales ni de ningún tipo de elemento compartido con el resto de la instalación. Es muy adecuada para renovaciones, puesto que admite la sustitución directa de las luminarias sin necesidad de obras adicionales
- b. Fococélula colocada en el local y que actúa sobre un grupo de luminarias. Con este sistema se consigue actuar sobre un grupo de luminarias de forma conjunta según la luminosidad captada con un solo sensor. Este sistema se utiliza en aquellos lugares donde se den condiciones similares de luminosidad y no sea necesario distinguir entre cada luminaria individualmente. El sensor actúa directamente sobre los balastos de las luminarias, que tienen que ser regulables formando un sistema completamente autónomo.



Esquema de sistema de regulación mediante sensores.

9.2.3. Control de iluminación artificial mediante detectores de presencia

Los detectores de presencia responden a la ausencia de personas en el aula o local con el apagado del alumbrado artificial.

Existen cuatro tipos de detectores de presencia:

- ✓ Infrarrojos.
- ✓ Acústicos por ultrasonidos.

- ✓ Acústicos por microondas.
- ✓ Híbridos de los dos anteriores.

Estos sistemas pueden originar el apagado de la instalación que controlan si, a pesar de la presencia de alguna persona en el interior, esta permanece durante un período de tiempo en actitud estática.

Se debe prestar especial atención al tiempo mínimo de encendido. Cuando un detector de presencia detecta paso de personas y enciende la iluminación, es necesario que se fije un tiempo mínimo durante el cual el alumbrado permanezca encendido independientemente de que persista la permanencia de personas o no. Se evita así que ante las continuas entradas y salidas que se pueden producir se estén continuamente encendiendo y apagando las luces. Esto ocurre en zonas de tránsito, como pasillos, o estancias de uso esporádico y no habitual, como es el caso de los aseos, almacenes, etc. Esto es importante cuando se trata de alumbrado con fluorescencia, puesto que los reiterados encendidos y apagados acortan significativamente la vida de las lámparas de forma que lo que se ahorra en energía se puede convertir en un coste oculto de mantenimiento al tener que reponer las lámparas con más frecuencia de la habitual. Se puede estimar que no se deben producir períodos de encendido inferiores a 20 minutos con fluorescencia.

Este problema no existe en casos de iluminación con LED donde los frecuentes encendidos y apagados no afectan sensiblemente a su duración.

Existen en el mercado dispositivos que hacen posible conseguir de forma combinada los sistemas de control de iluminación artificial mediante controladores de luz natural y mediante detectores de presencia.

Los detectores tienen en una sola carcasa la funcionalidad de detección de presencia y fotocélula, pudiendo activarse o desactivarse cada función de forma independiente.

9.2.4. Regulación y control local bajo demanda del usuario e integrado en un sistema domótico con otras funciones del recinto

Este sistema de control se encuentra a medio camino entre la regulación de la iluminación por presencia y luminosidad y los sistemas centralizados de gestión.

Una de las diferencias básica es que disponen de una interfaz de usuario bastante intuitiva y fácil de manejar, de forma que a las prestaciones que de manera automática tiene el sistema se añaden otras que controla directamente el usuario. Su forma de manejo es con pantallas táctiles con una presentación por iconos y signos que hace que se pueda manejar con un mínimo conocimiento del sistema y por personas completamente ajenas a la gestión del edificio. Además, usualmente en estos sistemas se integran con otras instalaciones del local, tales como la climatización, el manejo de persianas o el control de acceso. El ámbito sobre el que actúan no suele ser mayor de un solo recinto, ya sea este un aula, un laboratorio o un salón de actos.

9.2.5. Regulación y control por un sistema centralizado de gestión

En edificios destinados a usos múltiples, es cada vez más interesante disponer de un sistema que permita el manejo y el control energético de las instalaciones de iluminación, de forma similar a los implantados para otras instalaciones como las de climatización. El control centralizado supone una serie de ventajas, entre las que citaremos los siguientes:

- ✓ Posibilidad de encendido/apagado de zonas mediante órdenes centrales, bien sean manuales o automáticas (control horario).
- ✓ Modificación de circuitos de encendido a nivel central sin obras eléctricas.
- ✓ Monitorización de estado de los circuitos y consumos de estos.

Si el sistema centralizado dispone simultáneamente de control local, un correcto uso de la centralización permitirá un considerable ahorro de energía, aplicando un buen control horario, de acuerdo con las necesidades del usuario, que evite luces encendidas olvidadas.

Se recomiendan las siguientes reglas genéricas de conmutación, que son aplicables a cualquier tipo de sistema de control:

- ✓ Cada aula o zona debe tener sus propios interruptores de control por separado.
- ✓ En grandes espacios, las zonas de trabajo deben agruparse, y el alumbrado de cada grupo, conmutarse independientemente.
- ✓ Cada grupo debe ser conmutable en al menos dos etapas del 50% cada una y distribuido uniformemente sobre toda el área.
- ✓ Las zonas de tareas que precisen niveles mayores de iluminación deben tener circuitos de alumbrado independientes.
- ✓ Las luminarias adyacentes al plano de ventanas deben conectarse en grupos conmutados separadamente.

Hay que remarcar que este tipo de sistema de regulación y control resulta muy ambicioso para un centro docente clásico. No obstante, su utilización sí es muy recomendable en universidades o complejos de centros de formación.

Estos sistemas se pueden gestionar desde un puesto central de control con un PC convencional o bien remotamente a través de cualquier PC conectado vía web con el servidor que gestiona y almacena el sistema. Esto hace que para operar no sea necesario estar en el propio edificio que se controla o que desde un puesto se pueda gestionar todo un parque de edificios, como pueden ser las diferentes facultades de una universidad o los centros docentes de una población.

Últimamente es posible realizar la supervisión y gestión de algunas funcionalidades básicas de los sistemas de control a través de los *smartphones* mediante aplicaciones espaciales diseñadas al efecto.

Esquema de sistema de gestión centralizada



Reglas genéricas de conmutación aplicables a cualquier tipo de sistema de control.

- Cada oficina o zona debe tener sus propios interruptores de control por separado.
- En grandes espacios, las zonas de trabajo deben agruparse, y el alumbrado de cada grupo, conmutarse independientemente.
- Cada grupo debe ser conmutable en al menos dos etapas del 50% cada una y distribuido uniformemente sobre toda el área.
- Las zonas de tareas que precisen niveles mayores de iluminación deben tener circuitos de alumbrado independientes.
- Las luminarias adyacentes al plano de ventanas deben conectarse en grupos conmutados separadamente.

Esquema de sistema de gestión centralizada.

9.2.6. Recomendaciones sobre uso de sistemas de regulación y control en diferentes zonas

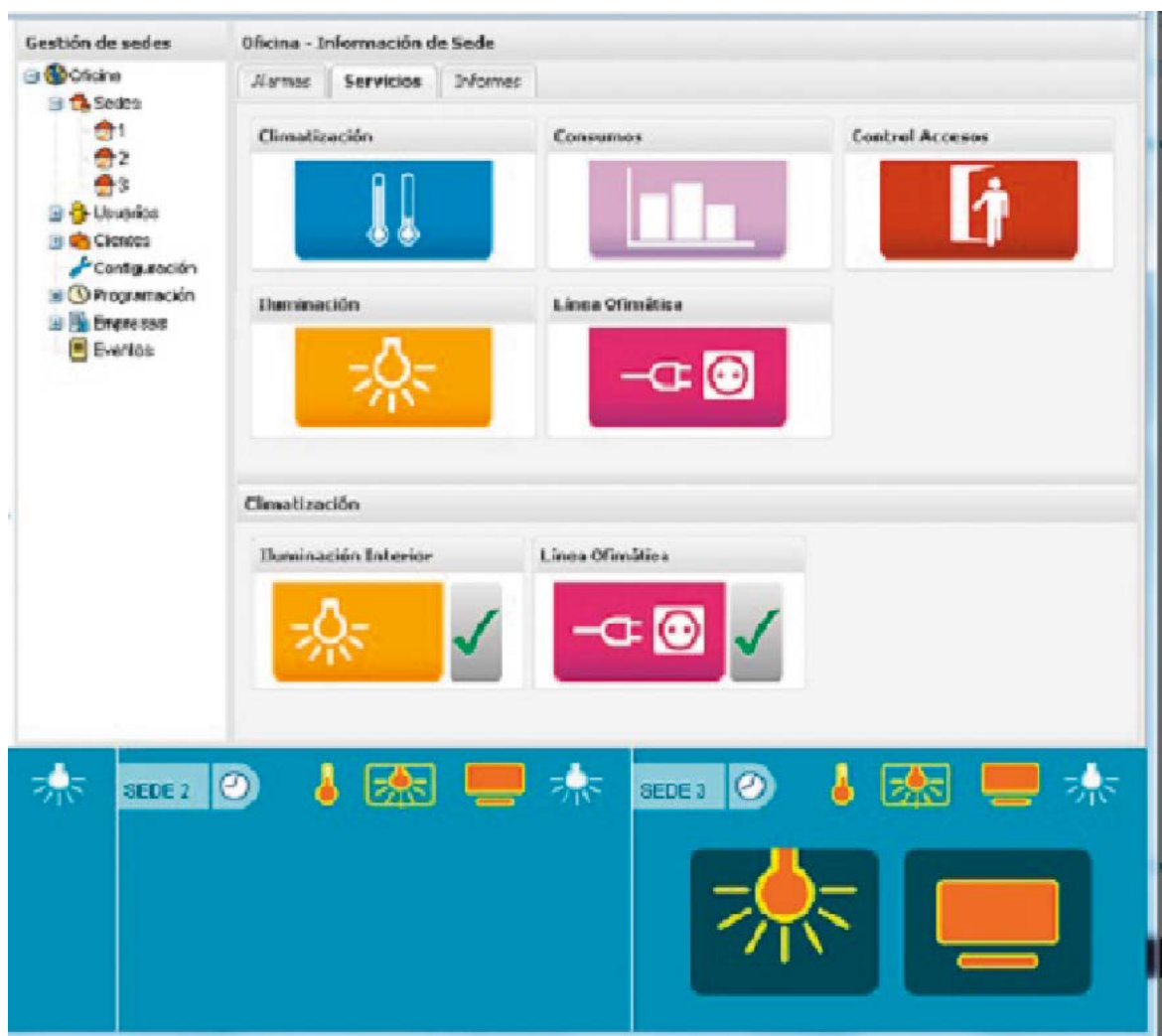
Los locales o espacios donde se recomienda la utilización de alguno de los anteriores sistemas de control y regulación son los siguientes:

- **Aulas, zonas comunes y dependencias con aporte de luz natural y ocupación variable**

En estas zonas, la iluminación al 100 % es solo necesaria cuando existe ausencia total de aporte de luz natural o durante la limpieza. El aprovechamiento de la luz natural y el control del encendido ante la falta de ocupación del aula o la zona permiten conseguir ahorros de hasta un 60%.

- **Aseos públicos**

Son zonas con una ocupación muy intermitente, por lo que el ajuste del tiempo real de ocupación con el real de encendido puede suponer ahorros superiores al 60%. Por ello se recomienda utilizar sistemas de control por presencia o pulsadores temporizados. Si la fuente de luz empleada es fluorescencia, será necesario atender a los tiempos mínimos de encendido.



- **Zonas especiales**

En determinados locales, como pueden ser la sala de actos o las aulas de proyecciones, resulta casi imprescindible el disponer de sistemas de regulación de la iluminación que permitan su ajuste a la situación.

Para salones de actos o zonas administrativas de cierto tamaño se puede instalar un sistema de control domótico integrado.

9.3. Mantenimiento

Con el paso del tiempo, la suciedad que se va depositando sobre las ventanas, luminarias y superficies que forman las salas, unida a la disminución de flujo luminoso que experimentan las lámparas a lo largo del tiempo, hace que el nivel inicial de iluminación que se disfrutaba en ella, descienda sensiblemente.

Los valores iniciales de iluminancia pueden volver a alcanzarse limpiando las luminarias y cambiando las lámparas a intervalos convenientes.

Los cristales de las ventanas y las superficies que forman techos y paredes deben ser limpiados periódicamente para mantener la transmisión de luz natural y la reflectancia de estas.

La limpieza o repintado de las paredes y techos tendrá gran importancia en el caso de salas pequeñas y de alumbrados indirectos.

Igualmente, las luminarias deben ser limpiadas regularmente, sobre todo las superficies reflectoras y difusoras.

Si incorporasen difusores de plástico, bien sea liso o prismático, y estuviesen envejecidos por el uso, deberán ser sustituidos.

El no proceder de esta manera puede conducir a lo siguiente:

- ✓ Reducción del nivel de iluminancia requerido para la tarea a realizar.
- ✓ Rendimiento deficiente de la instalación.
- ✓ Aspecto descuidado de la instalación.

Para prever la disminución provocada por la suciedad, al realizar el proyecto de alumbrado se debe solicitar una iluminancia superior a la tarea a realizar.

La relación entre la iluminancia mínima exigida y la iluminancia inicial se denomina factor de pérdida de luz, y dependerá del grado de mantenimiento realizado sobre la instalación.

Factor de mantenimiento (MF) = LLMF * LSF * LMF * RSMF

LLMF (FDFL) = factor de depreciación del flujo luminoso de la fuente de luz										
Fuentes de luz/ horas de funcionamiento	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	20.000
Lámparas halógenas	0,95									
Lámparas fluorescentes lineales	0,97	0,93	0,92	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
Lámparas fluorescentes compactas	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85					
Lámparas de descarga de halogenuros metálicos	0,90	0,87	0,83	0,80	0,75					
Lámparas LED	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90		
Tubo LED	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	
LED	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90

LSF (FSL) = factor de supervivencia de la fuente de luz										
Fuentes de luz/ horas de funcionamiento	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	20.000
Lámparas halógenas	1,0									
Lámparas fluorescentes lineales	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Lámparas fluorescentes compactas	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
Lámparas de descarga de halogenuros metálicos	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
Lámparas LED	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		
Tubo LED	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
LED	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

LMF (FDLU) = factor de depreciación de la luminaria			
Período limpieza (años)	1	2	3
Tipo luminaria/ambiente del local	Limpio	Limpio	Limpio
≥ IP2X	0,88	0,83	0,79
≥ IP5X	0,94	0,91	0,90

LMF (FDLU) = factor de depreciación de la luminaria			
Período limpieza (años)	1	2	3
Ambiente del local/período de limpieza	Limpio	Limpio	Limpio
Muy limpio	0,98	0,95	0,93
Limpio	0,95	0,92	0,90

Tabla 9.1. Factor de mantenimiento.

Iluminancia recomendada basada sobre	Flujo luminoso de la lámpara empleada	Factor de depreciación del flujo de la lámpara	Categoría del local	Factor deprec. luminaria y superficies del local	Factor total de pérdida de luz
Valor mínimo de iluminancia	Valor inicial nominal (100h.)	0	Limpio	0,85	0,7
	Valor al final de la vida (70% vida prevista)	1	Normal	0,75	0,6
			Sucio	0,6	0,5
			Limpio	0,85	0,85
			Normal	0,75	0,75
			Sucio	0,6	0,6
Valor en servicio de iluminancia	Inicial nominal (100 h.)	0,8	Normal	0,8	0,7
			Sucio	0,7	0,6
	Flujo nominal para el proyecto (2.000 h.)	1	Limpio	0,9	0,9
			Normal	0,8	0,8
			Sucio	0,7	0,7

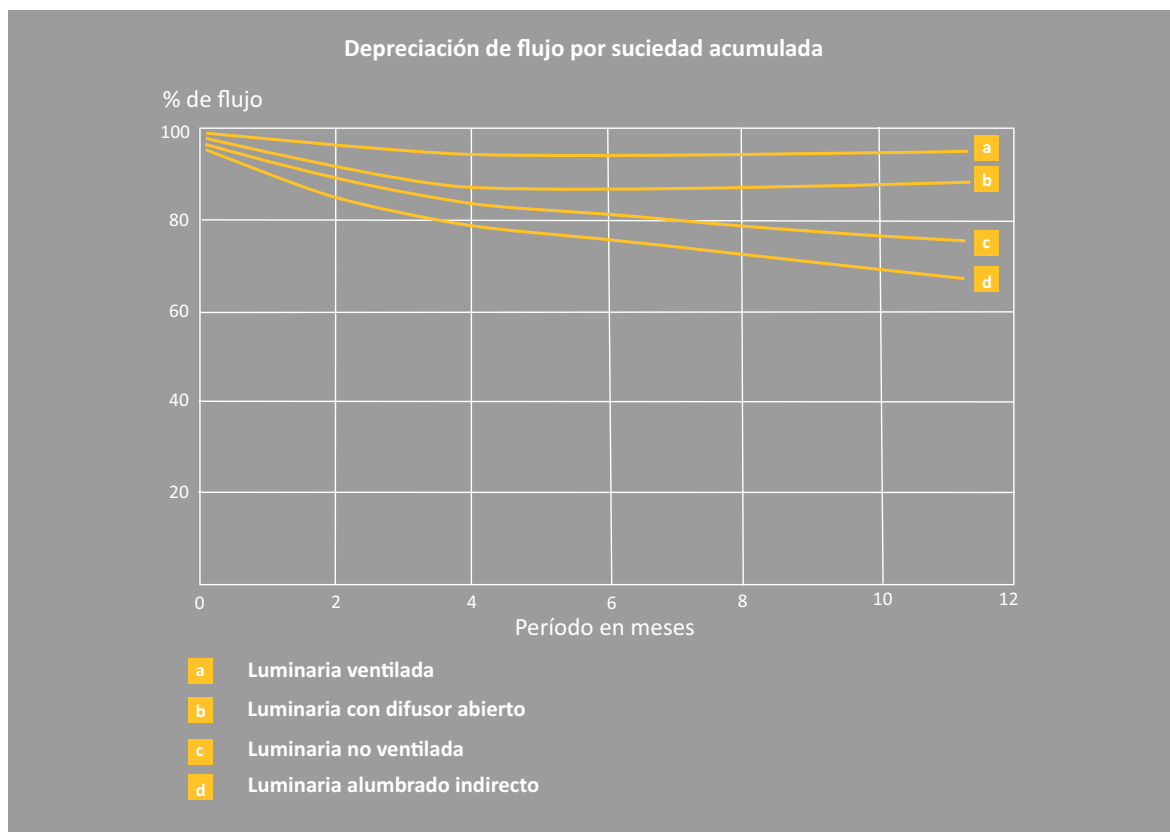
Tabla 9.2. Iluminancia recomendada basada sobre el valor mínimo de iluminancia y el valor en servicio de iluminancia

9.3.1. Depreciación producida por la suciedad acumulada en la luminaria

La mayor pérdida de iluminación en una instalación proviene de la suciedad, que se deposita sobre las lámparas y las luminarias, reduciendo la disminución de luz de estas no solo por la disminución de la emitida directamente por las propias fuentes de luz, sino también por reflexión y refracción en las superficies empleadas para tal fin.

La deposición de polvo sobre las luminarias y lámparas está afectada por el grado de ventilación, el ángulo de inclinación, el acabado de las superficies que forman las luminarias y el grado de contaminación del ambiente que las rodea.

Las curvas muestran la depreciación del flujo luminoso debida a la suciedad en distintos tipos de luminarias.

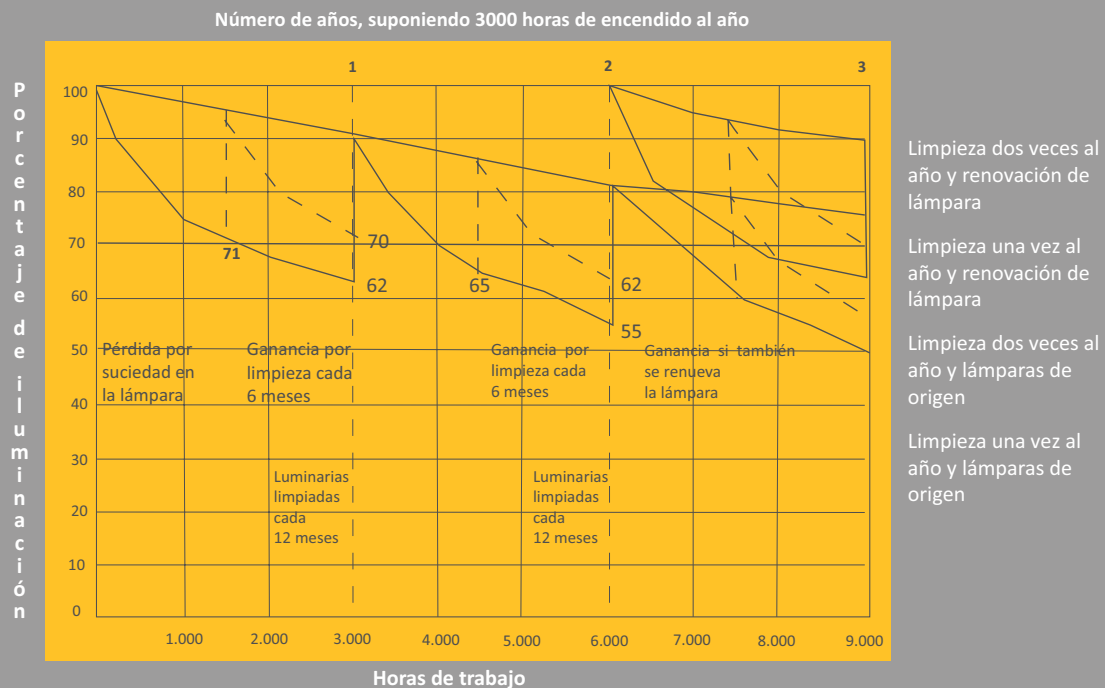


Depreciación de flujo por suciedad acumulada.

En aquellos locales con alto grado de contaminación es preferible la utilización de luminarias estancas.

La realización de una limpieza programada a intervalos regulares nos permitirá mantener de una forma más constante los niveles de iluminación de una sala.

Limpiezas programadas a intervalos regulares



Limpiezas programadas.

Para obtener una máxima ventaja económica, el intervalo de limpieza deberá mantener una relación con el intervalo de reposición de las lámparas.

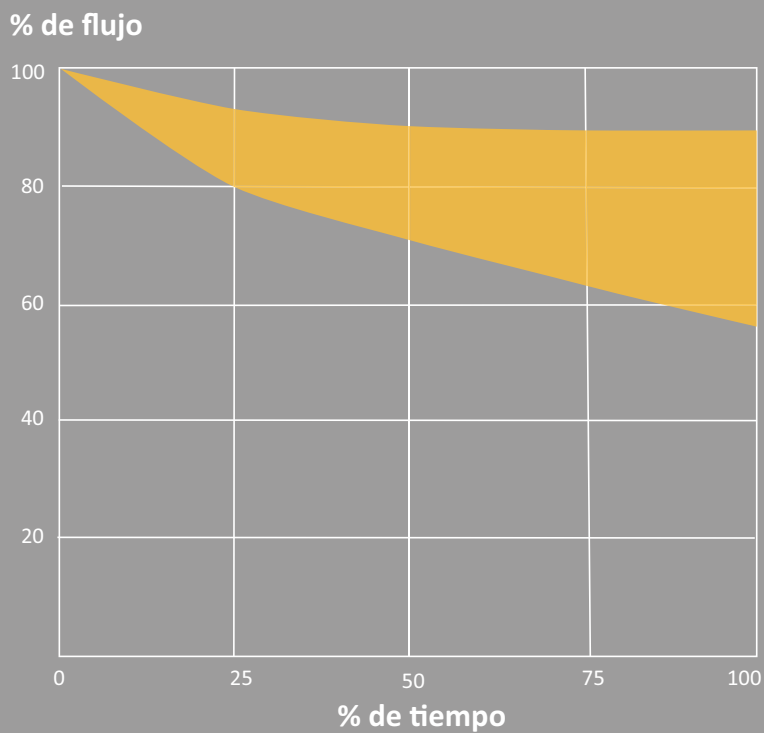
9.3.2. Depreciación del flujo de las fuentes de luz

El flujo luminoso de las lámparas disminuye con el tiempo, siendo diferente de unas lámparas a otras.

Existen lámparas que siguen luciendo por un largo período de tiempo, pero, a partir de un determinado momento, su emisión luminosa en relación con su consumo hace aconsejable su sustitución.

En la siguiente gráfica se muestra el porcentaje de depreciación del flujo de las lámparas fluorescentes y de descarga.

Depreciación de flujo por funcionamiento



Depreciación de flujo por funcionamiento.

Las lámparas han de ser sustituidas al final de la vida útil indicada por el fabricante. Aunque la lámpara siga luciendo, el rendimiento lumen/vatio de esta hará aconsejable su sustitución.

Excepto en las lámparas de filamento, las lámparas de descarga, incluyendo los tubos fluorescentes, raramente fallan de forma instantánea. Su fallo es precedido por un molesto parpadeo, encendiéndose y apagándose repetidamente.

Los responsables de mantenimiento deben estar pendientes de estas anomalías para proceder al cambio de la lámpara, comprobando previamente que es esta y no el arrancador la que debe ser cambiada. En un circuito de encendido de una lámpara fluorescente es recomendable probar con un cebador nuevo antes de desprenderse de la lámpara.

Al reemplazar la lámpara, la nueva deberá ser de la misma potencia y clase que la antigua. En los reemplazos con diferente tipo de fuente de luz que la original, se debe asegurar que se mantienen las condiciones iniciales, tanto de características eléctricas (tensión, potencia, intensidad, frecuencia, coseno de ϕ) como mecánicas (peso, temperatura de funcionamiento, disipación de calor) y de dimensiones sobre todo respecto de los elementos de distribución de la luz.

Una lámpara de potencia superior puede recalentar la luminaria. En las lámparas de descarga, el cambio debe hacerse compatible con el equipo auxiliar de encendido.

Es una buena práctica el disponer de lámparas de recambio para evitar equivocaciones provocadas por la urgencia de la reposición.

En una gran instalación, como es el caso de un centro educativo, será preferible reemplazar todas las lámparas en un momento determinado, en vez de ir las sustituyendo separadamente a medida que dejan de funcionar.

El ciclo de sustitución más aconsejable para un tipo determinado de lámpara estará definido por el fabricante.

9.4. Gestor energético

Para realizar una gestión eficiente, la figura del gestor energético en cualquier instalación debería ser obligatoria.

En este capítulo nos referiremos exclusivamente a la figura del gestor energético bajo el aspecto del consumo debido al alumbrado.

Esta gestión debe estar basada en los datos facilitados por el diseñador del edificio, el cual ha debido preparar por escrito una serie de indicaciones relativas a las instalaciones y al mantenimiento de las estas, tales como las siguientes:

- ✓ Listados y especificaciones de los equipos de iluminación empleados.
- ✓ El programa de limpieza para lámparas y luminarias.
- ✓ El programa de recambio de las de lámparas.
- ✓ El programa de mantenimiento de las superficies que forman las salas o aulas, incluido el repintado de estas.

Basándose en estas indicaciones, el gestor deberá realizar una eficaz gestión continua sobre lo siguiente:

- ✓ Seguimiento de los planes de mantenimiento (limpiezas, reposiciones de lámparas por grupos, etc.).
- ✓ Control de horarios de funcionamiento.
- ✓ Control de consumos y costes.
- ✓ Seguimiento de la tarificación.

La energía consumida en kWh es igual a la potencia de las luminarias multiplicada por el número de horas de utilización de estas.

La comparación del consumo teórico con el real puede facilitar al gestor los datos necesarios para conseguir una disminución en el coste energético del alumbrado.

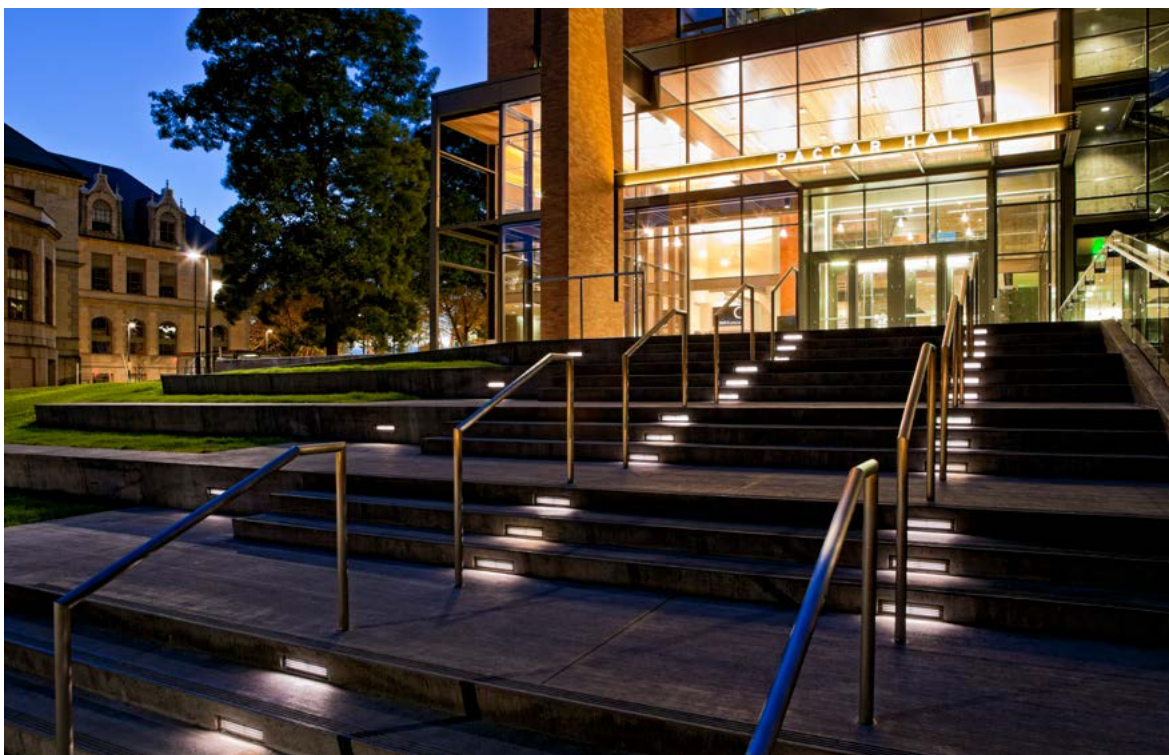
Para un determinado nivel de iluminación adecuado a la tarea a realizar y suponiendo que el número de horas de utilización es el correcto, solamente un deficiente estado de las luminarias puede incrementar el consumo.

De igual forma, para un adecuado estado de las luminarias, el incremento es motivado por una excesiva utilización del alumbrado.

Los vatios consumidos por el sistema que forma la fuente de luz y el equipo auxiliar de funcionamiento deben estar especificados por el fabricante.

Dado que las compañías suministradoras disponen de varias tarifas reguladas por el *BOE*, el gestor deberá conocer cuál es la que mejor se adapta al horario, potencia contratada, etc., para elegir la más adecuada a sus necesidades.

10 Índice de eficiencia energética



El IEE es un factor que mide la eficiencia energética de una instalación de alumbrado y que, al mismo tiempo, ayuda al responsable del proyecto a realizar un autocontrol del trabajo realizado.

El Código Técnico de la Edificación establece los valores de niveles luminosos, el UGR, la potencia máxima instalada por m², el Ra de las fuentes de luz y el valor de la eficiencia energética (VEEI) para cada una de las dependencias, en función de la actividad a desarrollar.

10.1. Impacto de la iluminación en el consumo energético global

La luz es una necesidad vital para todos los seres vivos. Desde el inicio de los tiempos, todo el desarrollo de las especies vivas ha ido vinculado al ciclo día-noche. Es en el momento en que el ser humano descubre la iluminación artificial cuando consigue alargar las horas de actividad diurna a otros horarios nocturnos. A medida que se consigue dominar la luz, se van ampliando los horarios de actividad humana, hasta llegar a nuestros días, en que podemos disponer de cualquier necesidad de luz simplemente pulsando un interruptor. La iluminación ha ocupado una parte muy importante en nuestra sociedad, ya que nos permite disponer de luz a cualquier hora del día y en cualquier tipo de ambiente. Y es gracias a ella que se han podido desarrollar una gran variedad de actividades y alcanzar condiciones de calidad de vida que antes eran inconcebibles.

Para conseguir esta luz artificial se debe consumir energía. Primero se obtuvo quemando madera, después, aceite, gas, etc., hasta llegar a finales del siglo XIX donde aparece la electricidad como fuente de energía para las instalaciones de iluminación. Así ha sido hasta nuestros días, donde seguimos consumiendo energía eléctrica para obtener la luz necesaria para nuestras actividades.

El consumo de energía eléctrica proviene en su mayoría de recursos naturales no renovables (petróleo, carbón, combustible nuclear, gas, etc.), pero cada vez es mayor la energía proveniente de fuentes renovables (un 13,8% en 2012, y el objetivo es llegar al 20% en 2020).

Sin embargo, a pesar de todos los beneficios que se le pueden atribuir a la iluminación, es imposible ignorar que implica un consumo considerable de energía eléctrica, la cual representa del 8% hasta el 20% del consumo eléctrico global.

De este consumo, del 25% al 50% corresponde al del alumbrado de ámbito doméstico, y el 50%, al consumo del alumbrado de ámbito municipal (alumbrado público de calles, plazas, jardines y edificios administrativos). Debido al aumento constante del sector de servicios en la estructura general de producción, estas cifras conllevan una tendencia creciente.

Lo que sí es una realidad es que el precio de la energía es cada vez más elevado y no parece que se invierta esa tendencia.

Ante esta consecuencia aparece una herramienta muy potente: la eficiencia energética.

La tecnología en el ámbito de la iluminación ha evolucionado de una forma impresionante en los últimos años: sistemas de iluminación más eficientes y sistemas de control que permiten adaptar las necesidades lumínicas a la demanda en cada momento permiten reducir de una forma muy importante el consumo energético de nuestras instalaciones sin perjuicio en las prestaciones visuales.

No existe una guía o procedimiento infalible que permita determinar y diseñar un sistema de iluminación con elevada eficiencia energética. Cada espacio y cada actividad deben analizarse de forma que se encuentre un equilibrio entre las prestaciones lumínicas y la eficiencia energética. Pero hay dos cosas que siempre deben tenerse en cuenta:

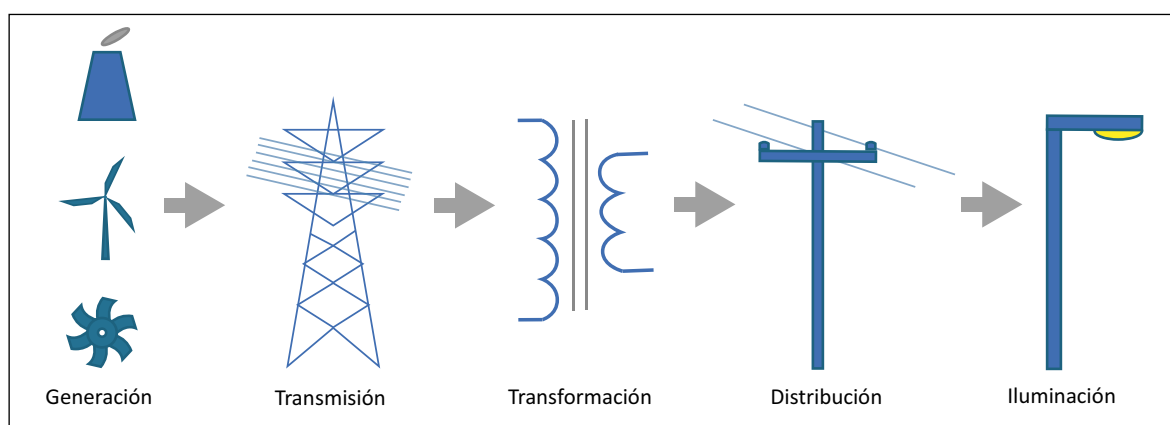
- ✓ Nunca deben ponerse en juego las necesidades visuales de los usuarios por criterios de eficiencia energética, sino que deben definirse cuáles son esas necesidades y estudiar la forma más eficiente de conseguirlo.
- ✓ Debe contemplarse todo el ciclo de vida del proyecto de iluminación, ya que, si se analizan los costes a lo largo de toda la vida útil de una instalación de iluminación, los de explotación pueden llegar a hacer que los costes de instalación sean despreciables. un ejemplo: La energía que consume una lámpara a lo largo de toda su vida puede llegar a significar hasta diez veces el coste de su adquisición.

Este capítulo y los que conforman las guías técnicas de eficiencia energética en iluminación en ambientes interiores y actividades específicas, como son oficinas, hospitales y, el ámbito de esta misma, dedicada a centros docentes, intentan presentar una serie de recomendaciones que permitan orientar en el desarrollo tanto de nuevas instalaciones como en las reformas de las existentes, mediante la toma de decisiones más adecuadas para alcanzar una mayor eficiencia energética.

10.2. Importancia del ahorro energético en iluminación

Si analizamos el proceso de generación y transporte de energía, tanto en la central eléctrica como durante el transporte de la energía, las pérdidas son muy elevadas. Dos tercios de la energía empleada se pierden durante la generación y transporte. Es decir, que para que nosotros podamos disponer de 1 W en nuestra casa o lugar de trabajo la central eléctrica debe generar 3 W.

Pero veámoslo desde el punto de vista optimista: por cada vatio (por mejora de la eficiencia energética) que dejemos de consumir en destino, se conseguirá que la central eléctrica deje de producir 3 W, con todo el impacto ambiental que ello representa.



Ciclo de transformación de energía eléctrica.

Centrándonos exclusivamente en el último punto del ciclo definido en la imagen anterior, es decir, cómo gestionamos el proceso de convertir la energía eléctrica en luminosa para conseguir instalaciones de alumbrado eficientes, deberemos tener en cuenta los siguientes puntos, que podrían resumirse en la realización de un correcto proyecto de iluminación:

- ✓ Parámetros luminosos (niveles de iluminación, uniformidad, UGR, etc.) adecuados a la función a realizar en cada instalación.
- ✓ Luminarias adecuadas a las características mecánicas y ambientales de la instalación, de alto rendimiento y control de la energía luminosa emitida por las fuentes de luz que incorporan.
- ✓ Equipos auxiliares de bajas pérdidas y que permitan la conexión a sistemas de regulación.
- ✓ Fuentes de luz de elevado ratio lm/W.
- ✓ Definir un plan de mantenimiento que garantice el nivel de servicio y prestaciones de la instalación a lo largo de la vida útil.
- ✓ Establecer los sistemas de regulación y control que maximicen la eficiencia energética de la instalación.

Y un aspecto que no debemos dejar de lado es el reciclado de los componentes de la instalación, ya que una vez que un componente llega al final de su vida útil debe ser gestionado y reciclado adecuadamente por una entidad autorizada, puesto que algunos de ellos están considerados como residuos peligrosos. Dentro del plan de mantenimiento deben establecerse los mecanismos de

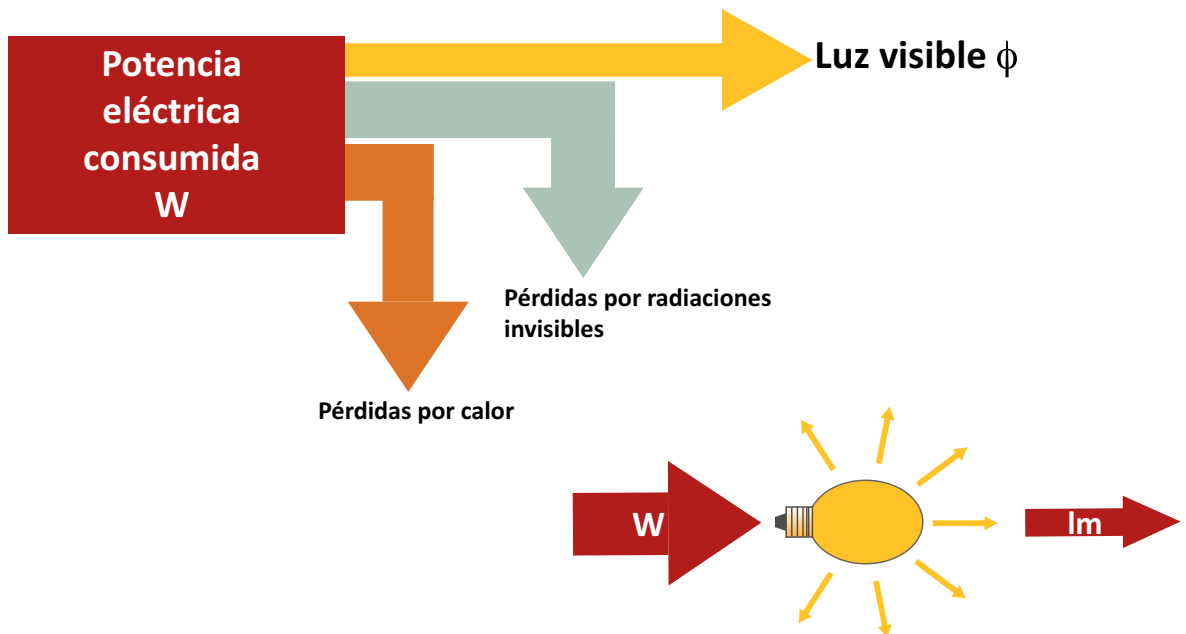
eliminación de lámparas, luminarias, equipos auxiliares y demás elementos para evitar su impacto ambiental.

Las pérdidas energéticas que se originan en una instalación de alumbrado tienen su origen en varias causas, siendo la más importante la que se genera en la fuente de luz, al transformar la energía eléctrica en luminosa.

Pensemos, por ejemplo, que una lámpara incandescente como las que podemos tener en nuestras casas tiene unas pérdidas del 95%. El 95% de la energía que consume la transforma en calor, mientras que menos de un 5% es lo que se transforma en luz. En las fuentes de luz más eficientes este porcentaje es del 70%. Si a ello le sumamos el consumo propio que pueden tener los equipos auxiliares, transformadores, etc., ese porcentaje continúa decreciendo.

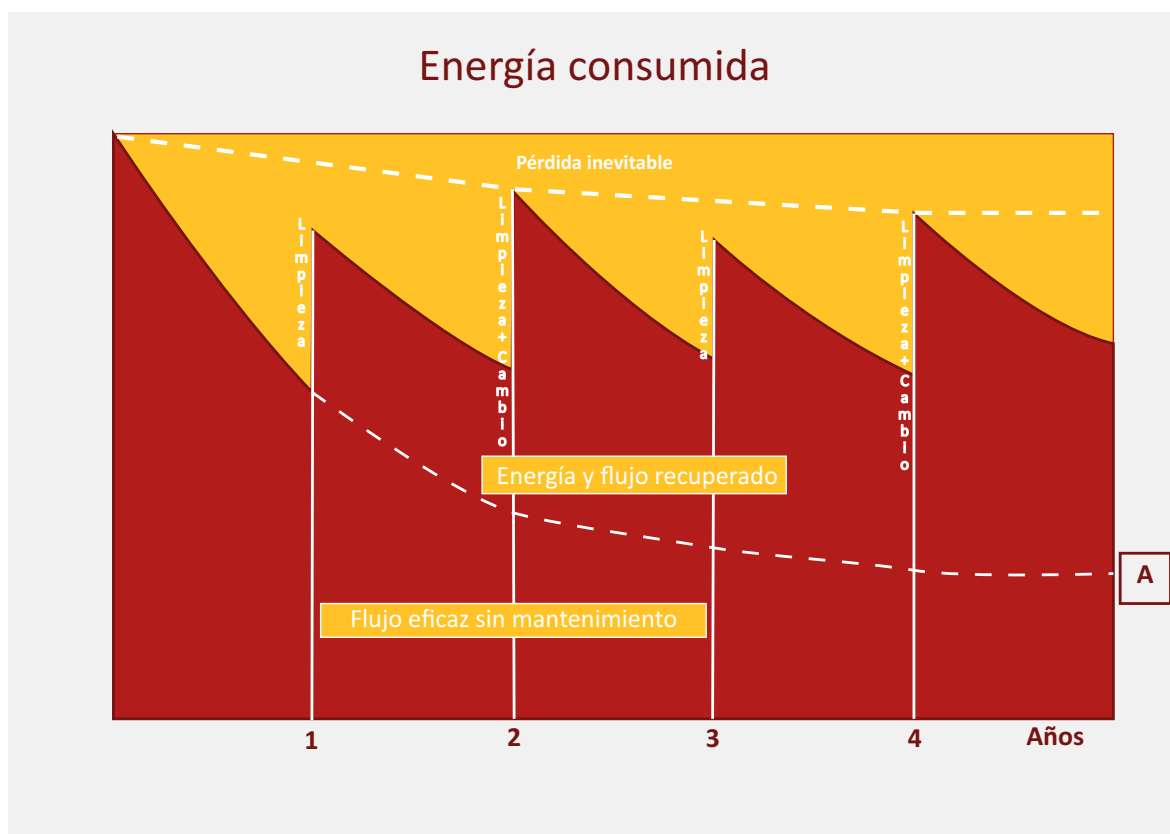
Pero no todas las pérdidas son debidas a la fuente de luz utilizada. Las pérdidas originadas en los sistemas ópticos por reflexión, refracción y transmisión de la energía luminosa, unidas a las originadas por la degradación de los materiales que los forman y a las originadas por la distribución del flujo luminoso sobre la superficie a iluminar, disminuyen el rendimiento de la instalación.

En función de los elementos utilizados en una instalación de alumbrado, el porcentaje de energía eléctrica que llega al interruptor de una instalación y se transforma en luz visible oscila entre un 0,5% y un 6%. Ello quiere decir que de cada 100 W de energía eléctrica consumida la energía equivalente en luz aprovechable estaría entre 0,5 W y 6 W.



Transformación de energía eléctrica en luz visible.

En la fase de explotación o funcionamiento de una instalación de iluminación, también aparecen causas de una baja eficiencia. Si esa instalación no se mantiene correctamente sus elementos se degradan, las lámparas envejecen, las luminarias se ensucian, etc. Y ello ocasiona que el rendimiento de la instalación disminuya.



Comparación del nivel de servicio en una instalación con/sin mantenimiento.

En el gráfico se muestra cómo evoluciona una instalación de iluminación si se realiza o no un mantenimiento adecuado de esta. Como se ha mencionado anteriormente, existe una pérdida de prestaciones inevitable, producto de la degradación de los propios componentes (lámparas, luminarias, cables, equipos auxiliares, etc.). Pero si no se reemplazan los componentes cuando han llegado al final de su vida útil, las prestaciones lumínicas se reducen drásticamente mientras que el consumo energético se mantiene.

Por último, el control de la instalación también es crítico a la hora de evaluar la eficiencia energética de la instalación de iluminación. Los horarios de funcionamiento muchas veces no se ajustan, por lo que la instalación está consumiendo energía en períodos donde no debería hacerlo. Por otro lado, la «rigidez» de muchas instalaciones hace que a la hora de encender o apagar se tengan únicamente el 0% o el 100% del flujo luminoso.

La existencia en la instalación de adecuados sistemas de encendido y de control y regulación de la energía luminosa emitida por las luminarias, unida al aprovechamiento de luz natural cuando es posible, colabora para eficazmente conseguir instalaciones altamente eficientes.

10.3. Eficiencia energética de una instalación de iluminación

La eficiencia energética de una instalación de iluminación se define como el flujo útil respecto a la energía eléctrica consumida. Se entiende por flujo útil la cantidad de flujo luminoso que recibe al área de trabajo donde se desarrolla la actividad.

Para entender el proceso, se divide el cálculo de la eficiencia en dos. Una primera eficiencia básicamente relacionada con la fuente de luz y sus equipos auxiliares. Relaciona la luz emitida por la lámpara respecto a la energía consumida por ella y sus equipos auxiliares. Mediante este primer cálculo de eficiencia se evalúa la transformación de energía eléctrica en energía lumínica.

$$Eficiencia\ 1 = \frac{Energía\ lumínica}{Energía\ eléctrica}$$

Este valor es lo que se denomina eficacia luminosa de una fuente de luz, los lúmenes emitidos por vatio eléctrico consumido. Por ejemplo, una lámpara de incandescencia convencional está entre los 15 y los 18 lm/W, una lámpara de halógenos metálicos puede llegar a los 105 lm/W y un LED puede llegar (hoy) hasta los 150 lm/W.

Pero ahora llega el segundo paso. De toda la luz que emite la lámpara, ¿qué porcentaje llega a la zona que nos interesa iluminar? Pues ahí es donde entra el cálculo de esa segunda eficiencia: de la luz que emite la lámpara, qué porcentaje sale de la luminaria y llega a la zona de estudio.

$$Eficiencia\ 2 = \frac{Energía\ lumínica\ útil}{Energía\ lumínica}$$

Así pues, la eficiencia total del sistema de iluminación será el producto de ambas:

$$Eficiencia\ total = Eficiencia\ 1 \cdot Eficiencia\ 2 = \frac{Energía\ lumínica\ útil}{Energía\ eléctrica}$$

Este valor nos da una idea de la cantidad de flujo que emite una lámpara, sale de la luminaria y llega a la superficie de estudio, midiéndose en lm/W.

La definición de lux es el flujo luminoso (lm) que llega a una superficie (m²):

$$1\ lux = \frac{1\ lm}{1\ m^2}, \text{ entonces } 1\ lm = 1\ lux \cdot m^2$$

Sustituyendo en los valores de eficiencia:

$$Eficiencia\ total = \frac{lm}{W} = \frac{lux \cdot m^2}{W}$$

En instalaciones de iluminación interior, se suele emplear la inversa de esta fórmula y relacionarla a 100 lux: es decir, los vatios necesarios para obtener 100 lux.

Así pues, se define el valor de eficiencia energética en iluminación (VEEI) como la potencia eléctrica necesaria para obtener 100 lux por m² en el plano de trabajo y en condiciones de servicio. Evidentemente, cuanto menor sea el VEEI, más eficiente será la instalación. Cuando se habla en condiciones de servicio lo que se quiere decir es que ese valor debe mantenerse a lo largo de toda la vida útil de la instalación, lo que implica que debe efectuarse un mantenimiento adecuado

que permita obtener el nivel de servicio (nivel de iluminación mantenido) dentro de los límites establecidos.

El Código Técnico de Edificación, en el apartado HE3 (Eficiencia energética en iluminación), establece los límites máximos de VEEI en función del tipo de actividad y la representatividad del espacio analizado.

10.4. Ciclo de vida de una instalación de iluminación

Como se ha comentado anteriormente, cuando se plantea un proyecto de iluminación debe pensarse en todo el ciclo de vida de este. Debemos pensar que la vida útil de una instalación de iluminación puede llegar a ser de 30 años, y durante todo ese período debe garantizarse que las prestaciones lumínicas serán las necesarias para que se puedan desarrollar sin problemas las actividades visuales de las personas que harán uso de ese espacio. Ello obliga al proyectista a dos cosas importantes. Por un lado, seleccionar los componentes de la instalación que garanticen sus prestaciones tanto lumínicas como mecánicas, eléctricas, térmicas, ambientales, etc., a lo largo de toda su vida útil. Por otro lado, deben establecerse las operaciones de mantenimiento necesarias para garantizar el estado correcto de todos los elementos que forman parte de la instalación. En función de la vida útil de los componentes, de la agresividad del entorno, de las condiciones de alimentación eléctrica, etc., debe elaborarse un plan de mantenimiento que garantice las prestaciones lumínicas a lo largo de toda la vida útil del proyecto.

Si se contemplaran los costes de todo el proyecto, no únicamente los costes de instalación, sino también los costes de explotación, se observaría que los costes de explotación (que incluye el coste energético y el mantenimiento de las instalaciones) son muy superiores a los costes de instalación. Por ello debe prestarse especial atención a la selección de los diferentes elementos de forma que su comportamiento y duración garanticen el nivel de servicio para el que han sido diseñados.

10.5. CTE – HE3: exigencias energéticas en una instalación de iluminación

Con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación, el Código Técnico de Edificación recoge en la sección HE3 las exigencias energéticas en instalaciones de iluminación. Veamos los puntos a destacar de este documento.

10.5.1. Ámbito de aplicación

Se define en qué casos será obligatorio cumplir con las exigencias del documento:

- a. Edificios de nueva construcción.
- b. Intervención en edificios existentes con una superficie útil total final (incluidas las partes ampliadas, en su caso) superior a 1.000 m², donde se renueve más del 25% de la superficie iluminada.
- c. Otras intervenciones en edificios existentes en las que se renueve o amplíe una parte de la instalación, en cuyo caso se adecuará la parte de la instalación renovada o ampliada para que se cumplan los valores de eficiencia energética límite en función de la actividad, y, cuando la reno-

vacación afecte a zonas del edificio para las cuales se establezca la obligatoriedad de sistemas de control o regulación, se dispondrán estos sistemas.

- d. Cambio de uso característico del edificio.
- e. Cambios de actividad en una zona del edificio que impliquen un valor más bajo del valor de eficiencia energética de la instalación límite respecto al de la actividad inicial, en cuyo caso se adecuará la instalación de dicha zona.

Se excluyen del ámbito de aplicación:

- a. Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años.
- b. Edificios industriales, de la defensa y agrícolas o partes de estos, en la parte destinada a talleres y procesos industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales.
- c. Edificios independientes con una superficie útil total inferior a 50 m².
- d. Interiores de viviendas.
- e. Los edificios históricos protegidos cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística.

En los casos excluidos en el punto anterior, en el proyecto se justificarán las soluciones adoptadas, en su caso, para el ahorro de energía en la instalación de iluminación.

Se excluyen también de este ámbito de aplicación los alumbrados de emergencia.

10.6. Caracterización y cuantificación de las exigencias

10.6.1. Valor de eficiencia energética de la instalación

La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determinará mediante el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI (W/m²) por cada 100 lux mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m}$$

siendo:

P , la potencia total instalada en lámparas más los equipos auxiliares (W);

S , la superficie iluminada [m²], y

E_m , la iluminancia media horizontal mantenida (lux).

Los valores de eficiencia energética límite en recintos interiores de un edificio se establecen en la siguiente tabla. Estos valores incluyen la iluminación general y la iluminación de acento, pero no las instalaciones de iluminación de escaparates y zonas expositivas.

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
Administrativa en general	3,0
Andenes de estaciones de transporte	3,0
Pabellones de exposición o ferias	3,0
Salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
Aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
Habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
Recintos interiores no descritos en este listado	4,0
Zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
Aparcamientos	4,0
Espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
Estaciones de transporte ⁽⁶⁾	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) ⁽⁷⁾	6,0
Hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
Religiosas 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 ⁽⁹⁾	8,0
Tiendas y pequeño comercio	8,0
Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
Locales con nivel de iluminación superior a 600 lux	2,5

10.1. Límite del valor de eficiencia energética en iluminación (VEEI).

- (1) Incluye la instalación de iluminación general de salas como salas de examen general, salas de emergencia, salas de escáner y radiología, salas de examen ocular y auditivo y salas de tratamiento. Sin embargo, quedan excluidos locales como las salas de operación, quirófanos, unidades de cuidados intensivos, consultas de dentista, salas de descontaminación, salas de autopsias y mortuorios y otras salas que por su actividad puedan considerarse como salas especiales.
- (2) Incluye la instalación de iluminación del aula y las pizarras de las aulas de enseñanza, aulas de práctica de ordenador, de música, laboratorios de lenguaje, aulas de dibujo técnico, aulas de prácticas y laboratorios, manualidades, talleres de enseñanza y aulas de arte, aulas de preparación y talleres, aulas comunes de estudio y aulas de reunión, aulas de clases nocturnas y educación de adultos, salas de lectura, guarderías, salas de juegos de guarderías y salas de manualidades.
- (3) Incluye la instalación de iluminación interior de la habitación y baño, formada por iluminación general, iluminación de lectura e iluminación para exámenes simples.
- (4) Espacios utilizados por cualquier persona o usuario, como recibidor, vestíbulos, pasillos, escaleras, espacios de tránsito de personas, aseos públicos, etc.
- (5) Incluye las instalaciones de iluminación del terreno de juego y graderíos de espacios deportivos, tanto para actividades de entrenamiento como de competición, pero no se incluyen las instalaciones de iluminación necesarias para las retransmisiones televisadas. Los graderíos serán asimilables a zonas comunes del grupo 1.
- (6) Espacios destinados al tránsito de viajeros, como recibidor de terminales, salas de llegadas y salidas de pasajeros, salas de recogida de equipajes, áreas de conexión, de ascensores, áreas de mostradores de taquillas, facturación e información, áreas de espera, salas de consigna, etc.

10.6.2. Potencia instalada en el edificio

La potencia de la instalación de iluminación, contemplando la potencia total de la luminaria (lámpara y equipo auxiliar), no superará los valores especificados en la siguiente tabla:

Uso del edificio	Potencia máxima instalada (W/m²)
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

Tabla 10.2. Potencia máxima de iluminación.

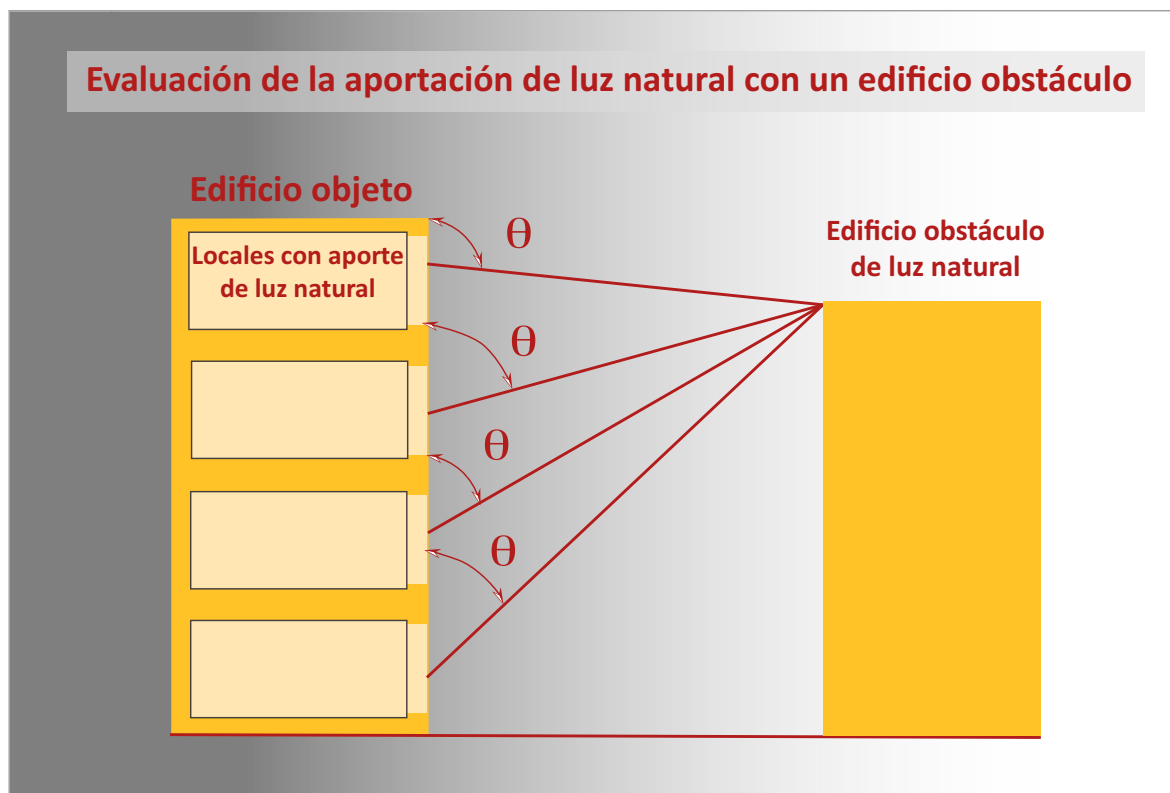
10.6.3. Sistemas de control y regulación

Gracias a la aparición de nuevas tecnologías en lo referente a fuentes de luz y equipos auxiliares, es posible definir escenas de iluminación dinámicas, en las que en función de la actividad que se desarrolla y el nivel de ocupación del espacio se ajusten las prestaciones lumínicas a las necesidades reales, con el consecuente ahorro energético.

Lo que sí establece el CTE – HE3 son unos requisitos mínimos en cuanto a sistemas de control:

- ✓ Toda zona dispondrá al menos de un sistema de encendido y apagado manual, no aceptándose los sistemas de encendido y apagado en cuadros eléctricos como único sistema de control. Toda zona dispondrá de un sistema de encendido por horario centralizado en cada cuadro eléctrico. Las zonas de uso esporádico dispondrán de un control de encendido y apagado por sistema de detección de presencia temporizado o sistema de pulsador temporizado.
- ✓ Se instalarán sistemas de aprovechamiento de la luz natural que regulen proporcionalmente y de manera automática por sensor de luminosidad el nivel de iluminación en función del aporte de luz natural de las luminarias de las habitaciones de menos de seis metros de profundidad y en las dos primeras líneas paralelas de luminarias situadas a una distancia inferior a cinco metros de la ventana, y en todas las situadas bajo un lucernario, cuando se den las siguientes condiciones:

1. En las zonas de que cuenten con cerramientos acristalados al exterior, cuando estas cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:



Evaluación de la aportación de luz natural con un edificio obstáculo.

- ✓ Que el ángulo θ sea superior a 65° ($\theta > 65^\circ$), siendo θ el ángulo desde el punto medio del acristalamiento hasta la cota máxima del edificio obstáculo, medido en grados sexagesimales.
- ✓ Que se cumpla la expresión: $T (A_w / A) > 0,11$.

siendo:

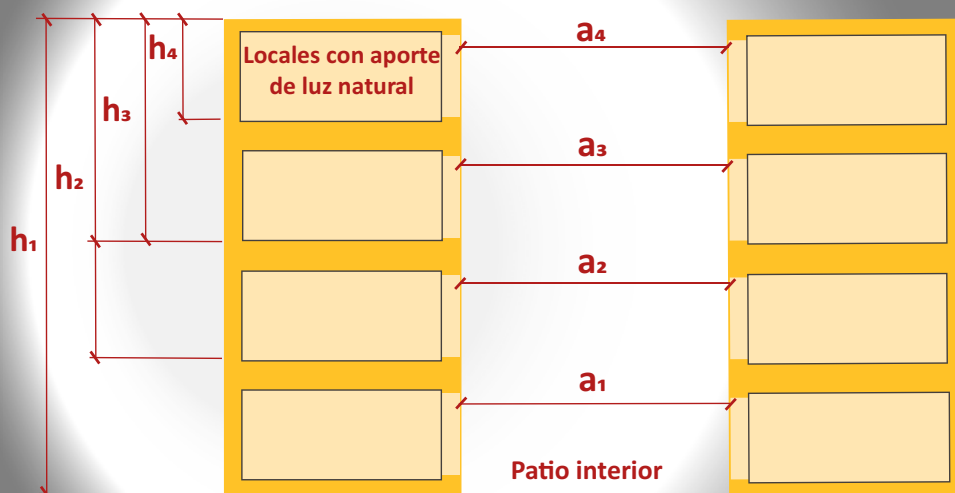
T , el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de la ventana del local en tanto por uno;

A_w , el área de acristalamiento de la ventana de la zona (m^2), y

A , el área total de las superficies interiores del local (suelo + techo + paredes + ventanas) (m^2).

2. En todas las zonas de los grupos 1 y 2 que cuenten con cerramientos acristalados a patios o atrios, cuando estas cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:
 - ✓ En el caso de patios no cubiertos, cuando estos tengan una anchura (a_i) superior a dos veces la distancia (h_i), siendo h_i la distancia entre el suelo de la planta donde se encuentre la zona en estudio y la cubierta del edificio.

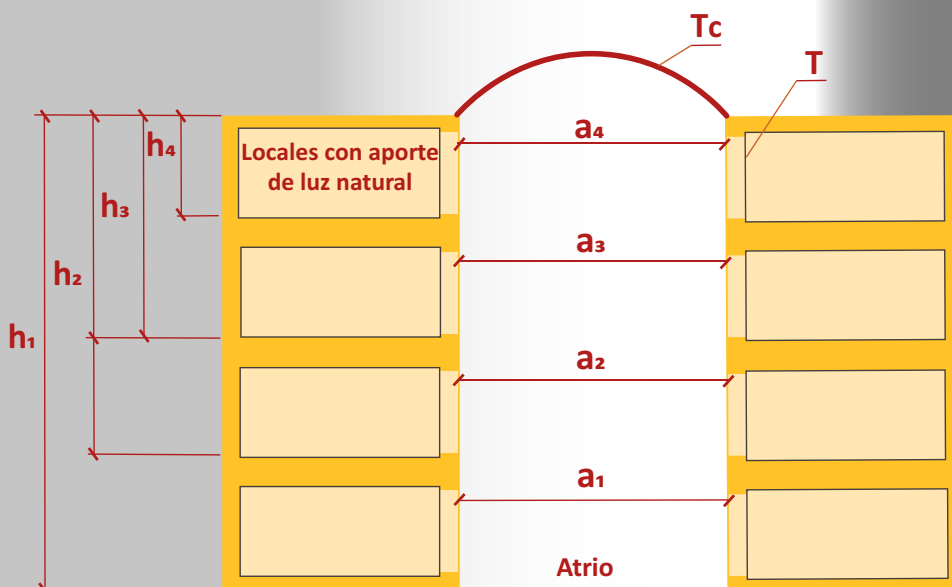
Evaluación de la aportación de luz natural en un edificio con patio de luces



Evaluación de la aportación de luz natural en un edificio con patio de luces.

- ✓ En el caso de patios cubiertos por acristalamientos, cuando su anchura (a_i) sea superior a $2/T_c$ veces la distancia (h_i), siendo h_i la distancia entre la planta donde se encuentre el local en estudio y la cubierta del edificio, y siendo T_c , el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de cerramiento del patio, expresado en tanto por uno.

Evaluación de la aportación de luz natural en un edificio con lucernario



Evaluación de la aportación de luz natural en un edificio con lucernario.

- ✓ Que se cumpla la expresión: $T (A_w/A) > 0,11$,

siendo:

T, el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de la ventana del local en tanto por uno;
 A_w , el área de acristalamiento de la ventana de la zona (m^2), y
 A , el área total de las superficies interiores del local (suelo + techo + paredes + ventanas) (m^2).

Quedan excluidas de cumplir las exigencias de los puntos anteriores las siguientes zonas:

- ✓ Zonas comunes en edificios residenciales.
- ✓ Habitaciones de hospital.
- ✓ Habitaciones de hoteles, hostales, etc.
- ✓ Tiendas y pequeño comercio.

10.7. Verificación y justificación del cumplimiento de la exigencia

10.7.1. Procedimiento de verificación

En este apartado, el documento HE3 establece que se verifiquen los siguientes valores:

- a. Cálculo del VEEI, comprobando que no se superan los valores de la tabla 10.1.
- b. Cálculo de la potencia de iluminación instalada en el edificio, comprobando que no se supera lo establecido en la tabla 10.2.
- c. Comprobación de la existencia de un sistema de control y regulación para el máximo aprovechamiento de la luz natural.
- d. Comprobación de la existencia de un plan de mantenimiento.

10.7.2. Justificación del cumplimiento de la exigencia

En el proyecto debe incluirse la siguiente información:

- a. Relativa al edificio:
 - ✓ Potencia total instalada en el edificio (lámpara más equipo auxiliar).
 - ✓ Superficie total iluminada.
 - ✓ Potencia total por unidad de superficie.
- b. Relativa a cada zona:
 - ✓ El índice del local (K) utilizado en el cálculo.

- ✓ El número de puntos considerados en el proyecto. La malla de cálculo empleada debe ser representativa de todo el plano de trabajo. El número de puntos de cálculo debe ser el adecuado al tamaño de la superficie.
- ✓ El factor de mantenimiento (F_m) previsto. En función de la agresividad del entorno, de la estanqueidad de las luminarias y de los intervalos de mantenimiento, debe fijarse un valor que se adecue a la evolución de la instalación.
- ✓ La iluminancia media horizontal mantenida (E_m) obtenida. Es el valor por debajo del cual nunca debe estar la iluminancia media, dado que se pondría en riesgo la seguridad.
- ✓ El índice de deslumbramiento unificado (UGR) alcanzado.
- ✓ Los índices de rendimiento de color (R_a) de las lámparas seleccionadas.
- ✓ El valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) resultante en el cálculo.
- ✓ Las potencias de los conjuntos: lámpara más equipo auxiliar.
- ✓ La eficiencia de las lámparas empleadas en lm/W .

Asimismo, debe justificarse en la memoria del proyecto para cada zona el sistema de control y regulación que corresponda, de forma que se justifique el máximo aprovechamiento de luz natural, así como la adecuación de la iluminación a la ocupación y la actividad que se desarrolla, empleando sensores lumínicos, de movimiento, programas horarios, etc.

10.8. Cálculos

10.8.1. Datos previos

Para determinar el cálculo y las soluciones luminotécnicas de las instalaciones de iluminación interior, se tendrán en cuenta parámetros como los siguientes:

- a. El uso de la zona a iluminar. Con este análisis, y basándonos en las recomendaciones y normativas, se podrá identificar el tipo de actividad que se realiza en el espacio objeto de estudio.
- b. El tipo de tarea visual a realizar. Una vez identificada la zona a iluminar, en su interior pueden realizarse diferentes tareas visuales, con diferentes requerimientos lumínicos.
- c. Las necesidades de luz y del usuario del local. Debe identificarse el tipo de usuario al que va destinado el proyecto, pues es posible que pueda tener deficiencias visuales que obliguen a modificar los parámetros lumínicos de partida.
- d. El índice K del local o dimensiones del espacio (longitud, anchura y altura útil).
- e. Las reflectancias de las paredes, techo y suelo de la sala. La iluminación por reflexión puede llegar a significar un 30% de la iluminación del espacio. Es por ello que debe establecerse un coeficiente de reflexión para los diferentes cerramientos de local para obtener unos resultados próximos a la realidad.
- f. Las características y tipo de techo, pues nos permitirán identificar el tipo de luminaria adecuado (empotrable, de superficie, colgante, etc.).

- g. Las condiciones de la luz natural, con el objetivo de optimizar la eficiencia energética de la instalación; en el apartado anterior ya se han expuesto las exigencias en este sentido.
- h. El tipo de acabado y decoración, ya que la luz, además de iluminar, debe proporcionar un ambiente visual adecuado, en consonancia con el entorno donde se ubica.
- i. El mobiliario previsto y su ubicación, de forma que se garantice el máximo confort visual, evitando reflexiones y posibles deslumbramientos.

Podrá utilizarse cualquier método de cálculo que cumpla las exigencias de esta sección, los parámetros de iluminación y las recomendaciones.

10.8.2. Método de cálculo

El método de cálculo utilizado, que quedará establecido en la memoria del proyecto, será el adecuado para el cumplimiento de las exigencias de esta sección y utilizará como datos y parámetros de partida, al menos, los consignados en el Código Técnico de Edificación, en el apartado HE-3.1, así como los derivados de los materiales adoptados en las soluciones propuestas, tales como lámparas, equipos auxiliares y luminarias.

Se obtendrán, como mínimo, los siguientes resultados para cada zona:

- a. Valor de eficiencia energética de la instalación VEEI.
- b. Iluminancia media horizontal mantenida (E_m) en el plano de trabajo.
- c. Índice de deslumbramiento unificado UGR para el observador.

Para el edificio completo debe darse el valor de la potencia total instalada en la luminaria, contando tanto la lámpara como el equipo auxiliar.

El método de cálculo se formalizará bien manualmente o a través de un programa informático, que ejecutará los cálculos referenciados obteniendo como mínimo los resultados mencionados en el punto anterior. Estos programas informáticos podrán establecerse en su caso como documentos reconocidos.

10.9. Mantenimiento y conservación

Para garantizar en el transcurso del tiempo el mantenimiento de los parámetros luminotécnicos adecuados y la eficiencia energética de la instalación VEEI, se elaborará en el proyecto un plan de mantenimiento de las instalaciones de iluminación que contemplará, entre otras acciones, las operaciones de reposición de lámparas con la frecuencia de reemplazamiento, la limpieza de luminarias con la metodología prevista y la limpieza de la zona iluminada, incluyendo la periodicidad necesaria. Dicho plan también deberá tener en cuenta los sistemas de regulación y control utilizados en las diferentes zonas.

El paso del tiempo provoca una disminución progresiva en los niveles de iluminación de las instalaciones de iluminación. Las causas se deben, por un lado, a la disminución del flujo luminoso

que experimentan las lámparas, y, por otro, a la suciedad que se va depositando sobre las luminarias, ventanas y superficies que conforman el ambiente. En el primer caso, hay que establecer un programa de sustitución de las lámparas, para asegurar que los niveles de iluminancia real se mantengan dentro de los valores de diseño de la instalación. Y en el segundo caso, la solución es un programa de mantenimiento de limpieza periódica de lámparas, luminarias y la zona de trabajo. El no realizar esto trae como consecuencias:

- a. Iluminaciones notablemente inferiores a las requeridas.
- b. Un rendimiento económico muy pobre de la inversión hecha para la instalación de alumbrado y gastos de funcionamiento.
- c. Apariencia de descuido de la instalación de alumbrado.

Un método recomendado para establecer un esquema deseable de mantenimiento para la limpieza es el chequeo de niveles de iluminación periódicamente con un luxómetro. En una nueva instalación, se recomienda que las primeras lecturas sean tomadas al cabo de 100 horas de uso, y después, en intervalos de uno o dos meses. En una instalación existente, para las luminarias, además de ser limpiadas, se deben instalar nuevas lámparas y se sigue el mismo procedimiento que para una instalación nueva. Cuando las lecturas disminuyan de los niveles deseados, debe procederse a las operaciones de mantenimiento.

Los valores iniciales de iluminancia se pueden recuperar limpiando y cambiando las lámparas a intervalos convenientes.

Los cristales de las ventanas y las superficies de paredes y techos deben ser limpiados o repintados frecuentemente para asegurar la iluminación proveniente de la transmisión de luz natural y de la reflexión.

Para prevenir la disminución provocada por la suciedad, al realizar el proyecto de iluminación se debe definir el factor de mantenimiento, de forma que se garantice la prestación del servicio a lo largo de toda la vida útil de la instalación.

De la misma manera, debe controlarse el consumo energético a lo largo de toda la vida de la instalación, controlando que este sea el ajustado al proyecto.

10.10. Caso práctico: centro de educación primaria

10.10.1. Descripción general del recinto

Se dispone de una única planta con espacios destinados a aulas para clases, sala de profesores, aseos y pasillo, con una superficie total de 275 m² distribuidos según la siguiente tabla:

Estancia	Sup. útil (m²)
Aulas de formación (3)	189
Despacho	16
Aseos	30
Pasillo	40
TOTAL	275

10.10.2. Instalación de iluminación. Consideraciones

Para dotar de este servicio a cada una de las dependencias se considerará la norma UNE-EN 12464-1, que indica los parámetros que definen las especificaciones lumínicas:

- ✓ E_m (lux): nivel de iluminación medio mantenido.
- ✓ UGR: índice de deslumbramiento.
- ✓ U_o : uniformidad de la iluminancia.
- ✓ Ra: reproducción cromática de las fuentes de luz.

Los valores requeridos se muestran en la tabla siguiente:

ESTANCIA	REQUERIMIENTOS SEGÚN UNE-EN 12464-1				
	Ref	E_m	UGRL	U_o	Ra
Aulas	5.36.2	500	19	0,6	80
Sala de profesores	5.36.20	300	19	0,6	80
Aseos	5.2.4	200	25	0,4	80
Pasillo	5.36.27	100	25	0,4	80

Para conseguir una iluminación adecuada a la función a realizar es preciso tener en cuenta una serie de datos, tales como los siguientes:

- ✓ Dimensiones de las zonas.
- ✓ Factores de reflexión de techos, paredes y planos de trabajo de acuerdo con el tono de color estos.
- ✓ Tipo de lámpara.
- ✓ Nivel medio de iluminación (E_m) en lux, de acuerdo con la clase de trabajo que se ha de realizar y el plano de trabajo que se considere.
- ✓ Factor de conservación que se prevé para la instalación, dependiendo de las limpiezas periódicas, reposición de lámparas, etc.
- ✓ Índices geométricos.

Sistema de control

Según el tipo de estancia, se dispondrá de un sistema de regulación y encendido de la iluminación:

- ✓ Sistema de control y regulación ON/OFF, permite el encendido/apagado y regulación de luz.

Con el objetivo de maximizar la eficiencia energética y siguiendo los criterios establecidos en el documento HE3 del CTE, se dispondrá de un sistema de control de luz natural, junto con sensores de presencia y movimiento en las estancias que así lo precisen.

Para la iluminación de los recintos se han utilizado las luminarias que se describen, obteniéndose los valores de iluminancia media, uniformidad e índice de deslumbramiento que se indican en la tabla, comprobándose que se encuentran acordes con los exigidos en la norma UNE-EN 12464-1.

ESTANCIA	Descripción de la luminaria	VALORES OBTENIDOS				
		Pot. (W)	E_m (lux)	UGR _L	U _o	Ra
Aulas	Pantalla 120 × 30 con difusor LED/830 de 1.900 lm	1725	521	15	0,62	80
Sala de profesores	Pantalla 60 × 60 con difusor LED/830 de 1.800 lm	138	357	19	0,61	80
Aseos	Downlight LED/840 de 1.000 lm	78	231	22	0,53	80
Pasillo	Pantalla lineal LED 840 de 2.000lm	110	120	20	0,52	80

Una vez hecho esto, es necesario calcular los valores del valor de eficiencia energética de la instalación VEEI y compararlos con los valores límite de la Tabla 1 del CTE-oficinas, comprobando que se cumplen en todos los casos.

ESTANCIA	Descripción de la luminaria	VALORES OBTENIDOS			VEEI LÍMITE
		Pot. (W)	E_m (lux)	VEEI	
Aulas	Pantalla 120 × 30 con difusor LED/830 de 1.900 lm	1725	521	1,75	3,5
Sala de profesores	Pantalla 60 × 60 con difusor LED/830 de 1.800 lm	138	357	2,41	3
Aseos	Downlight LED/840 de 1.000 lm	78	231	1,12	4
Pasillo	Pantalla lineal LED 840 de 2.000lm	110	120	2,29	4

Y, finalmente, se calcula la potencia total instalada en el edificio en iluminación, y se compara con el valor máximo de la tabla 2 del CTE.

En nuestro caso, tenemos una potencia total de 2.051 W y una superficie de 275 m², lo que hace una relación de 7,45 W/m² inferior al límite de 15 W/m².

11 Procedimiento para la realización de un proyecto energéticamente eficiente

11.1. Procedimiento para proyectos nuevos

En el esquema siguiente se muestra un procedimiento guía para la realización de dichos proyectos con el objetivo de conseguir una eficiencia energética adecuada.



Esquema de planificación para realización de un proyecto de iluminación eficiente.

Los valores límite de eficiencia energética de la instalación de iluminación vienen marcados en el documento DB HE3 del Código Técnico de la Edificación que se reproducen en la tabla 10.1 del capítulo 10.

Si una vez realizados todos los pasos, el VEEI fuese mayor que el indicado en la tabla 10.1, debemos volver al paso inicial y realizar de nuevo el proyecto.

Teniendo en cuenta el esquema anterior para la planificación del proyecto, se deberán considerar los siguientes criterios para optimizar el proyecto desde el punto de vista energético:

Consideraciones básicas

Características geométricas del local

- ✓ Longitud.
- ✓ Anchura/altura del local (distancia entresuelo y forjado).

En la realización del proyecto de alumbrado, estos parámetros son los utilizados de partida para la definición de los criterios de alumbrado.

Características constructivas del local

- ✓ Forjado o falso techo (escayola, laminar, etc.).
- ✓ Ventanas, ventanal corrido, claraboyas, etc.
- ✓ Pizarra, pantallas de proyección, mapas.
- ✓ Puertas.

El diseño de cada componente enumerado con anterioridad deberá estar acorde con la obtención de un confort visual demandado por la actividad que se prevé desarrollar en el local.

Los adelantos en la iluminación artificial no han eliminado la preferencia generalizada por la luz del día en aquellos lugares donde sea posible. La dependencia de la luz natural es muy importante en las aulas de los centros docentes, donde una gran parte de la actividad se desarrolla en horas diurnas.

Características del mobiliario

Los componentes habitualmente utilizados en un centro docente son los siguientes:

- ✓ Mesas.
- ✓ Pupitres.
- ✓ Archivadores.
- ✓ Estantes.

El mobiliario tendrá forma y dimensión según tipo de actividad y usuario. La disposición de cada componente en el local será la idónea para obtener el máximo aprovechamiento de la luz natural y del alumbrado artificial.

Se analizarán las posiciones de profesor y alumnos para realizar el diseño del alumbrado artificial con el confort visual requerido.

Las reflectancias superficiales estarán de acuerdo con lo definido en el apartado 8.4.

Puntos de luz (luminarias, lámparas, equipos auxiliares)

El punto de luz está formado por la luminaria (adosar, empotrar, suspender, ver apartado 6.4), que se adaptará a las características constructivas del local, y siempre cumpliendo con los condicionantes luminotécnicos que demande la tarea visual que se desarrolle en el local.

La fuente de luz es el otro componente que se define según las características geométricas del local y la tarea a desarrollar; el tipo de fuente de luz seleccionada también nos marca características de luminaria.

El equipo auxiliar viene condicionado por tipo de fuente de luz seleccionado.

Los requisitos mínimos a cumplir por cada uno de estos componentes desde el punto de vista de diseño, y para obtener la calidad luminotécnica demandada por la tarea visual, están considerados en el capítulo 5, puntos 2, 3 y 4, en el capítulo 6, puntos 2 y 3, y, capítulo 7.

11.1.1. Criterios de calidad de materiales y equipos

En relación con la calidad de los materiales eléctricos empleados, tendremos en consideración los siguientes requerimientos:

Requerimientos de luminarias

Para la construcción de los cuerpos soportes de las luminarias a utilizar en interiores, se recomienda la utilización de chapa de acero electrocincada o con un tratamiento anticorrosivo adecuado como base a la pintura utilizada en el acabado.

En el caso de luminarias para uso en intemperie, la carcasa o cuerpo soporte de la luminaria deberá ser construido en aleación de aluminio, utilizando las técnicas de extrusión y fundición, con un tratamiento que proteja de la corrosión y sirva como base a la pintura del acabado.

En la construcción de reflectores, tanto para las luminarias de interior como para las de intemperie, se utilizarán aleaciones de aluminio laminadas, conformadas mediante embutición o plegado y con tratamiento de anodizado, anterior o posterior al conformado de la pieza.

Especialmente en la construcción de reflectores para luminarias fluorescentes, donde es habitual el uso de los llamados aluminios preanodizados, es necesario un riguroso control del denominado efecto irisación o arcoíris, producido fundamentalmente con la utilización de lámparas con temperaturas de color comprendidas en inferiores a las recomendadas para uso en centros docentes.

La especularidad del aluminio será aquella que se considere adecuada a los requerimientos fotométricos de las luminarias.

Para la fabricación de elementos difusores y de protección, como es el caso de las luminarias para uso exterior o estancas para uso interior, se deberá evitar la utilización de materiales plásticos que se degraden en presencia de los UV.

Los vidrios empleados para tal fin serán de seguridad, de forma que una rotura fortuita no suponga peligro de daño físico para las personas o cosas situadas en su entorno.

Todas las luminarias cumplirán con los requisitos de la EN 60598 y normas relacionadas, así como las directivas de CE y baja tensión.

Para asegurar la calidad de las luminarias utilizadas, deberán ser fabricadas por una empresa certificada ISO 9001/9002.

Requerimientos de los equipos eléctricos

Los equipos eléctricos que incorporan las luminarias cumplirán con la normativa establecida en el capítulo 6.

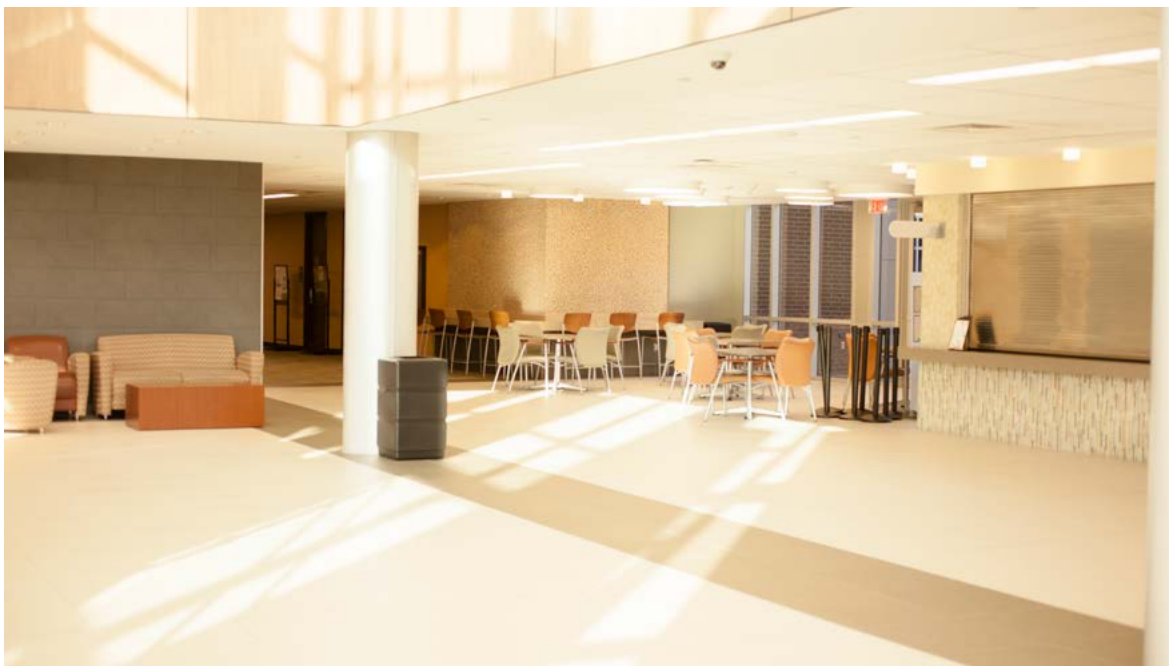
Para obtener un máximo índice de eficiencia energética en la instalación, así como por requerimientos de niveles luminosos y de mantenimiento, es recomendable la utilización de balastos electrónicos de alta frecuencia.

Dispondrán de marcado de conformidad de alguna de las marcas referidas en el capítulo 6.

Para asegurar la calidad de los componentes del equipo auxiliar, serán fabricados por una empresa certificada ISO 9001/9002.

Requerimientos de las fuentes de luz

Las fuentes de luz a utilizar serán preferentemente fluorescentes tubulares o compactas o LED de temperatura de color comprendida entre 3.000 y 4.000 K, eficacia luminosa superior a 65 lm/vatio y un índice de rendimiento de color (Ra) mayor o igual a 80.



11.1.2. Criterios de explotación

Criterios de eficiencia energética

La luz del día es variable y, cuando entra en el aula a través de las ventanas laterales, crea un modelado específico y una distribución de la luminancia en el interior, debido a su flujo de luz casi horizontal. De esta manera contribuye a la satisfacción visual.

Sin embargo, la luz del día puede producir deslumbramientos y afectar de manera negativa a las condiciones climáticas en el interior.

La luz solar es deseable para la iluminación en general, fundamentalmente en climas moderados, pero debe evitarse o controlarse convenientemente en áreas de trabajo.

Como ya se ha indicado anteriormente, desde el punto de vista psicológico, la función de las ventanas es proporcionar el contacto deseado con el mundo exterior.

En interiores con ventanas laterales, disposición típica de las superficies acristaladas en las aulas, la luz del día decrece rápidamente con la distancia a las ventanas.

El uso de la luz del día como iluminante a través de ventanales o lucernarios puede ahorrar la energía utilizada para la iluminación artificial, pero se debe equilibrar con la energía requerida para compensar el calor ganado o perdido a través de los cristales.

La utilización de ventanales que absorban o reflejen el calor, persianas externas, pantallas, cortinas, etc., puede resultar muy efectiva para la reducción de la energía calorífica que penetra por las ventanas y para el control luminoso de la luz solar.

Se puede obtener también algún beneficio de la utilización de cortinas interiores, reflectantes del lado de la cristalera y de colores claros por el lado del aula.

Durante el día reflejan y sirven de control a la luz natural; durante la noche, pueden ayudar a conseguir una mejor distribución de la luminancia, debido a la ausencia de las ventanas oscuras y a posibles deslumbramientos por las imágenes reflejadas de las luminarias.

Criterios de direccionalidad de las luminarias

Como se ha indicado anteriormente, las aulas suelen tener ventanales laterales y suelos generalmente planos.

Se pueden distinguir dos tipos:

- ✓ Aulas con asientos fijos, generalmente distribuidos en filas y columnas y con orientación fija.
- ✓ Aulas con orientación libre, generalmente en grupos y con orientaciones variables.

La disposición típica de las figuras de disposición regular e irregular con el número de luminarias adecuado para conseguir los niveles de iluminación requeridos para la tarea a realizar (en el caso de las aulas, mayor o igual a 300 lux) nos asegura un contraste óptimo y ausencia de sombras molestas, dando lugar a modelados apropiados.

Con las disposiciones anteriormente definidas, se consigue reducir los contrastes de la iluminación por luz natural, y también una mejora en el modelado. Las luminarias a emplear serán de reparto intermedio.

Con respecto al contraste, no solo debemos considerar los pupitres, sino también la pizarra o tablero y las paredes con planos y mapas. En este caso, las luminarias serán de tipo asimétrico y ubicadas en el techo del aula, en el espacio comprendido entre la pared que soporta el tablero y la primera fila de alumnos. El valor de la iluminancia media vertical sobre la superficie de la pizarra será de al menos 500 lux, y la uniformidad media, superior a 0,70.

Criterios fotométricos de las luminarias

Las luminarias comúnmente utilizadas en la iluminación general de las aulas serán de reparto simétrico.

La luminancia media, bajo los ángulos y direcciones en que sea posible su visión, no supondrá valores de UGR superiores a los máximos aceptados.

Criterios de control y regulación

En el caso en el que se necesite luz artificial suplementaria durante las horas del día para proporcionar la iluminancia requerida para el trabajo a realizar, se podrán lograr sustanciales ahorros de energía mediante el control de encendidos y apagados de la instalación de iluminación, de acuerdo con la cantidad de luz natural disponible.

El método más sencillo y económico para la conexión de las instalaciones de iluminación eléctrica con luz del día es mediante el control de encendidos por fotocélulas.

Estos dispositivos se deben colocar reglamentariamente en las habitaciones y locales de menos de 6 m de profundidad y en las dos primeras líneas paralelas de luminarias situadas a una distancia inferior a 5 m de las ventanas.

Estos encendidos y apagados deben hacerse por fases, para evitar cambios excesivamente bruscos de la iluminancia, ya que esto daría lugar a quejas. Se ponen menos objeciones si la luz eléctrica varía en forma gradual en lugar de encenderse y apagarse de forma brusca.

En el caso de utilización de balastos electrónicos con regulación de flujo, se utilizarán, entre otras funciones, para el aprovechamiento de luz natural mediante sensores.

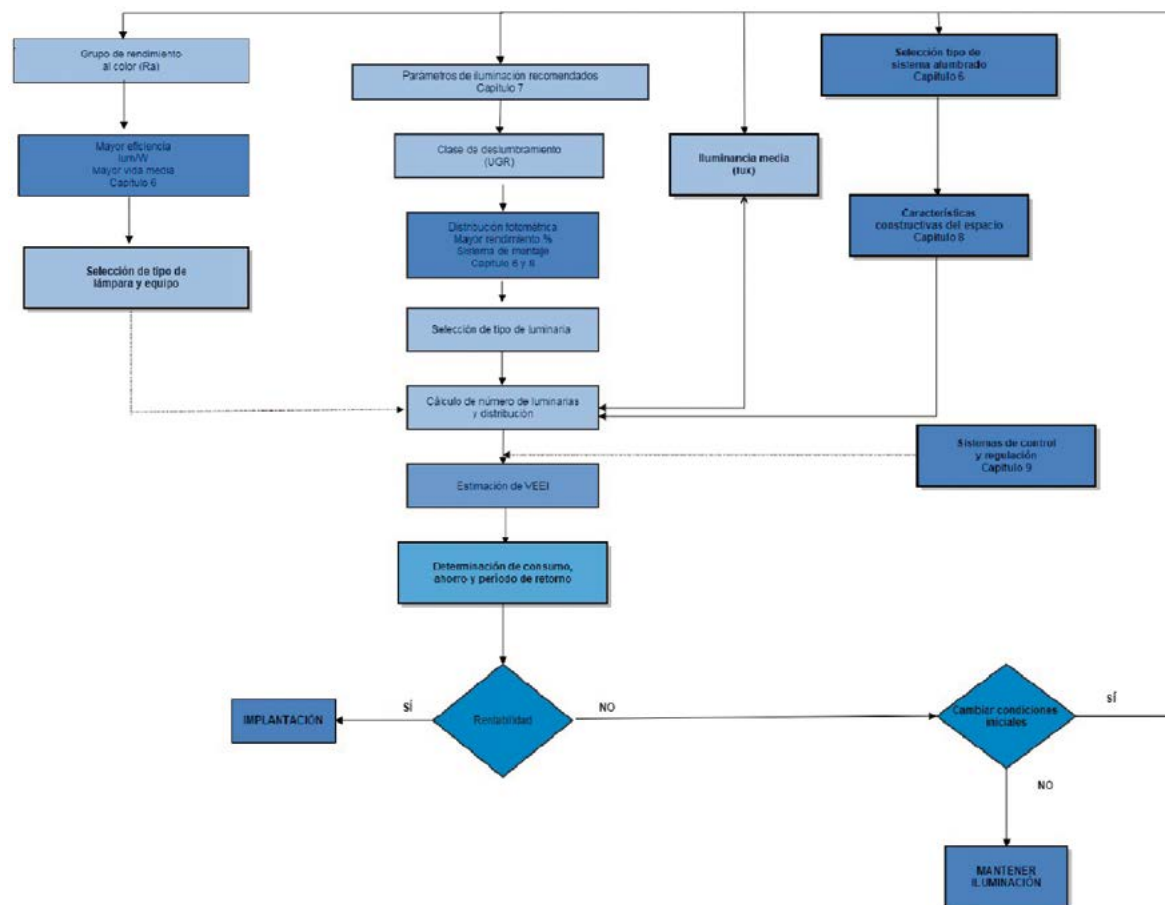
Es conveniente para los ocupantes del aula tener la posibilidad de hacer caso omiso del control fotoeléctrico, en el caso de que se utilicen el encendido o apagado automáticos o fotoeléctricos mientras haya luz natural.

Todas las aulas dispondrán de lo siguiente:

- ✓ Sensores luminosos que garanticen el nivel de iluminación proyectado.
- ✓ Un detector de presencia con apagado temporizado.
- ✓ Al menos un interruptor manual por circuito de alumbrado, no aceptándose los sistemas de encendido y apagado en cuadros eléctricos como único sistema de control.
- ✓ Un programa de mantenimiento adecuado para asegurar que los niveles proyectados permanezcan a lo largo de la vida de la instalación.

11.2. Procedimiento para proyectos existentes

En el esquema siguiente se muestra un procedimiento guía para la realización de proyectos sobre instalaciones existentes con el objetivo de conseguir una eficiencia energética adecuada y mejorar la instalación.



Las continuas mejoras tecnológicas que se producen en el campo de la iluminación hacen necesario replantear de forma sistemática y cada cierto tiempo la modificación de las instalaciones de los centros docentes. No debe entenderse esto como una invitación gratuita a la sustitución de elementos por el mero hecho de modernizar la instalación sino como una forma de mantener optimizada la iluminación en función de lo que nos ofrece el mercado.

Es necesario realizar adaptaciones en los locales debido a un doble origen:

- ✓ La gran versatilidad que presentan los centros docentes, sobre todo los destinados a educación infantil y secundaria, donde se tienen que adaptar las aulas, laboratorios y, en general, todos los espacios según la cambiante realidad educativa. Esto lleva asociado un cambio en las condiciones de la iluminación que será necesario atender. Supongamos, por ejemplo, un aula general que se transforma en sala de informática o un aula de idiomas a la que se le dota de sistemas audiovisuales para el aprendizaje de los alumnos. Esto obliga a hacer un replanteo de las condiciones iniciales, tales como niveles, rendimiento cromático, uniformidades y, sobre todo, deslumbramiento.

- ✓ La implantación de nueva normativa, tanto de carácter obligatorio como recomendaciones, hace que ante una posible sustitución o modificación de la iluminación se deban replantear también las condiciones iniciales de diseño. Incluso para un mismo uso y utilización es posible que sea necesario realizar cambios.

Resulta, por tanto, en que en la elaboración de un proceso de reforma de iluminación haya que partir de una revisión de las condiciones iniciales de diseño y, en cualquier caso, adoptar aquellas soluciones que en el momento de la reforma estén vigentes o se recomienden.

El proceso de diseño de la reforma continúa como en el punto anterior con las consideraciones sobre luminarias, lámparas y equipos y sistemas de control que se comentan.

Al final del proceso nos encontramos con unos valores para la instalación reformada de consumos anuales, costes de implantación, funcionamiento y mantenimiento, ahorros de energía y económicos y períodos de retorno simples que deberemos comparar con los valores existentes.

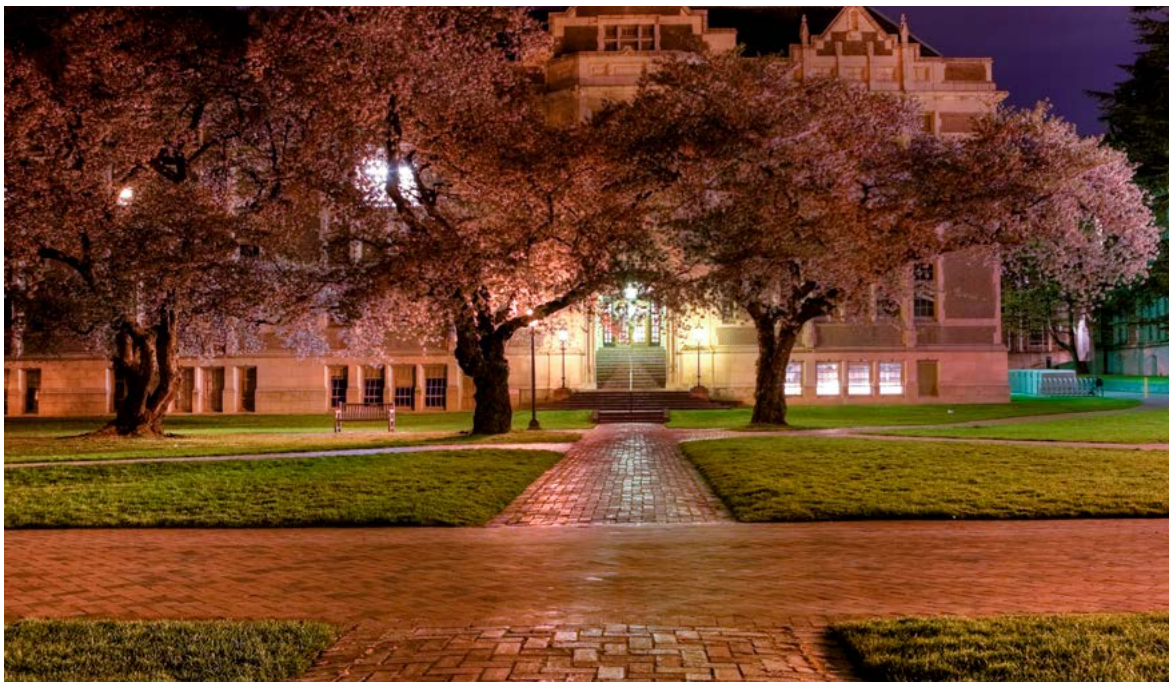
Estos datos nos dan la rentabilidad, si existe, de la pretendida reforma, y nos ayudan de forma cuantitativa a tomar la decisión de implantarla o no.

Conviene aclarar que si la reforma se origina por un cambio normativo de obligado cumplimiento la rentabilidad no es el elemento decisorio y habrá que afrontar la modificación en cualquier caso.

Salvo esto, parece evidente que aquellas soluciones que supongan ahorro económico serán siempre recomendables mientras se obtengan períodos de retorno asumibles. Se puede considerar que un período de retorno simple de diez años estaría en el límite de lo rentable.

En cualquier caso, si no se considera inicialmente rentable la modificación de la instalación, siempre es conveniente realizar un segundo estudio ajustando alguno de los valores iniciales o de las consideraciones de diseño para afinar los resultados obtenidos.

12 Casos prácticos de proyectos de rehabilitación



Se presentan cuatro casos prácticos:

1. Aula.
2. Sala de lectura.
3. Comedor.
4. Polideportivo.

En todos ellos se exponen las características del recinto, la situación actual, y la propuesta de reforma, siempre basada en la utilización de lámparas, equipos y luminarias de óptima eficacia, y siempre adaptando los parámetros de iluminación requeridos en cada estancia y la calidad de los materiales a las normas y recomendaciones actuales.

Para cada caso se presenta la distribución de iluminancias en el plano de trabajo y la distribución de niveles.

En la tabla final de cada caso, se puede observar que en los cuatro ejemplos se han reducido el VEEI a valores óptimos que nos proporcionan ahorros de energía (también en mantenimiento por recambio de lámparas) y los períodos de retorno simple de la inversión.

Los datos tomados para el cálculo económico y energético son los siguientes:

- ✓ Precio del kWh = 0,20 € (precio medio para un IES con IVA incluido y repercusión del término de potencia, incluidos peajes).
- ✓ Precio de mano de obra instalación y mantenimiento: 28 €/h.
- ✓ Horas de utilización de la instalación de iluminación estimadas según el capítulo 4.
- ✓ Los precios para el cálculo del coste de la reforma están referenciados a precios medios de mercado suministrados por algunos fabricantes.

12.1. Casos prácticos de proyectos de rehabilitación

1. Aula

Descripción:

Aula de 63 m².

Dimensiones:

Longitud: 9 m.

Anchura: 7 m.

Altura: 3,4 m.

Características constructivas:

Falso techo de escayola (0'30 m de forjado a falso techo).

Dos ventanas de 2'50 m de longitud y 1'20 m de altura cada una.

Pizarra de 3'0 m de longitud y 1,5 m de altura.

Dos puertas de 1'10 de anchura y 2'05 m de altura.

El estado de las superficies del aula es el siguiente:

- ✓ Falso techo: acabado color blanco; reflectancia, 70%.
- ✓ Paredes: acabado color crema; reflectancia, 50%.
- ✓ Suelo: acabado color gris; reflectancia, 20%.
- ✓ Ventanas: sin apantallamientos que permitan la matización de la luz natural en determinadas horas.
- ✓ Pizarra: acabado en color negro; reflectancia, 20%.
- ✓ Puertas: acabado en color caoba; reflectancia, 42%.
- ✓ Mobiliario: mesa de profesor en color gris; reflectancia, 0,35%.
- ✓ Pupitres de alumnos en color gris; reflectancia, 0,31%.
- ✓ Archivadores, etc., color gris; reflectancia, 0,39%.

Situación actual de la iluminación:

Formada por:

- ✓ 6 luminarias para iluminación general, de montaje empotrado y difusor de baja luminancia, de 2 lámparas fluorescentes de 36 W, con un flujo luminoso teórico inicial de 3.350 lúmenes, y un $R_a > 80$. Equipo auxiliar formado por balasto electrónico de 36 W con unas pérdidas máximas de 1 W.
- ✓ 2 luminarias para iluminación de pizarra, de montaje adosado y distribución asimétrica, de 1 lámpara fluorescente de 58 W, con un flujo luminoso teórico inicial de 5.200 lúmenes, y equipo auxiliar formado por balasto electrónico de 58 W con unas pérdidas máximas de 1 W.
- ✓ Nivel de iluminancia: 372 lux; uniformidad, 73%.
- ✓ Potencia total instalada (lámpara + equipo): 444 W
- ✓ Potencia instalada en pizarra (lámpara + equipo): 118 W
- ✓ IEE = 2,39.
- ✓ Horas de utilización consideradas para el 100% de la iluminación: 800 horas/año.
- ✓ Consumo energía: 450 kWh/año.

Esta instalación proporciona una iluminación media en servicio de 325 lux, y una uniformidad media del 83%, sin refuerzo de pizarra.

Con las luminarias de refuerzo de la pizarra la iluminación media en servicio es 372 lux, y una uniformidad media del 73%.

En cuanto al deslumbramiento directo, la instalación cumple con el grado «B».

Desde el punto de vista de control y regulación de la iluminación, el aula dispone de cuatro interruptores para el alumbrado general y un interruptor para la pizarra para accionamiento manual, con fotocélula y detector de presencia para funcionamiento automático.

Propuesta de reforma:

Formada por:

- ✓ 20 luminarias para iluminación general, de montaje adosado y difusor de baja luminancia, de fuente de luz LED de 28 W de consumo total de la unidad, con un flujo luminoso teórico inicial de 2.700 lúmenes, dotadas de sistema de regulación por protocolo universal DALI y un $R_a > 80$, y una temperatura de color de 3.000 K.
- ✓ Nivel de iluminancia máxima: 518 lux; uniformidad, 73%.
- ✓ Potencia total instalada: 560 W.
- ✓ VEEI = 1,71.



Esta instalación proporciona una iluminación media en servicio de 518 lux, para adaptarse a los requerimientos de las recomendaciones actuales (UNE 12464-1), y una uniformidad media del 83%. Estos niveles no son exigibles de forma permanente, dependiendo del uso del aula.

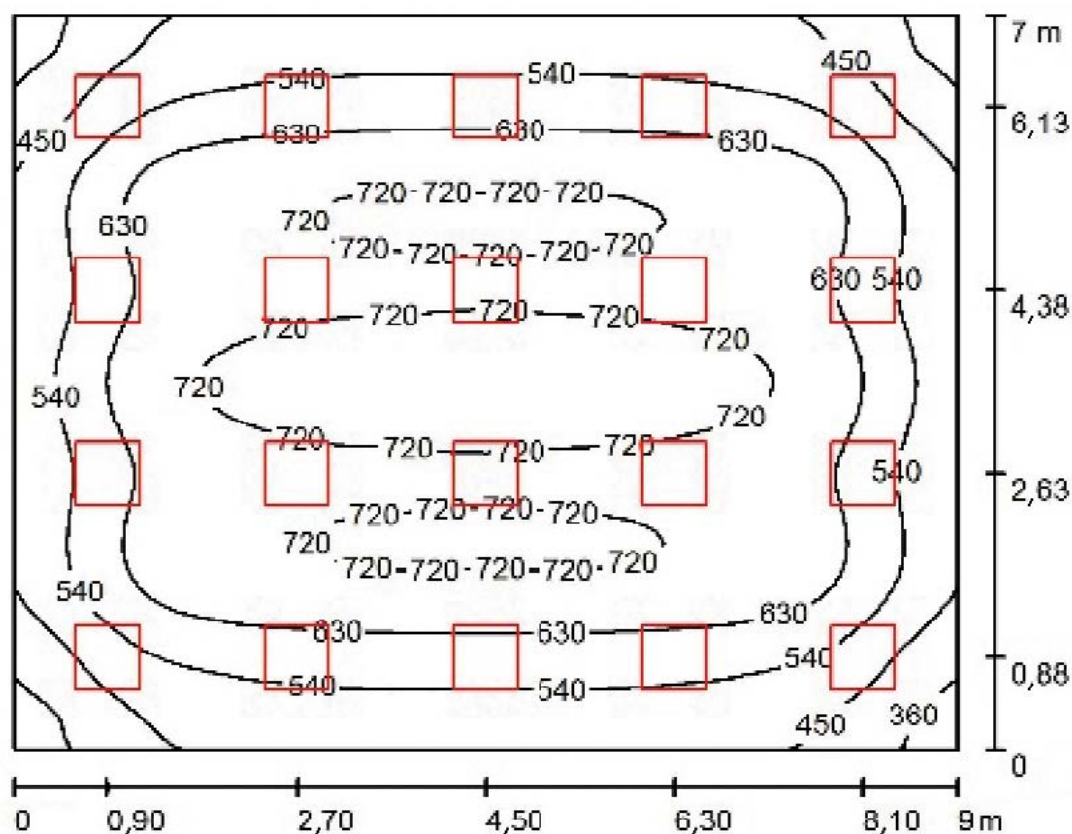
Para realizar el refuerzo de la iluminación de pizarra, se configura el sistema de iluminación con creación de escenas de forma que se puedan obtener en la zona de pizarra valores superiores que a los del resto del aula.

Con estas consideraciones se puede estimar un consumo medio de 800 horas/año para una potencia media del 70% de la instalada.

- ✓ Horas de utilización consideradas: 800 horas/año.
- ✓ Potencia media funcionando: 70%.
- ✓ Consumo energía: 315 kWh/año.

En cuanto al deslumbramiento directo, la instalación cumple con el $UGR < 19$.

Desde el punto de vista de control y regulación de la iluminación, el aula dispondrá de control de creación de escenas para diferentes usos del aula y de refuerzo de pizarra, además de detector de presencia y luminosidad para funcionamiento automático.



Resumen de la reforma:

- ✓ Sustitución de 6 luminarias de 2 × 36W fluorescente lineal con balasto electrónico regulable + 2 luminarias para pizarra de 1 × 58W fluorescente lineal con balasto electrónico regulable por 20 luminarias LED de 28 W con equipo regulable.
- ✓ Sistema de regulación de nivel de iluminación por fotocélula y encendido por control de presencia y creación de escenas.

	Actual	Propuesta
Iluminancia (lux)	372	518
VEEI	2,39	1,71
Ahorro de energía (%)		30
Ahorro anual energía y mantenimiento (€)		800
Coste de reforma (€)		6.000
Período de retorno simple (años)		7,5

2. Sala de lectura

Descripción:

Sala de lecturas de 49 m².

Dimensiones:

Longitud: 7 m.

Anchura: 7 m.

Altura del local: 3,40 m.

Características constructivas:

- ✓ Falso techo de escayola (0,30 m de forjado a falso techo).
- ✓ Tres ventanas de 1,30 m de longitud y 1,20 m de altura cada una.
- ✓ Una puerta de 1,10 de anchura y 2,05 m de altura.

El estado de las superficies de la sala de lectura es el siguiente:

- ✓ Falso techo: acabado color blanco; reflectancia, 70%
- ✓ Paredes: acabado color crema; reflectancia, 50%
- ✓ Suelo: acabado color gris; reflectancia, 20%
- ✓ Ventanas: sin apantallamientos que permitan la matización de la luz natural en determinadas horas.
- ✓ Puertas: acabado en color caoba; reflectancia, 42%.
- ✓ Mobiliario: mesas de lectura en color gris; reflectancia, 0,40%. Estantes, etc., reflectancia, 0,35%.

Situación actual de la iluminación:

Formada por:

- ✓ 9 luminarias, de montaje empotrado y difusor de baja luminancia, de 2 lámparas fluorescentes de 36 W, con un flujo luminoso teórico inicial de 2.900 lúmenes, y un Ra > 80.
- ✓ Equipo auxiliar formado por balasto electrónico de 36 W con unas pérdidas máximas de 1 W.
- ✓ Nivel de iluminancia: 498 lux; uniformidad, 84%.
- ✓ Potencia total instalada (lámpara + equipo), 657 W
- ✓ IEE = 2,69.
- ✓ Horas de utilización consideradas para el 100% de la iluminación: 800 horas/año.
- ✓ Consumo energía: 525 kWh/año.

En cuanto al deslumbramiento directo, la instalación cumple con el grado «B».

Desde el punto de vista de control y regulación de la iluminación, la sala de lectura dispone de tres interruptores para accionamiento manual, con fotocélula y detector de presencia para funcionamiento automático.



Propuesta de reforma:

Formada por:

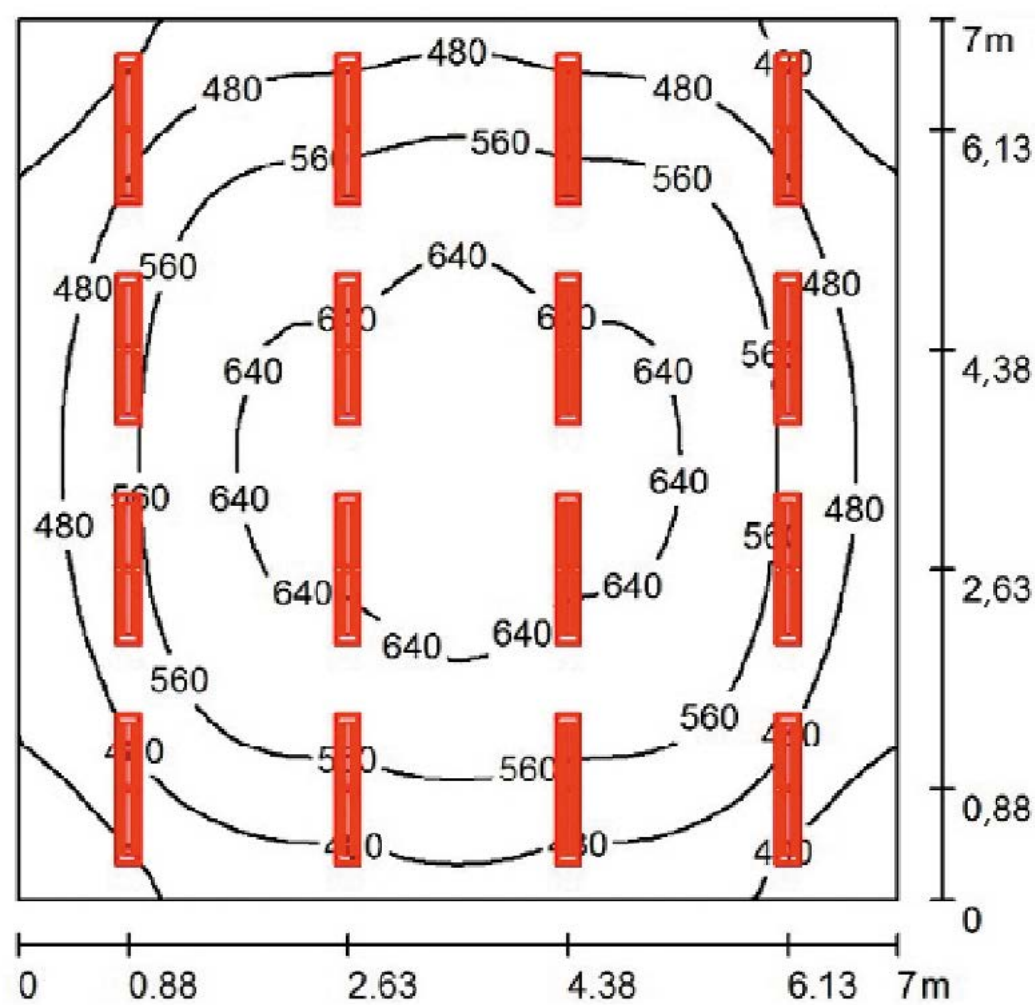
- ✓ 16 luminarias para iluminación general, de montaje adosado y difusor de baja luminancia, de fuente de luz led de 31 W de consumo total de la unidad, con un flujo luminoso teórico inicial de 3.600 lúmenes, un $R_a > 80$ y una temperatura de color de 3.000 K.
- ✓ Nivel de iluminancia máxima: 540 lux; uniformidad, 73%.
- ✓ Potencia total instalada, 540 W.
- ✓ VEEI = 1,87.

Esta instalación proporciona una iluminación media en servicio de 540 lux, para adaptarse a los requerimientos de las recomendaciones actuales (UNE 12464-1), y una uniformidad media del 73%.

- ✓ Horas de utilización consideradas: 800 horas/año.
- ✓ Consumo energía: 396 kWh/año.

En cuanto al deslumbramiento directo, la instalación cumple con el $UGR < 19$.

Desde el punto de vista de control y regulación de la iluminación, la sala de lectura dispondrá de detector de presencia y luminosidad para funcionamiento automático.



Resumen de la reforma:

- ✓ 9 luminarias de 2 × 36 con balasto electrónico regulable por 12 luminarias led de 31 W.
- ✓ Sistema de regulación de nivel de iluminación por fotocélula y encendido por control de presencia.

	Actual	Propuesta
Iluminancia (lux)	498	540
VEEI	2,69	1,87
Ahorro de energía (%)		25
Ahorro anual de energía y mantenimiento (€)		300
Coste de reforma (€)		3.500
Período de retorno simple (años)		12

3. Comedor

Descripción:

Sala de 102 m².

Dimensiones:

Longitud: 17 m.

Anchura: 6 m.

Altura del local: 3,10 m.

Características constructivas:

- ✓ Cuatro ventanas de 2,10 m de longitud y 1,20 m de altura cada una.
- ✓ Dos puertas de 1,25 m de anchura y 2,05 m de altura.

El estado de las superficies del comedor es el siguiente:

- ✓ Techo: acabado color blanco; reflectancia, 70%.
- ✓ Paredes: acabado color crema; reflectancia, 50%.
- ✓ Suelo: acabado color gris; reflectancia, 20%.
- ✓ Ventanas: sin apantallamientos que permitan la matización de la luz natural en determinadas horas.
- ✓ Puertas: acabado en color caoba; reflectancia, 42%.
- ✓ Mobiliario: mesas en color gris; reflectancia, 0,50%.

Situación actual de la iluminación:

Formada por:

- ✓ 12 luminarias con difusor, de 1 lámpara fluorescente de 36 W, con un flujo luminoso teórico inicial de 3.350 lúmenes, y un Ra > 80. Equipo auxiliar formado por balasto electrónico de 36 W con unas pérdidas máximas de 1 W.
- ✓ Nivel de iluminancia: 222 lux; uniformidad, 82%.
- ✓ Potencia total instalada (lámpara + equipo): 444 W.
- ✓ IEE = 1,96.
- ✓ Horas de utilización consideradas para el 100% de la iluminación: 540 horas/año.
- ✓ Consumo energía: 240 kWh/año.

En cuanto al deslumbramiento directo, la instalación cumple con el grado «C».

Desde el punto de vista de control y regulación, el comedor dispone de cuatro interruptores para accionamiento manual, con fotocélula y detector de presencia para funcionamiento automático.

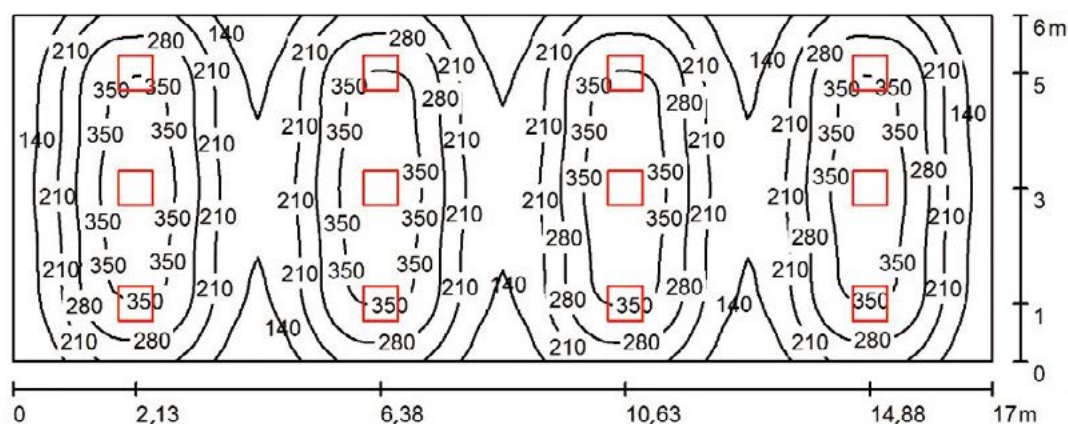
Propuesta de reforma:

Formada por:

- ✓ 12 luminarias para iluminación general, de montaje adosado y difusor de baja luminancia, de fuente de luz LED de 28 W de consumo total de la unidad, con un flujo luminoso teórico inicial de 2.600 lúmenes, un $R_a > 80$ y una temperatura de color de 3.000 K.
- ✓ Nivel de iluminancia máxima: 245 lux; uniformidad, 65%.
- ✓ Potencia total instalada: 336 W.
- ✓ VEEI = 1,34.
- ✓ Esta instalación proporciona una iluminación media en servicio de 245 lux, para adaptarse a los requerimientos de las recomendaciones actuales (UNE 12464-1) y una uniformidad media del 65%.
- ✓ Horas de utilización consideradas: 540 horas/año.
- ✓ Consumo energía: 182 kWh/año.

En cuanto al deslumbramiento directo, la instalación cumple con el $UGR = 17$.

Desde el punto de vista de control y regulación de la iluminación, el comedor dispondrá de detector de presencia y luminosidad para funcionamiento automático.



Resumen de la reforma:

- ✓ 12 luminarias de 1×36 fluorescente lineal con balasto electrónico regulable por 12 luminarias LED de 28 W.
- ✓ Sistema de regulación de nivel de iluminación por fotocélula y encendido por control de presencia.

	Actual	Propuesta
Iluminancia (lux)	222	245
VEEI	1,96	1,34
Ahorro de la energía (%)		25
Ahorro anual energía y mantenimiento (€)		240
Coste de reforma (€)		3.500
Período de retorno simple (años)		15

4. Polideportivo

Descripción:

Pabellón polideportivo de 1.300 m².

Dimensiones:

Longitud: 50 m.

Anchura: 26 m.

Altura del local: 8 m.

Características constructivas:

Tres puertas de 2,3 m de anchura y 2,30 m de altura.

El estado de las superficies del polideportivo es el siguiente:

- ✓ Techo: acabado color blanco; reflectancia, 50%.
- ✓ Paredes: acabado color crema; reflectancia, 30%.
- ✓ Suelo: acabado color gris; reflectancia, 20%.

Situación actual de la iluminación:

Formada por:

- ✓ 28 luminarias cerradas, de 1 lámpara de halogenuros metálicos de 400 W, con un flujo luminoso teórico inicial de 31.000 lúmenes, y un Ra > 75. Equipo auxiliar formado por balasto de 400 W con unas pérdidas máximas de 30 W.
- ✓ Nivel de iluminancia: 312 lux; uniformidad media, 74%.
- ✓ IEE = 2,96.
- ✓ Potencia total instalada (lámpara + equipo): $28 * (400 \text{ W} + 30 \text{ W}) = 12,040 \text{ W}$.
- ✓ Horas de utilización consideradas para el 100% de la iluminación: 1.200 horas/año.
- ✓ Consumo energía: 14.448 kWh/año.

En cuanto al deslumbramiento directo, la instalación cumple con el grado «C».

Desde el punto de vista del control de la iluminación, el polideportivo dispone de ocho interruptores para accionamiento manual.

Propuesta de reforma:

Formada por:

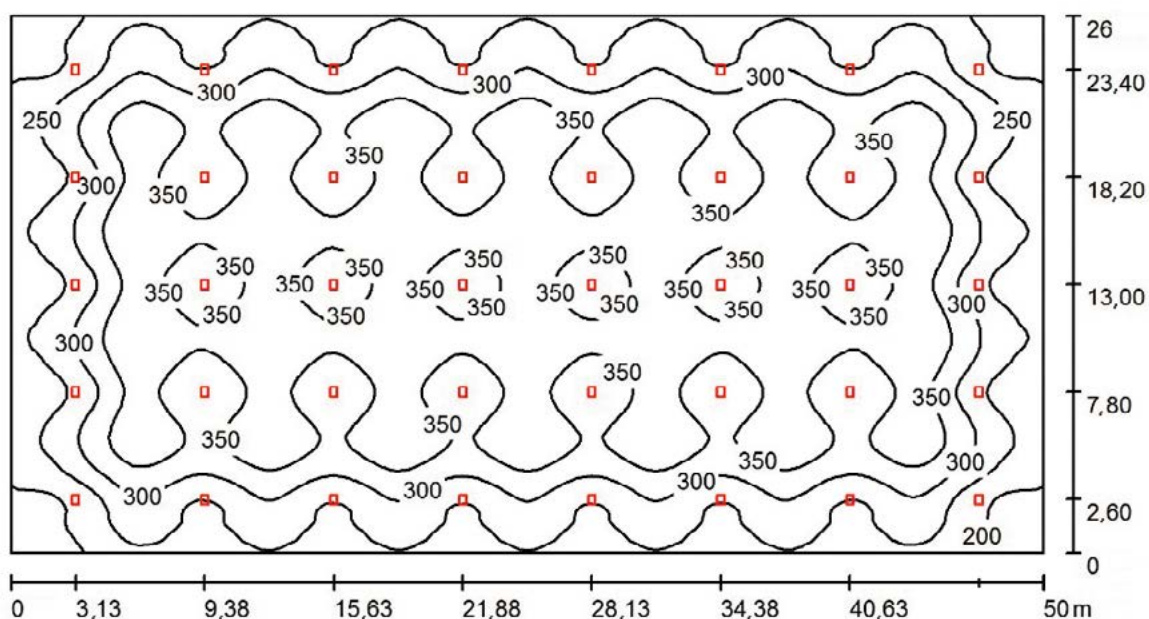
- ✓ 40 luminarias para iluminación industrial, de montaje adosado y cierre de vidrio, de fuente de luz LED de alta potencia de 119 W de consumo total de la unidad, con un flujo luminoso teórico inicial de 13.000 lúmenes, un $R_a > 80$ y una temperatura de color de 3.000 K.
- ✓ Nivel de iluminancia máxima: 315 lux; uniformidad, 60%.
- ✓ Potencia total instalada: 4.760 W.
- ✓ VEEI = 1,16.

Esta instalación proporciona una iluminación media en servicio de 315 lux, para adaptarse a los requerimientos de las recomendaciones actuales (UNE 12464-1), y una uniformidad media del 60%.

- ✓ Horas de utilización consideradas: 1.200 horas/año.
- ✓ Consumo energía: 5.712 kWh/año.

En cuanto al deslumbramiento directo, la instalación cumple con el $UGR < 21$.

Desde el punto de vista de control y regulación de la iluminación, el polideportivo dispondrá de detector de presencia y luminosidad para funcionamiento automático.



Resumen de la reforma:

- ✓ 28 luminarias con lámpara de halogenuros metálicos de 400 W por 40 luminarias Led de alta potencia de 119 W.

	Actual	Propuesta
Iluminancia (lux)	312	315
VEEI	2,96	1,16
Ahorro de energía (%)		60
Ahorro anual de energía y mantenimiento (€)		2.500
Coste de reforma (€)		34.500
Período de retorno simple (años)		13,80

13 Normativa y recomendaciones

Los materiales utilizados deberán llevar el marcado CE, amparado por una Declaración de Conformidad según UNE 66.514.91 y EN 45014, que implica el cumplimiento de las directivas de Compatibilidad Electromagnética (2004/108/CE) y Baja Tensión (2006/95/CE) y reales decretos 7/1988 y 154/1995, y de las normas UNE-EN relacionadas.

Además, es recomendable el cumplimiento de las directivas, normas y referencias citadas a continuación:

Generales

- ✓ ISO 9001. Aseguramiento de la Calidad.
- ✓ EN 60598. Seguridad y ensayos generales en luminarias.
- ✓ RBT. Reglamento de Baja Tensión.
- ✓ Directiva Europea de Compatibilidad Electromagnética 2004/108.
- ✓ Directiva 2009/125/CE, de Requisitos de Diseño Ecológico aplicable a los productos relacionados con la energía.
- ✓ Directiva 2012/19/UE, del Parlamento Europeo, sobre residuos eléctricos y electrónicos.
- ✓ Directiva 2002/95/CE, sobre sustancias peligrosas.

Iluminación

- ✓ UNE-EN 12464-1. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.
- ✓ UNE-EN 12464-2. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 2: Lugares de trabajo en exterior.
- ✓ UNE-EN 1838. Iluminación de emergencia.

Normas relativas a la seguridad de los componentes para alumbrado

- ✓ UNE-EN 61347-1. Aparatos auxiliares para lámparas. Parte 1: Requisitos generales y de seguridad.
- ✓ UNE-EN 61347-2-1. Aparatos auxiliares para lámparas. Parte 2.1: Requisitos particulares para arrancadores (excepto arrancadores de destellos).
- ✓ UNE-EN 61347-2-2. Requisitos particulares para convertidores electrónicos alimentados por corriente continua o alterna para lámparas incandescentes.

- ✓ UNE-EN 61347-2-3. Requisitos particulares para balastos electrónicos alimentados en corriente alterna para lámparas fluorescentes.
- ✓ UNE-EN 61347-2-7. Requisitos especiales para balastos electrónicos alimentados con corriente continua en alumbrado de emergencia.
- ✓ UNE-EN 61347-2-8. Prescripciones particulares para balastos para lámparas fluorescentes.
- ✓ UNE-EN 61347-2-9. Aparatos auxiliares para lámparas. Parte 2.9: Requisitos particulares para reactancias para lámparas de descarga (excepto lámparas fluorescentes).
- ✓ UNE-EN 61347-2-11. Requisitos especiales para equipos electrónicos para luminarias.
- ✓ UNE-EN 61347-2-12. Requisitos especiales para balastos electrónicos alimentados por CC o CA para lámparas de descarga.
- ✓ UNE-EN 61347-2-13. Requisitos particulares para dispositivos de control electrónicos alimentados con corriente continua o corriente alterna para módulos LED.
- ✓ UNE-EN 61558. Seguridad de los transformadores, unidades de alimentación y análogos.
- ✓ UNE-EN 62031. Requisitos de seguridad para módulos LED para alumbrado general.
- ✓ UNE-EN 62471. De Seguridad fotobiológica de lámparas y aparatos que utilizan lámparas.

Normas relativas a luminarias

- ✓ UNE-EN 60598-1. Luminarias.
- ✓ UNE-EN 60598-2-1. Luminarias fijas de uso general.
- ✓ UNE-EN 60598-2-2. Luminarias empotradas.
- ✓ UNE-EN 60598-2-3. Luminarias de alumbrado público.
- ✓ UNE-EN 60598-2-4. Luminarias portátiles de uso general.
- ✓ UNE-EN 60598-2-5. Proyector.
- ✓ UNE-EN 60598-2-6. Luminarias con transformador integrado.
- ✓ UNE-EN 60598-2-10. Luminarias portátiles para niños.
- ✓ UNE-EN 60598-2-18. Luminarias para piscinas y usos análogos.
- ✓ Reglamento delegado EU 874/2012 (RD 1390/2011), de etiquetado energético de lámparas eléctricas y luminarias.

Normas relativas a luminarias de emergencia

- ✓ UNE-EN 60598-2-22. Luminarias para alumbrado de emergencia.
- ✓ UNE-20.062. Aparatos autónomos para alumbrado de emergencia (incandescente).
- ✓ UNE-20.392. Aparatos autónomos para alumbrado de emergencia (fluorescente).

Normas relativas a fuentes de luz

- ✓ UNE-EN 60081. Lámparas fluorescentes de doble casquillo. Requisitos de funcionamiento.
- ✓ UNE-EN 60901. Lámparas fluorescentes de casquillo único. Requisitos de funcionamiento.
- ✓ UNE-EN 60662. Lámparas de vapor de sodio a alta presión. Requisitos de funcionamiento.
- ✓ UNE-EN 61167. Lámparas de halogenuros metálicos. Requisitos de funcionamiento.
- ✓ UNE-EN 60188. Lámparas de vapor de mercurio a alta presión. Requisitos de funcionamiento.
- ✓ UNE-EN 60192. Lámparas de vapor de sodio a baja presión. Requisitos de funcionamiento.

Normas relativas a equipos auxiliares

- ✓ UNE-EN 61048/:2007 (IEC 61048:2006). Aparatos auxiliares para lámparas. Condensadores para utilización en los circuitos de lámparas fluorescentes tubulares y otras lámparas de descarga. Requisitos generales de seguridad.
- ✓ UNE-EN 60921. Balastos para tubos fluorescentes.
- ✓ UNE-EN 60923. Balastos para lámparas de descarga.
- ✓ UNE-EN 60926/927. Cebadores y arrancadores
- ✓ UNE-EN 60929. Balastos electrónicos para tubos fluorescentes alimentados en CA.
- ✓ UNE-EN 61048/049. Condensadores para alumbrado.
- ✓ UNE-EN 62384. Equipos electrónicos para módulos LED, alimentados con CA o CC.
- ✓ UNE-EN 62386. Interfaz digital direccionable para iluminación (DALI).
- ✓ UNE-EN 61347-1:2008. Dispositivos de control de lámpara. Prescripciones generales y de seguridad.

Normas relativas a compatibilidad electromagnética

- ✓ UNE-EN 55015. Perturbaciones radioeléctricas.
- ✓ UNE-EN 61000. Compatibilidad electromagnética.
- ✓ UNE-EN 61000-3-2. Límites para las emisiones de corriente armónica en equipos con corriente de entrada menor o igual que 16 A por fase.
- ✓ UNE-EN 61000-3-3. Limitación de las fluctuaciones de tensión y del flicker en redes de baja tensión para corriente de entrada menor o igual que 16 A por fase.
- ✓ UNE - EN 61547. Requisitos de inmunidad.

En referencia a la EEI

- ✓ UNE-EN 50294 Método de medida de la potencia total de entrada de los circuitos balasto-lámpara.

- ✓ IEC-62442-1. Método de medida de pérdidas de balastos para lámparas de descarga.
- ✓ Documento Básico HE3 del CTE. Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación del Código Técnico de la Edificación (CTE).
- ✓ Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE).

En referencia a la seguridad de las instalaciones de alumbrado

- ✓ Documento básico SUA4. Seguridad frente al riesgo causado por una iluminación inadecuada.
- ✓ En lo referente al diseño del alumbrado en oficinas se han de cumplir los valores estipulados en el Real Decreto 486/1997, de 14 de abril *BOE n.º 97*, de 23 de abril, desarrollados en la Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos relativos a la utilización de los Lugares de Trabajo.

14 Glosario de definiciones técnicas

En este apartado se dan unas concisas definiciones de magnitudes y términos luminotécnicos imprescindibles, basadas en las definiciones de la Publicación CIE S 017/E: 2011 (Vocabulario internacional de Iluminación).

Ojo y visión

Adaptación

Tiene dos acepciones. La primera indica si un determinado sistema de transporte permite alcanzar el destino deseado, por ejemplo, si un determinado hospital es accesible en bicicleta o metro. La segunda alude a si una determinada infraestructura o servicio de transporte está adaptado para su uso por determinados colectivos, por ejemplo, personas con movilidad reducida o ancianos.

Proceso en el cual el ojo se ajusta a la luminancia y color del objeto visual.

El estado del sistema visual es modificado por la presente y previa exposición a un estímulo que puede presentar varios valores de luminancia, distribución espectral y angular.

Acomodación

Ajuste espontáneo de la óptica del ojo (cristalino) para obtener en la retina la máxima resolución visual a distintas distancias.

Resolución visual

Capacidad de discriminar detalles en objetos que estén muy cerca o que tienen una separación angular muy pequeña.

Confort visual

Característica que manifiesta la ausencia de perturbaciones procedentes del entorno visual.

Contraste

Evaluación por sensación subjetiva de la diferencia en apariencia de dos o más partes de un campo visual observado de manera simultánea o sucesiva (contraste luminoso, contraste de brillo, contraste de color, contraste simultáneo, contraste sucesivo, etc.).

El contraste luminoso se cuantifica como: $C = (L2 - L1) / L1$

siendo:

L1, Luminancia dominante de fondo.

L2, Luminancia del objeto.

Brillo

Sensación visual asociada a la cantidad de luz emitida por un área determinada. Se corresponde con la luminancia.

Deslumbramiento

La incomodidad en la visión producida cuando partes del campo visual son muy brillantes en relación con las cercanías a las que el ojo está adaptado.

Parpadeo

Impresión de intermitencia, alternancia o variación en la presentación de la luz.

Efecto estroboscópico

Inmovilización aparente o cambio del movimiento de un objeto al ser iluminado con luz de una determinada frecuencia temporal e intensidad.

Campo visual

Extensión del espacio físico visible desde una posición dada.

Entorno visual

Espacio que puede ser visto desde una posición moviendo la cabeza y los ojos.

Magnitudes luminotécnicas*Curva isolux*

Lugar de los puntos de una superficie donde la iluminancia tiene el mismo valor.

Eficacia luminosa

Es el cociente entre el flujo emitido por una lámpara y la potencia disipada por la misma. Unidad: lm/W.

Factor de utilización

Relación entre el flujo útil y el flujo luminoso emitido por las lámparas.

Flujo luminoso

Se refiere a la cantidad total de luz que emite una fuente luminosa por segundo.

También puede definirse como la potencia emitida, transportada o recibida en forma de luz visible.

Unidad: lumen (lm).

Iluminancia

También conocida como nivel de iluminación, es el flujo de luz recibido por unidad de área en una superficie iluminada. Unidad: lux.

Iluminancia mantenida

Iluminancia media mínima sobre la superficie de referencia al final del ciclo de mantenimiento completo (sustitución y limpieza).

Índice de reproducción cromática de una fuente luminosa

Es la capacidad que tiene la fuente de reproducir los colores, tomando como referencia el color obtenido con una fuente patrón.

Este índice conocido como Ra o IRC nos indica el efecto que una fuente luminosa tendrá sobre el aspecto cromático de los objetos que ilumina, por comparación con el aspecto que estos tendrían con un iluminante de referencia. El IRC es un valor de mérito que puede variar entre 0 y 100. A un buen rendimiento de color corresponde un IRC alto. A un mal rendimiento de color corresponde un IRC bajo.

Intensidad luminosa

Cociente entre el flujo luminoso procedente de una fuente de luz, difundido en un elemento de ángulo sólido que contiene la dirección especificada, y el elemento del ángulo sólido.

Lúmenes iniciales

Salida en lúmenes de las lámparas medidos después de unas horas de funcionamiento. (desde 1 hora para lámparas incandescentes hasta 100 horas para lámparas de descarga).

Lúmenes mantenidos

Iluminancia media sobre la superficie de referencia al final del ciclo de mantenimiento completo.

Luminancia

Se define como el cociente entre la intensidad luminosa procedente de una superficie en una dirección dada y el área aparente de dicha superficie.

Cuando las superficies son iluminadas, la luminancia depende del nivel de iluminación y de las características de reflexión de la propia superficie.

Unidad: cd/m^2 .

Lux

Iluminancia producida por un flujo luminoso de un lumen uniformemente distribuido sobre una superficie de un metro cuadrado.

Rendimiento de color

Efecto de una fuente de luz en la apariencia cromática de un objeto comparada con su apariencia al ser iluminado con iluminantes patrón.

Es la habilidad de una fuente de luz para reproducir un color en relación a ese mismo color iluminado por una fuente de luz patrón..

Analíticamente, el rendimiento de color de una fuente de luz está definido por el índice de rendimiento del color.

Reflectancia

Cociente entre el flujo reflejado por una superficie y el recibido.

Rendimiento de una luminaria

Cociente entre el flujo que sale de la luminaria dividido el flujo emitido por las lámparas que se encuentran instaladas en ella.

Temperatura de color

La temperatura de color de una lámpara es la temperatura a la que el «cuerpo negro» (definido en física teórica) adquiere el mismo color que la lámpara en cuestión.

Unidad: kelvin (K).

Uniformidad

Es la relación existente entre la iluminancia mínima y la iluminancia media sobre la superficie de referencia.

Instalación*Arrancador*

Dispositivo que por sí mismo, o en combinación con otros elementos del circuito, genera los impulsos de tensión necesarios para el encendido de una lámpara de descarga.

Balasto

Dispositivo insertado entre el suministro y una o más lámparas de descarga que limita la corriente de la(s) lámpara(s) a un valor requerido.

También puede incluir medios para transformar la tensión de alimentación y distribuciones que ayudan a proporcionar el voltaje y corriente de precalentamiento.

Cebador

Dispositivo utilizado por las lámparas fluorescentes para proporcionar el precaldeo necesario de los electrodos y que en combinación con el balasto provoca una sobretensión momentánea en la lámpara.

Circuito eléctrico

Conjunto de materiales eléctricos alimentados por la misma fuente de energía y protegidos contra las sobreintensidades por los mismos dispositivos de protección.

Luminaria

Aparato que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende los elementos necesarios para su fijación, protección y conexión al circuito de alimentación, excluyendo la propia fuente de luz.

Proyector

Luminaria en la que la luz emitida por la lámpara es concentrada por reflexión o refracción para conseguir una intensidad luminosa elevada dentro de un cierto ángulo sólido.

Reflector

Parte de una luminaria que modifica la distribución de luz de una lámpara sin alterar la longitud de onda de sus componentes monocromáticas.

Refractor

Parte de una luminaria que modifica la distribución de luz de una lámpara mediante el cambio de dirección sufrido por la radiación al atravesar un medio o la superficie de separación de medios distintos.

Difusor

Parte de una luminaria que modifica la distribución de luz de una lámpara utilizando el fenómeno de la difusión de la luz.

Entorno de trabajo

Combinación de personas y objetos que interactúan en el proceso visual.

Espacio de trabajo

Espacio designado a una o más personas para desarrollar una tarea.

Plano de trabajo

Plano horizontal sobre el cual se calculará la iluminancia media. Usualmente para oficinas y similar se considera, 0,80 metros.

Iluminación general

Iluminación diseñada para iluminar todo con la misma iluminancia, aproximadamente.

Iluminación localizada

Iluminación diseñada para iluminar un interior y, a la vez, proveer de mayor iluminancia a una zona particular.

Iluminación local

Iluminación diseñada para iluminar una tarea especial, adicional y controlada separadamente de la iluminación general.

Iluminación de acento

Iluminación diseñada para iluminar de forma localizada un objeto, para así realzarlo más respecto a su entorno.

Iluminación perimetral

Iluminación diseñada para iluminar las paredes o el techo en su área colindante con las paredes, con el fin de conseguir un efecto decorativo o de iluminar objetos que se encuentren en dichas paredes.

Iluminación decorativa

Iluminación diseñada para obtener un efecto ornamental por las propias luminarias, o ambiental, por el efecto de iluminación. No persigue obtener las condiciones luminotécnicas necesarias para el desarrollo de una tarea.

Factor de mantenimiento

Cociente entre la iluminación provista por una instalación en un momento dado y cuando fue instalada.

Coeficiente de utilización

Cociente entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo y el emitido por las luminarias.

Índice de eficiencia energética

Cociente entre la potencia eléctrica total instalada y la superficie de la instalación referida a una iluminancia de 100 lux en servicio. Unidad: W / m² – lux.

Coeficiente de transmisión luminosa del vidrio (T)

Porcentaje de luz natural en su espectro visible que deja pasar un vidrio. Se expresa en tanto por uno o tanto por ciento.

15 Bibliografía y webs de interés

Bibliografía

- ✓ Guías técnicas de EEI (IDAE/CEI - marzo 2001).
- ✓ *El libro blanco de la iluminación*. «Fuentes de luz». (Comité Español de Iluminación-CEI).
- ✓ Documento Básico HE3 del CTE. Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación del Código Técnico de la Edificación (CTE).
- ✓ Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE).
- ✓ Documento básico SUA4. Seguridad frente al riesgo causado por una iluminación inadecuada.
- ✓ Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo. Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, *BOE n.º 97*, de 23 de Abril.
- ✓ Publicaciones CIE.

Webs de interés

IDAE
www.idae.es

Comité Español de Iluminación (CEI)
www.cei.es

Luces CEI
www.lucescei.com

International Commission on Illumination (CIE)
www.cie.co.at/

ISO
www.iso-org

International Electrotechnical Commission (IEC)
www.iec.ch/

AENOR
www.aenor.es



IDAE. Calle Madera, 8, 28004, Madrid, Telf: 91 456 4900
comunicacion@idaes.es; www.idaes.es



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO