Edificios

Guía Técnica

Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios

Comité Español de Iluminación

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO

IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Guía Técnica

Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios

Comité Español de Iluminación

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO

IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

TÍTULO DE LA PUBLICACIÓN

"Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios"

AUTOR

La presente publicación ha sido elaborada por el Grupo de Trabajo formado por el Comité Español de Iluminación (CEI) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con la colaboración del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE).

Esta publicación ha sido producida por el IDAE y está incluida en su fondo editorial en la serie "Informes IDAE".

Cualquier reproducción, parcial o total, de la presente publicación debe contar con la aprobación por escrito del IDAE.

ISBN: 84-86850-92-4

Depósito Legal: M-19487-2005

IDAE
Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

C/ Madera, 8
E-28004-Madrid

comunicacion@idae.es
www.idae.es

Madrid, mayo de 2005

Prólogo

Es un hecho que, a la hora de iluminar una tarea visual, el ser humano prefiere la luz natural a la luz artificial o luz eléctrica. La luz procedente del sol tiene un perfecto rendimiento de los colores y aporta elementos muy proactivos en el comportamiento de las personas.

Sin embargo, a pesar de sus ventajas innegables, es igualmente obvio que es necesario controlar la luz natural (mediante el apantallamiento solar, la dosificación y el redireccionamiento de la misma) con el fin de hacerla útil para iluminar el entorno de trabajo.

Por otro lado, incluso cuando se iluminan edificios de la mejor manera posible con la luz natural, siempre existe la necesidad de complementarla o reemplazarla (en caso de ausencia de la misma) con un alumbrado artificial.

Este hecho de compaginar e incluso complementar el alumbrado con luz natural mediante un alumbrado artificial y armonizar ambos, puede ser perfectamente resuelto hoy en día mediante la utilización de sistemas de control del alumbrado artificial en respuesta a la aportación de luz natural, utilizándose ésta para conseguir una reducción del consumo de la energía eléctrica y por tanto un ahorro sustancial de energía.

El Código Técnico de la Edificación, en su sección HE-3, hace obligatoria la instalación y uso de sistemas de control y regulación del alumbrado artificial en aquellas zonas en las que la aportación de luz natural así lo permita. Por esta razón, lo que antes era exclusivamente una elección al mejor criterio del diseñador del alumbrado, ahora es una necesidad impuesta por el citado Código.

Como algunos de estos sistemas son relativamente nuevos y se desconocen muchos aspectos de su puesta en práctica y prestaciones, esta Guía no sólo pretende orientar en todo lo que concierne a su elección y diseño, sino también en la evaluación y en el mantenimiento de dichos sistemas.

Además, aquellas personas implicadas en el diseño de instalaciones propias de la edificación pueden beneficiarse de la información relativa a aspectos prácticos y experiencias aquí recogidas, extraídas del uso de sistemas de control y gestión del alumbrado artificial en respuesta a la luz natural en distintos edificios.

Índice

1 La luz natural 11

2 Efectos de la luz natural y artificial sobre personas y objetos 17
- 2.1 La luz y sus efectos biológicos 19
- 2.2 Efectos psicológicos 20
- 2.3 Efectos térmicos 21
- 2.4 Efectos de la luz sobre la actividad 21
- 2.5 Efectos de la luz sobre los objetos y las superficies 21

3 Ambiente luminoso 23
- 3.1 Distribución de luminancias 25
- 3.2 Iluminancia 26
  - 3.2.1 Iluminancias recomendadas en el área de la tarea 26
  - 3.2.2 Iluminancias de entornos inmediatos 27
- 3.3 Uniformidades de iluminancia 28
- 3.4 Deslumbramiento 28
  - 3.4.1 Deslumbramiento molesto 28
  - 3.4.2 Apantallamiento contra el deslumbramiento 28
  - 3.4.3 Reflexiones de velo y deslumbramiento reflejado 29
- 3.5 Iluminación direccional 29
  - 3.5.1 Modelado 29
  - 3.5.2 Iluminación direccional de tareas visuales 29
- 3.6 Color en el espacio visual 29
  - 3.6.1 Apariencia de color 30
  - 3.6.2 Rendimiento de colores 30
- 3.7 Efectos perjudiciales sobre la visión 31

4 Criterios de diseño con luz natural 33
- 4.1 Parámetros de diseño 35
- 4.2 Tipología de espacios 36
  - 4.2.1 Situación: forma del edificio e implantación 36
  - 4.2.2 Profundidad del edificio y tamaño total 37
  - 4.2.3 Línea sin cielo 38
  - 4.2.4 Orientación del edificio 40
- 4.3 Componentes o elementos de captación de luz natural 42
  - 4.3.1 La ventana. Elemento principal en la edificación para el aprovechamiento de la luz natural 47
- 4.4 Componentes de control de la luz natural 49
  - 4.4.1 Modos de controlar la penetración de luz natural con componentes diseñados para ello 54

Índice

4.4.2 Sistemas manuales de control de la luz natural 56
4.4.3 Sistemas automáticos de control de la luz natural 56
4.5 Lista de comprobación para llevar a cabo un buen diseño en la edificación 57
4.5.1 Diseño del edificio y su ubicación 57

5 Materiales y acabados en diseño de interiores 59
5.1 Caracterización de la fotometría de superficies 61
5.1.1 Clasificación 62
5.2 Color y características 64
5.3 Acristalamientos 65
5.3.1 Magnitudes características de los acristalamientos 66
5.3.2 Tipos de vidrio para acristalamientos 67
5.3.3 Transmitancia de luz y calor del acristalamiento 69
5.4 Revestimientos y acabados superficiales en interiores 70
5.4.1 Propiedades fotométricas 70
5.4.2 Esquemas de color y reflectancias en interiores 71
5.5 Obstáculos exteriores 71
5.5.1 Reflectancias exteriores 71
5.5.2 Reflectancia del terreno 72
5.5.3 Reflectancias del obstáculo 72

6 Componentes de la instalación de alumbrado artificial 73
6.1 Fuentes de luz 75
6.2 Equipos de control 76
6.2.1 Balastos 76
6.2.2 Reguladores de fase (Dimmers) 77
6.3 Sistemas de gestión de alumbrado artificial 77
6.4 Aspectos relacionados con el entorno de trabajo que pueden emplearse en los sistemas de control y gestión 78
6.4.1 Modos de control 78
6.4.2 Flexibilidad de los sistemas de control 79
6.4.3 Tipos de control 80

7 Integración de luz natural y luz artificial 83
7.1 Objetivos principales del uso de sistemas de control de alumbrado artificial en respuesta a la luz natural 85
7.1.1 Ahorro de energía 85
7.1.2 Economía de costes 86
7.1.3 Confort del ocupante 86

Índice

7.2 Estrategias de control 87
7.2.1 Principios de control 87
7.2.2 Nivel de control 87
7.3 Sistemas de control para alumbrado artificial que responden a la luz natural 88
7.3.1 Principio de modularidad 88
7.3.2 Procedimientos de instalación de los sistemas de control del alumbrado artificial 92
7.3.3 Instalación de luminarias con detectores integrados 93
7.3.4 Instalación de sistemas basados en la sala o habitación 94
7.3.5 Instalación de sistemas basados en el edificio 95
7.4 Conocimiento del sistema 96

Anexos

Anexo A1 Terminología 97
A1.1 Ojo y visión 99
A1.2 Luz y color 100
A1.3 Equipos de alumbrado 102
A1.4 Luz natural 104
A1.5 Instalaciones de alumbrado 105
A1.6 Mediciones de iluminación 107
A1.7 Materiales y sus características 107

Anexo A2 Datos de eficiencia energética y duración de vida de los componentes de una instalación de alumbrado artificial 109
A2.1 Lámparas 111
A2.1.1 Lámparas incandescentes 111
A2.1.2 Lámparas de descarga 112
A2.1.3 Características funcionales 116
A2.2 Equipos eléctricos auxiliares 118
A2.2.1 Balastos 118
A2.2.2 Condensadores 118
A2.2.3 Cebadores o arrancadores 119
A2.2.4 Transformadores 119
A2.2.5 Sistemas de regulación del flujo luminoso 119
A2.3 Luminarias 121
A2.3.1 Clasificación de las luminarias 121
A2.3.2 Criterios para la elección de una luminaria 122

Índice

Anexo A3 Datos sobre luz natural y recorrido solar 125
A3.1 Revisión de modelos de cielo 128
A3.1.1 Cielos cubiertos 128
A3.1.2 Cielos claros 129
A3.1.3 Cielos nubosos – cielos reales 129
A3.2 Eficacia luminosa de la luz natural 130
A3.2.1 Eficacia luminosa de radiación global 130
A3.2.2 Eficacia luminosa de radiación difusa 131
A3.2.3 Eficacia luminosa de radiación directa 131
A3.3 Resultados de mediciones 131
A3.3.1 Clasificación de cielos reales 132
A3.3.2 Distribución de luminancias: Luminancia Cenital de Cielo Cubierto 132
A3.3.3 Distribución de luminancias: Luminancia Cenital de Cielo Claro 133
A3.3.4 Distribución de luminancias: Luminancia Cenital de Cielo Intermedio 133
A3.3.5 Distribución de luminancias: Cielo Cubierto 134
A3.3.6 Distribución de luminancias: Cielo Azul 134
A3.4 Probabilidad de ocurrencia de cada tipo de cielo en estaciones meteorológicas europeas 134
A3.5 Algoritmos para determinar las distribuciones de luminancia según datos energéticos disponibles 135

Anexo A4 Cálculos de luz natural 137
A4.1 Factor de luz natural 139
A4.2 Cielos de la CIE 141
A4.2.1 Cielo cubierto 142
A4.2.2 Cielo claro 142
A4.3 Cálculos manuales 142
A4.3.1 Componente de cielo 142
A4.3.2 Componente reflejada exteriormente 143
A4.3.3 Componente reflejada interiormente 144
A4.3.4 Factores de corrección 145
A4.4 Métodos de cálculo por ordenador 145
A4.5 Estudios de modelos a escala 147
A4.6 Estudios de luz solar 149

Anexo A5 Mantenimiento de los sistemas de alumbrado 153
A5.1 La primera etapa: evaluación de las prestaciones iniciales 156
A5.2 Cambios en las condiciones de alumbrado requeridas 156
A5.2.1 Cambios en la reflectancia del espacio de trabajo 156

Índice

A5.2.2 Cambios en las tareas visuales 157
A5.2.3 Cambios motivados por la individualidad de los ocupantes 157
A5.3 Envejecimiento de los componentes 157
A5.4 Mal funcionamiento de componentes 158
A5.5 Programa de mantenimiento 158

Anexo A6 Casos prácticos y experiencias 159
A6.1 Primer caso: Edificio de oficinas en la factoría de EADS-CASA 161
A6.2 Segundo caso: Edificio de oficinas de la sede de Iberdrola 165
A6.3 Tercer caso: Edificio de oficinas en la Torre AGBAR (Aguas de Barcelona) 169
A6.4 Conclusiones 172

Bibliografía y webs de interés 173

1 La luz natural

La luz natural

La luz visible es una región del espectro electromagnético cuyas ondas electromagnéticas tienen una longitud de onda que va desde el rojo (780 nm), al violeta (380 nm). Esta pequeña región del espectro es la energía que percibe el ojo humano y nos permite ver los objetos: el espectro visible.

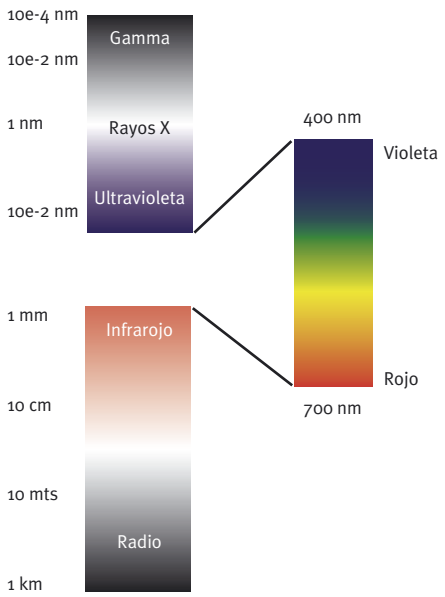


Fig. 1.1 Espectro de radiación electromagnética y espectro visible

La luz natural es una fuente luminosa muy eficiente que cubre todo el espectro visible, que proporciona un rendimiento de colores perfecto, con variaciones de intensidad, color y distribución de luminancias, con una dirección variable de la mayor parte de la luz incidente.

La disponibilidad y características de la luz natural dependen de la latitud, meteorología, época del año y del momento del día. Es sabido que la cantidad de luz natural recibida en la tierra varía con la situación, la proximidad a las costas o tierra adentro.

El clima y la calidad del aire también afectan a la intensidad y duración de la luz natural. De ahí que según los climas, la luz natural pueda ser predecible o muy impredecible.

Fig. 1.2 Variación de intensidad, color y distribución de luminancias de la luz natural

La luz natural consta de tres componentes:

- **El haz directo procedente del sol;**
- **La luz natural difundida en la atmósfera** (incluyendo nubes), que constituye la componente difusa del cielo;
- **La luz procedente de reflexiones**, en el suelo del propio interior y en objetos del entorno exterior.

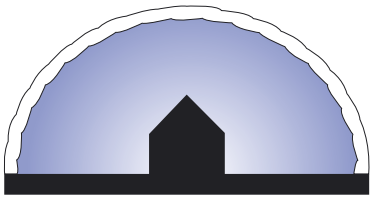
Como se acaba de ver, estas componentes se ven influenciadas por una gran cantidad de factores. De ahí que los estudios desarrollados sobre la luz natural sugieran que se requerirían al menos treinta "zonas de diseño de alumbrado con luz natural" para cubrir la variación de las aportaciones de luz natural en toda la Unión Europea.

Fig. 1.3 Aspectos diferentes de la luz natural en función del instante y ubicación geográfica del lugar

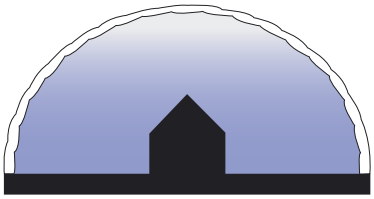
Por ello es tan importante el conocimiento de una serie de características propias de la luz natural y que son útiles para el alumbrado en interiores. De entre ellas podrían destacarse:

- Los diferentes tipos de distribución de luminancias en el cielo: Distribución de cielo de luminancia uniforme; Distribución de cielo estándar cubierto con nubes de la CIE; y Distribución de cielo claro y azul.
- El factor medio de luz natural, que permite evaluar la apariencia total de una sala iluminada con luz natural en condiciones de cielo cubierto con nubes.
- La distribución de dicha luz natural en el interior de una sala mediante cálculo, para saber si la sala tiene una superficie demasiado grande y pueden aparecer en su interior zonas no iluminadas suficientemente.

Usar la luz natural como fuente de iluminación de tareas en el entorno de trabajo o incluso en el interior de viviendas requiere medidas especiales para manejar



Distribución de cielo de luminancia uniforme



Distribución de cielo cubierto estándard

Distribución de cielo azul transparente

esta fuente cambiante dinámicamente. Generalmente las variaciones continuas en la disponibilidad de luz natural requieren dispositivos de apantallamiento adaptables y sistemas de alumbrado eléctrico para mantener las relaciones y variaciones de luminancia en el interior dentro de límites aceptables.

Por la noche, o incluso durante el día en inviernos oscuros, el alumbrado artificial debe ser capaz de aportar el nivel de iluminación necesario para poder realizar la tarea visual. En aquellos casos en que la luz natural proporcione una distribución insuficiente o incorrecta para la realización de una tarea, se empleará el alumbrado eléctrico como fuente adicional de luz. De ahí que el control del alumbrado artificial en dependencia de la luz natural constituya un útil de mucho valor para administrar la energía eléctrica empleada en el alumbrado artificial, dónde y cuándo se necesite.

Por otra parte, el uso de sistemas de luz natural o de sistemas de control para el alumbrado artificial o eléctrico influirá sobre el equilibrio energético de un edificio. Los controles establecidos en respuesta a la luz natural proporcionan un medio para obtener un aprovechamiento óptimo de la luz natural, y así ahorrar energía. Pero también el uso de un control de alumbrado ligado a la luz natural tendrá influencia sobre la energía usada para calentar y enfriar el edificio. El equilibrio entre estos factores debe ser estimado cuidadosamente.

Energía radiante del sol

La mayor parte de la energía que llega a nuestro planeta procede del sol. La energía emitida por el sol es una radiación electromagnética que se comporta, a la vez, como una onda, con su frecuencia, y como una partícula, llamada fotón.

La energía que llega al exterior de la atmósfera es una cantidad fija, llamada constante solar. Su valor es de 1.367 W/m² o 2 cal/min/cm², lo que significa que a 1 cm² situado en la parte externa, perpendicular a la línea que une la tierra y el sol, le llegan 2 cal cada minuto.

Energía que llega a la superficie

En condiciones óptimas con un día perfectamente claro y con los rayos del sol cayendo casi perpendiculares, como máximo las tres cuartas partes de la energía que llega del exterior alcanza la superficie de la tierra.

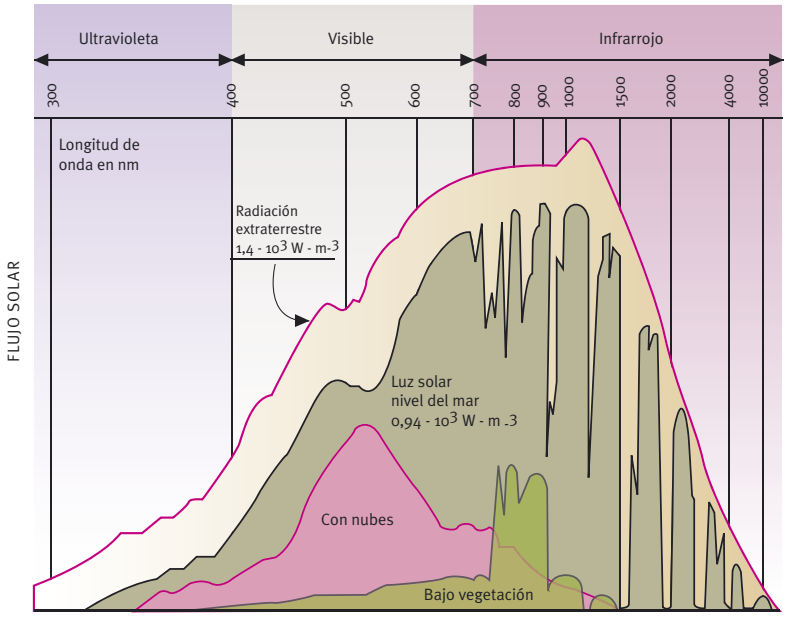


Fig. 1.5 Distribución de la radiación solar en la alta atmósfera y al nivel del mar, en diferentes circunstancias.

Casi toda la radiación ultravioleta y gran parte de la infrarroja son absorbidas por la atmósfera. La energía que llega al nivel del mar suele ser radiación infrarroja (49%), luz visible (42%) y radiación ultravioleta (9%).

En un día nublado se absorbe un porcentaje mucho mayor de energía, especialmente en la zona del infrarrojo.

2

Efectos de la luz natural y artificial sobre personas y objetos

Efectos de la luz natural y artificial sobre personas y objetos

La luz es el "marcador temporal" de nuestro reloj biológico; un estímulo que influye en el estado de ánimo, tanto desde el punto de vista psicológico como fisiológico. Mediante una adecuada iluminación, las personas son capaces de rendir más y mejor, pueden avivar su estado de alerta, pueden mejorar su sueño y en resumen su bienestar. Las exigencias, recomendaciones y normas de iluminación deberán, por tanto, basarse no sólo en las puras necesidades fisiológicas sino también en las biológicas del ser humano.

2.1 La luz y sus efectos biológicos

Aunque el efecto beneficioso de la luz natural es bien conocido desde la antigüedad, dado que la helioterapia y el posterior empleo de la fototerapia fueron muy populares hasta principios del siglo XX, la extensión masiva de los productos farmacéuticos hizo abandonar prácticamente este tipo de terapias. Gracias a los avances en investigación médica y biológica, ha vuelto en nuestros días a darse la importancia debida al carácter beneficioso de la luz (ya sea natural o artificial) para la salud y el bienestar. Pero a pesar de ello, el conocimiento de los efectos de la luz que penetra a través del ojo humano (la denominada "luz ocular") no se ha divulgado suficientemente.

Tras las investigaciones en curso en fotobiología es evidente que la luz ocular actúa de mediadora y controla numerosos procesos fisiológicos y psicológicos del ser humano. Así, los efectos se agrupan y asocian a:

- Control del reloj biológico.
- Efectos de la luz sobre el sueño, la cura de enfermedades y el estado de ánimo.
- Influencia sobre la actividad de las personas.

En un ambiente natural, la luz ocular sincroniza el reloj corporal con el ciclo de luz/oscuridad de 24 h de la tierra. Así, en ausencia total de luz, el reloj biológico inicia un funcionamiento autónomo que dura aproximadamente 24 horas y 15 minutos, y por tanto se va desviando (desincronizando) cada vez más del tiempo del reloj ambiental. Los síntomas que se presentan son similares a los del desfase que se produce después de viajar por distintas zonas horarias (en inglés "jet lag").

Pasados unos días, los síntomas desaparecen y la regulación circadiana se restablece porque la luz (el nuevo ciclo diario luz/oscuridad) reajusta el reloj corporal y propicia la consecución de la nueva sincronización. De acuerdo con esto, la luz artificial también puede emplearse para acelerar los reajustes en el caso del desfase horario, así como para optimizar la adaptación a los turnos de trabajo nocturno.

Igualmente, se conocen los efectos de la estimulación directa por la luz exterior en verano y en invierno, pero también los efectos de la luz en ambientes de interior (trabajo).

2.2 Efectos psicológicos

Ha quedado ampliamente reconocido que los seres humanos son capaces de experimentar la composición, cantidad y variación de la luz natural.

El estado de ánimo es un reflejo de las sensaciones de una persona. Factores que se sabe influyen en el estado de ánimo son el tiempo atmosférico y las estaciones, así como las condiciones visuales y el entorno (visual).

Un factor emocional muy importante es el contacto visual con el exterior. De hecho, actualmente algunos fabricantes de sistemas de alumbrado artificial producen entornos luminosos artificiales dinámicos capaces de simular las condiciones exteriores, para el tratamiento, tanto curativo como preventivo, de problemas tales como sueño, fatiga, motivación reducida, etc..

Aunque el objetivo principal de esta Guía es el ahorro de energía mediante la promoción del uso de la luz natural, se ha de considerar que quizás los ahorros indirectos, mediante una buena aplicación de la luz natural, que conducen a un entorno más satisfactorio y de una mayor calidad, son incluso más importantes que los ahorros de energía directos. Por ello es extremadamente importante que la luz natural en los lugares de trabajo sea aplicada de un modo confortable y ergonómico, asegurándose de que los usuarios aceptan la luz natural aplicada y los distintos sistemas de control relacionados teniendo en cuenta las tareas que han de realizar.

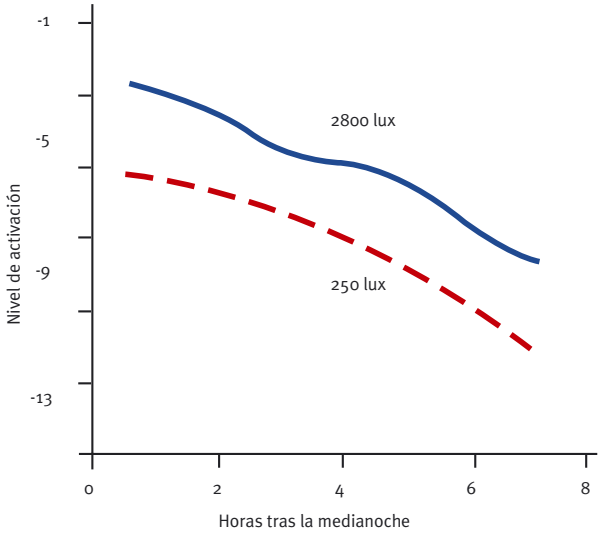


Fig. 2.1 Estado de ánimo expresado como nivel de "activación" (arousal level), con iluminación uniforme de 250 lux y 2800 lux en función del número de horas de los trabajadores del turno de noche (Boyce y col.)

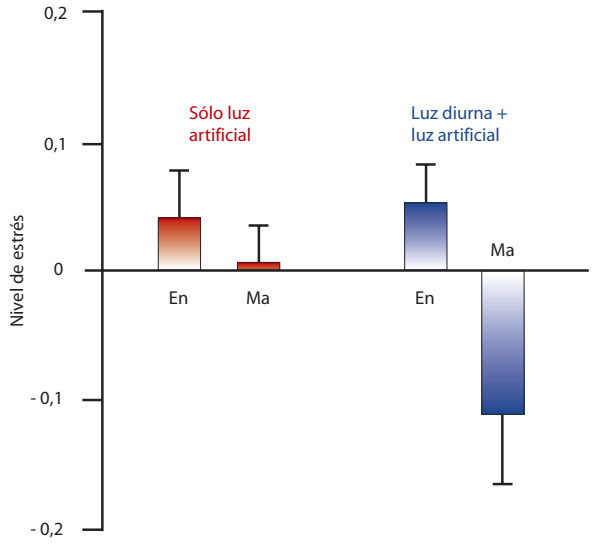


Fig. 2.2 Niveles de estrés de un grupo de empleados que trabajan sólo con luz eléctrica o con una combinación de luz natural y artificial (Kerkhof)

2.3 Efectos térmicos

Las ventanas y los sistemas de iluminación con luz natural influyen no sólo en la distribución de la luz natural, sino también en la carga térmica de un edificio. La utilización de la luz natural como sistema de iluminación puede ayudar a reducir las aportaciones caloríficas del edificio debido a la favorable relación lúmenes por vatio de la luz natural y, por tanto, a ahorrar energía de refrigeración. El control de alumbrado en respuesta a la luz natural se combina a menudo con el control térmico. Cuando no hay ocupantes en una sala, el control térmico reducirá las ganancias caloríficas en verano cerrando los apantallamientos durante el día para mantener fuera el calor y abriendo las pantallas o cortinas durante la noche para enfriar por radiación. Esta actuación puede invertirse en invierno.

2.4 Efectos de la luz sobre la actividad

Muchos de los efectos positivos obtenidos mediante el empleo de la luz artificial proceden de la elaboración de proyectos de investigación médicos y biológicos que demuestran que la luz eléctrica puede ser tan efectiva como la luz natural. Sin embargo, en un espacio interior, los niveles de iluminación son generalmente mucho menores que los mínimos en el exterior, donde los niveles oscilan entre los 1000-2000 lux en un día gris y los 100.000 lux de un día soleado.

Otra diferencia entre la luz diurna y la eléctrica es la variación de nivel de iluminación y de temperatura de color de la primera en el transcurso del día, factores que se echan de menos en una actividad llevada a cabo en un interior con iluminación eléctrica (sin ventanas).

De las citadas investigaciones, se extraen conclusiones como la de que los cambios de nivel y temperatura de color en la luz diurna tienen efectos positivos sobre el estado de ánimo y la estimulación de las personas; y se han llevado a cabo pruebas que indican que estas influencias positivas pueden duplicarse con una iluminación artificial de interior dinámica, no sólo en los cambios de niveles sino también en los cambios de temperatura de color (ambiente con luz más cálida o más fría). La conclusión en este sentido es evidente: mejorar todas las instalaciones actuales teniendo en cuenta los criterios de calidad de iluminación más recientes es el primer paso para dotar al lugar de trabajo de una luz saludable y dinámica.

Así pues, como resumen de esta breve introducción a la influencia de la luz sobre la salud, basten unas cortas frases llenas de contenido:

- La luz desempeña una importante función biológica, distinta de la reproducción de imágenes, que contribuye a la salud y el bienestar del ser humano.
- La luz es fundamental para controlar el reloj biológico y los ritmos fisiológicos y psicológicos durante el día y las estaciones.
- La luz induce efectos estimulantes directos e influye sobre el estado de ánimo.
- La tecnología aplicada en la producción de luz artificial puede igualar e incluso superar con creces los efectos beneficiosos de la luz natural.
- Las futuras instalaciones de alumbrado artificial gozarán de la flexibilidad suficiente para hacer que tanto la actividad de las personas como su estado de ánimo y bienestar alcancen niveles muy superiores a los actuales.

2.5 Efectos de la luz sobre los objetos y las superficies

Tanto la luz natural como la artificial tienen un efecto negativo sobre los colores y acabados superficiales de paramentos y objetos, que se denomina decoloración (o “fading” en inglés). Este efecto se debe a que ambos tipos de luz contienen radiación ultravioleta, que a través de reacciones fotoquímicas puede decolorar rápidamente el pigmento de los objetos coloreados.

Este efecto puede observarse en los objetos textiles expuestos en escaparates que permanecen durante mucho tiempo en una misma posición y que al retirarlos del citado escaparate y comparar con otras partes del objeto no expuestas a la luz evidencian la diferencia de pigmentación. Este efecto negativo puede paliarse mediante el empleo, bien en el acristalamiento (cuando se trata de luz natural) o bien en las lámparas empleadas para la instalación de alumbrado artificial, de filtros contra la radiación UV.

Hay otro efecto de índole negativa que se genera como consecuencia de la exposición de objetos a la luz natural o artificial, que es el calentamiento de dichos objetos. Este puede llegar hasta puntos extremos en los que puede deteriorarse la superficie expuesta de los objetos. Este efecto es debido fundamentalmente a la emisión de radiación infrarroja que acompaña en casi todos los casos a la luz que incide sobre los mismos. También puede evitarse mediante filtros, situados bien en los acristalamientos o bien en las lámparas o luminarias de la instalación de alumbrado artificial.

La radiación infrarroja, aportada por la luz natural y por las fuentes de luz artificiales, es la causante principal del calentamiento de los espacios interiores de los edificios, con el consiguiente desequilibrio térmico en verano que obliga al empleo adicional de acondicionamiento de aire.

3 Ambiente luminoso

Ambiente luminoso

Para la buena práctica de iluminación de interiores es esencial que, además del nivel de iluminación requerido, se satisfagan las necesidades visuales, representadas por unos criterios fundamentales, que posibilitan que las personas sean capaces de realizar sus tareas, incluso en circunstancias difíciles y durante periodos más largos. A esas necesidades de visión debe añadirse el confort visual, para que los usuarios de dichas instalaciones obtengan una sensación de bienestar que de un modo indirecto también contribuya a un elevado nivel de productividad; y por último la seguridad, para llevar a cabo la actividad sin riesgos.

Los criterios fundamentales en iluminación que determinan el ambiente o entorno luminoso son:

- Distribución de luminancias.
- Iluminancia.
- Uniformidades de iluminancia.
- Deslumbramiento.
- Direccionalidad de la luz o modelado.
- Color en el espacio visual.
- Efectos perjudiciales sobre la visión.

Los valores necesarios para satisfacer los criterios de iluminancia, deslumbramiento molesto y rendimiento de colores están dados en la norma UNE EN 12464-1, relativa a la iluminación en lugares de trabajo para interiores.

3.1 Distribución de luminancias

La distribución de luminancias en el campo de visión, ya sea debida a la luz natural o artificial, condiciona el nivel de adaptación del ojo, lo que afecta a la visibilidad de la tarea.

Para clarificar el concepto de luminancia, que no es sino la energía luminosa emitida o reflejada en dirección al ojo de un observador (medida en cd/m^2), debe recordarse que aquello que es visible o se puede ver está limitado por el contraste entre un objeto y el fondo sobre el que se ve, así como por el tamaño del citado objeto. Cuando la luminancia del fondo aumenta, también aumenta la visibilidad hasta un cierto punto, pero la curva de incremento de visión alcanza un punto de disminución por encima del cual se requerirían

aumentos muy importantes de la luminancia del fondo para lograr incrementos de visibilidad.

Esta es la razón por la que en un interior habría que aumentar de modo ineficiente los niveles de luminancia de los fondos para poder conseguir una ligera mejoría en la visión de los objetos o tareas.

Una luminancia de adaptación bien equilibrada es necesaria para aumentar:

- la agudeza visual (capacidad para distinguir dos objetos que se encuentran próximos),
- la sensibilidad al contraste (discriminación de diferencias de luminancia relativamente pequeñas),
- la eficiencia de las funciones oculares (tales como acomodación, convergencia, contracción de la pupila, movimientos de ojo, etc.).

La distribución de luminancias en el campo de visión afecta también al confort visual. Por ello deben evitarse las siguientes circunstancias:

- luminancias demasiado elevadas, que pueden dar lugar a deslumbramiento;
- contrastes de luminancia demasiado altos, que causarán fatiga debido a la readaptación constante de los ojos;
- luminancias demasiado bajas y contrastes de luminancias demasiado bajos, que pueden dar como resultado un ambiente visual mortecino y no estimulante.

Son importantes las luminancias de todas las superficies, que están constituidas por la reflectancia de dichas superficies y la iluminancia que incide sobre ellas.

Un equilibrio aceptable de luminancias entre el objeto y la tarea y el fondo o espacio circundante puede ser:

- Entre tarea y entorno más oscuro 3 : 1
- Entre tarea y superficies alejadas más oscuras 10 : 1
- Entre fuentes luminosas y entorno 20 : 1
- Máximo contraste 40 : 1
- Objetos muy iluminados para enfatizarlos 50 : 1

Siendo los márgenes de reflectancias útiles para las superficies principales interiores:

- Techo: 0,6 a 0,9
- Paredes: 0,3 a 0,8
- Planos de trabajo: 0,2 a 0,6
- Suelo: 0,1 a 0,5

Para finalizar, es importante tener en cuenta que el intervalo dinámico del sistema visual es grande pero finito. Durante el día las luminancias inferiores a 1 cd/m² son vistas como objetos negros, mientras que aquellas que poseen valores superiores a 500 cd/m² son consideradas como deslumbrantes.

3.2 Iluminancia

La iluminancia y su distribución en el área de la tarea y en el área circundante tienen un gran impacto en cómo una persona percibe y realiza la tarea visual de un modo rápido, seguro y confortable.

Todos los valores de iluminancia especificados en la norma UNE EN 12464-1 son iluminancias mantenidas y satisfarán las necesidades de confort y las prestaciones visuales.

3.2.1 Iluminancias recomendadas en el área de la tarea

Los valores dados en la norma son iluminancias mantenidas en el área de la tarea sobre la superficie de referencia, que puede ser horizontal, vertical o inclinada. La iluminancia media para cada tarea no caerá por

debajo de los valores allí citados, independientemente de la edad y estado de la instalación. Los valores son válidos para condiciones visuales normales y tienen en cuenta los siguientes factores:

- Aspectos psico-fisiológicos tales como el confort visual y el bienestar.
- Requisitos para tareas visuales.
- Ergonomía visual.
- Experiencia práctica.
- Seguridad.
- Economía.

El valor de iluminancia puede ser ajustado al menos en un escalón en la escala de iluminancias (véase a continuación), si las condiciones visuales difieren de las suposiciones normales.

- Un factor de 1,5 representa la menor diferencia significativa en el efecto subjetivo de iluminancia.
- En condiciones de iluminación normales se requieren aproximadamente 20 lux para discernir características de la cara humana; de ahí que sea el valor más bajo tomado para la escala de iluminancias.

La escala de iluminancias (lux) recomendada es:
20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750– 500 – 2000 – 3000 – 5000

La iluminancia mantenida exigida debe ser aumentada, cuando:

- La tarea visual es crítica.
- Los errores son costosos de rectificar.
- La exactitud o la mayor productividad es de gran importancia.
- La capacidad visual del trabajador está por debajo de la normal.
- Los detalles de la tarea son de tamaño inusualmente pequeño o de bajo contraste.
- La tarea es realizada durante un tiempo inusualmente largo.

La iluminancia mantenida requerida puede ser disminuida cuando:

- Los detalles de la tarea son de un tamaño inusualmente grande o de un elevado contraste.
- La tarea es emprendida durante un tiempo inusualmente corto.

En áreas ocupadas de modo continuo, la iluminancia mantenida no será menor de 200 lux.

3.2.2 Iluminancias de entornos inmediatos

La iluminancia de áreas circundantes inmediatas estará relacionada con la iluminancia del área de tarea y debe proporcionar una distribución de luminancias (ya recogida en el apartado 3.1) bien equilibrada en el campo de visión. Las grandes variaciones espaciales en iluminancias alrededor del área de tarea pueden conducir a tensiones y molestias visuales.

La iluminancia de las paredes circundantes inmediatas puede ser inferior a la iluminancia de la tarea pero no será menor que los valores dados en la Tabla 1.

Iluminancia de la tarea lux	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas lux
≥ 750 500 300 ≤ 200	500 300 200 E_{tarea}
Uniformidad ≥ 0,7	Uniformidad ≥ 0,5

Tabla 1 – Uniformidades y relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas al área de la tarea

3.3 Uniformidades de iluminancia

El área de la tarea será iluminada tan uniformemente como sea posible. La uniformidad dentro del área de la tarea y de las áreas circundantes inmediatas nunca será menor que los valores dados en la Tabla 1.

3.4 Deslumbramiento

El deslumbramiento es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión, y puede ser experimentado bien como deslumbramiento molesto o como perturbador.

Es importante limitar el deslumbramiento para evitar errores, fatiga y accidentes, prestando un cuidado especial para evitar el deslumbramiento si la dirección de visión está por encima de la horizontal.

- En puestos de trabajo en interiores, el deslumbramiento molesto puede producirse a partir de la visión directa de luminarias o ventanas brillantes.
- Si se satisfacen los límites de control del deslumbramiento molesto, el deslumbramiento perturbador no representa un problema importante.

3.4.1 Deslumbramiento molesto

El índice del deslumbramiento molesto directamente procedente de las luminarias de una instalación de alumbrado interior debe ser determinado utilizando el método de tabulación del Índice de Deslumbramiento Unificado de la CIE (UGR) basado en la fórmula:

$$UGR = 8\log_{10}\left(\frac{0{,}25}{L_b}\sum\frac{L^2\varpi}{\rho^2}\right)$$

en la que:

- L_b es la luminancia de fondo, en cd/m², calculada como $E_{ind} \times \pi^{-1}$, en la que E_{ind} es la iluminancia indirecta vertical en el ojo del observador.
- L es la luminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador, en cd/m².
- ω es el ángulo sólido (estereorradianes) de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador.
- ρ es el índice de posición de Guth para cada luminaria individual, y se refiere a su desplazamiento de la línea de visión.

Todas las suposiciones hechas en la determinación del UGR serán establecidas en la documentación del proyecto. El valor de UGR de la instalación de alumbrado no excederá del valor dado en la norma UNE EN 12464-1.

NOTAS:

- Las variaciones de UGR dentro de la sala pueden ser determinadas utilizando la fórmula (o la tabla comprensiva) para diferentes posiciones del observador. Los límites para esta condición están en estudio.
- Si el valor máximo de UGR en la sala es mayor que el límite de UGR dado en la norma, puede ser necesaria información sobre posiciones apropiadas para los puestos de trabajo con pantallas de ordenador situados dentro de la sala.
- El deslumbramiento molesto de las ventanas es aún motivo de investigación. No hay aún un método de evaluación del deslumbramiento adecuado disponible de modo fácil y universal.

3.4.2 Apantallamiento contra el deslumbramiento

Como acabamos de indicar, las fuentes luminosas brillantes pueden causar deslumbramiento y pueden impedir la visión de los objetos. Se evitarán, por ejemplo, mediante el apantallamiento adecuado de lámparas o el empleo de sistemas de apantallamiento u oscurecimiento de ventanas, mediante persianas o cortinas. Deben aplicarse los ángulos de apantallamiento mínimos dados en la Tabla 2 para las luminancias de lámparas especificadas.

Luminancia de lámpara kcd x m^{-2}	Ángulo de apantallamiento mínimo
20 a < 50	15°
50 a < 500	20°
≥500	30°

Tabla 2 – Ángulos de apantallamiento mínimos para luminancias de lámpara específicas

3.4.3 Reflexiones de velo y deslumbramiento reflejado

Las reflexiones muy brillantes en la tarea visual pueden alterar, usualmente de modo perjudicial, la visibilidad de la tarea. Las reflexiones de velo y el deslumbramiento reflejado pueden ser impedidos o reducidos por la adopción de las siguientes medidas:

- Disposición de luminarias y puestos de trabajo.
- Acabado de las superficies (superficies mates).
- Limitación de luminancia de luminarias.
- Área luminosa aumentada de la luminaria.
- Techo brillante y paredes brillantes.

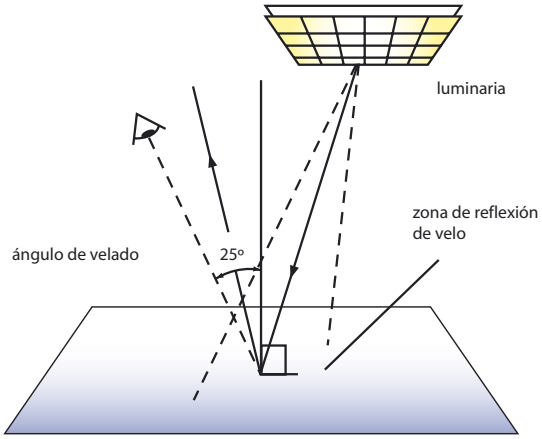


Fig. 3.3 Representación gráfica de la reflexión de velo y su explicación

3.5 Iluminación direccional

La iluminación direccional puede usarse para hacer resaltar objetos, revelar la textura y mejorar la apariencia de personas dentro del espacio. El alumbrado direccional de una tarea visual puede también afectar a su visibilidad. Lo descrito anteriormente se denomina “modelado”.

3.5.1 Modelado

El modelado es el equilibrio entre luz difusa y luz dirigida. Es un criterio válido de calidad de alumbrado prácticamente en todo tipo de interiores. La apariencia general de un interior resulta mejorada cuando sus características estructurales, las personas y objetos dentro de él son iluminados de modo que se revelen la forma y la textura de un modo claro y agradable. Esto ocurre cuando la luz procede predominantemente de una dirección; las sombras que son esenciales para un buen modelado son formadas entonces sin confusión.

La iluminación no debe ser demasiado direccional o produciría sombras fuertes, ni debe ser demasiado difusa o el efecto de modelado se perdería totalmente, dando como resultado un ambiente mortecino.

3.5.2 Iluminación direccional de tareas visuales

La iluminación procedente de una dirección específica puede revelar detalles dentro de una tarea visual, aumentando su visibilidad y haciendo la tarea más fácil de realizar. Deben evitarse reflexiones de velo y deslumbramiento reflejado (véase el apartado 3.4).

3.6 Color en el espacio visual

El órgano de la visión del ser humano (ojo) funciona conectado con el cerebro para poder interpretar las imágenes que se forman en él; y así es capaz de distinguir, mediante unas células denominadas conos y su relación con las diferentes partes del cerebro, los distintos colores.

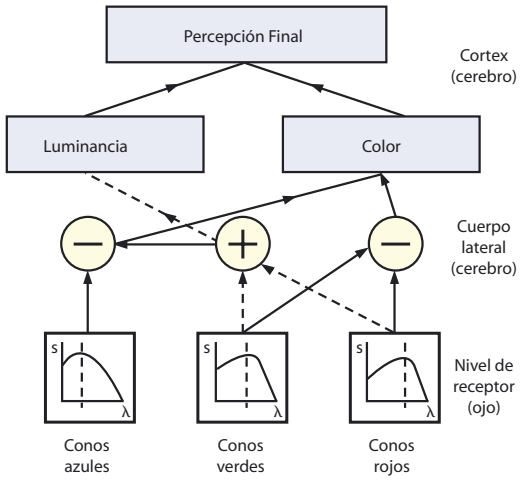


Fig. 3.4 Representación esquemática de la visión de los colores en el sentido de la vista y el cerebro

El elemento emisor de luz, ya sea ésta natural o artificial, posee una serie de características cromáticas que están representadas fundamentalmente por dos atributos:

- La apariencia de color de la fuente de luz.
- Su capacidad para reproducir colores, que afectan a la apariencia de color de objetos y personas iluminadas.

3.6.1 Apariencia de color

La "apariencia de color" de una lámpara se refiere al color aparente (cromaticidad) de la luz emitida. Es cuantificada por su temperatura de color correlacionada (T_C).

La apariencia de color se suele describir como aparece en la Tabla 3.

Apariencia de color	Temperatura de color correlacionada, T_C K
Cálida	inferior a 3300 K
Intermedia	3300 a 5300 K
Fría	superior a 5300 K

Tabla 3 – Grupos de apariencia de color de lámparas

En el alumbrado natural, el ser humano no puede cambiar la apariencia de color; pero en el alumbrado artificial sí puede hacerlo. De hecho, la apariencia de color proporciona una información psicológica, estética y de lo que se considera como natural. La elección dependerá del nivel de iluminancia, de los colores de la sala y muebles, del aspecto de la luz natural circundante y de la aplicación. En climas cálidos generalmente se prefiere una apariencia de color de luz artificial más fría, mientras que en climas fríos se prefiere una apariencia de color de luz artificial más cálida.

3.6.2 Rendimiento de colores

Es importante que los colores del entorno, de objetos y de la piel humana sean reproducidos natural y correctamente para que las personas parezcan atractivas y saludables. Además, los colores relacionados con la seguridad siempre deberán ser reconocibles como tales (véase también ISO 3864).

Para proporcionar una indicación objetiva de las propiedades de rendimiento de colores de una fuente luminosa se ha introducido el índice de rendimiento de colores general, R_a, cuyo valor máximo es 100. La cifra asignada al índice de rendimiento de colores disminuye al disminuir la calidad de la reproducción cromática.

De acuerdo con la norma UNE EN 12464-1, las lámparas con un índice de rendimiento de colores menor de 80 no deben ser usadas en aquellos interiores en los que trabajen personas o permanezcan durante periodos largos. Pueden hacerse excepciones para algunos lugares y/o actividades (por ejemplo, alumbrado de naves), pero deberán tomarse medidas adecuadas para asegurar el empleo de un alumbrado con el mayor rendimiento de colores posible en puestos de trabajo ocupados de modo continuo y cuando se hayan de reconocer los colores de seguridad.

El valor mínimo del índice de rendimiento de colores para distintos tipos de interiores (áreas), tareas o actividades está dado en la norma.

3.7 Efectos perjudiciales sobre la visión

De entre los efectos perjudiciales más corrientes que las instalaciones artificiales de iluminación provocan sobre la visión, cabe destacar:

- El parpadeo o efecto “flicker”, que causa distracción y puede dar lugar a molestias tales como dolores de cabeza.
- El efecto estroboscópico, que puede conducir a situaciones peligrosas producidas por la no percepción del cambio de movimiento de maquinaria giratoria o que se mueve en vaivén.

Los sistemas de alumbrado deben estar diseñados para evitar el parpadeo y el efecto estroboscópico.

NOTA:

- Esto puede conseguirse fácilmente, por ejemplo, mediante el uso de alimentación con corriente continua para lámparas incandescentes, o haciendo funcionar lámparas de descarga a altas frecuencias (alrededor de 30 kHz o superiores) como sucede con los balastos electrónicos.

4 Criterios de diseño con luz natural

Criterios de diseño con luz natural

Como ya se ha explicado, la luz natural procedente de la bóveda celeste consta de tres componentes:

- El haz directo procedente del sol.
- La luz natural difundida en la atmósfera (incluidas nubes), que es la componente difusa del cielo.
- La luz procedente de reflexiones en el suelo y objetos en el entorno exterior.

El color de la luz natural o diurna resulta de la mezcla aditiva de la luz coloreada procedente de cuatro fuentes: el cielo azul; la luz solar, de color más amarillo; el suelo o terreno, que si está cubierto de vegetación es verde; y finalmente las otras superficies reflectantes, de variados colores.

Además, los trayectos recorridos por el sol producen una serie de efectos variables en el interior de los edificios, como consecuencia de la penetración de la luz a través de sus aberturas.

4.1 Parámetros de diseño

Como base de partida para la consideración de un correcto diseño de iluminación de un edificio, deben resolverse una serie de premisas, de entre las que pueden destacarse las siguientes:

- El haz directo procedente del sol.
- La iluminación debe facilitar la orientación y definición de la situación de una persona en el espacio y en el tiempo.
- La iluminación debe integrarse en el diseño arquitectónico y de interior; es decir, planificarse desde el principio y no agregarse en una fase posterior.
- Las diversas opciones de forma, color y materiales de la iluminación deben reforzar los objetivos del diseño arquitectónico y de interior en vez de actuar independientemente.
- La iluminación debe crear una sensación y atmósfera adaptadas a las necesidades y expectativas de las personas (formal, íntima, oficial, sobria, económica, brillante, atenuada, hogareña, valiosa, amplia, acogedora, hostil, etc.).
- La iluminación debe facilitar y promover la comunicación entre las personas.
- La iluminación debe definir principios y transmitir mensajes que vayan más allá de la simple claridad; debe expresar algo.

- La iluminación debe ser original en sus formas básicas de expresión; no debe ser un producto de masas que simplemente reproduzca lo ya existente.
- La iluminación debe facilitar la percepción y reconocimiento del entorno de las personas.

Sobre la base de estas premisas, a fin de controlar la calidad de la luz ambiental, el diseñador debe manejar un conjunto de parámetros relevantes, que incluyen:

- La elección del lugar, orientación, forma y dimensiones del edificio, para aprovechar las ventajas de la aportación de luz natural e impedir sus inconvenientes inherentes a la presencia del sol y de su trayectoria.
- La selección de la abertura de penetración de la luz natural y su orientación, factor esencial para el control de la calidad de iluminación; por ejemplo, un diseñador sabe que la luz norte, rica en azules procedente de la parte de cielo sin sol, está relacionada con la sensación de "frío", por el hecho de que la temperatura de color es mayor que la del haz solar directo.
- Las superficies exteriores de los edificios actúan entre ellas. Los parámetros superficiales, que son una variable de diseño para un edificio, resultan restrictivos para los edificios contiguos; esto es debido al hecho de que el color de la luz reflejada desde las superficies de un edificio está influenciado por el color de las otras superficies reflectantes.
- Las superficies del suelo que rodean al edificio, cuya contribución es importante en días de cielos descubiertos, sin nubes, porque la luz incidente sobre las fachadas es reflejada desde el suelo.

4.2 Tipología de espacios

Hay dos niveles tipológicos que condicionan el diseño de la edificación desde el punto de vista de la iluminación de interiores:

- la interacción entre el edificio y el espacio abierto iluminado con un cielo luminoso y
- la relación entre el edificio y la sala interior iluminada que recibe su luz del exterior.

4.2.1 Situación: forma del edificio e implantación

El diseño de luz natural debe comenzar en la etapa de distribución del lugar de ubicación, antes de considerar en detalle las ventanas. La razón para ello es que los grandes obstáculos que rodean al edificio pueden tener un impacto tanto en la cantidad de luz que alcanza las ventanas como en la distribución de la luz dentro de una sala.

La implantación del lugar de edificación es también el factor más importante que afecta a la disponibilidad de luz solar dentro de un edificio. Para el diseño solar pasivo, que constituye la mayoría de las ganancias solares en invierno, es especialmente importante considerar el grado de obstrucciones u obstáculos.

4.2.1.1 Características de la situación

Una pendiente orientada al sur experimentará mayores temperaturas que una pendiente orientada al norte, y es probable que quede protegida de los fríos vientos del norte así como que reciba una radiación solar incrementada. La pendiente en cualquier dirección reducirá la cantidad de luz natural que alcanza las ventanas que miran hacia la pendiente.

La figura 4.1 muestra cómo esta situación aumenta el espacio necesario del edificio para dar las mismas iluminancias de luz natural en la pared de la ventana.

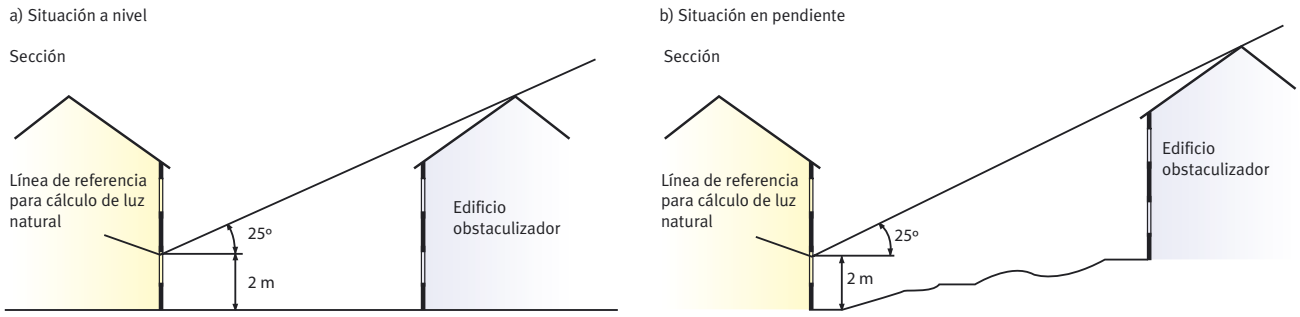


Fig. 4.1 La formación de sombras resulta un problema menor cuando la superficie donde se ubicará el edificio está nivelada que cuando está en pendiente

4.2.1.2 Contaminación atmosférica y ruido

En ubicaciones muy sucias o contaminadas, pueden ser necesarias ventanas cerradas herméticamente y ventilación mecánica o aire acondicionado. Los depósitos sucios en las ventanas pueden requerir acristalamiento adicional o un programa riguroso de mantenimiento. Las claraboyas horizontales se ensucian rápidamente y precisan ser limpiadas frecuentemente. Por esta razón deben evitarse en lugares sucios o contaminados. El acristalamiento inclinado se ensucia más rápido que las ventanas verticales.

También en zonas muy ruidosas, es necesario el diseño cuidadoso de las ventanas. El aislamiento acústico puede ser mejorado utilizando un cristal más grueso o laminado o materiales absorbentes del sonido.

El principal conflicto se plantea entre la protección acústica y la ventilación. Una ventana abierta proporciona un aislamiento de sonido muy pequeño, mientras que los agujeros de ventilación tienden a reducir el rendimiento de una unidad doblemente acristalada. De ahí que cada situación requiera una solución específica.

4.2.2 Profundidad del edificio y tamaño total

La iluminación lateral en un edificio establece un límite a la profundidad del mismo para que pueda ser iluminado satisfactoriamente durante el día. En un edificio típico con una altura de la parte superior de la ventana de 2,5 m y una anchura de sala de 3,75 m, la luz natural puede penetrar aproximadamente 6 m hacia dentro desde la vertical de la ventana. Esto establece una limitación al diseño, produciendo plantas que son de 12 m de profundidad. Esta limitación puede contrarrestarse mediante el uso de ventanas altas relacionado con espacios altos, que permiten que la luz natural alcance mayor profundidad.

Si una sala con iluminación natural es iluminada por ventanas en una sola pared, la profundidad de la sala, L, no debe exceder del valor límite dado por

$$\frac{L}{W} + \frac{L}{H_w} < \frac{2}{(1 - Rb)}$$

donde W es la anchura de la sala, H_w la altura de la parte superior de la ventana desde el nivel del suelo y Rb la reflectancia promedio de las superficies en la mitad posterior de la sala (lejos de la ventana). Si L excede este valor, la mitad posterior de la sala tenderá a parecer sombría y se necesitará el alumbrado eléctrico suplementario.

Reflectancia Rb	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
Ancho de sala (m)	3	10	3	10	3	10
Altura de la parte superior de la ventana (m)						
2,5	4,5	6,7	5,4	8	6,8	10
3	5	7,7	6	9,2	7,5	11,5
3,5	5,4	8,6	6,5	10,4	8,1	13

Tabla 4.1 – Profundidades límite de salas iluminadas lateralmente (en metros)

Si un edificio se ilumina mediante ventanas situadas en lados opuestos del edificio, la profundidad máxima que puede ser iluminada con luz natural de modo satisfactorio, es dos veces la profundidad límite de la sala, L, desde la pared de una ventana a la pared de la otra ventana.

La iluminación cenital se desarrolló con la finalidad de permitir construir edificios de mayor profundidad, para introducir más luz hacia el interior por medio de claraboyas, lucernarios, cúpulas u otros tipos de elementos de iluminación cenital. También se usa para edificios especiales, tales como pabellones deportivos: puede sustituir con ventajas a las ventanas laterales que pueden provocar deslumbramiento cuando se intenta seguir la trayectoria de bolas o pelotas. La iluminación cenital puede también causar deslumbramiento si no está bien diseñada, pero a menudo es un problema de diseño más fácil de resolver que el de reducir el deslumbramiento procedente de ventanas laterales.

4.2.3 Línea sin cielo

Se define como línea sin cielo a aquella a partir de la cual no se recibe luz del cielo directa. Si un área significativa del plano de trabajo se encuentra más allá de ésta, la distribución de la luz natural en la sala parecerá pobre y se requerirá alumbrado artificial suplementario.

En el trazado de la línea sin cielo, los puntos clave están en la parte superior de las esquinas de la ventana. Estos son, normalmente, los últimos puntos en los que puede verse el cielo. De ahí que la posición de la línea sin cielo pueda ser alterada aumentando la altura de la parte superior de la ventana o ajustando la parte posterior de la fachada del edificio.

Si la sala y los obstáculos externos ya existen, la posición de la línea sin cielo puede ser medida directamente (véase Fig. 4.2); pero en la mayoría de los casos su posición tiene que ser encontrada a partir de dibujos (las Figs. 4.3-4.5 ilustran algunos casos comunes).

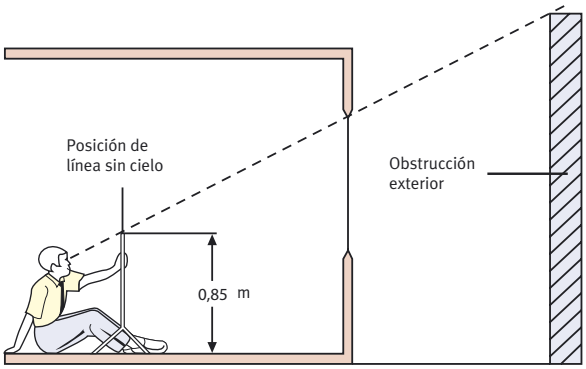


Fig. 4.2 Modo de medir la línea sin cielo teniendo en cuenta situación de ventana y obstáculo exterior

a) Obstrucción horizontal larga paralela a la ventana (véase Fig. 4.3). La línea sin cielo es también paralela a la ventana.

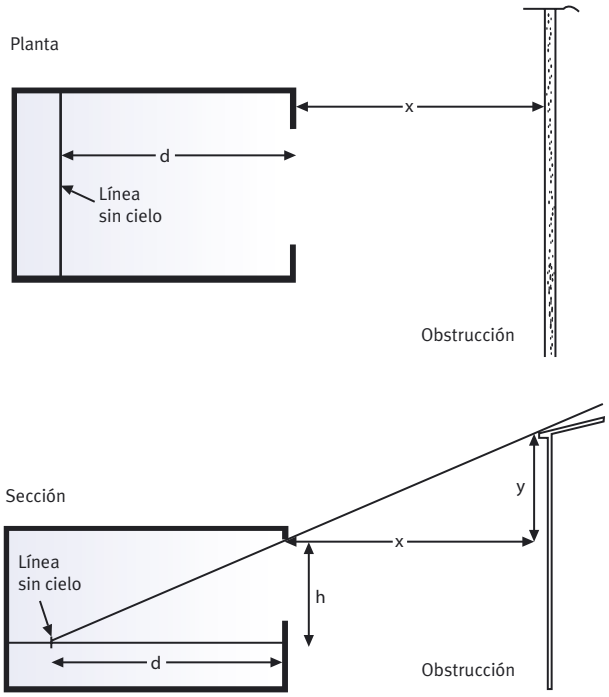


Fig. 4.3 Cuando la obstrucción es paralela a la ventana, la línea sin cielo también lo es

b) Obstrucción horizontal más estrecha paralela a la ventana (véase Fig. 4.4). CD es parte de la misma línea sin cielo que en la Fig. 4.3; pero ahora los puntos al norte de DE pueden recibir luz procedente de los alrededores de la esquina A del obstáculo, y los puntos al sur de CF pueden recibir luz también de los alrededores de la esquina B. Así el área sin cielo es de forma trapezoidal. Si el obstáculo AB hubiera sido incluso más estrecho, el área sin cielo sería de forma triangular, y con la misma forma si la obstrucción fuese mayor.

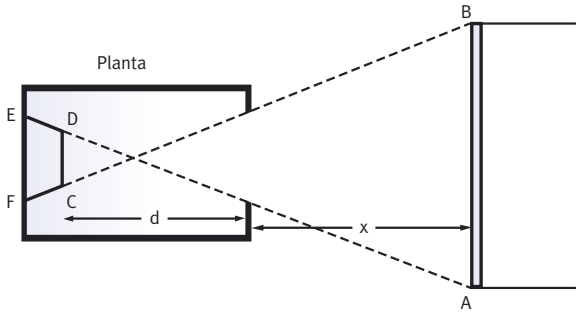


Fig. 4.4 Cuando la obstrucción es más estrecha el área sin cielo es trapezoidal o incluso triangular

c) Obstrucción horizontal perpendicular a la pared de la ventana y que sobresale desde ella (véase Fig. 4.5). La parte de la línea sin cielo (DB) discurre paralela a la obstrucción. Sin embargo, los puntos del triángulo EBC pueden recibir luz del cielo alrededor de la esquina F; los puntos del triángulo ABD pueden 'ver' el cielo sobre la parte superior del obstáculo. La figura asume que la pared de la ventana es despreciablemente delgada. Si la pared de la ventana es gruesa, el área sin cielo será mayor.

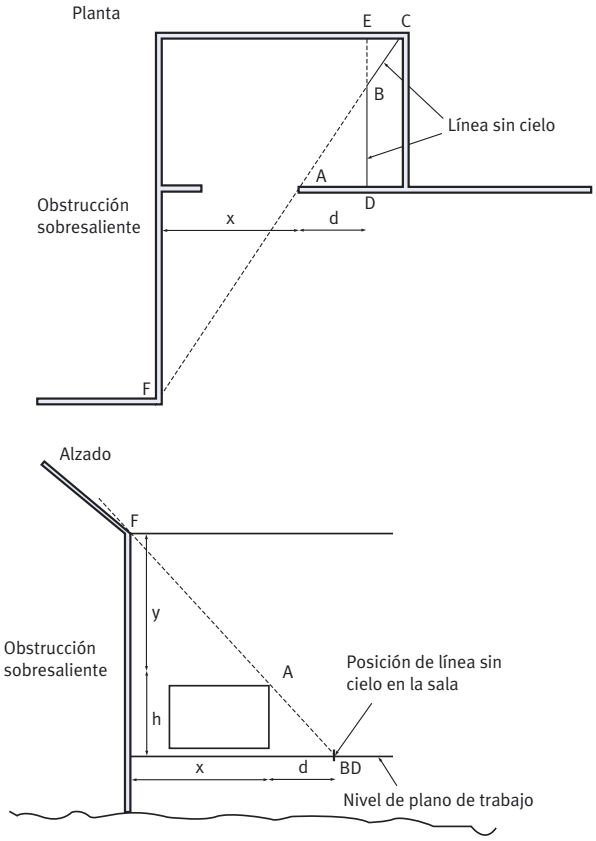


Fig. 4.5 Para un obstáculo sobresaliente de la pared la línea sin cielo se desplaza paralela al obstáculo

Donde hay más de una ventana, la línea final sin cielo rodeará estas áreas que no pueden recibir luz del cielo directa desde ninguna de las ventanas. Esto puede ser evaluado considerando cada ventana como propia, combinándolas entonces. Para una sala con ventanas en más de un lado sucede a menudo que todos los puntos del plano de trabajo reciben luz del cielo directa a través de una ventana u otra.

La línea sin cielo y el límite de las profundidades de la sala en cada lado introducirán un límite a la profundidad del edificio que puede ser iluminada con luz natural satisfactoriamente. Si el edificio necesita ser más profundo que esto, las opciones son:

- Claraboyas.
- Un atrio o patio.
- Un núcleo con perímetro de iluminación natural.

4.2.4 Orientación del edificio

La orientación de una fachada de un edificio, y por tanto de las ventanas situadas en él, influyen en gran medida en la iluminación interior. Hay dos aspectos importantes:

- El ajuste del edificio en su ubicación y su relación con el recorrido del sol;
- Permitir que la gente conozca donde se encuentra en el interior de un edificio. Este sentido de orientación proviene del contacto con el mundo exterior, y puede ser obtenido a partir de la percepción de la luz natural, incluso aunque no haya visión hacia el exterior.

La orientación de la ventana con relación al sol afectará significativamente a la ganancia solar y al grado consiguiente de penetración de luz solar.

- Por ejemplo, una ventana que mira al norte admite poca radiación solar comparada con una que mira al sur, este u oeste. Cuando una fachada mira al sur, el sol estará alto en el cielo durante la parte más calurosa del día en verano, y consiguientemente la penetración solar podrá evitarse de modo efectivo utilizando apantallamiento. Por esta razón a menudo se elige como orientación de un edificio la que sitúa su eje más largo alineado en sentido este-oeste, con apantallamiento solar previsto en la cara sur.
- Si el sobrecalentamiento constituye un problema potencial serio en términos de insolación, el sudoeste es la peor orientación, debido a que la luz solar no solamente es intensa en primavera y otoño, sino que también tiene un bajo ángulo de incidencia, lo que la hace difícil de apantallar.

Los efectos de obstrucciones y la orientación en la disponibilidad de luz solar pueden ser encontrados utilizando una carta solar estereográfica. La Fig. 4.6 muestra un ejemplo de una carta solar estereográfica para una latitud de 51º. Este diagrama es una proyección del cielo completo; el horizonte está representado por el círculo exterior y el cenit (el punto del cielo

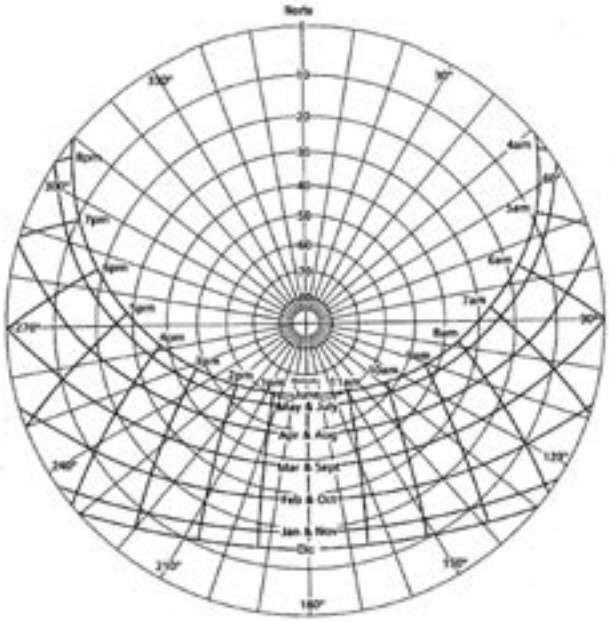


Fig. 4.4 Carta solar estereográfica para latitud de 51º N

directamente en la vertical) por el punto en el centro. Los círculos concéntricos representan líneas de alzado constante por encima del horizonte. La escala perimetral proporciona el acimut, el soporte en grados desde el norte.

En el diagrama, los bordes horizontales están trazados como arcos de círculo y los bordes verticales como líneas radiales. La Fig. 4.7 muestra un ejemplo de implantación de edificio: un edificio en forma de L de 20 m de altura. Se requieren los instantes en los que el edificio produce sombra en el punto marcado como "Posición del observador". En la carta solar estereográfica el contorno del edificio es trazado midiendo en primer lugar:

- la distancia x, desde el observador a cada esquina del edificio que obstaculiza la luz del sol
- el ángulo acimutal α, o soporte del norte de cada esquina

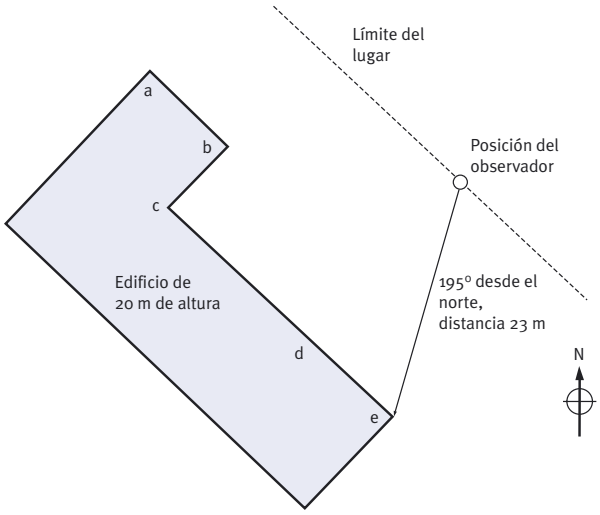


Fig. 4.4 Plano de edificio en forma de L en relación a la posición de visión in situ

La distancia x se emplea para encontrar el ángulo γ de elevación por encima del horizonte de cada esquina de línea de cielo. Si h es la altura del edificio obstaculizador por encima de la posición del observador

$$\gamma = \arctan\left(\frac{h}{x}\right)$$

La carta siguiente da los valores para el ejemplo. Se trazan los puntos usando sus ángulos en la Fig. 4.6, lo que da un contorno del edificio que aparece representado en la Fig. 4.8. En la proyección estereográfica, una línea de cielo horizontal es transformada en una curva; así, es útil tomar el punto intermedio (d en este ejemplo) para ayudar a dibujar con exactitud.

Una carta solar estereográfica puede también ser utilizada para leer la elevación solar y el azimut a una hora dada. Estos ángulos pueden entonces ser utilizados para trazar una sombra en el plano del lugar.

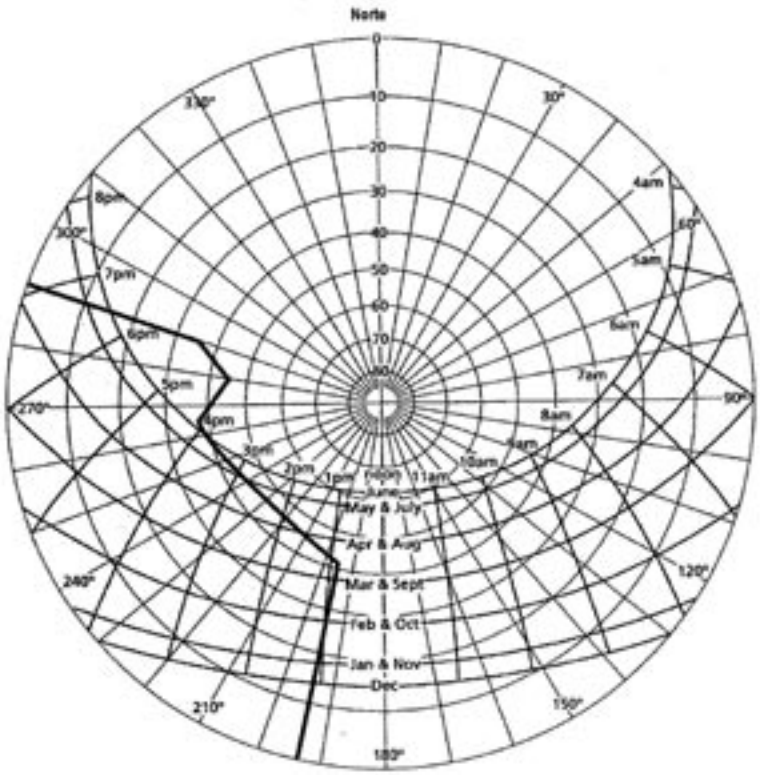


Fig. 4.8 Edificio en forma de L mostrado en la Fig. 4.7 trazado en la carta solar estereográfica. El área marcada con trazo grueso indica los instantes y fechas en que el punto de referencia no recibirá luz del sol

4.3 Componentes o elementos de captación de luz natural

Para utilizar los componentes y elementos de captación de la luz natural en arquitectura con una mínima efectividad, es preciso conocer su comportamiento. La mayoría de las veces un componente produce consecuencias muy diferentes en términos de iluminación o condiciones térmicas según las circunstancias, por lo que hay que seleccionar cuál de los efectos es más importante. A continuación se describen algunos de estos componentes o elementos ilustrados con imágenes.

Galería

Una galería puede describirse como un espacio de luz cubierto unido a un edificio. Puede abrirse al exterior o puede estar cerrada mediante cristales. Permite que la luz natural entre en las partes interiores de un edificio conectado a la galería por elementos de paso.

Proporciona un nivel de iluminación reducido y de menor contraste en las zonas interiores adyacentes a la galería.

Porche

Un porche es un espacio de luz cubierto unido a un edificio a nivel del suelo, abierto al entorno exterior. Es un espacio intermedio que permite la entrada de luz natural a las partes del edificio directamente conectadas al porche y las protege contra la radiación solar directa y la lluvia.

Normalmente un porche tiene el equivalente en altura a una planta de construcción pero a veces puede llegar a dos plantas.

Patio

Un patio es un espacio encerrado por las paredes de uno o varios edificios y está abierto al exterior por su parte superior y a veces en una dirección. Los patios tienen propiedades luminosas similares al espacio exterior pero a través de ellos se reducen la iluminación con luz natural y la ventilación.

Los acabados de las paredes que lo encierran influyen sobre las prestaciones de iluminación del patio: con colores luminosos o superficies especulares, por ejemplo, se aumentan los niveles de iluminación.

Atrio

Un atrio es un espacio cerrado lateralmente por las paredes de un edificio y cubierto con material transparente o translúcido.

Es un espacio interior de un edificio que permite la entrada de luz a otros espacios interiores unidos a él por elementos de paso. Proporciona un nivel de iluminación reducido y de menor contraste con relación a los espacios conectados al atrio, por lo que tiene un pequeño impacto en el uso de alumbrado con luz natural.

Sus dimensiones pueden variar dependiendo del tamaño del edificio. Normalmente ocupa la altura total del edificio. La cubierta puede consistir en una estructura metálica que soporta el acristalamiento. Los acabados interiores deben tener una elevada reflectancia para asegurar la buena penetración de luz natural.

Sus ventajas principales son:

- Admite luz natural en espacios profundos que de lo contrario estarían lejos de una ventana.
- Puede introducir un elemento de espaciosidad en un interior de trabajo, con vistas internas atractivas, particularmente donde hay ornamentos vegetales.
- Proporciona orientación visual y un foco para la circulación, ayudando a los ocupantes a retener un sentido de la dirección.
- Son elementos potenciales de ahorro de energía, pues reducen la pérdida de calor comparado con las paredes de un patio abierto equivalente.
- Las superficies interiores están protegidas de la intemperie, de modo que las paredes y las ventanas que miran al atrio no necesitan ser herméticas. Esto proporciona oportunidades para absorción acústica y tratamientos decorativos.

Los principales inconvenientes del atrio son:

- Ocupan espacio del suelo, en distintos niveles, que de otra manera podrían ser ocupados. Alternativamente, el área de la planta completa del edificio podría ser reducida.
- Aunque el acristalamiento del atrio admite luz natural abundante, no penetrará lejos en espacios adyacentes a menos que el atrio esté articulado, en planta y sección, para dar a los interiores circundantes una vista directa del cielo.

Pueden añadirse elementos de control ajustables para evitar sobrecalentamientos.

Conducto de luz

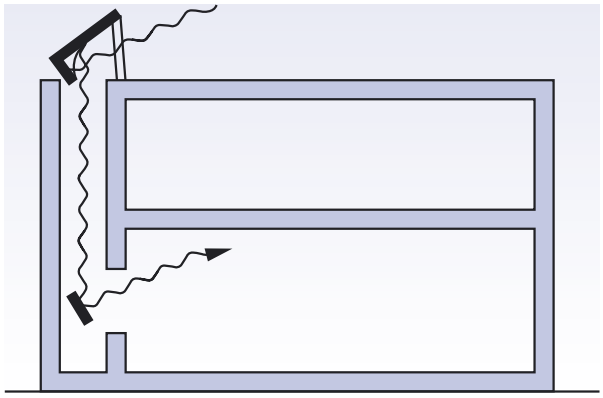
Un conducto de luz puede conducir luz natural a zonas interiores de un edificio que no están unidas de otro modo al exterior. Sus superficies son acabadas con materiales reflectantes de luz natural a fin de dirigir la luz natural difusa hacia abajo.

La imagen muestra una serie de conductos de luz separados por elementos estructurales. La parte superior del conducto debe poder abrirse para permitir la ventilación natural o estar cerrada con materiales transparentes.

Conducto solar

Es un espacio diseñado para reflejar haces solares a espacios interiores oscuros; puede también proporcionar ventilación. Las superficies son recubiertas con

acabados muy reflectantes, tales como espejos, aluminio, superficies muy pulidas o pintura, a fin de reflejar la radiación solar.



Pared translúcida

Construida con materiales translúcidos, forma parte de un cierre vertical en un edificio. La superficie separa dos ambientes luminosos, permitiendo la penetración lateral de luz y difundiéndola a través del material translúcido.

Muro cortina

Un muro cortina implica una superficie vertical translúcida o transparente continua sin función estructural, que separa el interior del exterior de un edificio. Generalmente consiste en un bastidor metálico que soporta dicha superficie transparente o translúcida.

Permite la penetración lateral de luz natural y la ganancia de luz solar directa e intercambios de vistas, pero no siempre la ventilación. Incrementa el nivel luminoso en zonas próximas al muro cortina.

Claraboya

Una claraboya se define como una abertura horizontal o inclinada construida en la cubierta.

Permite la penetración cenital de luz natural en el espacio situado bajo él, protegiendo a veces contra la radiación directa o dirigiéndola hacia espacios inferiores. Aumenta el nivel de luz en el interior.

La abertura se suele cubrir con vidrio o plástico transparente o translúcido, y dicho cierre puede ser fijo o abatible.

Techo translúcido

Un techo translúcido se define como una abertura horizontal parcialmente construida con materiales translúcidos, que separa el espacio interior del exterior o dos espacios interiores superpuestos.

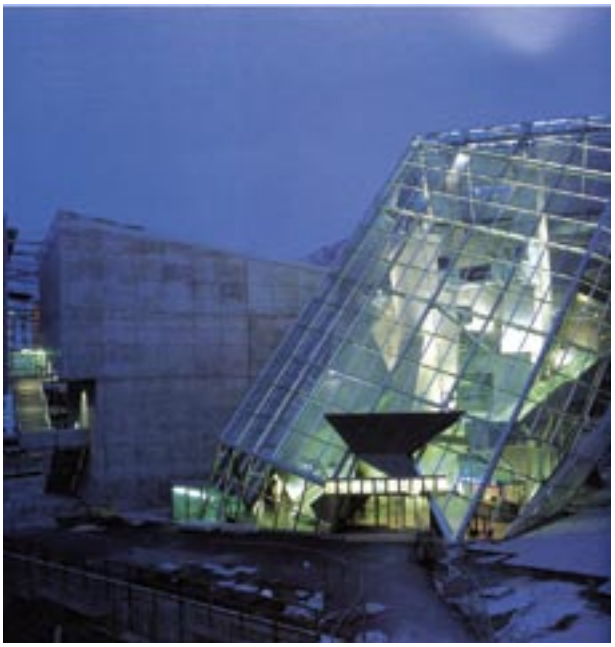
Permite la entrada cenital de luz natural difundida a través del material translúcido al espacio inferior, proporcionando una iluminación uniforme. Sus dimensiones pueden ser similares o menores al área inferior iluminada.

Cúpula

Permite la iluminación cenital del espacio situado bajo ella. Puede ser de vidrio, material acrílico o policarbonato. Cuando está perforada está hecha de materiales de construcción opacos y las perforaciones pueden estar cubiertas por los materiales translúcidos anteriores.

Membrana

Una envolvente de membrana consiste en una superficie translúcida o transparente que encierra total o parcialmente un espacio.



Permite la entrada global de luz al espacio y proporciona un nivel de iluminación interior de bajo contraste. Puede estar hecha de vidrio, policarbonato o material acrílico, soportados por un bastidor.

4.3.1 La ventana. Elemento principal en la edificación para el aprovechamiento de la luz natural

La ventana es una abertura típica en los edificios con multitud de funciones a desarrollar, entre las que se pueden incluir: la entrada de luz natural; la visión y relación con el mundo exterior; la actuación como elemento de ventilación para la renovación del aire; aislamiento térmico y acústico; barrera contra el ruido y protector de deslumbramiento.

Como se puede deducir, tienen también un importante impacto sobre la eficiencia energética de un edificio. El diseñador no siempre será capaz de reconciliar las demandas conflictivas de estas misiones: será necesaria su priorización y por ello a continuación se analizan las más importantes de estas funciones relacionadas con la iluminación.

Desde el punto de vista de entrada de luz natural, en general es mejor situar la ventana en una posición alta y dimensionarla adecuadamente.

La segunda función en importancia que desempeña una ventana es que la vista a su través permite que las personas perciban el mundo exterior, su evolución dinámica asociada con los cambios de la luz del cielo, la luz solar y la estación; contribuyendo todo ello a que el ser humano satisfaga su imperiosa necesidad de estar en contacto con la naturaleza.

Si el aspecto que se ha de favorecer es la vista exterior, el tamaño de la ventana y la altura de la parte inferior desde el suelo son extremadamente importantes. Cuanto más baja esté, más favorablemente permitirá la vista exterior. La visión del exterior, sin embargo, ha de ser equilibrada con la conservación de la privacidad. La privacidad puede ser controlada utilizando cortinas y persianas. También proporcionan un modo de reflejar la luz eléctrica de nuevo a la habitación en vez de perderla al exterior, pero esto requiere una reflectancia moderadamente elevada de la superficie interior.

El diseño de ventanas presenta como tercera misión, menos relacionada con la iluminación pero muy implicada en el tema de las necesidades caloríficas o de refrigeración de un edificio, la de formar parte de una estrategia global de ventilación del edificio, excepto en el sector terciario. Esto necesita ser considerado en la etapa de planificación. La opción más simple es proporcionar aire fresco controlado local y manualmente.

En un edificio ventilado naturalmente, las ventanas que pueden abrirse permiten que se elimine un exceso de calor para impedir un sobrecalentamiento en días calurosos y proporcionar una ventilación saludable y confortable en otros días. Para esta tercera función, su posición es mucho más importante que su tamaño.

En la práctica estas tres funciones se combinan en la mayor parte de los tipos de ventana. De hecho, las condiciones de luz natural y térmicas están a menudo en conflicto entre sí: es decir, cuanto mayor es el área de ventanas mayor es la cantidad de luz natural, pero también mayores son las pérdidas y ganancias de calor, a menos que se introduzcan otros elementos para contrarrestar estos efectos.

Acristalamiento

Si hay más de una ventana en la misma sala o habitación, la suma de superficies de todas las ventanas debe ser considerada desde un punto de vista luminoso en relación al área de la sala. Es decir, si hay una ventana grande o varias ventanas pequeñas con el mismo área total, la cantidad de luz admitida en la sala será la misma, ya que la relación entre el acristalamiento y la iluminación media con luz natural en una sala es aproximadamente lineal; pero hay que tener en cuenta que se ven afectadas la distribución de luz, la visión y la ventilación natural.

Dependiendo de la relación entre la superficie de la ventana y las superficies interiores del local (paredes, techos y suelos) puede hacerse la siguiente clasificación:

- Muy bajo acristalamiento: menor del 1%
- Acristalamiento bajo: 1-4%
- Acristalamiento medio: 4-10%
- Elevado acristalamiento: 10-25%
- Muy alto acristalamiento: mayor de 25%

Como regla general, un acristalamiento elevado o muy alto puede provocar problemas de control térmico y deslumbramiento. Un acristalamiento bajo o muy bajo puede producir niveles de iluminación excesivamente bajos, especialmente donde predominan los cielos cubiertos, la contaminación atmosférica o donde los edificios adyacentes reducen la disponibilidad de luz natural.

Forma

Las formas de las ventanas puede diferir. Una primera aproximación es definir la relación entre altura y anchura. De este modo las ventanas pueden ser clasificadas como:

- Ventana horizontal: coeficiente de forma $^1/_2$
- Ventana vertical: coeficiente de forma 2
- Ventana intermedia: coeficiente desde $^1/_2$ a 2

La forma de la ventana influye principalmente sobre la distribución de la luz en el espacio iluminado, la calidad de visión y el potencial para la ventilación natural.

- Con ventanas horizontales la iluminación del interior es una banda paralela a la pared de la ventana, que produce poca diferencia en la distribución de la luz a lo largo del día, con poco deslumbramiento. La dimensión horizontal relativamente grande permite una vista panorámica.
- Con ventanas verticales la iluminación del interior es una banda perpendicular a la pared de la ventana, produciendo así una distribución luminosa muy variable a lo largo del día. Esta forma de ventana ofrece mejor iluminación en las zonas más alejadas de ella; sin embargo hay un mayor deslumbramiento. Las vistas exteriores son limitadas horizontalmente pero pueden contener una mayor profundidad de campo, combinando el fondo y las vistas a media y gran distancia.

Posición

La posición de una ventana puede ser descrita mediante la situación horizontal y vertical en la pared en la que está colocada.

Cuanto más alta está una ventana mayor es la profundidad de penetración de luz natural, lo que produce una mejor distribución en la sala iluminada. La altura de la parte inferior de la ventana determina la vista exterior.

Una ventana en posición central produce una mejor distribución de luz en el interior, mientras que una ventana en esquina provoca menos deslumbramiento.

Orientación

Con respecto a la orientación de una ventana, se hace referencia a la orientación geográfica ya que el trayecto del sol puede tener una gran influencia sobre la iluminación natural. Desde el punto de vista de iluminación, las ventanas orientadas al este y al oeste se consideran equivalentes y los efectos producidos son los mismos, aunque tienen lugar en diferentes momentos del día.

- Las ventanas orientadas al sur proporcionan niveles luminosos elevados y prácticamente constantes, elevada ganancia de energía en invierno y media en verano.
- Las ventanas orientadas al este y al oeste proporcionan niveles de iluminación medios, pero variables a lo largo del día, con elevada ganancia de energía en verano y baja en invierno.
- Las ventanas orientadas al norte proporcionan niveles luminosos bajos pero constantes a lo largo del día, y escasa ganancia de energía.

4.4 Componentes de control de la luz natural

Hay varios modos de controlar la cantidad y distribución de la luz natural que entra en un espacio:

- En primer lugar, el tamaño y posición de las aberturas de las ventanas en la fachada determina la mayor parte del potencial para utilizar la luz natural.
- En segundo lugar, las características de transmisión del acristalamiento determinan el máximo flujo de luz natural.

- En tercer lugar, los sistemas de control, que abarcan desde los elementos estáticos simples (como los voladizos) hasta los dinámicos (persianas, cortinas o acristalamientos regulables) y las combinaciones de ambos. Las soluciones correctas comienzan con los sistemas estáticos y la posterior incorporación de los elementos dinámicos en aquellos lugares en que sean necesarios.

De entre los múltiples sistemas de control de la luz natural, es conveniente resaltar aquí algunos de los más importantes:

Tabique divisorio

Un tabique tradicional o simple es definido como un elemento de control colocado en un componente de paso que divide dos ambientes, permitiendo que la vista y la luz pasen a su través.

Se compone de un bastidor que soporta una o varias superficies transparentes que pueden ser de vidrio, policarbonato, material acrílico o poliéster.

División óptica

La división óptica es un elemento de control que permite el paso de la luz, pero no la visión, colocado en un componente de paso que divide dos ambientes y modifica las características de la radiación que pasa a su través.

La luz natural pasa a través de esta división y se difunde, cambia de dirección o controla su intensidad, dependiendo de las características de la división.

Está formada por un bastidor que soporta una o varias superficies tratadas, vidrios coloreados, espejeados, translúcidos y películas termocrómicas u holográficas.

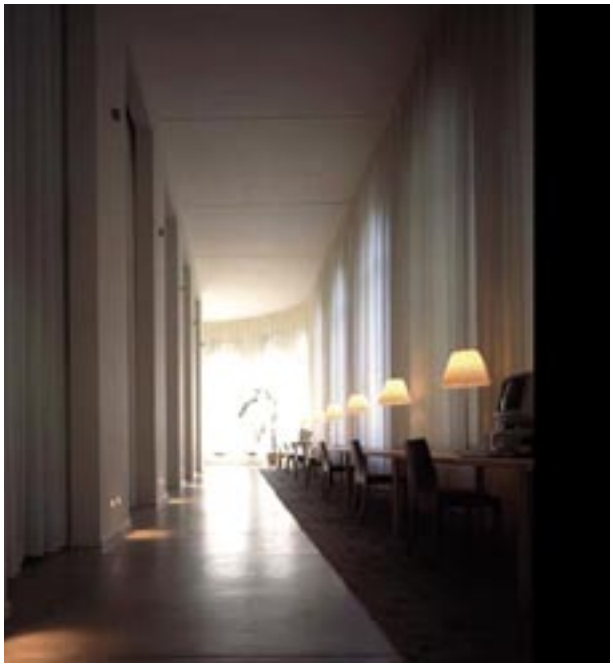
Toldo

Un toldo es un elemento de control de luz hecho de un material flexible opaco o difusor colocado en el exterior de un componente de captación para obstaculizar o difundir la radiación solar directa.

Proporciona una iluminación de bajo contraste en la zona próxima al toldo y una sombra parcial o total para la ventana cuando así se requiere. Su modo de proteger de la luz solar permite evitar la penetración directa sin impedir la visión del exterior.

Cortina

Es un elemento de control, hecho de un material flexible o rígido, colocado en el interior de una abertura para proteger contra la visión a su través y para proteger las zonas interiores próximas a la abertura, obstaculizando total o parcialmente o difundiendo la radiación solar.



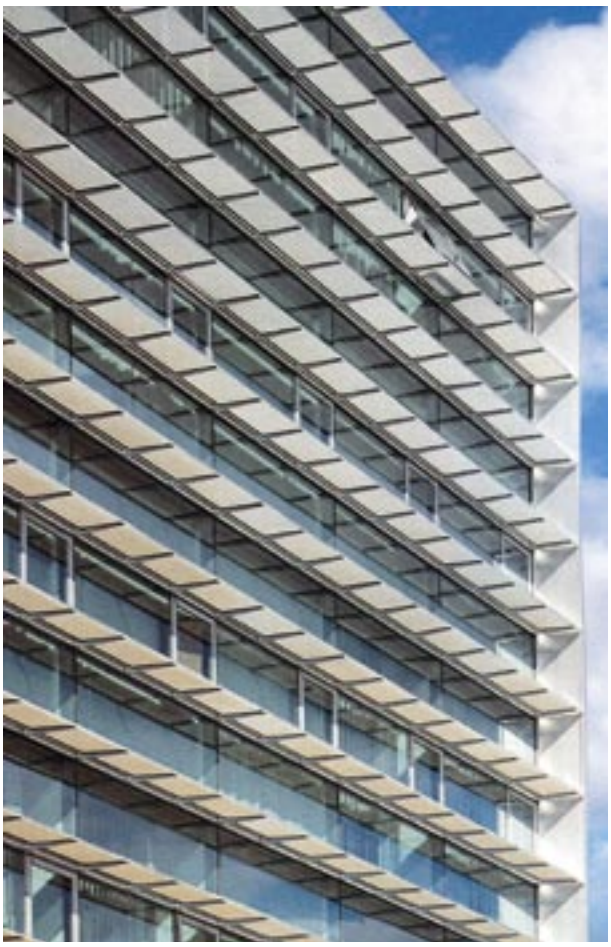
Puede enrollarse o retirarse lateralmente, dejando la ventana abierta a la radiación y a la visión cuando se desee. Puede ser opaca para oscurecer totalmente el interior.

Persiana

La persiana es un elemento exterior o interior que se dispone en las ventanas para controlar la penetración de la luz solar directa o incluso de la luz natural.

Voladizo

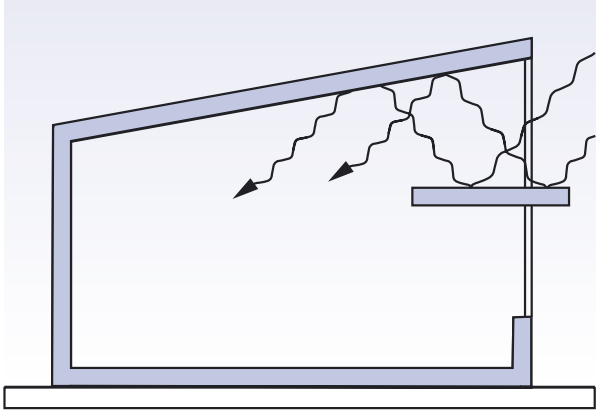
Es una parte del edificio que sobresale horizontalmente de la fachada por encima de un elemento de entrada de luz natural.



Protege las zonas próximas a las aberturas del edificio, obstruyendo la radiación solar directa de ángulos elevados. Da como resultado un nivel de iluminación interior menor y proporciona apantallamiento solar.

Estantes de luz

Está generalmente colocado horizontalmente por encima del nivel de los ojos, en un elemento vertical de entrada de luz, dividiéndolo en una sección superior y otra inferior.



Protege las zonas interiores próximas a las aberturas contra la radiación solar directa y dirige la luz que incide sobre la superficie superior al techo interior. Proporciona así sombra en verano y hace la distribución luminosa interior más uniforme.

Alféizar

Es un elemento colocado horizontalmente en la parte inferior de una abertura de una ventana. Puede reflejar y dirigir la luz natural que incide sobre él a fin de aumentar el nivel luminoso en el espacio interior.

La inclinación puede ser elegida de acuerdo con el ángulo del sol. Puede producir deslumbramiento cuando está situado por debajo del nivel de los ojos.

Apantallamiento vertical

Es un elemento de control situado en el exterior de la fachada de un edificio y fijado verticalmente sobre uno o ambos costados de la abertura.

Intercepta la radiación directa que incide sobre la ventana.

Celosía

Una celosía se define como un elemento exterior o interior compuesto por láminas situadas en la totalidad de una abertura vertical.

Las láminas pueden ser fijas o móviles; cuando son móviles pueden ser ajustadas de acuerdo con el ángulo del sol y con los requisitos del apantallamiento. Las láminas pueden estar hecha de materiales de construcción, cuando se encuentran en el exterior, o de otros materiales cuando se encuentran en el interior.

Paralúmen

Los paralúmenes son una serie de lamas paralelas horizontales o verticales exteriores que pueden ser fijas o regulables. Así, cuando las lamas están cerradas forman un panel, actuando como una obstrucción solar que puede oscurecer totalmente el ambiente interior.

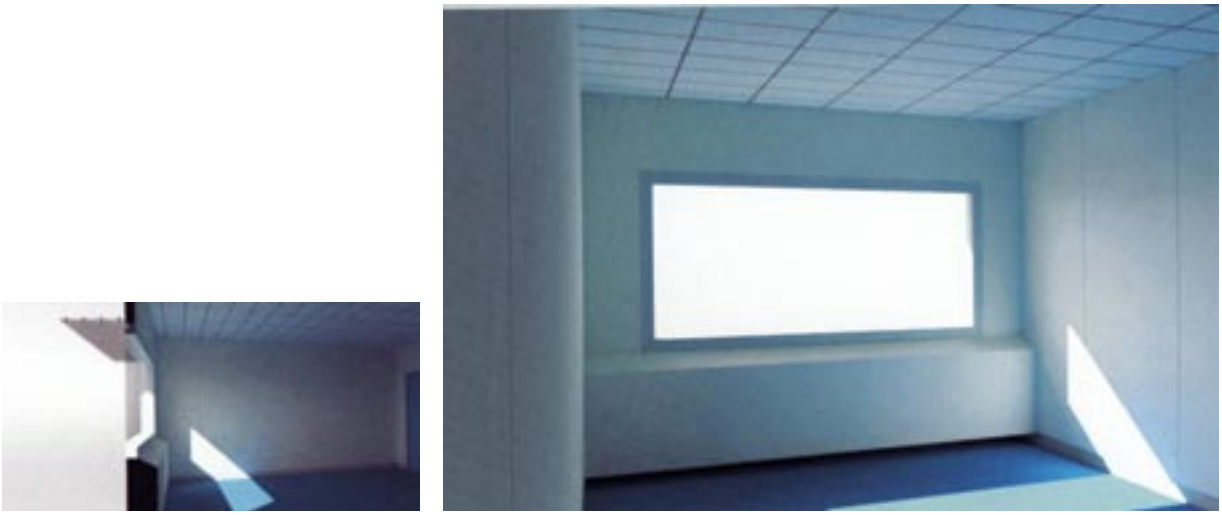
Resumiendo, hay elementos estáticos y dinámicos para el control de la luz natural y a su vez estos elementos pueden ser interiores y exteriores. La posición y diseño de los elementos fijos que forman parte de los sistemas de luz natural, tales como voladizos y estantes de luz, se basan en la trayectoria solar. Son parámetros importantes la orientación y los obstáculos de la fachada.

Desde el punto de vista de la carga térmica los elementos de control de la luz natural, según sean exteriores o interiores, tedrán un comportamiento diferente.

4.4.1 Modos de controlar la penetración de luz natural con componentes diseñados para ello.

A continuación se recogen mediante tres ejemplos las consecuencias de algunos de los sistemas de control de luz natural más comunes en los edificios hoy día.

La ventana sin protección de la luz solar directa crea demasiado contraste en el interior de la sala



La ventana con voladizo es suficiente en posiciones cenitales del sol, pero en posiciones más bajas permite aún demasiado contraste

Ventana con voladizo y persianas horizontales

Este último caso, ventana con voladizo y persianas horizontales, proporciona buena protección contra la luz solar directa y con una adecuada posición de las lamas divide la luz natural en una componente ascendente y otra descendente, contribuyendo la primera a reflejarse en el techo e iluminar la sala a mayor distancia de la ventana.

En las oficinas las persianas pueden ser horizontales o verticales. Se prefieren los materiales ligeros y difusores, ya que los oscuros afectan negativamente a la relación de luminosidad de la fachada y los materiales reflectantes proyectarán puntos brillantes sobre las paredes y el techo. Las lamas que componen la persiana deberán ser estrechas, ya que cuanto más anchas son, mayores y más incómodos serán los contrastes de luz y sombra. Las persianas estilizadas, horizontales y de colores claros son las que ofrecen el mejor control sobre la luminosidad y la distribución de la luz.

La mayoría de los sistemas de control de la luz natural reducirán el nivel medio de iluminación natural en la sala, por lo que una combinación de demasiados sistemas puede dar lugar a una superficie de entrada de luz en la fachada mayor de lo aceptable desde el punto de vista térmico.

Como ya se ha enunciado, el aspecto más importante de la abertura es su tamaño y su emplazamiento. En los atractivos edificios transparentes actuales, muchos de los problemas de iluminación se deben a las excesivas dimensiones de las áreas acristaladas. Sin los sistemas de apantallamiento apropiados, se crearán amplias superficies brillantes y una iluminación por reflexión, de manera que los usuarios tenderán siempre a tener cerradas las persianas. Con ello el edificio transparente terminará siendo opaco. (Para evitar el exceso de luz en las superficies y la iluminación por reflexión, se recomienda limitar la luminancia en la mesa de trabajo y en la ventana a un máximo de 200 cd/m^2 y 2000 cd/m^2 respectivamente).

En cuanto a los ventanales, también ocasionan problemas térmicos que suelen ser resueltos con cristales o láminas termorreflectantes. Estas láminas crean a su vez otro problema visual que es la alteración leve del color de la luz solar, produciendo la sensación de que el mundo exterior es sombrío y monótono.

Deben evitarse los elementos de color oscuro en la fachada, por ejemplo en los cercos de ventanas o persianas. La razón es que los contrastes producen

"ruido visual" que obliga a la vista a adaptarse continuamente, lo que resulta fatigoso y al mismo tiempo un motivo innecesario para cerrar las persianas.

En el peor de los casos (cielo totalmente cubierto), el diseño de las ventanas debe garantizar como aportación mínima la mitad de la luz diurna requerida.

4.4.2 Sistemas manuales de control de la luz natural

Estos sistemas permiten que el usuario controle manualmente la cantidad y calidad de la luz natural en las salas. Pueden variar desde cortinas tradicionales difusoras, persianas interiores o exteriores o incluso integradas en el acristalamiento de la ventana, hasta sofisticados sistemas de apantallamiento de la luz destinados a optimizar la cantidad y calidad de la incidencia de la luz natural.

4.4.3 Sistemas automáticos de control de la luz natural

Los sistemas automáticos pueden realizar las mismas acciones que los sistemas manuales, inclinando o girando láminas horizontales/verticales, bajando o subiendo cortinas, haciendo girar sistemas de seguimiento del sol, etc., y todo ello motivado por una causa externa, tal como la aportación de luz solar directa o la incidencia de luz solar en un ángulo inadecuado para la iluminación interior de la sala.

Los sistemas de control que responden a la luz natural consisten en detectores o sensores, que miden el flujo incidente, y un sistema de control que actúa de acuerdo con la señal del elemento detector. Un ejemplo de estos sistemas son los apantallamientos controlados en base a la incidencia de la luz solar directa, que usan un detector situado en el tejado que mide la radiación total sobre una superficie y controla la inclinación de las lamas.

4.5 Lista de comprobación para llevar a cabo un buen diseño en la edificación

4.5.1 Diseño del edificio y su ubicación

a) Elección del lugar de emplazamiento.
b) Consideración de las obstáculos exteriores.
c) Consideración de la orientación del edificio.
d) Elección de la forma y dimensiones apropiadas del edificio.
e) Elección de las estrategias de acondicionamiento, etc.
f) Consideración de la distribución interna del edificio.
g) Diseño de los huecos acristalados.

g.1) En espacios iluminados con luz natural:

g.1.1 Comprobación de la profundidad de la sala en relación con la línea desde la que no se ve el cielo.

- Si ambos coinciden, todo el espacio puede ser iluminado con luz natural.
- Si no lo hacen, debe elegirse el tamaño de la ventana para satisfacer el factor de luz natural medio buscado.

g.1.2 Elección del tipo de acristalamiento y su carpintería.
g.1.3 Revisión de implicaciones térmicas del tamaño de la ventana.
g.1.4 Revisión de implicaciones de la ventana desde el punto de vista de ventilación.
g.1.5 Elegir dispositivos de apantallamiento apropiados para controlar el deslumbramiento y la ganancia solar.
g.1.6 Revisión de las implicaciones del hueco en relación con objetos sensibles a la incidencia de luz y radiación.
g.1.7 Selección del sistema de iluminación artificial.
g.1.8 Decisión sobre la mejor estrategia de control del alumbrado artificial.

g.2) Exigencias especiales para rehabilitación de edificios:

g.2.1 Comprobación de la profundidad de la sala en relación con la línea desde la que no se ve el cielo.

- Si los valores no son satisfactorios, considerar la necesidad de claraboyas o de un atrio o mejorar el alumbrado artificial.
- Si los valores son satisfactorios, considerar el incremento de las reflectancias internas, el tamaño de las ventanas, o sustituir acristalamientos tintados por transparentes.

g.2.2 Si hay demasiado deslumbramiento, elegir dispositivos de apantallamiento apropiados.
g.2.3 Si hay demasiada ganancia térmica solar, elegir dispositivos de apantallamiento apropiados o cambiar el tipo de acristalamiento. Alternativamente, reducir el área de ventanas.
g.2.4 Si el alumbrado con luz natural del edificio es correcto pero el alumbrado artificial está continuamente en uso, decidir sobre la mejor estrategia de control del alumbrado artificial, seleccionar el tipo de control de alumbrado y especificar la instalación y ejecución.

5

Materiales y acabados en diseño de interiores

Materiales y acabados en diseño de interiores

En este capítulo se presentará información sobre los principios básicos de las características de los materiales empleados en interiores. Se sugiere una clasificación de materiales traslúcidos y opacos a fin de ayudar a los diseñadores a elegir los materiales más apropiados y para satisfacer los requisitos de sus técnicas de alumbrado con luz natural seleccionadas. También se incluye un pequeño repaso de nuevos productos, presentados a fin de mostrar los últimos avances y las nuevas direcciones potenciales a seguir.

Los materiales se describen a fin de:

- Distribuir su conocimiento de modo más amplio.
- Proporcionar a los diseñadores un mayor conocimiento del impacto de su elección.
- Proporcionar una guía para el uso de materiales en el diseño eficiente de alumbrado con luz natural.

5.1 Caracterización de la fotometría de superficies

En lo que se refiere a las limitaciones, la transmisión a través de un material puede ser caracterizada cuando la curva de intensidad y la distribución de longitudes de onda son identificadas para cada haz incidente posible (ángulo de incidencia, longitud de onda).

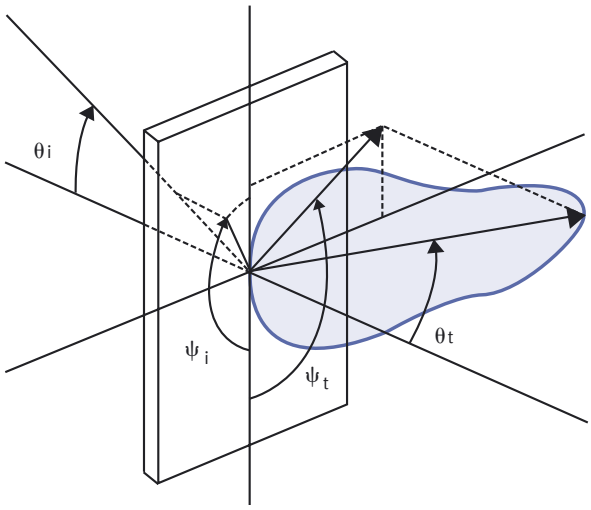


Fig. 5.1 Características de transmitancia o reflectancia de la luz natural

De forma general deben describirse los materiales ya que su efecto sobre la penetración y distribución de la luz natural es crucial. En particular es importante concentrarse en:

- Coeficientes de reflexión o transmisión difusa iluminados con luz difusa (luz uniforme).
- Coeficientes de reflexión o transmisión difusa iluminados con luz de haz directo (dependiendo del ángulo de incidencia).
- Reflexión o transmisión especular en función del ángulo de incidencia.
- Forma de la curva de distribución de intensidad, que determinará la apariencia del material: mate, brillante, especular o complejo.
- Cambio de color de la luz después de reflexión o transmisión.

5.1.1 Clasificación

Pocos fabricantes de paramentos de paredes y suelos proporcionan información relativa a las propiedades reflectantes de sus materiales. Las superficies mate (tales como pinturas mate) pueden ser descritas mediante su coeficiente de reflexión difusa. Con respecto a los cálculos del alumbrado con luz natural, el efecto fundamental es el impacto que tienen sobre el cálculo de la componente reflejada interior (IRC) del factor de luz natural.

Las superficies de paredes interiores, techo y suelo no son sólo superficies opacas sin interés; de hecho los diseñadores parecen preferir cada vez más un mejor control de la luz natural que penetra en un edificio, particularmente con técnicas de iluminación solar. Tales soluciones tienden a usar superficies muy reflectantes, como espejos o pintura brillante. Los espejos pueden caracterizarse mediante su coeficiente de reflexión especular.

Las superficies brillantes reflejan una dispersión próxima al máximo en la dirección de reflexión especular. La longitud de este pico caracteriza la intensidad de esta reflexión; la anchura establece un intervalo entre espectacularidad y difusión.

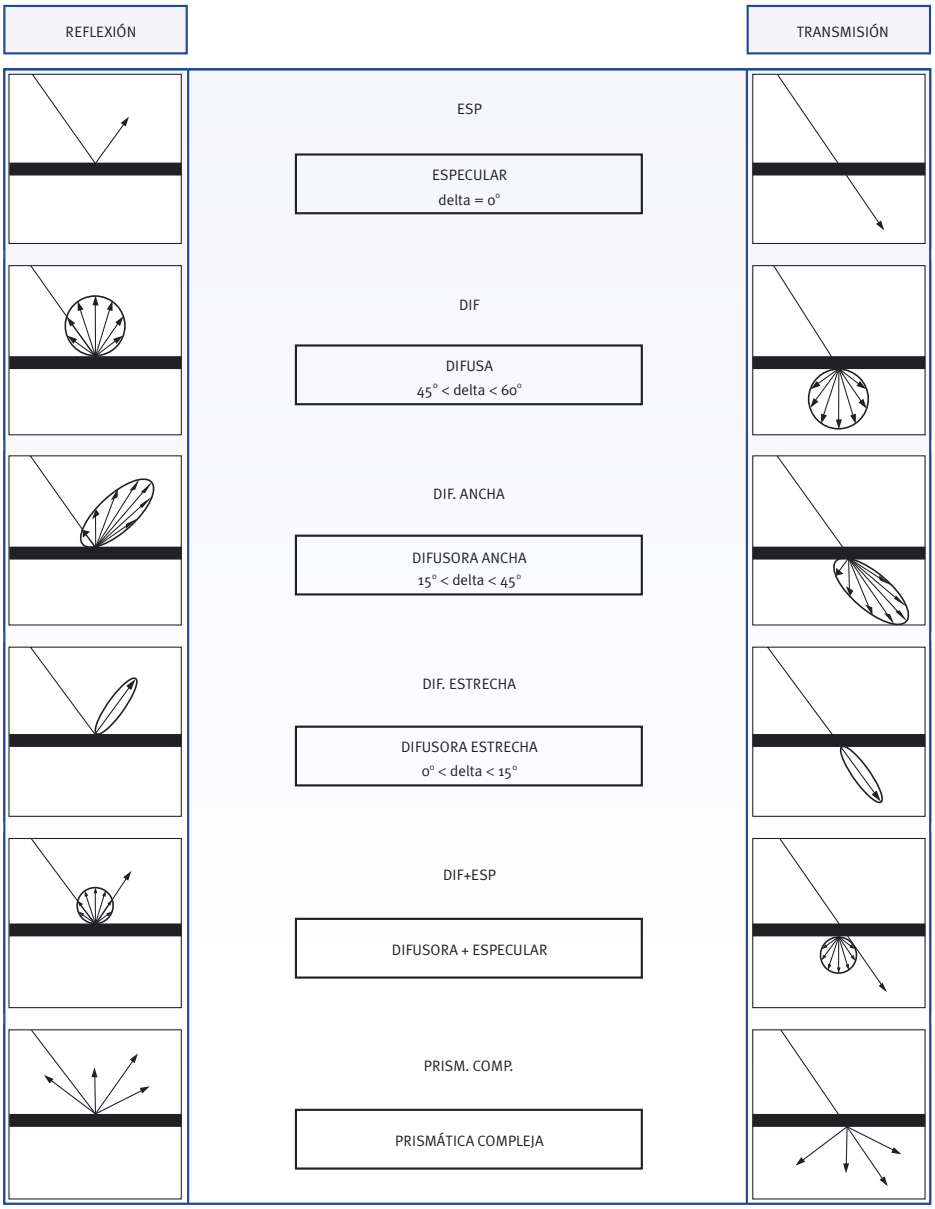
Hay tres parámetros necesarios para describir la mayor parte de las superficies corrientes:

- La reflectancia difusa.
- La reflectancia especular.
- La reflectancia difusora o dispersa.

Cada uno de los niveles de dispersión descritos a continuación puede observarse fácilmente:

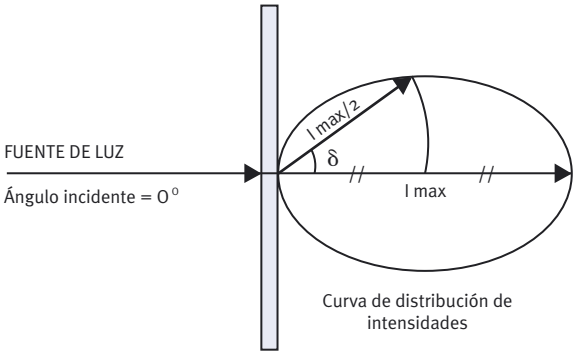
- La reflexión especular permite ver la imagen exacta de la fuente.
- Una dispersión baja permite la percepción de un punto brillante correspondiente a una fuente luminosa; la imagen no puede verse.
- En el caso de una dispersión elevada, no puede verse un punto brillante y la luz es reflejada de una manera no muy uniforme.

Las superficies de baja dispersión reflejan la luz de un modo más suave que los espejos; las superficies de alta dispersión permiten poco control de la reflexión de la luz pero pueden proporcionar protección contra el deslumbramiento.



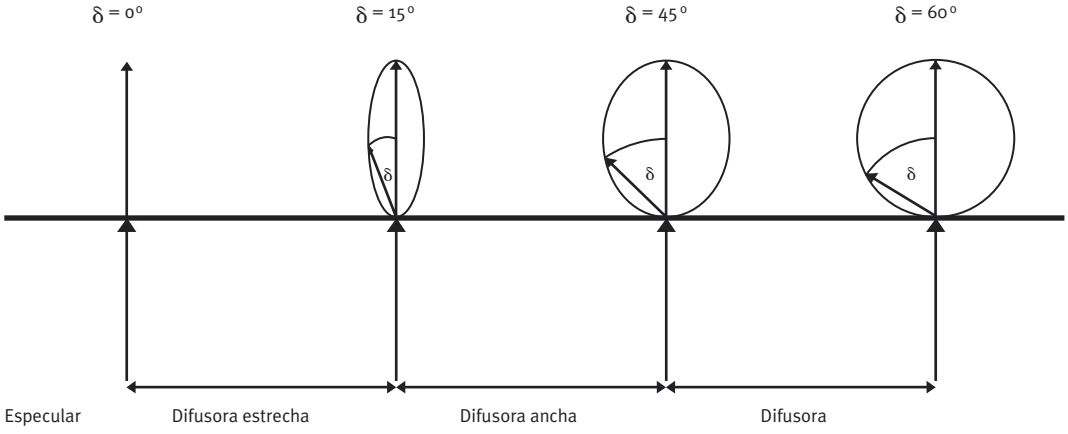
Ángulo de dispersión

Se propone el siguiente parámetro para caracterizar la dispersión.



El ángulo de dispersión, δ, es el ángulo formado por la dirección de intensidad máxima I_{max} de luz transmitida o reflejada y la dirección de intensidad de valor $I_{max}/2$ cuando la curva de distribución de intensidad puede suponerse simétrica alrededor de la dirección de la intensidad máxima.

En la figura siguiente pueden verse las clasificaciones típicas según los distintos valores del ángulo de dispersión:



- Si la reflexión o transmisión es perfectamente difusa, δ = 60º.
- Si δ está próximo a 0º, la reflexión o transmisión es considerada especular.
- Si δ está comprendido entre 0 y 15º, la reflexión o transmisión es difusora estrecha.
- Si δ está comprendido entre 15º y 45º, la reflexión o transmisión es difusora ancha.
- Si δ está comprendido entre 45º y 60º, la reflexión o transmisión puede ser considerada como difusora.

Se sabe que la luz transmitida puede seguir diseños extremadamente complejos, dependiendo de la dirección de la luz incidente. Los materiales celulares ofrecen un amplio margen de tales diseños de transmisión que, dependiendo de su tratamiento superficial, pueden ser especulares (puede verse la imagen a su través) u ofrecer una dispersión baja o alta. Se ha mostrado que los materiales corrugados presentan diseños complejos de luz transmitida.

Otra categoría de clasificación que puede ser mencionada es la especularidad. Al presente nivel de investigación parece que sólo pueden ser determinadas consideraciones cualitativas asociadas con los diseños de transmisión de luz. La clasificación presentada corresponde a diferentes aplicaciones, dependiendo del comportamiento esperado entre los requisitos de percepción ambientales exteriores y la distribución esperada de luz transmitida.

Configuración experimental para clasificación

Se describe un sistema que permite determinar fácilmente el modo en que los materiales distribuyen la luz. El principio es comparar el material que se va a probar con un material de referencia, cuyas características de distribución son conocidas. Ajustando el diafragma hasta que el ojo percibe la misma iluminancia transmitida o reflejada, se establece el modo en que el material distribuye la luz, de una forma lo bastante precisa para clasificarlo en una de las categorías. El método es bastante preciso y si se trabaja con un diafragma variable, se aumenta aún más la precisión.

5.2 Color y características

El color de la luz está asociado con la percepción psicológica del flujo luminoso recibido desde diferentes superficies. Este flujo puede ser descrito por la distribución del flujo espectral sobre el espectro visible.

Se han propuesto muchos sistemas para la caracterización de los colores, pero se ha adoptado el descrito por la CIE que consiste en su caracterización comparándolo con una fuente luminosa coloreada de referencia que usa una mezcla de tres fuentes de color de referencia.

Con respecto a las técnicas de diseño de luz natural, el color de los materiales no es en sí un punto de interés; sin embargo, el efecto de los materiales sobre el color del ambiente interior debe ser conocido, ya que los ocupantes podrían reaccionar negativamente a un color de luz inapropiado.

Por lo que se refiere a la apariencia o temperatura de color, ya se ha descrito ampliamente este término (véase el apartado 3.6).

5.3 Acristalamientos

Los materiales de acristalamiento, usualmente vidrio pero a veces plásticos especialmente desarrollados, están disponibles en un amplio margen de espesores, en forma transparente o tintada, en configuraciones de simple o múltiple acristalamiento. Todas ellas pueden combinarse para proporcionar al diseñador un amplio margen de prestaciones.

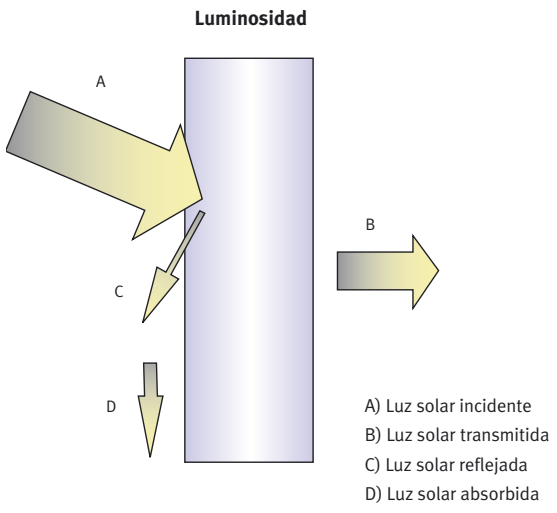


Fig. 5.5 Distribución espectral de la luz solar

A la hora de diseñar un edifico se ha de tener muy en cuenta el tipo de acristalamiento elegido, prestando especial atención a su comportamiento ante la luminosidad (véase figura 5.5) y la energía de la luz solar (véase figura 5.6).

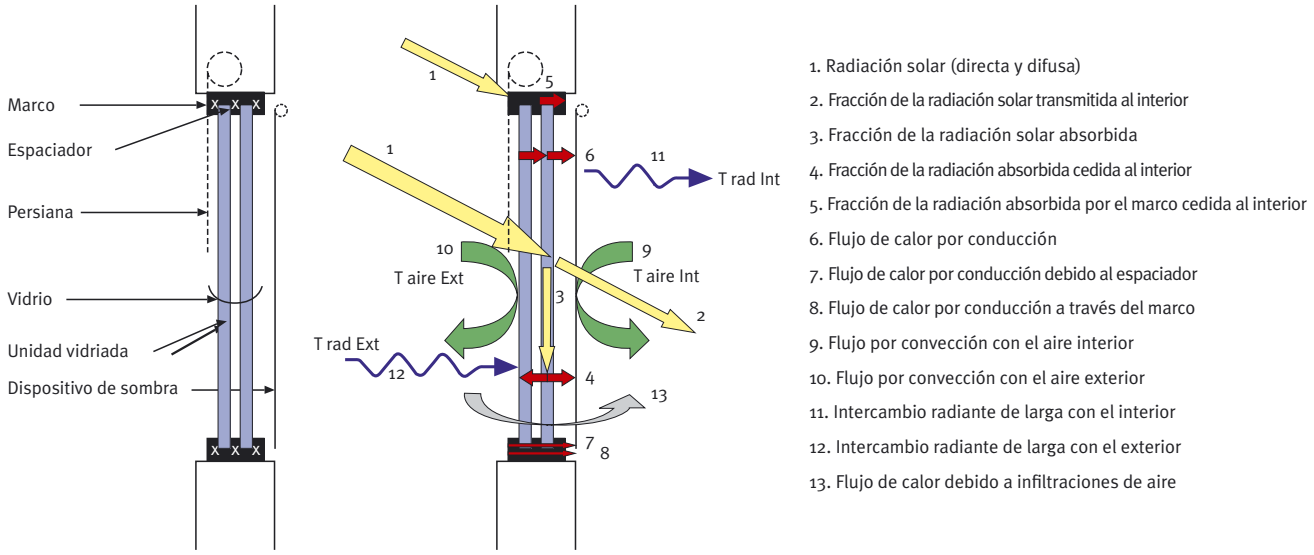


Fig. 5.6 Flujos de calor en un acristalamiento

5.3.1 Magnitudes características de los acristalamientos

Existe una gran cantidad de magnitudes que describen las características de los materiales de acristalamiento en el campo de la luz y de la radiación:

- Transmitancia espectral.
- Reflectancia espectral.
- Transmitancia luminosa para un iluminante estándar.
- Reflectancia luminosa para un iluminante estándar.
- Transmitancia radiante para radiación global.
- Reflectancia radiante para radiación global.
- Transmitancia a los UV para radiación global.
- Transmitancia de energía total.
- Color de la luz natural transmitida/reflejada.
- Índice de rendimiento cromático de la luz natural transmitida.

Sin embargo, en lo que al aprovechamiento de la luz natural se refiere, son dos las características de los vidrios que hay que tener muy en cuenta:

- Transmisión luminosa del vidrio: coeficiente que expresa el porcentaje de luz natural, en su espectro visible, que deja pasar un vidrio.
- Factor solar: energía térmica total que pasa a través del acristalamiento a consecuencia de la radiación solar, por unidad de radiación incidente.

La importancia de estas dos magnitudes radica en que muy a menudo se requiere que un acristalamiento permita la máxima transmisión de luz con una baja transmisión de calor radiante solar; es decir, que el vidrio tenga una alta transmisión solar con el mínimo factor solar posible.

Grupo	Tipo	Espesor Vidrio (mm)	Espesor Cámara Aire (mm)	Coeficiente Transmisión luminosa	Factor solar	Transmitancia (W/m².K)
Simple	Claro	3		0.90	0.89	5.85
		4		0.89	0.85	5.8
		6		0.89	0.85	5.7
Doble	Claro-Claro	4	6	0.79	0.77	3.3
		4	12	0.79	0.77	2.9
		4	18	0.79	0.77	2.7
		6	6	0.88	0.72	3.4
		6	8	0.88	0.72	3.2
		6	12	0.88	0.72	3.0
Doble reflectante	Claro	6	12	0.55	0.30	1.8
	Plata	6	12	0.30	0.32	1.8
	Verde	6	12	0.23	0.21	1.8
	Verde oscuro	6	12	0.20	0.18	1.8
	Bronce	6	12	0.18	0.23	1.8
	Azul	6	12	0.16	0.20	1.8
	Gris	6	12	0.14	0.21	1.8
Doble Bajo emisivo	Claro	4	6	0.77	0.65	2.5
		4	12	0.77	0.65	1.8
		4	18	0.77	0.65	1.5
		6	6	0.67	0.52	2.4
		6	8	0.67	0.52	2.3
		6	12	0.67	0.52	1.8
	Reflectante	4	6	0.75	0.54	2.5
		4	12	0.75	0.54	1.6
		4	18	0.75	0.54	2.4
Triple	Claro	6	6			2.4
		6	8			2.3
		6	12			2.2

A modo informativo, en la tabla anterior se muestran los valores más típicos de estas dos magnitudes para diferentes tipos de vidrios. En algunos casos para vidrios tintados, sólo se recogen los valores extremos (claro o gris) entre los que se distribuirían la totalidad de gamas de colores existentes.

5.3.2 Tipos de vidrios para acristalamientos

Es conveniente dividir los vidrios en seis tipos fundamentales, no mutuamente exclusivos, que pueden ser usados en varias combinaciones para conseguir las características de prestaciones finales deseadas:

- Transparente.
- Tintado en la masa.
- Revestido o modificado superficialmente.
- Texturizado y con diseño.
- Armado con alambre.
- Estratificado o laminado.
- Acristalamientos prismáticos.

Vidrios transparentes

En la figura 5.7 se muestra el comportamiento del vidrio transparente a la radiación de diferentes longitudes de onda.

El vidrio transparente proporciona una elevada transmisión de luz natural pero también permite que una elevada proporción de calor radiante solar pase a su través al edificio. La mayor parte de los desarrollos en los tipos de acristalamiento durante los 40 últimos años se han dirigido a modificar las características de transmisión de calor radiante solar del vidrio transparente.

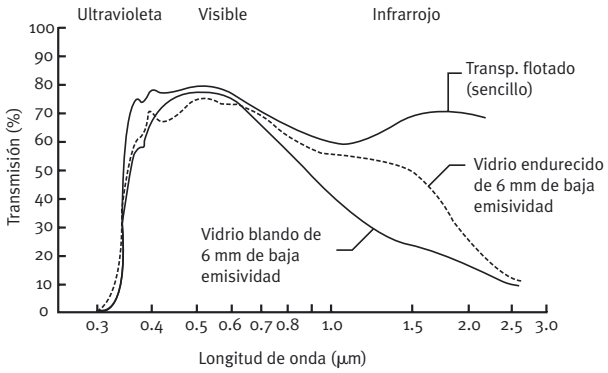


Fig. 5.7 Comportamiento del vidrio transparente a la radiación

Vidrios tintados en masa

Son vidrios cuya formulación de vidrio transparente básica es modificada añadiendo pequeñas cantidades de materiales adicionales a la mezcla, para producir vidrios que tienen diferentes características de transmisión de luz y de calor radiante solar acopladas con diferentes colores.

Esto significa que cuanto más grueso es el vidrio menor será la transmisión de luz y de calor radiante total.

Los colores típicos son verde, gris y azul. Los tintes verdes se consiguen aumentando la proporción de óxido de hierro en la mezcla del vidrio mientras que el gris se consigue añadiendo óxido de cobalto. El óxido de selenio produce el tinte bronce y para el color azul se añade óxido de cobalto.

Vidrios revestidos y modificados en su superficie

La mayoría de los vidrios revestidos se basan en capas microscópicamente delgadas de óxidos metálicos en distintas combinaciones, para mejorar las propiedades de reflexión de la superficie tratada y reducir así la transmisión de calor radiante solar del vidrio. Los vidrios revestidos y modificados en su superficie no solamente tienen propiedades de transmisión modificadas sino que también tienen emisividades superficiales modificadas, que dan como resultado características de aislamiento térmico mejoradas.

Vidrios con diseño o textura

Son fabricados en el proceso de laminación cuando una banda de vidrio semifundida es hecha pasar entre unos rodillos metálicos, uno de los cuales tiene el diseño requerido grabado en él. De este modo pueden aplicarse diseños pesados y texturas ligeras.

Vidrios armados

Se usa un proceso similar al anterior: dos bandas de vidrio son hechas pasar entre rodillos metálicos con una tela metálica emparedada entre ellas; la totalidad es fundida junto con el vidrio, mientras éste está aún en su estado semifundido.

Bloques de vidrio

Son usados en una variedad de situaciones como alternativa al acristalamiento tradicional. Paneles de bloques de vidrio pueden ser usados como elementos estructurales: los bloques de vidrio son unidades de doble acristalamiento efectivo con espacios de aire, siendo las prestaciones de aislamiento frecuentemente inferiores a las de la ventana tradicional.

Vidrios estratificados o laminados

Son producidos emparedando una lámina de plástico entre láminas de vidrio. El producto de acristalamiento resultante posee unas características de seguridad mejorada en el caso de impacto físico o resistencia perfeccionada a un ataque vandálico. Los vidrios de protección contra la radiación UV pueden ser producidos de este modo.

Acristalamientos prismáticos

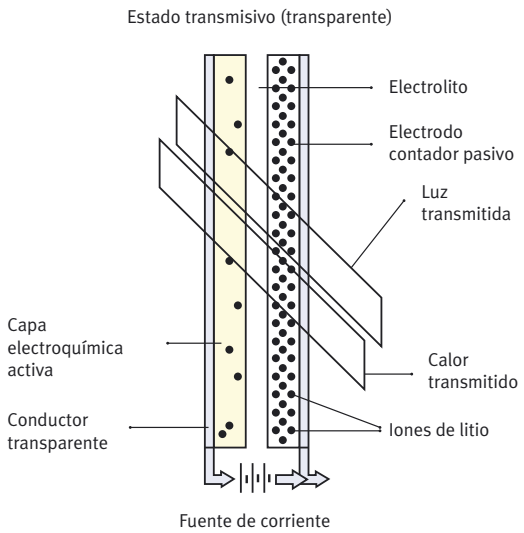
El vidrio o cristal prismático (o plástico) controla la luz transmitida por refracción y puede ser utilizado para volver a dirigir o excluir la luz solar. La dirección de la que proviene la luz natural es cambiada a su paso a través de una matriz de prismas o cuñas triangulares, cuya geometría puede ser diseñada para condiciones y orientaciones particulares. El cristal prismático es translúcido en lugar de transparente, así que no puede ser utilizado donde se requiere una vista del exterior. En distintas aplicaciones recientes ha sido utilizado para reducir el deslumbramiento. Normalmente un panel reflectante prismático consiste en dos láminas con sus caras prismáticas enfrentadas entre sí para protegerlas de la acumulación de polvo. Las láminas prismáticas pueden también ser utilizadas dentro de unidades de doble acristalamiento.

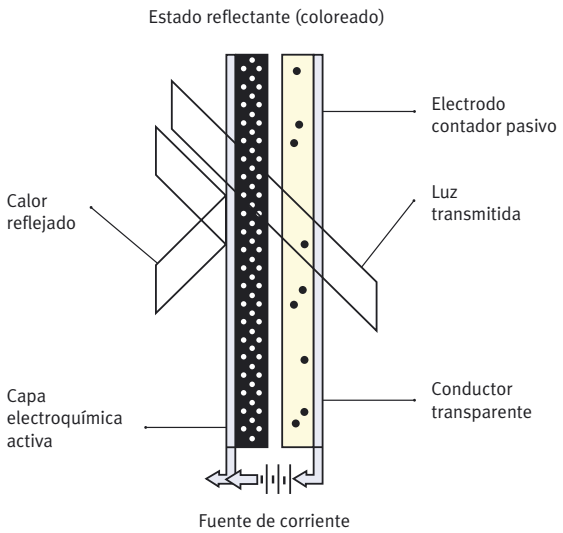
Aunque las propias láminas son económicas de fabricar, el coste de la construcción total es más elevado que para el acristalamiento convencional.

Últimas tecnologías

Los desarrollos recientes incluyen los vidrios cromogénicos sensibles.

Los cristales electrocrómicos cambian sus propiedades de absorción óptica y se oscurecen en respuesta a un campo eléctrico aplicado exteriormente. La opacidad desaparece cuando el campo es inverso. Puede ser fácilmente integrado en un sistema de control de clima de un edificio, pero el coste del cristal es muy elevado y, actualmente, la vida de una unidad es muy corta para el uso práctico en la industria de la construcción.





El cristal termocrómico cambia entre un estado de transmisión de color y un estado de reflexión de color en umbrales de temperatura seleccionados. El cristal fotocrómico se oscurece e ilumina en respuesta a cambios en la intensidad de la luz. Los costes materiales de ambos son elevados y la durabilidad en este momento es incierta.

5.3.3 Transmitancia de luz y calor del acristalamiento

A menudo la acción buscada con un acristalamiento es el bloqueo de radiación selectivo. El vidrio al que se le ha aplicado una película holográfica no bloquea la radiación sino que la difracta. Las ventanas con película holográfica pueden ser diseñadas para dirigir la entrada de luz solar a una superficie reflectante, tal como el techo, o a la profundidad de una sala. Puede también diseñarse una película para reflejar la luz solar que proviene de ángulos bien definidos: ángulo de sol alto, en las fachadas sur, o de un ángulo solar bajo, en las fachadas este y oeste, por ejemplo. Una vista exterior a través de la ventana desde ciertos ángulos de visión produce un efecto arco iris. Sus prestaciones para difundir la luz son pobres, pero la investigación continúa. Los costes no son elevados, pero por el momento la película holográfica no está disponible en los tamaños necesarios para la industria de la construcción.

Aislamiento transparente

Los materiales aislantes transparentes (TIM), que tienden a ser translúcidos más que verdaderamente transparentes, han sido desarrollados principalmente como materiales aislantes para estructuras de pared. Utilizados como una hoja exterior evitan las pérdidas de calor desde el interior, mientras permiten que la radiación solar alcance una hoja interior que almacena calor.

Hay distintas categorías de TIM, que utilizan materiales diferentes y una gran variedad de formas (espuma, capilar, laberinto, fibra y gel). La mayor parte necesita la protección en uno u ambos lados con vidrio o láminas de plástico. La transmisión de luz de TIM se extiende desde el 45% al 80%, con una reducción de aproximadamente el 8% por cada lámina de cristal protector

utilizado. Los valores de aislamiento son mucho mejores que para el cristal. Por ejemplo, la poliamida de laberinto hexagonal de 98 mm TIM tiene un factor de transmisión de luz del 61%, combinado con un valor aislante cinco veces mayor que una ventana de doble cristal.

5.4 Revestimientos y acabados superficiales en interiores

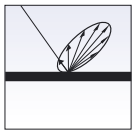
5.4.1 Propiedades fotométricas

A menudo se supone que las propiedades fotométricas de las superficies interiores son difusas, especialmente en la mayor parte de las ecuaciones y programas de simulación del alumbrado. De hecho, aunque pocos acabados llegan a ser totalmente difusores, la mayor parte de las pinturas mate presentan una cierta dispersión (dispersión ancha).

Difusa

Hay solamente un pequeño número de materiales perfectamente difusos, de entre los cuales se pueden mencionar:

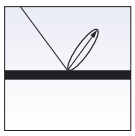
- Moquetas.
- Terciopelo, visto desde ángulos particulares.
- Paneles de fibra de mineral.
- Hormigón poroso o granular.
- Césped.



Dispersión o difusión ancha

La mayor parte de los materiales superficiales que se emplean en edificios pertenecen al encabezamiento "dispersión ancha". Tales materiales difunden la luz que reciben, pero la luz reflejada retiene una dirección general que depende de la dirección de la luz incidente. Los siguientes materiales tienen estas características:

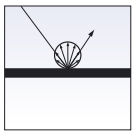
- Pinturas mate.
- Tejidos de poliéster.
- Hormigón.
- Todas las superficies mate.



Dispersión o difusión estrecha

Bajo el encabezamiento de "dispersión estrecha" se clasifican todos los tipos de materiales que presentan una apariencia brillante, sin producir una reflexión distinta de la fuente de luz:

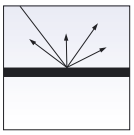
- Pinturas satinadas.
- Algunos revestimientos plásticos.



Especular y difusa

Todos los materiales y superficies que pueden reflejar perfectamente una imagen distinta de la fuente de luz, sin ser considerados como materiales reflectantes, son considerados como tipos "especular y difusor". La reflexión especular se debe principalmente a las características de revestimiento superficial, mientras que la componente de reflexión difusa depende fundamentalmente de la naturaleza de la capa subyacente. Pertenecen a este grupo:

- Superficies lacadas.
- Superficies barnizadas.
- Superficies muy pulidas.
- Algunos tipos de superficies estratificadas.



Prismática compleja

Bajo este encabezamiento están todos los materiales reflectantes que presentan superficies no uniformes y no planas; en ellos la luz es reflejada y distribuida aleatoriamente, tal como ocurre con:

- Superficies corrugadas.
- Superficies reflectantes irregulares.
- Metal martilleado.
- Superficies prismáticas.

5.4.2 Esquemas de color y reflectancias en interiores

Es imposible examinar aquí los efectos de distintos esquemas de color sobre la luminosidad de un interior. Sin embargo, es necesario examinar los efectos de las propiedades reflectantes de las superficies principales en un espacio iluminado.

La reflectancia del suelo es generalmente baja, por lo que se omite usualmente de los cálculos del alumbrado artificial. Sin embargo, puede tener un efecto considerable sobre la distribución de luz natural, particularmente en grandes superficies interiores. Además, la reflectancia del suelo es de una importancia especial en el caso de alumbrado desde el techo.

Los techos y paredes de color claro mejoran la penetración de luz natural más profundamente en el interior y reducen el contraste entre las ventanas brillantes y otras superficies.

Como norma general deben seguirse las siguientes recomendaciones:

1. La reflectancia media de las superficies interiores debe ser al menos:
   - Techo: 0,7
   - Paredes: 0,5
   - Suelo: 0,2
2. La reflectancia de mobiliario y equipos debe oscilar preferiblemente entre 0,2 y 0,5.
3. Las superficies brillantes deben evitarse siempre que sea posible, particularmente en o cerca de las superficies de trabajo.
4. Debe prestarse especial consideración a las paredes de las ventanas. Deben ser al menos tan reflectantes como las otras paredes, para reducir el contraste entre las ventanas y su fondo inmediato.

5.5 Obstáculos exteriores

Los obstáculos exteriores son objetos que reducen la visión del cielo a través de las ventanas. Pueden ser clasificados en dos grupos principales: superficies que obstruyen u obstaculizan relacionadas al proyecto y que pueden ser consideradas durante el diseño de la admisión de luz natural (tales como voladizos, balcones y elementos de apantallamiento) y obstáculos tales como árboles, terreno en pendiente y estructuras edificadas de cualquier tipo, que raramente pueden ser modificados.

Todos los obstáculos deben ser considerados evaluando la luz del cielo y las componentes reflejadas exteriormente de la luz natural calculada; también debe tenerse en cuenta la reflectancia del terreno. Sin embargo algunos obstáculos pueden no ser conocidos, o puede no existir en el momento del proceso de diseño.

5.5.1 Reflectancias exteriores

La componente reflejada exteriormente de la luz natural contribuye de modo significativo en muchos casos a la iluminancia del interior, particularmente en zonas interiores profundas. Por ello es esencial conocer, tanto como sea posible, las reflectancias de todas las superficies exteriores importantes. Es una práctica común suponer que todas las reflectancia exteriores son difusas y por ello relativamente independientes de la dirección de la luz incidente o del ángulo según el cual se ven dicha superficies.

En la mayor parte de los casos, este error puede no ser significativo; sin embargo, cuando están implicadas superficies de agua o acristalamientos muy reflectantes de edificios adyacentes, no puede ignorarse la reflexión especular de la luz solar directa.

5.5.2 Reflectancia del terreno

Usualmente se supone que la reflectancia del terreno es uniforme para el área total vista a través de las ventanas, aunque esto no sea así. Sin embargo, solamente algunos programas avanzados de cálculo de luz natural por ordenador son capaces de calcular los efectos de los valores de la reflectancia variable del terreno. Para la mayor parte de las aplicaciones prácticas es suficiente un valor promedio de reflectancia del terreno, considerando que el terreno húmedo usualmente tiene una reflectancia considerablemente inferior, mientras que el terreno cubierto con nieve tiene una reflectancia mucho mayor.

5.5.3 Reflectancias del obstáculo

Mientras la reflectancia del terreno puede ser considerablemente variable, las reflectancias de otras superficies exteriores son tanto variables como impredecibles. Las reflectancias de las fachadas de edificios, vegetación y terrenos pendientes pueden cambiar con el tiempo, debido a nuevas construcciones así como a las variaciones estacionales.

Reflectancias típicas de materiales de edificación:

Material	Reflectancia %
Pintura blanca nueva	65 –75
Ladrillo claro	45 – 50
Ladrillo oscuro	30 – 40
Mármol blanco	45 –50
Hormigón	25 –30
Mortero	15 –20
Granulite	15 –10
Vidrio reflectante	20 – 30
Vidrio transparente	7 – 8
Vidrio tintado	5 – 8

6

Componentes de la instalación de alumbrado artificial

Componentes de la instalación de alumbrado artificial

En este capítulo se describen los elementos componentes de las instalaciones de alumbrado artificial que se emplean habitualmente en la iluminación de interiores de edificios. Se describen tan sólo aquellos que pueden ser influenciados en su funcionamiento en respuesta a la aportación de luz natural; es decir, fuentes de luz regulables en su emisión luminosa y lógicamente en su consumo, balastos que pueden regularse y otros dispositivos que sirven para el control y gestión de los distintos componentes.

6.1 Fuentes de luz

Las lámparas son las fuentes de luz en las instalaciones de alumbrado artificial. Aunque en el Anexo A2, relativo a los componentes de la instalación de alumbrado se explican las características básicas que reúnen las distintas lámparas para orientar, en base a su eficacia luminosa, sobre su empleo según las aplicaciones, en este apartado de la Guía se analizan y describen cuáles son las fuentes de luz cuya emisión luminosa y consumo eléctrico pueden regularse en respuesta a la aportación de luz natural.

Las lámparas más corrientemente empleadas para iluminación de interiores se clasifican en diferentes tipos según su modo de emitir luz: lámparas incandescentes y lámparas de descarga, así como dispositivos de estado sólido (LED, diodos electroluminiscentes).

De estos tipos, son regulables los siguientes:

- Lámparas incandescentes, regulables del 1 al 100% mediante dispositivos de regulación del flujo luminoso (“dimmers”).
- Lámparas incandescentes halógenas de alimentación a muy baja tensión, regulables del 1 al 100% mediante “dimmers” aplicables al transformador, o mediante transformadores electrónicos regulables.
- Lámparas incandescentes halógenas de alimentación a 230 voltios de c.a., regulables del 1 al 100% mediante reguladores de fase (“dimmers”).
- Lámparas fluorescentes T5 y T8, regulables del 1-3 al 100% mediante balastos electrónicos regulables.
- Lámparas fluorescentes compactas no inte-

gradas, regulables del 3-10 al 100% mediante balastos electrónicos regulables.

- Lámparas de descarga de alta intensidad, en general difícilmente regulables, debido a la sensibilidad de estas lámparas a la disminución de su tensión de extinción. No obstante, en la actualidad se han desarrollado balastos electrónicos regulables desde un 35 a un 100% del flujo luminoso, que corresponde a un 40 a 100% de la potencia eléctrica consumida.

6.2 Equipos de control

De entre los equipos de control que se utilizan para el control de las lámparas de descarga, y algunas lámparas incandescentes no estándar alimentadas a tensiones diferentes de la tensión nominal de red, conviene destacar por su importancia:

- Balastos.
- Sistemas de regulación de fase ("dimmers").

En este apartado se analizan sólo aquellos elementos que ofrecen la posibilidad de modificar las características de las fuentes de luz de la instalación en respuesta a la luz natural.

6.2.1 Balastos

Los balastos regulables en respuesta a la luz natural, y por tanto aquellos que aportan una variación progresiva y adaptable a la mayor o menor aportación de luz natural, son los balastos electrónicos regulables.

El balasto regulable controla la potencia de la lámpara fluorescente mediante modulación de la frecuencia de 20 a 100 kHz. Se controla mediante una señal adicional de 1-10 voltios de c.c., DSI ó DALI (Digital Adressable Lighting Interface). En todos los casos a través de dos conductores.

Brevemente resumidos, los diferentes tipo de balastos regulables son:

- **Balastos regulables analógicos de 1-10 V:** Los balastos analógicos 1-10 V regulan linealmente la potencia del tubo fluorescente mediante una correspondencia directa: 1 V = min % de potencia; 10 V = 100 % de potencia.

  Ventaja: Es un balasto económico y muy extendido.

  Desventaja: No pueden bajar del 3%. La instalación de control debe controlar también el suministro de tensión de red para poder apagar/encender el balasto. Es necesario un relé de corte.

- **Balastos DSI:** Los balastos digitales con señal de control DSI reciben las órdenes a través de una línea de control digital mediante el protocolo DSI. Todos los balastos conectados a una línea DSI reaccionan a la vez.

  Ventaja: Al recibir los balastos instrucciones en formato digital, la señal de control no sufre deterioro ni pérdida. La evolución de la regulación es mucho más suave ya que hay definidos 255 saltos, lo que proporciona una resolución del 0,38%. Tienen la capacidad de regulación lineal del 1-3% hasta el 100%. La señal de control es completamente independiente de la línea de fuerza.

  Desventaja: Coste mayor que balastos 1-10 V.

- **Balastos DALI:** Los balastos DALI también son digitales, con la característica principal de que además son direccionables. El protocolo DALI permite gobernar hasta 64 balastos por unidad de control y memorizar hasta 16 escenas (en el propio balasto). El controlador DALI, por tanto, debe ser capaz de dirigirse a cada uno de los balastos que tiene co-

nectados en su salida DALI y en consecuencia podrá controlar cada punto de luz. El aprovechamiento de las características del protocolo DALI depende también del fabricante del sistema de gestión, que proveerá de distintas soluciones en función de criterios de flexibilidad, facilidad de gestión, de instalación, etc. El protocolo DALI es además bidireccional, por lo que es capaz de suministrar información del estado de cada balasto.

Ventaja: Flexibilidad, mayor rapidez de respuesta y suministra información del estado del balasto.

Desventaja: Mayor coste.

Además de los balastos descritos, fundamentalmente para su empleo con lámparas fluorescentes, hay que destacar que actualmente ya existen también balastos electrónicos regulables para lámparas de descarga de alta intensidad: también funcionan sobre la base de los analógicos de 1 – 10 voltios, pero tienen mayores dificultades para reducir el funcionamiento de las fuentes de luz por debajo del 35% de su potencia, al poder producirse apagados de la lámpara como consecuencia de la tensión de extinción de arco propia de este tipo de lámparas.

6.2.2 Reguladores de fase (Dimmers)

Son dispositivos electrónicos que cortan la onda sinusoidal de corriente alterna en un punto variable, de manera que modulan la potencia entregada a la carga. Existen reguladores que cortan la onda durante su parte ascendente y otros que lo hacen en su parte descendente:

- Los primeros son adecuados para cargas capacitivas (transformadores electrónicos);
- Los segundos, que cortan la onda en su parte descendente, son adecuados para cargas inductivas (transformadores convencionales).

Ambos pueden ser utilizados para incandescencia a 230 V de c.a.

La señal de control que se entrega al dimmer para que regule a un valor determinado, puede ser una tensión continua de 1-10V o un valor digital (conexión directa a bus sin controladores intermedios). En función de la tecnología escogida deberá seleccionarse un controlador que disponga de salidas con esta tecnología. Por ejemplo, en el caso de control 1-10 V, tendrá que existir un controlador capaz de dar tal consigna con una resolución determinada, de manera que la evolución ascendente/descendente de la regulación sea a escalones o continua.

6.3 Sistemas de gestión de alumbrado artificial

Una vez decidida la tecnología de regulación (1-10 V, DSI ó DALI) a emplear en los sistemas de control, será necesario decidir el sistema de gestión del edificio, para lo cual existen diferentes criterios que se deberán valorar correctamente para que las expectativas creadas coincidan con el resultado final.

Uno de los puntos es la elección del protocolo de comunicaciones responsable de las comunicaciones entre los distintos dispositivos de control. La elección del mismo determinará la topología del cableado, el tipo de bus o línea de transmisión, la velocidad de comunicación, la posibilidad de utilizar distintos soportes físicos y, en definitiva, definirá el potencial del propio sistema de gestión. Por supuesto la selección del sistema estará basada en las capacidades y potencia total del mismo.

Con el propósito de familiarizar a los no expertos con la terminología propia de la técnica, a continuación se citan algunos términos.

Protocolo: Conjunto de procedimientos utilizados para controlar el intercambio ordenado de información entre dispositivos conectados a una red de comunicaciones. En la gestión de edificios, los más comunes son: LonWorks, DMX, EIB, Ethernet, KNX, CAN y los llamados protocolos cerrados.

Topología: Se refiere a la forma en la que el bus de comunicaciones podrá ser cableado. Normalmente serán: estrella, árbol, anillo, serie. Un bus con topología libre es aquel que permite todas las topologías y cualquier combinación entre ellas.

Soporte físico: Un protocolo puede circular sobre cable eléctrico dedicado (bus de comunicaciones), sobre cable de red eléctrica mediante corrientes portadoras (power line), por radiofrecuencia, fibra óptica, etc.

Jerarquía: Tener un sistema jerárquico significa que se dispone de un controlador maestro, el cual gestiona una serie de controladores esclavos y las comunicaciones entre los mismos. Ventaja: Es muy económico. Desventaja: Si el maestro o las comunicaciones sufren un problema, el sistema deja de funcionar.

Bus de comunicaciones: Hace referencia al cable eléctrico sobre el que se transporta el protocolo. Puede ser bifilar y tener o no tener polaridad, y los hay también que suministran la tensión por un par de cables adicionales. Existen líneas de transmisión o buses que necesitan más de dos cables y algunos que requieren de cable apantallado.

Bus peer-to-peer: Peer-to-peer significa par a par; quiere decir que todos los controladores del bus tienen el mismo nivel de capacidad de software y que comunican directamente entre ellos sin necesidad de un maestro de comunicaciones. Ventaja: No es un sistema dependiente de un controlador maestro por lo que es más robusto. Desventaja: Es más caro.

6.4 Aspectos relacionados con el entorno de trabajo que pueden emplearse en los sistemas de control y gestión.

6.4.1 Modos de control

Existen varias formas de actuación sobre los diferentes aspectos del entorno de trabajo en el edificio o de la actividad de los ocupantes del mismo, y pueden llevarse a cabo de forma separada o combinada. A continuación se enuncian las más frecuentes:

Detección de movimiento

Una de las formas más sencillas de controlar el alumbrado artificial de una zona interior de un edificio es mediante un sensor de movimiento (también conocido como detector de presencia o PIR). El sensor responde al movimiento del calor corporal dentro de una zona determinada, encendiendo o apagando la luz en función de la presencia o ausencia de una persona en movimiento. Incorpora un período de retardo, para evitar la desconexión no deseada si una persona permanece en una misma posición durante un tiempo determinado dentro del espacio o la zona que se controla, lo que podría ser interpretado por el sistema como ausencia de movimiento y por consiguiente no detección de presencia.

Regulación en función de la luz natural o diurna

Para aprovechar la aportación de luz natural que entra a través de ventanas u otros elementos de captación de edificios, se emplea un detector (fotocélula) en la luminaria o en el techo para medir la cantidad de luz total (natural + artificial) que existe en el interior. Esta medición se transmite al sistema de control, que regula automáticamente el flujo de las lámparas de las luminarias del área controlada, para mantener un nivel

de iluminación constante en el espacio de trabajo. Es posible incluso programar las luminarias para que se apaguen si la luz diurna supera un determinado nivel de iluminancia durante un tiempo determinado.

Nivel de iluminancia constante

Al igual que con el sistema de regulación en función de la luz diurna, es posible utilizar una fotocélula conectada a un sistema de control para mantener el nivel de iluminación correcto (nivel mantenido) de un determinado espacio durante toda la vida de la lámpara. Si las lámparas son nuevas emiten mayor flujo luminoso, por lo que es posible atenuarlas para conseguir la intensidad adecuada y ahorrar una considerable cantidad de energía. A medida que transcurren las horas de funcionamiento el flujo luminoso emitido por las lámparas disminuye, y el sistema aumenta gradualmente su flujo luminoso hasta su valor máximo.

Control horario y por fechas

El control horario puede usarse para encender, apagar y regular automáticamente las luces en momentos determinados, para que sólo estén activadas cuando se necesitan. Es posible diseñar un plan horario en función de días concretos de la semana, división entre días laborables y fines de semana, además de incorporar perfiles de temporadas o días festivos.

Además de estos aspectos, también los sistemas de control y gestión proporcionan elementos de información para la determinación de un correcto uso de la instalación, como por ejemplo el...

Registro de horas de utilización

Como ayuda para el control de los gastos de mantenimiento y explotación, es posible medir la utilización de cada salida de un sistema de control, lo que proporciona información exacta acerca de cuánto tiempo han estado encendidas las lámparas. Esto presenta dos ventajas principales: poder calcular los gastos energéticos de un área u ocupante y planificar de modo eficiente la sustitución de lámparas.

6.4.2 Flexibilidad de los sistemas de control

Una de las ventajas principales del empleo de un sistema de control del alumbrado en un área es que permite flexibilizar el aprovechamiento del espacio. A medida que transcurre el tiempo, el uso del espacio puede cambiar y requerir modificaciones en el diseño de los recintos. La iluminación debe ser capaz de evolucionar junto con un negocio en crecimiento, o adaptarse fácilmente a nuevos ocupantes. Las técnicas actuales de control, como los mandos de infrarrojos, de mano o de pared, e incluso los enlaces para PC o módem, hacen innecesario el cableado vertical en las divisiones, permitiendo que la reorganización de un espacio resulte mucho más sencilla.

Los controles de alumbrado también facilitan el ajuste de la iluminación general: por ejemplo, una sala habilitada como oficina de diseño, que requiere una gran intensidad de iluminación, puede adaptarse fácilmente mediante la atenuación de los puntos de luz para usarla como una oficina de uso general.

Agrupación de circuitos de alumbrado

Como parte del sistema de gestión del alumbrado, las luminarias suelen estar agrupadas en circuitos que se conectan a una salida del módulo de control. Esta salida controla el encendido (y la regulación) de las luminarias del circuito. Es posible elegir el número de luminarias por circuito en función de los requisitos de flexibilidad del diseñador. Para disponer de la máxima flexibilidad, se utiliza una luminaria en cada circuito o salida. En este caso, el ajuste de la iluminación a una

nueva distribución del espacio resulta muy sencillo y no requiere costosos cambios en el cableado. Este concepto alcanza su máximo aprovechamiento cuando se emplean balastos para fluorescencia DALI.

Enlaces de luminarias

Esta función permite enlazar luminarias concretas a otras luminarias, para que se controlen conjuntamente. Esto suele utilizarse en pasillos y vías de escape, para garantizar que siempre estén encendidas mientras lo estén las luces de la oficina. Cuando la última persona sale de la oficina, las luces se apagan y los pasillos y las vías de escape se apagan también, tras un período de retardo.

Prueba, monitorización y registro de luces de emergencia

Los sistemas de gestión del alumbrado pueden ayudar a realizar las pruebas oficiales del alumbrado de emergencia, con la ventaja de que sólo se comprueban la fase permanente y la de encendido/apagado de cada luminaria de emergencia en concreto; las luminarias convencionales seguirán funcionando con normalidad. Incluso, en algunos sistemas, es posible comprobar, la batería, el inversor y la lámpara. Las pruebas pueden realizarse de forma automática, de día o de noche, en cada luminaria de forma separada, con un interruptor de prueba o de forma centralizada con un software para PC.

Enlaces con otros sistemas de control del edificio

Es posible vincular el sistema de gestión de alumbrado a otros sistemas de gestión del edificio: de la forma más sencilla, a través de un contacto sin tensión, o bien mediante una integración total entre sistemas abiertos. De esta forma, mediante un bus de comunicaciones común, los sistemas pueden intercambiar información para controlar el alumbrado en función de otros servicios, como contra incendios, seguridad, accesos o grupo electrógeno. Por ejemplo, es posible que se pretenda que la instalación esté encendida al 100% cuando se disparan los sistemas de incendios o de seguridad, o bien que el alumbrado permanezca al 30% mientras el grupo electrógeno esté en funcionamiento por un fallo de suministro. Esto también se puede realizar a la inversa: los controles del alumbrado entregan información a los demás sistemas. Un ejemplo sería el uso de un detector de movimiento del control del alumbrado para informar al sistema de aire acondicionado de que un espacio está ocupado.

6.4.3 Tipos de control

Los espacios interiores actuales deben ser flexibles, no sólo a largo sino a corto plazo. Cada usuario precisará iluminaciones distintas y debe poderse ajustar la iluminación a las preferencias de cada persona y a las tareas que realiza. Aunque se suele pensar que estos sistemas sólo están disponibles en oficinas de alta dirección, esta tecnología resulta económica para todos los niveles de una organización, especialmente si se tiene en cuenta el aumento en el rendimiento que se consigue.

Control manual

Siempre es posible ajustar de forma manual la instalación mediante los diferentes elementos de mando y maniobra que están conectados al módulo de control del alumbrado. Además, un sistema de control de alumbrado debe ser capaz de cambiar la relación entre estos interruptores y las luces que controlan de una manera sencilla, permitiendo una mayor flexibilidad en el sistema.

Control remoto por infrarrojos

Como alternativa a los interruptores con cables, existe la posibilidad de utilizar un control inalámbrico por infrarrojos. Este elemento resulta especialmente útil en

oficinas y salas de reuniones, en las que los requisitos de iluminación pueden cambiar varias veces al día, según las tareas que realicen los usuarios. Un receptor fijado al techo y un transmisor de mano o de pared controlan la regulación y la conmutación de los grupos de luminarias. Estos sistemas proporcionan la flexibilidad necesaria para ajustar la iluminación y cambiarla en cualquier momento.

Ajuste de escenas

Como una extensión del control remoto por infrarrojos, algunos sistemas de control incorporan la posibilidad de programar previamente sus 'escenas' favoritas. Después de guardar su configuración, basta con pulsar el botón adecuado para que el sistema de control ajuste todas las luminarias a las intensidades necesarias para crear la escena. Esta función resulta ideal en salas de conferencias para aplicar escenas diferentes: proyectar en una pantalla, iniciar una charla o resaltar material de presentación. Es posible controlar incluso los equipos audiovisuales. Otras aplicaciones son recepciones de hoteles, tiendas o restaurantes en los que los ajustes del día y la noche influyen en el ambiente. El número de escenas posibles depende del sistema que elija. A continuación se pueden ver tres escenas diferentes en la misma sala.

Control mediante tonos de teléfono a través de centralita

Con un sistema de gestión del alumbrado, es posible incluso comunicarse con el sistema de centralita del edificio, normalmente a través del puerto de registro de llamadas. Cada usuario puede marcar un código predefinido en el teclado del teléfono para elegir una de las escenas de iluminación predefinidas.

Control de PC a través de un enlace de red

Para poder emplear la última tecnología en gestión de iluminación, se puede conectar el sistema de control a la red de área local de un edificio, normalmente a través de un servidor tipo 'pasarela'. Esto permite que cada PC de la red disponga de un icono en pantalla con el que el usuario puede ajustar su escena de iluminación, regular las luces o controlar su encendido.

7

Integración de la luz natural y luz artificial

Integración de la luz natural y luz artificial

Este capítulo se refiere a los controles de alumbrado en respuesta a la luz natural. La mayor parte de las veces el alumbrado eléctrico es controlado solamente cuando esta situación tiene un impacto evidente. Aunque la luz natural es una fuente cambiante, impredecible y poco constante, el control de la luz natural mediante dispositivos de apantallamiento, obturadores o cortinas o mediante otras formas de ajustar la abertura de entrada de la luz natural, puede ser deseable.

7.1 Objetivos principales del uso de sistemas de control de alumbrado artificial en respuesta a la luz natural

Hay tres objetivos principales para el empleo de sistemas de control de alumbrado artificial en respuesta a la luz natural, que son:

- Ahorro de energía.
- Economía de costes.
- Confort del usuario.

7.1.1 Ahorro de energía

La luz natural está disponible gratis y es renovable. Los inconvenientes principales son la carga térmica que puede llevar a las ventanas y (en la mayor parte de los climas) su impredecibilidad. El ahorro total posible de energía en un edificio utilizando luz natural es una combinación de ahorros de energía "directos" sobre el alumbrado artificial:

- Reducción del flujo cuando hay bastante luz natural disponible.
- Disminución de los niveles iniciales de iluminación en nuevas instalaciones de alumbrado, que siempre están "sobredimensionadas". Los nuevos equipos están típicamente sobredimensionados en un 10-25%, anticipando la depreciación normal; así, incluso sin tener en cuenta la regulación de flujo relacionada con la aportación de luz natural, puede conseguirse un considerable ahorro de energía.

- Reducción de la carga de refrigeración, dando como resultado un ahorro de energía en refrigeración (si el edificio está equipado con un sistema de enfriamiento y acondicionamiento de aire), ya que se produce menos calor como consecuencia de la potencia consumida en los componentes de la instalación de iluminación.

Como ya hemos visto, en muchos casos el flujo luminoso de las lámparas puede ser regulado utilizando componentes electrónicos. La regulación de flujo conduce a una reducción del consumo de energía. Por ejemplo, la mayor parte de las lámparas fluorescentes populares (T8, T5 y lámparas de tipo compacto) son fácilmente regulables en su flujo con una reducción significativa en el uso de la energía. Pero la reducción de flujo luminoso y de consumo de energía no es lineal: un tubo fluorescente totalmente regulado puede tener un flujo luminoso del 2% del flujo luminoso máximo y aún requerirá el 25% del consumo de energía que precisa al 100 por 100 del flujo luminoso máximo. Esto es debido al consumo de energía del balasto y a la menor eficacia de la lámpara regulada.

7.1.2 Economía de costes

El coste inicial, el coste del propietario, los costes de energía, etc., son otros elementos a tener en cuenta en una instalación de iluminación. Con los bajos precios actuales de energía el tiempo de amortización puede parecer largo; pero hay otros argumentos para invertir en instalaciones "caras", como la flexibilidad, el confort y la calidad.

La reducción del consumo de electricidad en hora pico es un argumento económico "directo" importante; un diseño de consumo de energía típico muestra una coincidencia de bajas demandas de alumbrado artificial con las elevadas demandas de refrigeración. Por esto, sistemas de control en respuesta a la luz natural pueden dar como resultado una demanda de pico considerablemente inferior. Sistemas baratos y simples con control del alumbrado en respuesta sólo a la luz natural ofrecen, por tanto, un periodo de retorno razonable.

La aceptación del sistema por el usuario es quizás el aspecto económico indirecto más importante. Si el sistema de control no es aceptado por el usuario será probablemente saboteado y la productividad de los trabajadores podría ser reducida. Una productividad ligeramente reducida de trabajadores insatisfechos puede despilfarrar todos los ahorros esperados.

Con los sistemas de bus de elevado nivel, el equipo de alumbrado puede ser fácilmente adaptado para otras tareas o usuarios. También dan la posibilidad de reconfigurar grupos controlados o comunicados en caso de cambios de implantación. Para grandes edificios con una elevada frecuencia de reconversión esto puede ser de gran interés económico.

7.1.3 Confort del ocupante

Las personas son el capital principal de la mayoría de las organizaciones y el confort de ellas es un factor clave en su éxito. Los beneficios de un buen alumbrado son a menudo subestimados, cuando hay múltiples investigaciones que muestran lo importante que es el alumbrado en el entorno de trabajo. Un sistema de control de alumbrado puede mejorar el confort, equilibrando las relaciones de luminancia en las salas. Además, los sistemas de control de alumbrado pueden ofrecer características adicionales, tales como el control automático y a distancia o posibilidades de escenario y alumbrado dinámico para los sistemas más complejos.

Se ha aceptado generalmente que hay una correlación entre el confort del usuario y la productividad, que hacen de la aceptación y confort también elementos económicos importantes. Añadir posibilidades de control a distancia da a los usuarios la sensación de un mayor control sobre su entorno.

7.2 Estrategias de control

El concepto "control de alumbrado" cubre varios métodos diferentes que son usados en los sistemas de iluminación para cambiar el alumbrado en un espacio.

Un sistema de control puede ser manual (como un conmutador de corriente o un controlador a distancia) o automático (basado en la vigilancia mediante un sistema de detección o un reloj), y puede funcionar sobre parámetros diferentes de la instalación de alumbrado, como:

- El nivel de iluminación (iluminancia/luminancia) (cantidad de luz, regulación de flujo luminoso).
- La distribución de luz (control direccional).
- La distribución espectral (el color) (como en el alumbrado teatral).

Los sistemas de control que controlan el nivel de luz son los sistemas de uso más corriente. El control de alumbrado automático puede estar basado en uno o más de los siguientes criterios de control:

- Aportación de luz natural (la luz eléctrica es controlada por la cantidad de luz natural disponible). Son los denominados **sistemas de control en respuesta a la luz natural.**
- Ausencia de personas (la luz es automáticamente apagada en salas o habitaciones sin ocupar).
- Tiempo (como encendido y apagado automáticos de la luz a horas fijadas).

7.2.1 Principios de control

El control del nivel de luz puede ser conseguido mediante la regulación de flujo continua, regulación de flujo por escalones o encendido/apagado.

De acuerdo con la posición del detector, los sistemas de regulación de flujo luminoso pueden ser divididos en dos categorías:

- **Un sistema de control de "bucle abierto"**, es un sistema de control predeterminado, que mide el nivel de luz natural (es decir, la iluminancia en el tejado o fachada) o una luminosidad relacionada con la luz natural (es decir, la iluminancia de dispositivos de apantallamiento solar o de visión a través de la ventana) y que, en función de ésta, controla el alumbrado artificial usando algunos algoritmos predeterminados.
- **Un sistema de control de "bucle cerrado",** es un sistema de control con realimentación, que mide el nivel de luminosidad completo del lugar de trabajo (suma de la luz natural más la luz artificial), en distintos lugares de la sala, regulando la iluminación artificial en función de esta suma.

De acuerdo con el comportamiento de la regulación de flujo luminoso pueden distinguirse dos tipos de sistema:

- **Sistemas proporcionales,** en los que la regulación de flujo luminoso es realizada proporcionalmente al nivel de luz natural medido o al nivel de luz total en la sala.
- **Sistemas de soporte constantes,** en los que la regulación de flujo luminoso es realizada de tal modo que la suma de los niveles de luz natural y del nivel de luz artificial es constante. En la práctica, como el margen dinámico del nivel de luz natural es a menudo mucho mayor que el margen dinámico del nivel de luz artificial, el "soporte constante" es solamente posible dentro de un margen limitado de niveles de luz. Los sistemas de soporte constante son siempre sistemas de "bucle cerrado".

7.2.2 Nivel de control

Una instalación de alumbrado eléctrico (así como los sistemas de luz natural) puede ser controlada en distintos niveles:

- **Control individual:** el alumbrado eléctrico es controlado por un sistema de control basado

en la luminaria (cada luminaria tiene su propio sistema de control, como las luminarias de puesto de trabajo individuales o las luminarias para alumbrado general de oficinas equipadas con un detector individual y un sistema de regulación de flujo luminoso o conmutación).

- **Control de sala:** todas las luminarias en el mismo circuito son controladas por una unidad de control.
- **Principio maestro-esclavo:** todas las luminarias pueden son reguladas del mismo modo, pudiendo tener las lámparas en el interior de la sala un desfase, que conduce a una menor regulación de flujo.
- **Sistema de control con base en la sala:** el control es aplicado a todas las luminarias de una sala.
- **Control de edificio o control con base en un edificio:** varios grupos de un mismo edificio unidos en una sola red o un sistema de control central (luminarias con posiciones más o menos idénticas son controladas simultáneamente, como una fila de luminarias de ventana).

Los sistemas de control varían ampliamente de complejidad y capacidades.

- Los sistemas más simples consisten en un sistema de control en solitario que regula justo las lámparas de acuerdo con la luminancia de los alrededores de la luminaria.
- En el otro extremo del margen existen sistemas de gestión de edificio basados en bus de transmisión de datos complejos, que controlan no solamente el alumbrado sino también equipos tales como en la apantallamiento solar y HVAC y ofrecen la posibilidad de un control remoto, escenarios preajustados, conmutación/regulación de acuerdo con la ocupación, etc.

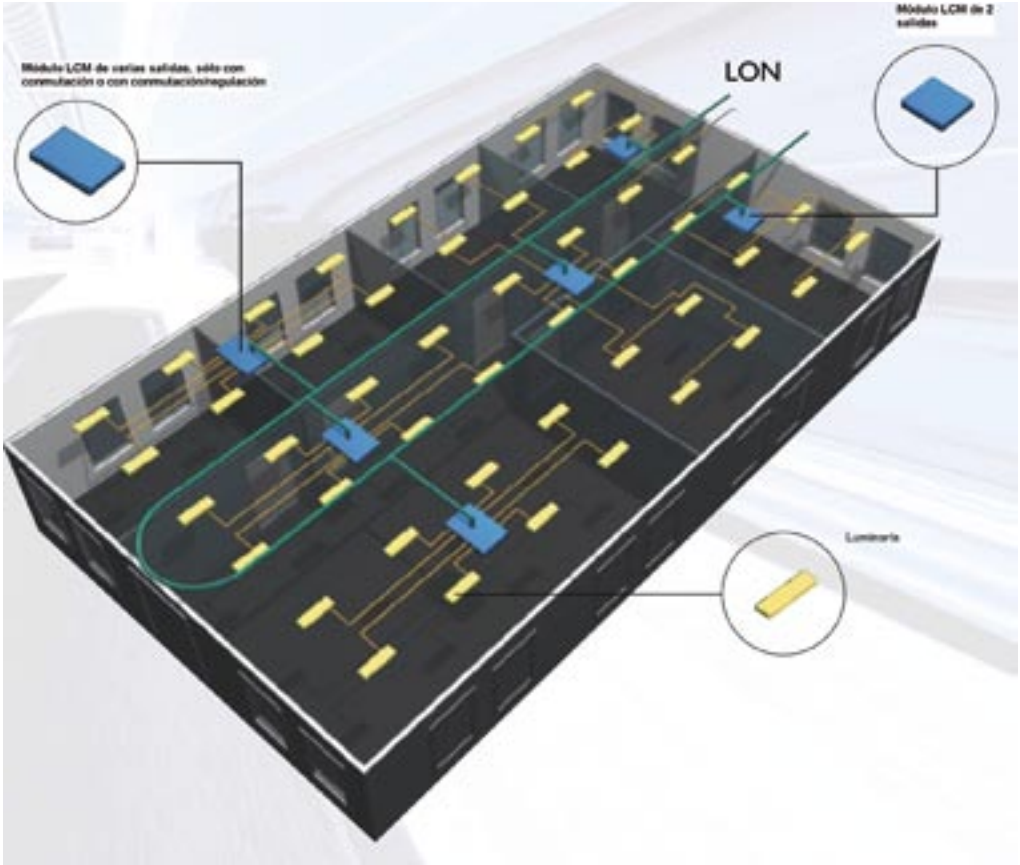
7.3 Sistemas de control para alumbrado artificial que responden a la luz natural

Los sistemas de control para alumbrado artificial que responden a la luz natural son sistemas que actúan automáticamente controlando el alumbrado artificial como una función de la luz natural disponible en el espacio. Un sistema de control en respuesta a la luz natural se espera que mantenga el nivel de alumbrado en un nivel seleccionado por el usuario en cualquier circunstancia, sobre la superficie de trabajo designada, sin molestar al usuario, y de un modo preferiblemente inadvertido para el mismo. Además, debe permitir que la instalación de alumbrado funcione el tiempo necesario mientras haya ocupación de los espacios y no permanezca funcionando durante todo el día independientemente de la ocupación del edificio.

A la vista de los parámetros de control y de cómo poner en práctica dicho control, la idea realmente interesante de un sistema de control es su **modularidad**: la posibilidad de instalar un sistema de forma escalonada, partiendo de los módulos más básicos para llegar a los más completos, buscando, además de la instalación de iluminación, que ésta se integre con el resto de instalaciones de un edificio.

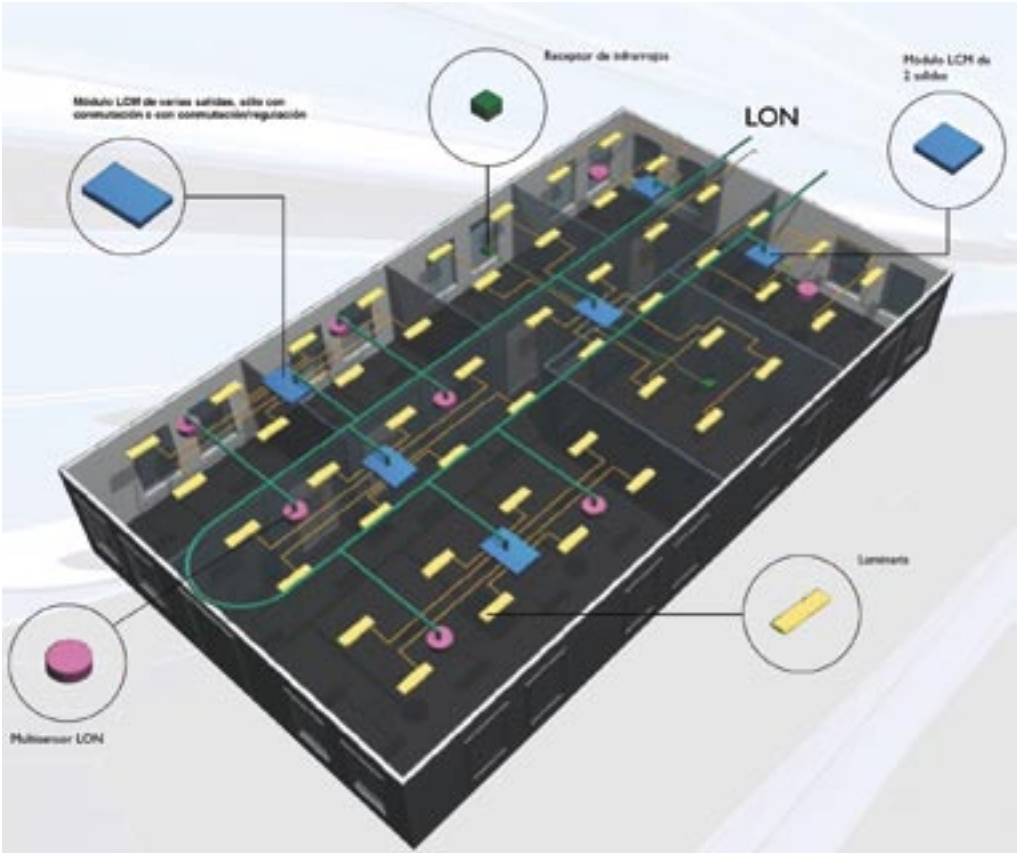
7.3.1 Principio de modularidad

Estos sistemas pueden consistir en una infraestructura y distribución de alimentación básicas, tal como la representada esquemáticamente a continuación y comprendiendo:



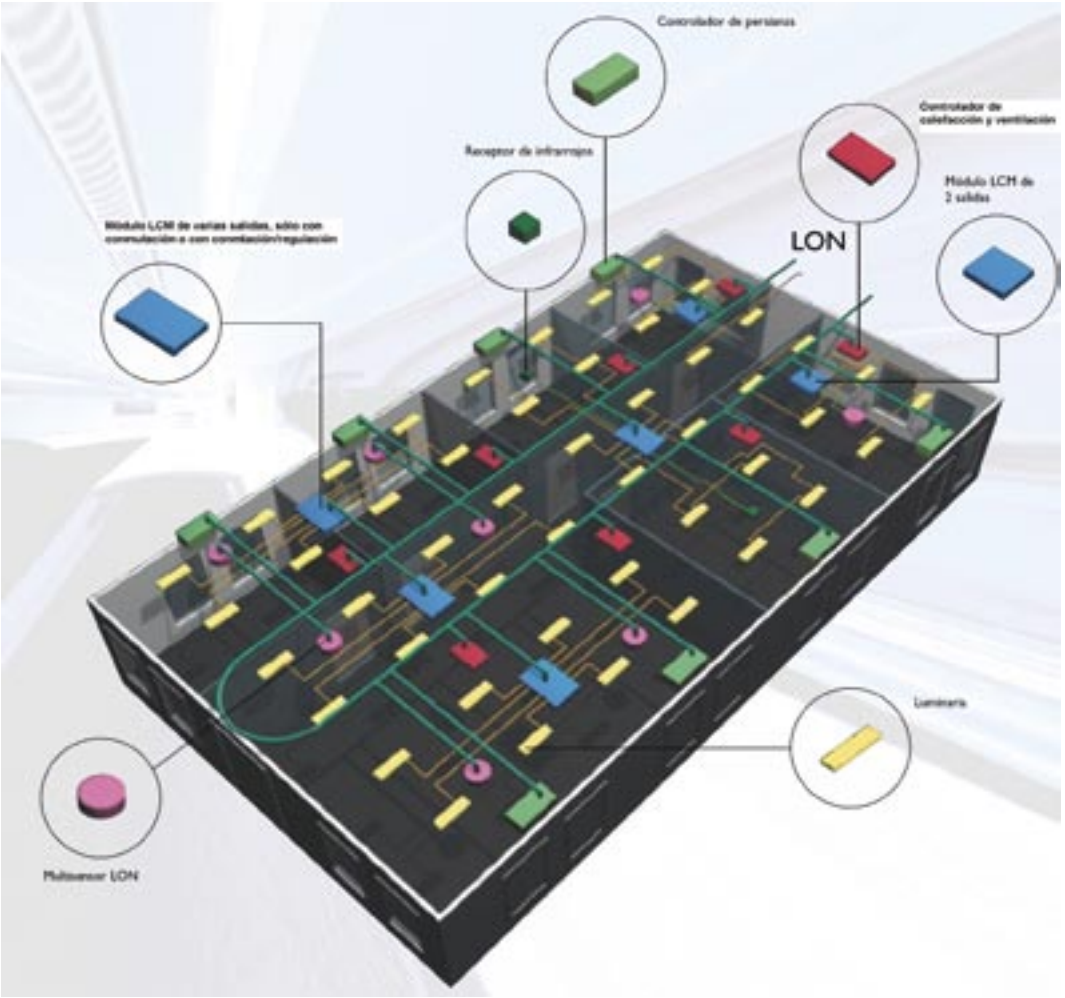
- **La unidad de mando:** en esta versión básica puede ser automática, mediante un temporizador o una fotocélula, o manual, mediante pulsadores. En el caso de la fotocélula, ésta puede estar diseñada para ser montada en la luminaria, en el techo, en la pared interior, en la pared exterior o incluso en el tejado. En muchos casos la unidad debe ser sintonizada con el nivel de iluminancia requerida o intervalo de niveles (a veces esto se hace en fábrica).
- **La unidad operativa.** Ésta contiene una parte electrónica que puede ser individualmente ajustada a la sala. La unidad puede contener también el elemento de regulación de flujo o conmutación, que está posicionado bien centralmente (para control de circuito) o bien dentro de la luminaria (para control individual).
- **La unidad de comunicación.** En este ejemplo pueden ser líneas de transmisión o bus de un sistema universal, tal como el LON.

En el módulo inmediatamente superior, o evolucionado, puede cederse el control a sensores o detectores, transmisores y pulsadores, con lo que el esquema de la infraestructura sería el siguiente:



- **La unidad de mando:** en esta versión más evolucionada permite el control mediante la detección de movimiento, la regulación de flujo en función de la aportación de luz natural, el control remoto y los pulsadores.
- **La unidad operativa.** Ésta se basa en una inteligencia distribuida que proporciona funciones de control local con posibilidades de reconfiguración, permitiendo adaptarse a los diseños específicos de cada espacio.
- **La unidad de comunicación.** En este caso son también líneas de transmisión o bus de un sistema universal, tal como el LON.

Por último se llega al módulo más desarrollado, que integra la iluminación con los sistemas de ventilación, aire acondicionado y persianas.



- **La unidad de mando:** en esta versión, la más evolucionada, responde a los mismos principios que en el módulo anterior.
- **La unidad operativa.** También de inteligencia distribuida, para proporcionar todas las funciones de reconfiguración.
- **La unidad de comunicación.** En este caso completo todos los nudos de control están conectados a los bus de un sistema universal, tal como el LON, a los que también están conectados los sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado y persianas, dando origen a una integración total.

En todos los módulos del sistema, la unidad de control interpreta la señal del detector y conmuta el alumbrado artificial de acuerdo con las condiciones de luz natural, presencia o ausencia de personas, etc. Los algoritmos usados en este proceso pueden ser más o menos complicados, permitiendo desde mantener un simple nivel de conmutación preajustado hasta controlar todo el sistema por ordenador (ya que, como ya se ha mencionado con los sistemas a base de bus, un sistema de gestión de edificios pueden hacer más que un simple control del alumbrado eléctrico en respuesta a la luz natural).

Generalmente los sistemas de bucle cerrado necesitan algoritmos de control más simple que los sistemas de bucle abierto.

- Muchos sistemas de control basados en sala y basados en edificio son sistemas de bucle abierto, que, a fin de evitar la insatisfacción

del usuario, necesitan tener una acción de retardo.

- Los sistemas de control basados en la luminaria son siempre sistemas de bucle cerrado y pueden responder rápidamente.

En un sistema de control en respuesta a la luz natural que funciona bien se puede ahorrar de un 120 a un 150% en la energía de alumbrado. Las combinaciones disponible reales con detectores de presencia, pueden mejorar fuertemente estos ahorros. Sin embargo, el ahorro real de energía mediante sistema de control en respuesta a la luz natural está bastante restringido, debido a que el consumo de equipos de alumbrado modernos y oficinas típicos, incluso sin controles, es menor que 10-15 W/ m^2.

7.3.2 Procedimientos de instalación de los sistemas de control del alumbrado artificial

A fin de conseguir la satisfacción del usuario y el ahorro máximo de energía, es importante que el sistema de control sea instalado de modo correcto para que funcione óptimamente. El mal funcionamiento del sistema puede conducir a quejas de los usuarios, a una reducción del ahorro de energía o a no ahorrar nada.

Este capítulo trata los puntos más importantes relativos a la instalación de los detectores para los diferentes tipos de sistemas de control, teniendo en cuenta también, que a fin de conservar el sistema funcionando correctamente después de la instalación, es necesario el "conocimiento del sistema" por el personal de mantenimiento y ocupantes.

7.3.2.1 Instalación de detectores para sistemas de bucle cerrado

La mayoría de los sistemas de control de bucle cerrado que responden a la luz natural miden la combinación de la luz natural y el alumbrado artificial con un detector de luz montado en el techo o montado en la luminaria. Este detector "mira" hacia abajo, hacia el plano de trabajo. La salida del detector es una medida de la luz que se refleja hacia el techo desde el plano de trabajo y los alrededores inmediatos. Por tanto, el sistema de control no funcionará adecuadamente si:

- Hay una fuente de luz (por ejemplo una luminaria indirecta) que brilla directamente sobre el detector, o
- Hay luz reflejada (por ejemplo desde un coche aparcado fuera o una superficie brillante en un edificio cercano), o
- El detector "ve" una parte de la ventana, o
- El detector está bloqueado por objetos (por ejemplo, paneles divisorios, estanterías con libros, plantas, etc.).

En estos casos la lectura del detector no está relacionada directamente con la luminancia del plano de trabajo y el sistema de control no funcionará adecuadamente.

Los detectores disponibles actualmente no miden iluminancia (valores en lux) en el plano de trabajo, sino una especie de "luminancia media" de éste, que depende de las propiedades reflectantes de los materiales de la sala y de los muebles. Por ello existe la necesidad de poder adaptar el sistema con el fin de ajustar el "umbral" deseado de regulación de flujo para cada caso específico con reflectancias específicas y niveles de iluminancia (de noche) iniciales.

7.3.2.2 Instalación de detectores para sistemas de bucle abierto

Los sistemas de control de bucle abierto que responden a la luz natural determinan la contribución de la luz natural al alumbrado en una sala midiendo el nivel de luz natural fuera del edificio y/o desde el interior de la sala y controlan el alumbrado artificial utilizando algoritmos predeterminados.

El detector exterior está situado en el tejado o en la fachada. En ambos casos debe tenerse cuidado porque la lectura del detector es representativa de la contribución de luz natural en la totalidad del edificio. No debe haber objetos sombreados u objetos muy reflectantes "vistos" por el detector, ya que no influyen por igual sobre la contribución de luz natural en todas las partes del edificio. De ahí que si el edificio está rodeado por estructuras grandes, que llevan a un diseño de luz natural en las fachadas que no es uniforme, debe considerarse el colocar más de un detector externo.

El detector interno tendrá que "ver" sólo la ventana, por ello la mayor parte de las veces estará montado cerca del techo, "mirando" a la ventana. Debe tenerse cuidado de que no haya obstáculos o superficies reflectantes entre el detector y la ventana (excepto el dispositivo de apantallamiento), de manera que la lectura sea representativa de la luminancia de la ventana, incluyendo el dispositivo de apantallamiento.

7.3.3 Instalación de luminarias con detectores integrados

La instalación de luminarias con detectores instalados en fábrica no se diferencian mucho de la instalación de luminarias normales y, además, no es necesario un cableado de control adicional. Por ello este tipo de sistema es adecuado para reemplazamientos o renovaciones. Después de que la luminaria sea colocada en su sitio la única labor que habrá de realizarse será medir la iluminancia en la superficie de trabajo bajo cada luminaria por la noche y durante el día, para comprobar que la iluminancia esté al nivel deseado.

Si las unidades tienen ajustes de instalación previamente configurados por el fabricante, hay que tener en cuenta que estos ajustes están basados en los factores de reflexión medios en una sala de oficina típica. Una vez que el sistema ha sido instalado puede ser necesario hacer algunos ajustes. Esto puede ser comprobado midiendo los niveles de luz en diferentes localizaciones para ver que se dan las prestaciones requeridas. Si los niveles combinados son demasiado elevados, es porque la reflectancia de las superficies situadas debajo de los detectores (escritorio) o la altura del techo puede diferir de las condiciones supuestas por el fabricante; ajústese la configuración del detector hasta que se consiga el nivel de alumbrado deseado.

Con algunos sistemas la colocación del detector en la propia lámpara puede ser ajustado para mejorar las prestaciones. Por ejemplo, un detector que puede "ver" la pared conduce a un comportamiento de control diferente que cuando está situado en el otro extremo de la lámpara y sólo "ve" el suelo. Tales procesos de sintonización fina pueden requerir alguna prueba y error para optimizar el sistema para un contexto particular.

La medición y regulación basada en la luminancia provoca que, incluso en una sala específica con un alumbrado uniforme en términos de iluminancia, se presentará una distribución de luminancia no uniforme (debido a diferentes colores, por ejemplo de muebles), conduciendo a diferentes ajustes para diferentes luminarias. Por ello es necesario un cierto margen de regulación. De ahí que todos los fabricantes ofrezcan esta característica en sus sistemas, aunque sistemas diferentes ofrezcan diferentes posibilidades. Los posibles sistemas son:

- Cambiar de lentes con transmisión óptica diferente (filtros de colores): en su mayoría se dispone de tres lentes (coloreadas) que dan la posibilidad de obtener tres umbrales de regulación. Así se obtienen tres niveles de iluminancia para reflectancias "normales". Estos sistemas no permiten la sintonización continua, sino que se sintoniza en saltos o escalones de aproximadamente un 50%.
- Sintonizar con un potenciómetro (analógico): da la posibilidad de sintonizar y ajustar continuamente umbrales de niveles de regulación, incluso para reflectancias "anormales" o "no uniformes".

- Sintonizar mediante una regulación mecánica de abertura o ángulo de aceptación del paso de luz: da también la posibilidad de sintonización continua.
- Eliminar mediante control remoto de infrarrojos la necesidad de abrir la luminaria o manipular la luminaria después de cerrarla. Evita el problema de que el instalador bloquee el detector cuando lo ajusta.

El mejor modo para sintonizar una instalación es:

- Comenzar en una sala o parte representativa de la sala con todos los detectores con igual configuración (algunos fabricantes entregan detectores con una configuración de fabricante específica).
- Medir iluminancias iniciales (de noche o con ventanas cubiertas, o un día no demasiado luminoso) en unos pocos puntos representativos (por ejemplo, en el escritorio, mesa de conferencia, etc.)
- Sintonizar los detectores; algunos fabricantes dan reglas simples para ello (por ejemplo, variaciones del umbral de regulación de flujo del 10% cada vez, en un dispositivo de regulación).
- Basándose en los resultados de esta experiencia, presintonizar todos los detectores.

Es importante observar que los denominados "soportes constantes" requieren una sintonización más precisa que los sistemas que compensan parcialmente (es decir el 50%) para luz natural incidente.

7.3.4 Instalación de sistemas basados en la sala o habitación

La posición de montaje del detector es crítica cuando hay un detector de luz natural que controla múltiples luminarias en una zona o sala única. La mayoría de los tipos de detectores están situados en el techo y miran hacia abajo. Otra posiciones más inusuales del detector, en la pared o en la superficie de trabajo, no son consideradas aquí.

El detector:

- Debe ver una parte de la sala que sea representativa, para que el alumbrado asegure que la iluminación es controlada en el sitio correcto (por ejemplo, situado sobre una superficie de trabajo y no sobre el suelo).
- Debe tener una superficie en el campo de visión con un área relativamente grande; de lo contrario será difícil predecir si el sistema de control funcionará.
- No debe ser capaz de "mirar hacia fuera", porque la señal adicional de un área incontrolada (fuera, o de otras lámparas que no son controladas por el detector) conducirá a un funcionamiento incorrecto del sistema de control de bucle cerrado.
- Debe ser situado donde no reciba luz directa de lámparas dirigidas hacia arriba, cuando se usa el alumbrado indirecto (alumbrado indirecto o suspendido), ya que esto podría conducir a un comportamiento oscilante del sistema.

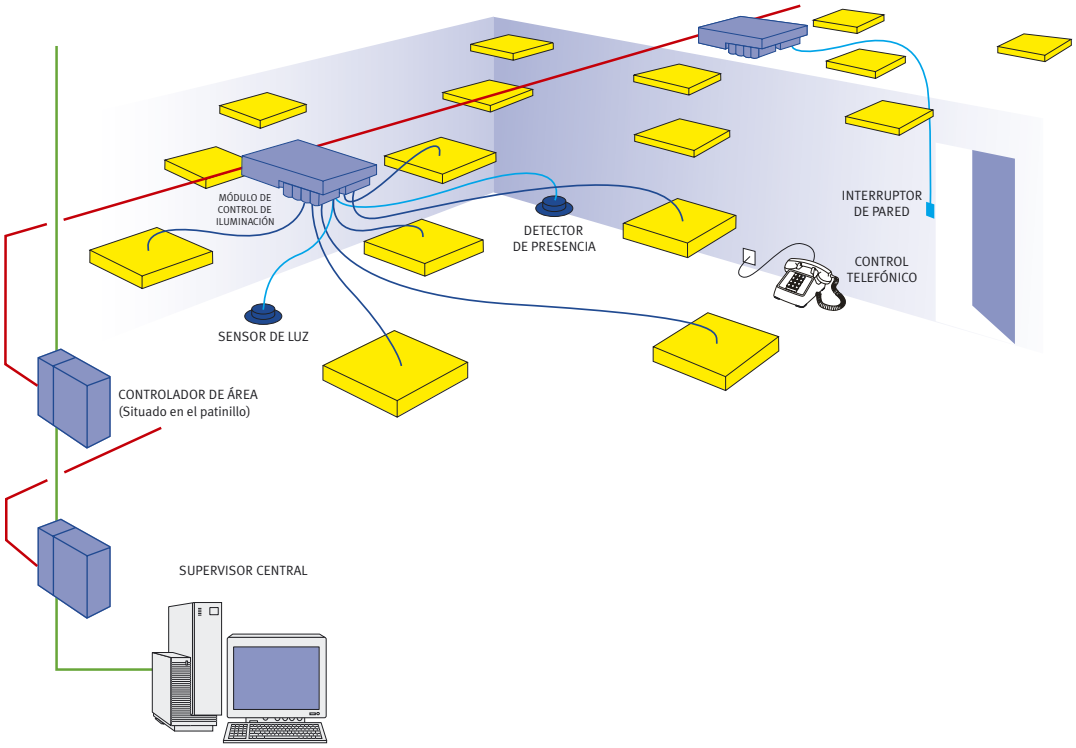
A diferencia de las unidades autónomas (en las que el detector está instalado en cada luminaria) será necesario proporcionar cableado adicional entre el detector y las luminarias. La corriente puede ser suministrada al controlador o directamente a las luminarias. Si los cables para corriente y control están situados próximos entre sí puede haber interferencias eléctricas entre ellos, así que debe tenerse cuidado en separar los cables apropiadamente.

Una vez que la instalación esté completa, deben tomarse mediciones de niveles de iluminancia en la sala por la noche (o en otra situación de baja contribución de luz natural) y durante el día, en distintas situaciones requeridas. Si es necesario, el detector debe ajustarse para proporcionar los niveles deseados.

Algunos sistemas permiten al usuario elegir sus iluminancias personales dentro de un cierto margen o incluso almacenar valores preajustados en la memoria del controlador.

7.3.5 Instalación de sistemas basados en el edificio

En sistemas basados en edificios, el detector de luz natural que controla el alumbrado eléctrico puede ser situado fuera o dentro de alguna o de todas las salas cuyo alumbrado controla.



Situación en el interior:

Si un detector está situado en cada sala, la instalación del sistema es similar a la instalación de un sistema basado en la sala, excepto en que los componentes son conectados a un sistema de "línea de transmisión de datos" o "bus".

Si el detector es situado en una sala representativa que controla el alumbrado en otras salas similares, debe preguntársele al cliente para que sea él el que determine la sala representativa apropiada. Debe tenerse cuidado de que la sala representativa tenga la misma contribución de luz natural que las otras salas, y de que no existan diseños de apantallamiento en la fachada que produzcan desviaciones. Si hay diferencias, han de calcularse las correcciones para asegurar el alumbrado correcto en las diferentes salas.

Situación en el exterior:

Un detector montado en el exterior estará normalmente situado en el tejado del edificio, aunque es posible que los detectores también se sitúen en la fachada o fachadas del edificio. Como ya hemos visto, estos sistemas se basan en algoritmos, que traducen el diseño o distribución de luminancia exterior (incluida la posición del sol) en una cierta cantidad de alumbrado para cada sala interior. De ahí que el efecto de edificios adyacentes (por ejemplo, su reflejo) y obstáculos (por ejemplo, apantallamientos) deba tenerse en cuenta durante la colocación del detector o durante la programación.

La dirección de visión del detector depende del tipo de sistema que se instale. Como estos sistemas están fuera de las salas que controlan, el efecto de los dispositivos de apantallamiento interior no es tenido en cuenta, a menos que se instale un detector adicional detrás de las persianas o que el sistema de control también controle las persianas. Casi en cada situación se requiere la ayuda profesional para la colocación y calibración apropiadas del detector.

Otra variación de los sistemas basados en edificios tiene lugar cuando el sistema de control de alumbrado está conectado o integrado con un Sistema de Gestión de Edificios. En este caso es posible que el ordenador central (BMS) vigile el control de alumbrado o acoplar la iluminación con otros sistemas del edificio. Esto puede ser útil cuando, por ejemplo, las luces son apagadas en periodos de vacaciones o las prestaciones de los sistemas de calefacción y alumbrado son ajustados para complementarse entre sí. En términos de instalación, esto significa que todos los sistemas del edificio pueden necesitar cableado adicional para conectarlos al BMS, compartiendo, el sistema de control de alumbrado y el BMS, la misma línea bus. Por todo esto, es obvio que los sistemas de gestión de edificios requieren la supervisión de personal cualificado.

El control de apantallamiento automático es también una forma de control basado en el edificio, cuando las pantallas o toldos exteriores son ajustados automáticamente por controladores. Algunas veces este tipo de control automático es también utilizado para un apantallamiento interior que está localizado en una posición de difícil acceso, tal como en una claraboya o en ventanas altas.

7.4 Conocimiento del sistema

Un aspecto importante de la instalación, pero a menudo pasado por alto, es la formación del personal de mantenimiento y ocupantes del edificio en el funcionamiento y propósito de los sistemas de control que responden a la luz natural. Aunque la mayoría de los fabricantes proporcionan soporte técnico durante la instalación y por un periodo siguiente a la misma, es más fácil, y probablemente más económico, si la mayoría de los problemas pueden ser solucionados por las propias personas que gestionan y ocupan los edificios.

Los gestores del edificio y de las instalaciones necesitan ser conscientes de cómo funciona el sistema y ajustarlo consiguientemente. Deben ser formados para responder preguntas que pueden llegarles de los ocupantes. Necesitan ser conscientes de las prestaciones normales del sistema y de cómo afrontar problemas típicos asociados con su control. Para sistemas simples esta información es encontrada en los manuales de funcionamiento. Para sistemas más complejos son necesarias sesiones de formación especial de los fabricantes (la mayoría de los fabricantes proporcionarán algún soporte técnico).

Los ocupantes del edificio deben recibir información sobre el propósito del sistema. Una buena forma de conseguirlo puede ser colocar tal información en documentos normalmente encontrados en cada oficina, tal como el listín telefónico de la compañía o el libro de personal. Lo siguiente es un ejemplo del texto utilizado para explicar las luminarias con un sistema comercializado:

Las luminarias en su área son completamente inteligentes y se ajustarán ellas mismas automáticamente de acuerdo con el nivel de luz ambiental y se encenderán por detección de movimiento, si el área está ocupada. Algunas luminarias podrían tener más luminancia que otras. Esto es normal, ya que las condiciones de luz ambiental podrían diferir. Algunas luminarias pueden apagarse completamente ya que nadie ocupa el área o hay suficiente luz natural disponible. Cualesquiera otras cuestiones relacionadas con el alumbrado en su área deben ser comunicadas a la persona encargada de las instalaciones.

A1

Terminología

Anexo A1
Terminología

Para los propósitos de esta Guía, se aplican los siguientes términos que están recogidos respectivamente en las normas UNE EN 12665 Luz y Alumbrado o Iluminación – Términos básicos y criterios para la especificación de los requisitos en alumbrado y UNE EN 12464-1 Luz y Alumbrado o Iluminación – Alumbrado de los lugares de trabajo- Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.

A1.1 Ojo y visión

A1.1.1 Adaptación

Proceso mediante el que el estado del sistema visual es modificado por la exposición previa y presente a estímulos que pueden tener distintas luminancias, distribuciones espectrales y ángulos subtendidos.
NOTA:
- También se usan los términos adaptación a la luz y adaptación a la oscuridad, el primero cuando las luminancias de los estímulos son al menos de varias candelas por metro cuadrado, y el último cuando las luminancias son menores de algunas centésimas de candela por metro cuadrado.
- La adaptación a frecuencias, orientaciones, dimensiones espaciales específicas, etc., se reconoce incluida en esta definición.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4:1987;845-02-07]

A1.1.2 Acomodación

Ajuste del poder dióptrico de la lente del cristalino por el que la imagen de un objeto, a una distancia dada, es focalizada sobre la retina.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4:1987;845-02-44]

A1.1.3 Contraste

En sentido de percepción: Evaluación de la diferencia de apariencia de dos o más partes de un campo vistas simultánea o sucesivamente (en consecuencia: contraste de luminancia, contraste de luminosidad, contraste de colores, contraste simultáneo, contraste sucesivo, etc.).
En el sentido físico: Magnitud destinada a asociarse con el contraste de brillo percibido, definida generalmente por una de varias fórmulas en las que intervienen las luminancias de los estímulos considerados, por ejemplo: $\Delta L/L$ próximo al umbral de luminancias, o L_1/L_2 para luminancias mucho mayores.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4:1987;845-02-47]

A1.1.4 Deslumbramiento

Condición de visión en la que hay incomodidad o reducción en la aptitud para distinguir detalles u objetos, debida a una distribución o ámbito de luminancia inadecuado, o contrastes extremos.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4:1987;845-02-52]

A1.1.5 Parpadeo

Impresión de inestabilidad de sensación visual debida a un estímulo luminoso cuya luminancia o distribución espectral fluctúa con el tiempo.

A1.1.6 Confort visual

Condición subjetiva de bien estar visual inducida por el entorno visual.

A1.2 Luz y color

A1.2.1 Flujo luminoso (ϕ)

Magnitud derivada del flujo radiante, ϕ_e, por evaluación de la radiación de acuerdo con su efecto sobre un observador fotométrico patrón CIE. Para visión fotópica

$$\Phi = K_m \int \left(\frac{d\varphi_e(\lambda)}{d\lambda} \right) V(\lambda) d\lambda$$

donde:

- $\frac{d\varphi_e(\lambda)}{d\lambda}$ es la distribución espectral del flujo radiante.
- V(λ) es la eficiencia luminosa espectral.

Unidad: lm
NOTA:
- Para los valores de K_m (visión fotópica), véase IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-01-56.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-01-25]

A1.2.2 Intensidad luminosa (de una fuente, en una dirección dada) (I)

Cociente del flujo luminoso $d\phi$ que deja la fuente y se propaga en el elemento de ángulo sólido $d\Omega$ que contiene la dirección dada, por el elemento de ángulo sólido

$$I = \frac{d\varphi}{d\Omega}$$

Unidad: cd = lm A sr^{-1}
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-01-31]

A1.2.3 Luminancia (en una dirección dada, en un punto dado de una superficie real o imaginaria) (L)

Cantidad definida por la fórmula

$$L = \frac{d\varphi}{dA\cos\theta Ac}$$

donde:

- $d\phi$ es el flujo luminoso transmitido por un haz elemental que pasa por un punto dado y se propaga en el ángulo sólido $d\Omega$ que contiene a la dirección dada;
- dA es el área de una sección de ese haz que contiene el punto dado;
- $d\Omega$ es el ángulo entre la normal a esa sección y la dirección del haz.

Unidad: cd A m^{-2} = lm A m^{-2} A sr^{-1}
NOTA:
- Véanse las notas 1 a 5 de IEC 50 (845)/CIE 17.4:1987;845-01-34.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-01-35]

A1.2.4 Luminancia media ($\bar{L}$)

Luminancia promedio de un área o ángulo sólido especificados.
Unidad: cd A m^{-2}

A1.2.5 Luminancia mantenida ($\bar{L}_m$)

Valor por debajo del cual no debe descender la luminancia media. Es la luminancia media en el instante en que debe ser realizado el mantenimiento.
Unidad: cd A m^{-2}

A1.2.6 Luminancia inicial ($\bar{L}_i$)

Luminancia media cuando la instalación es nueva.
Unidad: cd A m^{-2}

A1.2.7 Iluminancia (en un punto de una superficie) (E)

Cociente del flujo luminoso $d\phi$ incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto, por el área dA de ese elemento.

Definición equivalente: Integral, tomada sobre el hemisferio visible desde el punto dado, de la expresión $L\cos\theta A d\Omega$ en que L es la luminancia en el punto dado en las distintas direcciones de los haces elementales incidentes de ángulo sólido $d\Omega$, y θ es el ángulo entre cualquiera de estos haces y la normal a la superficie en el punto dado.

$$E = \frac{d\varphi}{dA} = \int_{2\pi S} L\cos\theta d\Omega$$

Unidad: lux (lx) = $lmAm^{-2}$
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-01-38]

A1.2.8 Iluminancia media ($\bar{E}$)

Iluminancia promedio sobre el área especificada.
Unidad: lux (lx)
NOTA:
- En la práctica esta puede ser derivada, bien del flujo luminoso total que incide sobre la superficie dividido por el área total de la superficie, o bien alternativamente de un promedio de las iluminancias en un número de puntos representativos sobre la superficie.

A1.2.9 Iluminancia mantenida ($\bar{E}_m$)

Valor por debajo del cual no debe descender la iluminancia media en el área especificada. Es la iluminancia media en el período en el que debe ser realizado el mantenimiento.
Unidad: lux (lx)

A1.2.10 Iluminancia inicial ($\bar{E}_i$)

Iluminancia media cuando la instalación es nueva.
Unidad: lux (lx)

A1.2.11 Deslumbramiento perturbador

Deslumbramiento que perturba la visión de los objetos sin causar necesariamente una sensación desagradable.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-09-57]

A1.2.12 Deslumbramiento molesto

Deslumbramiento que produce una sensación desagradable sin perturbar necesariamente la visión de los objetos.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-02-56]

A1.2.13 Reflexiones de velo

Reflexiones especulares que aparecen en el objeto visto y que oscurecen parcial o totalmente los detalles reduciendo el contraste.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-02-55]

A1.2.14 Rendimiento de color

Efecto de un iluminante sobre el aspecto cromático de los objetos que ilumina por comparación consciente o subconsciente con su aspecto bajo un iluminante de referencia.
NOTA:
- En alemán, el término “Farbwiedergabe” se aplica también a reproducción de colores.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-02-59]

A1.2.15 Índice general de rendimiento de color CIE 1974 [Ra]

Media de los índices especiales de rendimiento de color CIE 1974, para un conjunto especificado de ocho muestras para ensayo de color.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-02-63]

A1.2.16 Cromaticidad

Propiedad de un estímulo de color definida por sus coordenadas de cromaticidad, o por su longitud de onda dominante o complementaria y pureza tomadas juntas.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-03-34]

A1.2.17 Temperatura de color (T_c)

Temperatura de un radiador de Planck cuya radiación tiene la misma cromaticidad que la de un estímulo dado.
Unidad: K
NOTA:
- También se usa la inversa de la temperatura de color, unidad K^{-1}.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-03-49]

A1.2.18 Temperatura de color correlacionada (T_{cp})

Temperatura de un radiador de Planck cuyo color percibido, bajo condiciones especificadas, es el más parecido al de un estímulo dado de la misma luminosidad.
Unidad: K
NOTA:
- El método recomendado de calcular la temperatura de color correlacionada de un estímulo es determinar en un diagrama de cromaticidad la temperatura correspondiente al punto del lugar de Planck que es cortado por la línea de isotemperaturas acordada que contiene el punto que representa el estímulo (véase Publicación CIE nº 15).
- Se usa la inversa de la temperatura de color correlacionada en vez de la inversa de la temperatura de color siempre que la temperatura de color correlacionada es apropiada.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-03-50]

A1.2.19 Reflectancia (para radiación incidente de composición espectral, polarización y distribución geométrica dadas) (ρ)

Cociente entre el flujo radiante o luminoso reflejado y el flujo incidente en las condiciones dadas.
Unidad: %
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-04-58]

A1.2.20 Transmitancia (para radiación incidente de composición espectral, polarización y distribución geométrica dadas) (τ)

Cociente entre el flujo radiante o luminoso transmitido y el flujo incidente en las condiciones dadas.
Unidad: %
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-04-59]

A1.2.21 Fotometría

Medida de magnitudes relacionadas con radiación cuando se valora según una función de eficiencia luminosa relativa espectral dada, por ejemplo $V(\lambda)$ o $V'(\lambda)$.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-05-09]

A1.3 Equipos de alumbrado

A1.3.1 Lámpara

Fuente construida para producir una radiación óptica, generalmente visible.
NOTA:
- Este término se usa a veces también para ciertos tipos de luminarias.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-07-03]

A1.3.2 Balasto

Dispositivo conectado entre la alimentación y una o varias lámparas de descarga, que sirve fundamentalmente para limitar la corriente de la o las lámparas a un valor determinado.
NOTA:
- Un balasto puede incluir medios para transformar la tensión de alimentación, corregir el factor de potencia y, bien sólo o bien en combinación con un dispositivo de arranque, proporcionar las condiciones necesarias para arrancar la o las lámparas.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-08-34]

A1.3.3 Luminaria

Aparato que distribuye, filtra o transforma la luz transmitida desde una o más lámparas y que incluye, excepto las propias lámparas, todas las partes necesarias para fijar y proteger las lámparas y, cuando sea necesario, circuitos auxiliares junto con los medios de conexión para conectarlos al circuito de alimentación.
NOTA:
- El término aparato de alumbrado es eliminado.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-10-01]

A1.3.4 Sistema de control

Conjunto de dispositivos, cableado y componentes destinados a controlar de forma automática o manual el encendido y apagado o el flujo luminoso de una instalación de iluminación. Se distinguen 4 tipos fundamentales:

- Regulación y control a petición del usuario, mediante interruptor manual, pulsador, potenciómetro o mando a distancia.
- Regulación de iluminación artificial en función de la aportación de luz natural que entra por ventanas, acristalamientos, lucernarios, claraboyas, etc.
- Control de encendido y apagado según la presencia de personas o usuarios en la zona.
- Regulación y control por sistema de gestión centralizado.

A1.3.5 Sistema de regulación

Conjunto de dispositivos, cableado y componentes destinados a controlar de forma automática o manual el flujo luminoso de una instalación de iluminación. Se distinguen 3 tipos fundamentales:

- Regulación y control a petición del usuario, mediante potenciómetro o mando a distancia.
- Regulación de iluminación artificial en función de la aportación de luz natural que entra por ventanas, acristalamientos, lucernarios, claraboyas, etc.
- Regulación por sistema de gestión centralizado.

A1.3.6 Sistema de detección de presencia

Conjunto de dispositivos, cableado y componentes destinados a controlar de forma automática, el encendido y apagado de una instalación de iluminación en función de la presencia o ausencia de personas en la zona. Existen 4 tipos fundamentales de detección:

- Infrarrojos.
- Acústico por ultrasonidos.
- Acústico por microondas.
- Híbrido de los anteriores.

A1.3.7 Sistema de temporización

Conjunto de dispositivos, cableado y componentes destinados a controlar de forma automática, el apagado de una instalación de iluminación en función de un tiempo de encendido prefijado.

A1.3.8 Sistema de aprovechamiento de la luz natural

Conjunto de dispositivos, cableado y componentes destinados a regular de forma automática el flujo luminoso de una instalación de iluminación, en función del flujo luminoso aportado a la zona por la luz natural, de tal forma que ambos flujos aporten un nivel de iluminación fijado en un punto, donde se encontraría el sensor de luz.

Existen 2 tipos fundamentales de regulación:

- Regulación todo/nada: la instalación de alumbrado artificial se enciende o se apaga por debajo o por encima de un nivel de iluminación prefijado.
- Regulación progresiva: la iluminación se va ajustando progresivamente según la aportación der luz natural hasta conseguir el nivel de iluminación prefijado.

A1.3.9 Flujo luminoso nominal (de un tipo de lámpara)

Valor del flujo luminoso inicial de un tipo de lámpara dado declarado por el fabricante o el vendedor responsable, cuando se hace funcionar la lámpara bajo condiciones especificadas.
Unidad: lm
NOTA:
- El flujo luminoso inicial es el flujo luminoso de una lámpara después de un corto período de envejecimiento como se ha especificado en la norma de lámpara pertinente.
- El flujo luminoso nominal es a veces marcado en la lámpara.
- En francés, antes "flujo luminoso nominal".
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-07-59]

A1.3.10 Eficacia luminosa de una fuente (η)

Cociente entre el flujo luminoso emitido y la potencia consumida por la fuente.
Unidad: lm/W
NOTA:
- Debe especificarse si la potencia disipada o no por el equipo auxiliar tal como balasto, etc, si lo hay está incluido en la potencia consumida por la fuente.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-01-55]

A1.3.11 Eficiencia (de una luminaria)

Relación entre el flujo total de la luminaria, medido en condiciones prácticas especificadas con sus propios equipos y lámparas, y la suma de los flujos luminosos de estas mismas lámparas cuando están fuera de la luminaria y funcionando con los mismos equipos en las condiciones especificadas.
NOTA:
- Para luminarias que utilizan lámparas incandescentes, la eficiencia óptica y la eficiencia son iguales en la práctica.
[IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-09-39]

A1.3.12 Distribución (espacial) de la intensidad luminosa (de una fuente)

Representación, mediante curvas y tablas del valor de la intensidad luminosa de la fuente en función de sus direcciones en el espacio.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4:1987; 845-09-24]

A1.3.13 Factor de supervivencia de la lámpara

Fracción del número total de lámparas que continua funcionando en un tiempo dado bajo condiciones definidas y frecuencia de encendidos (véase también CIE 97).

A1.3.14 Factor de mantenimiento de luminaria

Relación entre la eficiencia de una luminaria en un tiempo dado y la eficiencia inicial (véase también CIE 97).

A1.4 Luz natural

A1.4.1 Radiación solar

Radiación electromagnética procedente del sol: 1987.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4:1987; 845-09-76]

A1.4.2 Radiación solar directa

La parte de radiación solar extraterrestre que alcanza la superficie de la tierra en forma de haz colimado después de atenuación selectiva por la atmósfera.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4: 1987; 845-09-79]

A1.4.3 Radiación difusa del cielo

La parte de la radiación solar que alcanza la superficie de la tierra como resultado de ser difractada por las moléculas de aire, partículas de aerosoles, de nubes u otras partículas.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4:1987; 845-09-80]

A1.4.4 Radiación solar global

Combinación de la radiación solar directa y difusa del cielo.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4: 1987; 845-09-81]

A1.4.5 Luz solar

Parte visible de la radiación solar directa.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4: 1987; 845-09-82]
NOTA:
- Cuando está relacionado con efectos actínicos de radiaciones ópticas, este término es corrientemente usado para radiaciones que se extienden más allá de la región visible del espectro.

A1.4.6 Luz del cielo

Parte visible de radiación difusa del cielo.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4: 1987; 845-09-83]
NOTA:
- Cuando está relacionado con efectos actínicos de radiaciones ópticas, este término es corrientemente usado para radiaciones que se extienden más allá de la región visible del espectro.

A1.4.7 Luz natural o luz día

Parte visible de radiación solar global.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4: 1987; 845-09-84]
NOTA:
- Cuando está relacionado con efectos actínicos de radiaciones ópticas, este término es corrientemente usado para radiaciones que se extienden más allá de la región visible del espectro.

A1.4.8 Factor de luz natural o de luz día (D)

Relación entre la iluminancia, en un punto de un plano dado, debida a la luz recibida directa o indirectamente desde un cielo cuya distribución de luminancia se supone o se conoce, y la iluminancia sobre un plano horizontal procedente de un hemisferio de este cielo sin obstáculos. De ambas luminancias se excluye la contribución de la luz solar directa.
NOTA:
- Se incluyen acristalamiento, efectos de suciedad, etc.
- Cuando se calcula el alumbrado de interiores, la contribución de luz solar directa debe ser considerada separadamente.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4: 1987; 845-09-97]

A1.5 Instalaciones de alumbrado

A1.5.1 Relación de separación a altura de montaje

Relación de separación a altura de montaje de los centros geométricos de las luminarias por encima del plano de referencia.
NOTA:
- Para alumbrado interior el plano de referencia es usualmente el plano de trabajo horizontal; para alumbrado exterior el plano de referencia es usualmente el suelo.

A1.5.2 Alumbrado de emergencia

Alumbrado previsto para ser utilizado en caso de fallo de la alimentación del alumbrado normal.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4: 1987; 845-09-10]

A1.5.3 Iluminación de acento

Alumbrado diseñado para aumentar considerablemente la iluminancia de un área limitada o de un objeto con relación a la de su entorno, con alumbrado difuso mínimo.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4: 1987; 845-09-22]

A1.5.4 Efecto estroboscópico

Aparente cambio de movimiento y/o apariencia de un objeto móvil cuando el objeto es iluminado por una luz de intensidad variable.

NOTA :

- Para obtener una inmovilización aparente o un cambio constante de movimiento, es necesario que tanto el movimiento del objeto como la variación de intensidad luminosa sean periódicos, y exista alguna relación específica entre el movimiento del objeto y las frecuencias de variación de la luz. El efecto es solamente observable si la amplitud de la variación de luz está por encima de ciertos límites. El movimiento del objeto puede ser de rotación o de translación.

A1.5.5 Factor de pérdida de luz; factor de mantenimiento (término obsoleto)

Cociente entre la iluminancia media sobre el plano de trabajo después de un cierto período de uso de una instalación de alumbrado y la iluminancia media obtenida bajo la misma condición para la instalación considerada usualmente como nueva.

NOTA:

- El término factor de depreciación ha sido usado anteriormente para designar la inversa del cociente anterior.
- Las pérdidas de luz tienen en cuenta la acumulación de suciedad sobre la luminaria y las superficies de la habitación y la depreciación de la lámpara.

[IEC 50 (845)/CIE 17.4: 1987; 845-09-59]

A1.5.6 Vida de instalación de alumbrado

Período después del cual la instalación no puede ser recuperada para satisfacer las prestaciones requeridas debido a deterioros no recuperables.

A1.5.7 Ciclo de mantenimiento

Repetición de intervalos de reemplazamiento de lámpara, limpieza de lámpara/luminaria y limpieza de superficie de habitación (véase también CIE 97).

A1.5.8 Programa de mantenimiento

Conjunto de instrucciones que especifican el ciclo de mantenimiento y los procedimientos de servicio (véase también CIE 97).

A1.5.9 Valor de eficiencia energética (VEEI)

Índice que evalúa la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, cuya unidad de medida es (W/m²·lux)·100. Se determina para cada zona mediante la expresión de la Fig. A1.1.

$$\text{VEEI} = \frac{\text{Potencia(lámpara+equipo auxiliar eléctrico) en vatios}}{\text{Superficie iluminada en m}^2} \times \frac{100}{\text{Iluminancia media mantenida (E) en lux}}$$

Fig.A1.1 Valor de eficiencia energética (VEEI)

A1.6 Mediciones de iluminación

A1.6.1 Luxómetro

Instrumento para medir iluminancia.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4: 1987; 845-05-16]

A1.6.2 Luminancímetro

Instrumento para medir luminancia.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4: 1987; 845-05-17]

A1.6.3 Reflectómetro

Instrumento para medir cantidades que pertenecen a reflexión.
[IEC 50 (845)/CIE 17.4: 1987; 845-05-26]

A1.7 Materiales y sus características

A1.7.1 Coeficiente de transmisión luminosa del vidrio

Porcentaje de luz natural en su espectro visible que deja pasar un vidrio. Se expresa en tanto por uno o en tanto por ciento.

A1.7.2 Reflectancia de un material

Cociente entre la cantidad de luz incidente sobre un material y la cantidad de luz reflejada. Se expresa en tanto por ciento o en tanto por uno.

A1.7.3 Coeficiente de absorción de un material

Porcentaje de luz que al atravesar un material translúcido o transparente no sale del total de luz incidente sobre dicho material. Se expresa en tanto por uno o en tanto por ciento.

A2

Datos de eficiencia energética y duración de vida de los componentes de una instalación de alumbrado artificial

Anexo A2
Datos de eficiencia energética y duración de vida de los componentes de una instalación de alumbrado artificial

A2.1 Lámparas

De entre los distintos tipos de lámparas, caracterizados por la forma de emitir luz, son destacables:

A2.1.1 Lámparas incandescentes

Lámparas cuya emisión luminosa se produce por calentamiento de una resistencia metálica al paso de una corriente eléctrica a su través hasta alcanzar la temperatura de incandescencia, en cuyo momento emite, entre otras formas de radiación, radiación visible. La proporción de la energía irradiada es más o menos de un 89% de energía térmica y un 19% de energía en el espectro visible. Las familias de lámparas incandescentes más conocidas son:

Lámparas incandescentes estándar

Fuentes de luz en las que el calentamiento del emisor se produce por el paso de una corriente eléctrica a través de un filamento de wolframio.

Las partes de que constan este tipo de lámparas son:

- Filamento.
- Ampolla.
- Gas de relleno.
- Casquillo.

Lámparas incandescentes halógenas

Son lámparas del mismo tipo que las anteriores, pero en las que a la mezcla de gases contenida en el interior de la ampolla se le añade un compuesto halogenado, generalmente bromuro de metileno. En el interior de su ampolla se produce el llamado "ciclo de halógeno" que permite reducir el ennegrecimiento de la ampolla, recuperar el wolframio vaporizado y aumentar la temperatura del filamento; en consecuencia aumenta la duración de vida y la eficacia luminosa, al disminuir las pérdidas térmicas, aumentando el flujo luminoso. Estas lámparas son, pues, más eficaces en términos energéticos que las incandescentes estándar.

A continuación se recogen los diferentes tipos de lámparas incandescentes halógenas ordenadamente.

La utilización de este tipo de lámparas, a pesar de su bajo rendimiento energético o eficacia, se debe a las características peculiares de su luz brillante, a su excelente reproducción cromática (100 en una escala de 1 a 100), a su pequeño tamaño y excelentes características de precisión fotométrica y a su amplia gama.

Además, esta es una lámpara regulable en cuanto a su flujo luminoso, como también se precisa para el aprovechamiento de la luz natural. Los actuales transformadores electrónicos de clase A hacen mucho más simple y versátil el empleo de estas lámparas.

La normativa en la que se recogen sus características constructivas y de seguridad son:

- IEC 60064
- IEC 60432
- IEC 60630

A2.1.2 Lámparas de descarga

Son las fuentes de luz que utilizan la emisión luminiscente producida como consecuencia de una descarga en una columna gaseosa, siendo los gases más empleados los vapores de mercurio y sodio. Existen dos elementos diferenciadores, la sustancia en forma de gas y su presión, que, junto con las características específicas que ambos elementos conllevan, definen los principales tipos de lámparas de descarga. Los componentes fundamentales de que constan estas fuentes de luz son:

- Tubo de descarga.
- Electrodos.
- Ampolla exterior.
- Recubrimiento fluorescente, si lo hay.

Los principales tipos de lámparas de descarga empleados en iluminación de interiores en edificios son:

Lámparas de mercurio a baja presión (tubos fluorescentes)

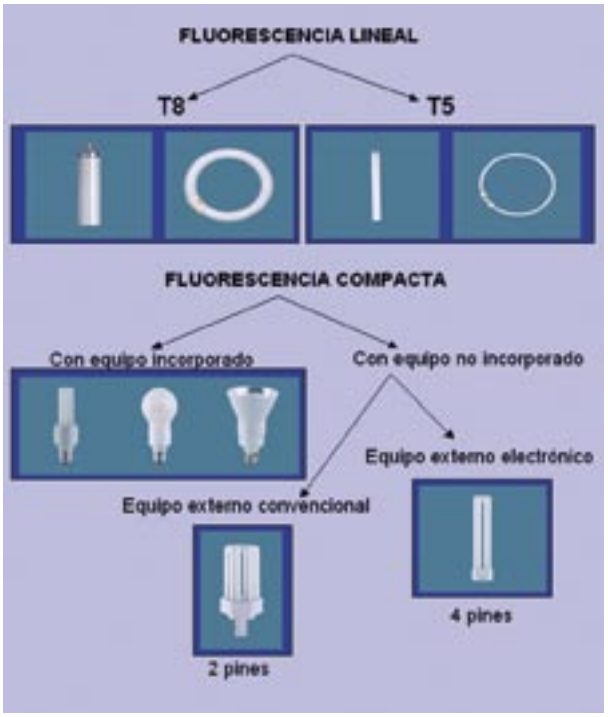
Son lámparas (de forma generalmente tubular, rectilíneas o curvilíneas) de vidrio, con un conductor metá-

lico en cada extremo denominado electrodo. El tubo está lleno de gas inerte y vapor de mercurio a baja presión. La radiación emitida fundamentalmente en la descarga por el vapor de mercurio a baja presión es ultravioleta, ya que solamente emite en el intervalo visible una pequeña cantidad de su flujo. El componente que emite luz es un delgado revestimiento de polvo fluorescente que recubre el tubo interiormente y que transforma la longitud de onda de esa radiación ultravioleta en longitud de onda visible para obtener, en conjunto, una lámpara de eficacia relativamente alta (entre 60 y 100 lm/w).

Dentro del ámbito de las lámparas fluorescentes existen dos subtipos perfectamente diferenciados: las tubulares estándar, con electrodos en los extremos, y las denominadas lámparas fluorescentes compactas, de menor tamaño, formadas por tubos fluorescentes más cortos, doblados o conectados entre sí, que forman conjuntos de varias unidades.

Dada su elevada eficacia, así como su mayor duración, estas lámparas compactas, se desarrollaron para sustituir a las incandescentes en ciertas aplicaciones; pero hoy tienen entidad propia por sus ventajas.

A continuación se recogen algunos de los tipos más frecuentes:



De entre las múltiples variedades de lámparas fluorescentes a las que han dado lugar los sucesivos desarrollos, es preciso destacar las lámparas denominadas "trifósforo", que permiten la obtención de reproducciones cromáticas excelentes, satisfaciendo todas las exigencias de la norma europea EN 12464 Iluminación en los puestos de trabajo en interiores. Además las lámparas trifósforo tienen una eficacia luminosa superior a 100 lm/w.

Estas lámparas, al poder funcionar con balastos electrónicos de alta frecuencia, permiten la regulación del flujo luminoso y de la potencia eléctrica, con lo que son idóneas para el aprovechamiento de la luz natural.

En cuanto a las lámparas fluorescentes compactas cabe citar como variedades más importantes:

- Lámparas circulares con un casquillo Edison.
- Lámparas de forma tubular con dos o más formas tubulares interconectadas, que llevan casquillo de conexión especial y van separadas del balasto y cebador, o que llevan casquillo Edison y equipo electrónico integrado en la lámpara.
- Lámparas con 2 o más tubos interconectados y contenidos dentro de una envolvente exterior, normalmente difusora, que asemeja a la ampolla de una lámpara incandescente estándar (vela, esférica, etc.).

La norma que tiene en cuenta tanto los aspectos constructivos como de seguridad es la IEC 60081.

Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

En estas lámparas, la emisión por descarga proporciona mayor radiación visible y menor ultravioleta, por lo que la participación de la fluorescencia en el flujo total es menos significativa que en las lámparas a baja presión. Los polvos fluorescentes se emplean más para mejorar el rendimiento de color que la eficacia de la lámpara, aunque empleando recubrimientos específicos también se mejora su eficacia.

Al contrario que las otras lámparas de descarga, no precisan de un arrancador para iniciar la descarga; pero como las lámparas fluorescentes, son sensibles a las bajas temperaturas.

Estas lámparas tienen una baja eficacia luminosa, del orden de 60 lm/w, y una mala reproducción cromática (59 máximo).

Son regulables tan sólo hasta un 50% de su flujo luminoso y un 60% de su consumo eléctrico. El modo de regularlos actual es con balastos inductivos de doble nivel o con reguladores estabilizadores en cabecera de línea, por lo que su empleo no es excesivamente recomendable en el tipo de iluminaciones que se están tratando en esta Guía.

Sus aspectos constructivos y de seguridad se recogen en la norma IEC 60188.

Lámparas de vapor de mercurio con halogenuros metálicos

Estas lámparas son análogas estructuralmente a las de mercurio a alta presión, pero funcionalmente son muy distintas: a la atmósfera gaseosa de mercurio que llena el tubo de descarga (que puede ser de cuarzo, como en la antigua generación, o de cerámica como en la nueva) se le añaden distintos aditivos en forma de halogenuros de tierras raras (talio, indio, escandio, disprosio, etc.). Estos aditivos son los que realmente definen la distribución espectral de la emisión, ya que el mercurio actúa casi exclusivamente como elemento regulador, al ser los niveles de excitación de los aditivos más bajos que el del mercurio.

dependiendo del número y composición de los halogenuros introducidos, lo que hace que no exista universalidad en los equipos y las lámparas. Pero además existen en múltiples formas, con la finalidad de adaptarse a las necesidades de sus aplicaciones: lámparas tubulares, de tipo ovoide recubiertas con polvo fluorescente interiormente, lámparas de dos terminales, lámparas con casquillo de dos espigas o pitones, lámparas reflectoras, etc.

Como el resto de las lámparas de descarga, precisan de un balasto para regular la corriente, y un arrancador para provocar la descarga. Pero, además, tienen un efecto muy peculiar y es el de que dada la elevada temperatura que se alcanza en el tubo de descarga, precisan de al menos 10 minutos para que, en caso de corte de suministro eléctrico durante su funcionamiento, puedan volver a reencender.

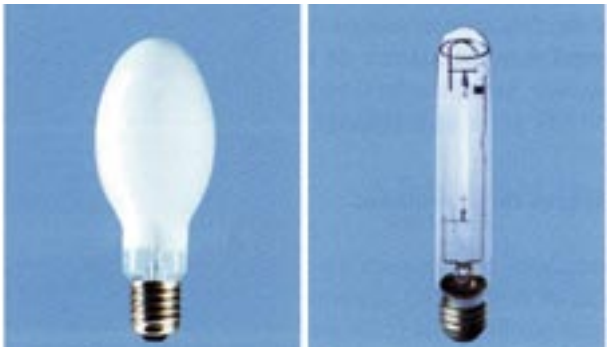
Sus ventajas más importantes son: muy alta eficacia luminosa (aprox. 90-100 lm/w); reducción de la radiación térmica y, por tanto, menos necesidad de evacuación del calor; excelente reproducción cromática (Ra>90) y larga duración de vida.

Estas lámparas son regulables en su flujo y potencia eléctrica consumida, mediante balastos electrónicos de alta frecuencia.

Su norma de construcción es la IEC 61167.

Lámparas de sodio a alta presión

Estas lámparas llevan vapor de sodio a alta presión (entre 1 y 10 atmósferas) en el tubo de descarga. Originalmente estas lámparas llevaban una pequeñísima cantidad de mercurio en el interior del tubo para favorecer el arranque; pero hoy en día ese mercurio está siendo eliminado totalmente de su constitución al emplearse otros procedimientos, tales como una antena interna, para favorecer su arranque. Estas lámparas son las de mayor eficacia luminosa, pero al ser su índice de reproducción cromática muy bajo no se suelen emplear en alumbrado interior.



La norma que recoge los aspectos constructivos de este tipo de lámparas es la IEC 60662

Lámparas de sodio a alta presión ("sodio blanco")

Estas lámparas son una variante de las de sodio alta presión, con una mayor presión en el tubo de descarga. Con el aumento de la presión del sodio se produce, primero un ensanchamiento de las líneas espectrales y después la autoabsorción de las líneas inicialmente emitidas. Finalmente, si se aumenta aún más la presión, aunque se ensancha la zona central de autoabsorción, en las zonas extremas la distribución espectral es casi continua, por lo que el rendimiento de color de estas lámparas es mejor.

Las lámparas denominadas de "sodio blanco" pertenecen a este último escalón y poseen un mejor rendimiento de color; aunque esto suele conseguirse a expensas de disminuir, en general, la eficacia luminosa.

Como en casos anteriores, estas lámparas también necesitan un balasto para regular la intensidad. Pero dada la sensibilidad a las variaciones de tensión de alimentación de estas lámparas, precisan de un balasto electrónico que además estabilice la tensión de alimentación.

A2.1.3 Características funcionales

Las características funcionales de las fuentes de luz se pueden dividir en tres grupos: eléctricas, fotométricas y colorimétricas. Estas últimas están recogidas, a continuación, en forma de tabla; donde, además, se deja constancia de la duración de vida y otros datos interesantes.

A2.1.3.1 Características eléctricas

Entre estas características podemos citar las siguientes: potencia nominal, tensión eficaz en bornes, corriente nominal de régimen y corriente de precalentamiento.

Lámparas incandescentes estándar: La potencia inicial de cada lámpara no debe exceder del 104% del valor nominal marcado sobre ella, más 0,5 W.

Lámparas incandescentes halógenas: La potencia inicial individual será inferior al 108% de la nominal, salvo en aquellos casos en los que específicamente se indique el 112%.

Lámparas fluorescentes estándar y compactas: La potencia inicial absorbida por la lámpara no debe variar respecto del valor nominal marcado, en más del 5% + 0,5 W, cuando el ensayo se efectúa en las condiciones previstas al efecto.

Lámparas de vapor de mercurio a alta presión: La potencia inicial absorbida por la lámpara no debe variar respecto del valor nominal marcado en más del 5%, cuando el ensayo se efectúa en las condiciones previstas al efecto.

La lámpara no debe apagarse cuando la tensión baje del 100% al 90% en 0,5 segundos y se mantenga en este valor durante 5 segundos más.

Lámparas de vapor de mercurio con halogenuros: La potencia de la lámpara será la asignada por el fabricante, que podrá coincidir o no con la nominal. La tensión en lámpara no podrá variar más del ± 10% del valor asignado.

Lámparas de vapor de sodio a alta presión: La potencia de la lámpara será la asignada por el fabricante. La tensión en lámpara no debe variar en más de ± 15% del valor asignado.

A2.1.3.2 Características fotométricas y colorimétricas

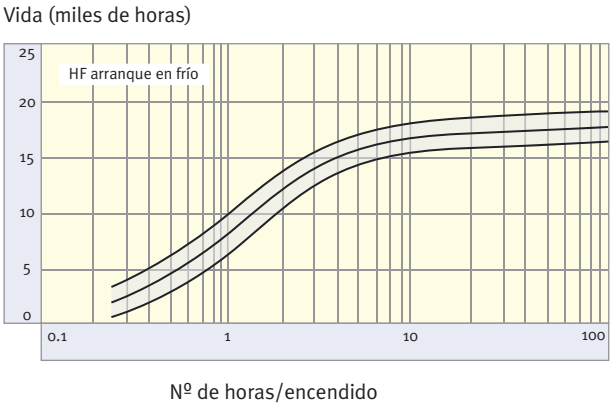
Tabla de valores característicos de los distintos tipos de fuentes de luz para interiores:

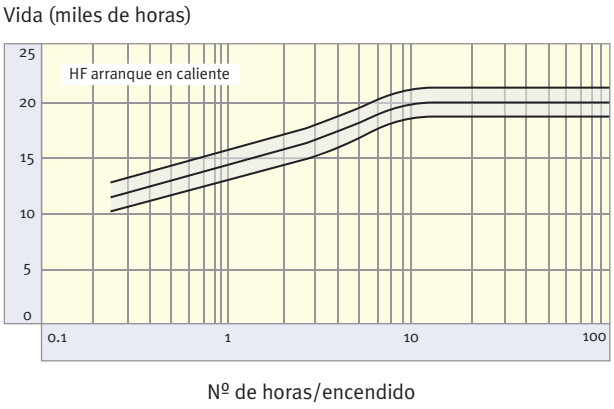
Tipo	Temp. Color (k)	Rend. Color (Ra)	Duración horas	Equipo eléctrico auxiliar	Posibilidad de regulación de flujo y potencia	Eficacia (Lm/w)
Incandescente estándar	2700	100	1000	No necesario	Si	19
Incandescente halógena	2900-3100	100	2000-5000	Trafo para baja tensión	Si	25-30
Fluorescencia	1700-6500	75-98	14000-18000	Necesario	Si De 10% a 100%	104
Vapor de mercurio	3500-4200	50	14000	Necesario	Si De 50% a 100%	60
Halogenuros metálicos	3000-6000	65-95	6000-12000	Necesario	Si De 40% a 100%	90-100
Sodio alta presión	2100	20-65	18000	Necesario	Si De 50% a 100%	90-150

A2.1.3.3 Características de duración de vida

Las características de duración presentan algunas diferencias sustanciales según el tipo de lámpara al que se refieran. De entre los distintos parámetros que se emplean (duración de vida útil, duración de vida media, etc.), en este apartado se hará solo mención de la denominada duración de vida media; expresada en horas, define el período de tiempo en el que en una instalación se alcanza el 50% de la mortalidad del conjunto total de lámparas empleado.

Uno de los factores a tener en cuenta en la duración de vida de las lámparas de descarga es el número de encendidos y el número de horas que permanece funcionando la lámpara en cada encendido. Como ejemplo, se muestran a continuación dos gráficos ilustrativos de lámparas fluorescentes alimentadas con balastos de alta frecuencia, para encendido en frío y en caliente, donde se puede ver la enorme influencia del número de encendidos. Por ello se recomienda prestar mucha atención en el diseño de la instalación al número de horas de encendidos y apagados, para tratar de no acortar la vida de las lámparas.

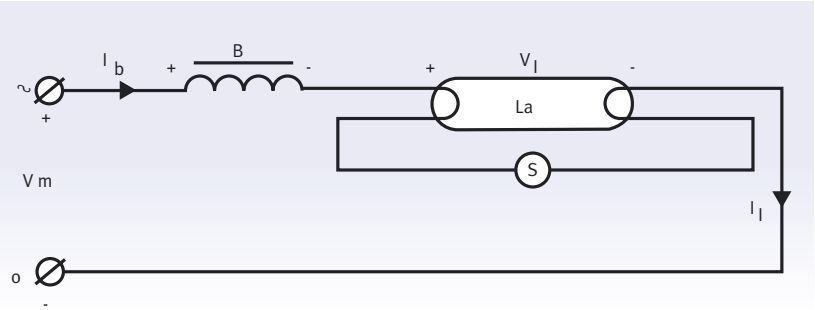




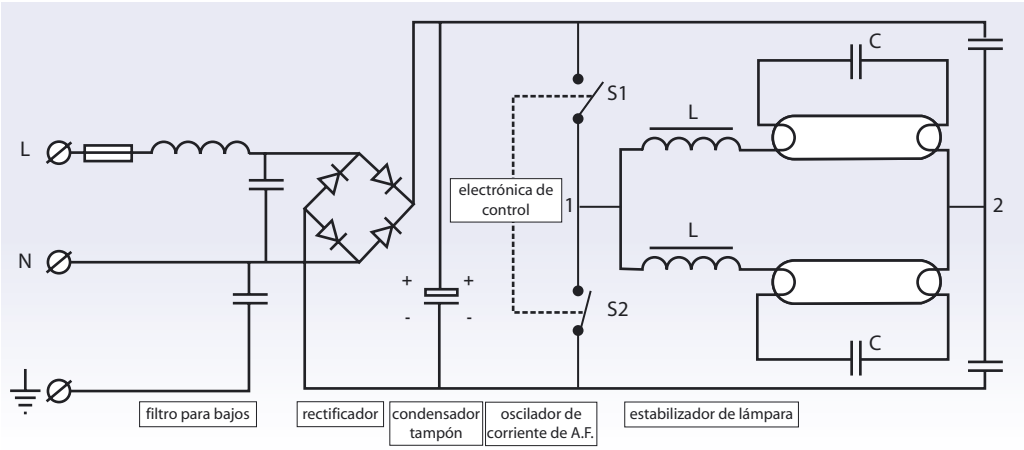
A2.2 Equipos eléctricos auxiliares

A2.2.1 Balastos

El balasto es el elemento fundamental del equipo eléctrico auxiliar de una lámpara de descarga, y su finalidad es estabilizar la intensidad de la lámpara. En la siguiente figura se ha representado el balasto más común, de tipo inductivo (o de choque) conectado en serie con la lámpara, en este caso una lámpara de vapor de mercurio de tipo fluorescente.

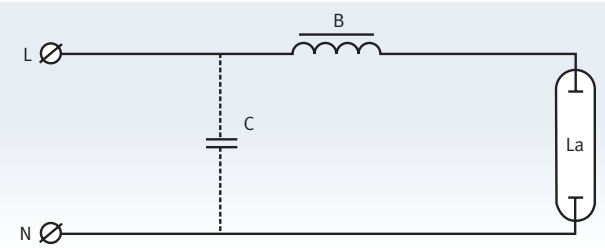


En cuanto a los balastos electrónicos, su esquema general para lámparas de tipo fluorescente está representado en la siguiente imagen.



A2.2.2 Condensadores

Los balastos electromagnéticos producen un desfase entre la tensión y la intensidad, que se caracteriza generalmente por lo que se denomina el "factor de potencia". Para corregir dicho factor de potencia, se emplean condensadores, cuyo montaje en el circuito eléctrico de lámpara se hace en paralelo con los bornes de alimentación de la red.

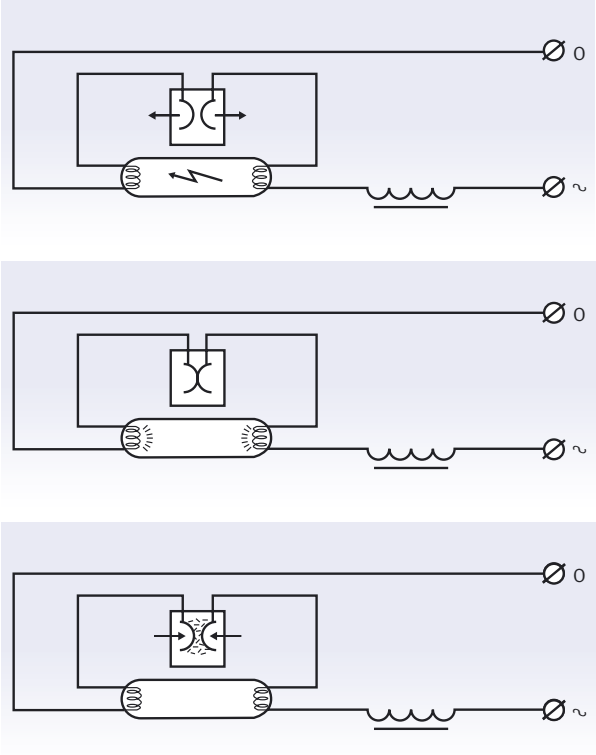


En caso de los balastos electrónicos no es precisa la compensación, pues el ángulo de desfase es 0.

A2.2.3 Cebadores o arrancadores

Todas las lámparas de descarga, exceptuando las lámparas de vapor de mercurio a alta presión, necesitan un dispositivo que inicie la descarga del gas. Los hay de muy variados tipos, pero los más importantes son:

- Cebadores de efluvios para lámparas fluorescentes.
- Cebadores bimetálicos para lámparas fluorescentes.
- Arrancadores para lámparas de vapor de mercurio con halogenuros metálicos.
- Arrancadores para lámparas de vapor de sodio a alta presión.

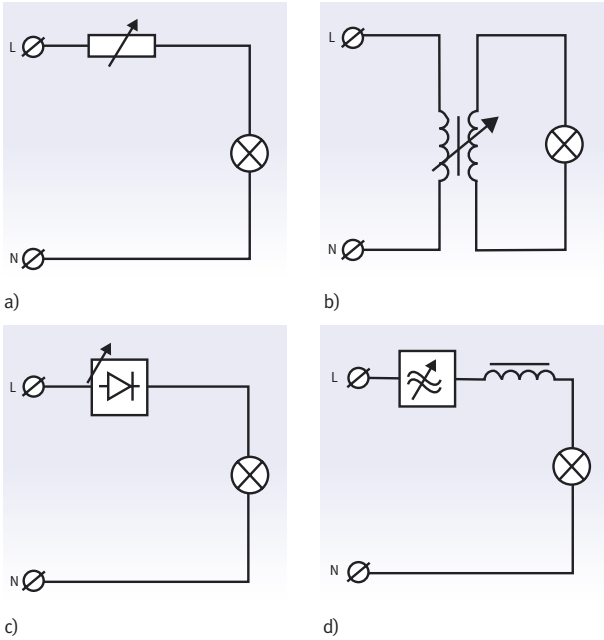


A2.2.4 Transformadores

Algunas lámparas incandescentes de ciclo halógeno se alimentan a una tensión menor que la de red, por ejemplo, a 12 o a 24 voltios. En ese caso, se emplean transformadores reductores para que, a una entrada de tensión propia de la red, alimenten a las lámparas con la tensión requerida. Esta tensión de alimentación, denominada muy baja tensión de seguridad, da origen a la denominada Clase III de aislamiento de algunos equipos de iluminación.

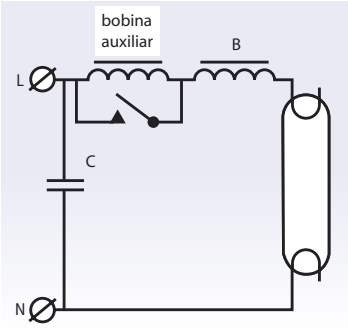
A2.2.5 Sistemas de regulación del flujo luminoso

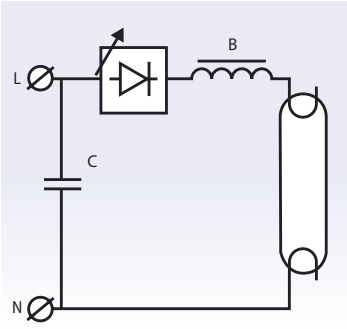
Hay varios sistemas para regular el flujo luminoso; de entre ellos destacan, según el esquema que figura a continuación, los que lo consiguen:



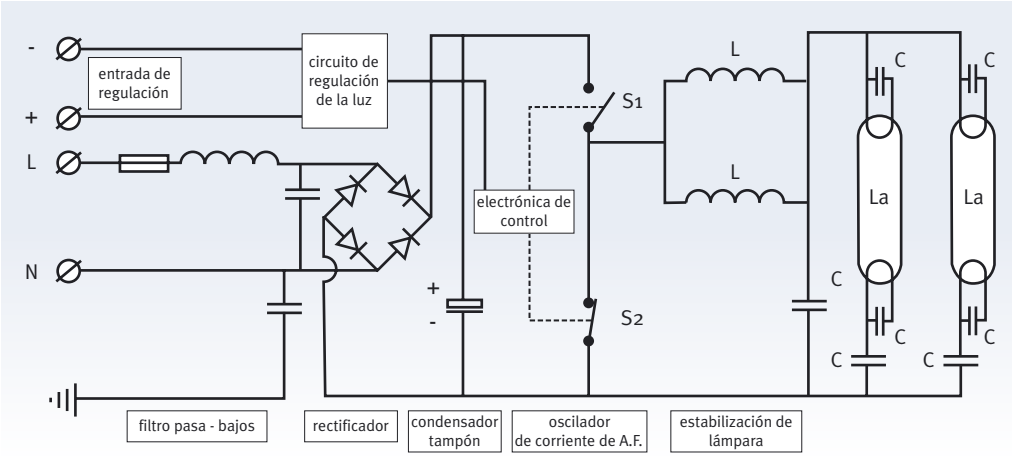
a) Mediante una resistencia variable o potenciómetro.
b) Mediante un transformador variable.
c) Mediante un circuito de tiristor.
d) Mediante regulación de frecuencia.

En el caso de las lámparas de descarga en general, y de fluorescencia en particular, cuando están alimentadas a través de balastos electromagnéticos, la regulación del flujo luminoso se consigue fundamentalmente por dos procedimientos: mediante una bobina inductiva en serie o paralelo o mediante un tiristor.





En el caso de balastos electrónicos, para lámparas fluorescentes, se muestra a continuación el esquema de un balasto que permite la regulación del flujo luminoso de la lámpara.



En cuanto a los balastos electrónicos, hay un modelo que no es regulable, por lo que se descarta para esta Guía. Los que permiten la regulación deben cumplir muy estrictamente la normativa que hay a este respecto y que recogemos a continuación:

Supresión de radio interferencias: CISPR 15; EN 55015
Armónicos: IEC 1000-3-2; EN 61000-3-2
Seguridad: IEC 928; EN 60929
Modo de trabajo: IEC 928; EN 60928
Inmunidad: IEC 1547; EN 61547

Consumo de energía en los componentes de los equipos auxiliares

Los equipos asociados a las lámparas de descarga deben estar dimensionados adecuadamente y estar fabricados con la calidad de materiales idónea para reducir su propio consumo a valores razonables, a fin de conseguir la mayor eficiencia energética del punto de luz. En el Código Técnico de la Edificación se recogen estos parámetros debidamente.

A2.3 Luminarias

Las luminarias son los componentes de la instalación que se encargan de distribuir la emisión luminosa de las lámparas adecuándola a la zona a iluminar. Alojan en su interior, en general, tanto las lámparas como los equipos eléctricos auxiliares para el correcto funcionamiento de las mismas y permiten el mantenimiento de las prestaciones fotométricas durante el mayor tiempo posible merced a sus características constructivas.

A continuación se recogen las condiciones técnicas aplicables a las luminarias, tanto desde el punto de vista fotométrico como constructivo, para proporcionar una guía de uso, que permita, teniendo en cuenta las mismas, conseguir el empleo más adecuado y la máxima eficiencia energética de la instalación.

Las luminarias a emplear en alumbrado interior pueden pertenecer a los siguientes tipos:

- Empotrables.
- Adosables.
- Suspendidas.
- De montaje en pared.

A2.3.1 Clasificación de las luminarias

Existen varias características que tras ser analizadas permiten establecer su clasificación:

- El grado de protección a la penetración de cuerpos sólidos y líquidos.
- El tipo de aplicación.
- La distribución de flujo luminoso.
- La distribución de la componente directa.
- El control del deslumbramiento.

A2.3.1.1 Según el grado de protección a la penetración de cuerpos sólidos y líquidos

En la norma de construcción de luminarias EN 60598-1 “Luminarias. Reglas generales y Ensayos”, se describen los métodos de ensayo para determinar el índice de protección de las luminarias.

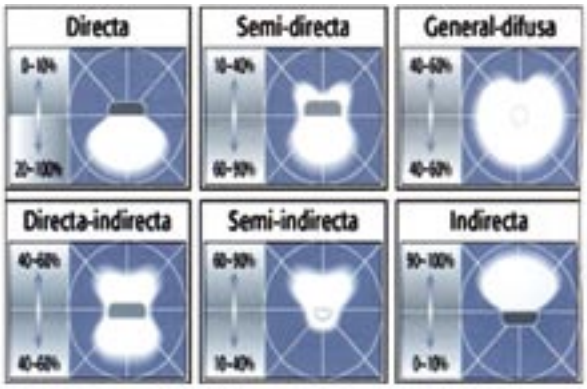
A2.3.1.2 Según el tipo de aplicación

Aunque la clasificación de las luminarias en función del tipo de aplicación puede ser muy variable, a continuación se ofrece una de las posibles:

- **Luminarias para alumbrado, de oficinas y salas de edificios:** este tipo de luminarias se utiliza para proporcionar el alumbrado general de las instalaciones para el desarrollo de la actividad, aunque también pueden complementar esta función con el refuerzo o acento de algunas tareas. Suelen utilizarse lámparas fluorescentes (tubulares o compactas) para la iluminación general en oficinas o salas de máquinas o pasillos, de vapor de sodio alta presión en locales industriales, y de vapor de mercurio con halogenuros en superficies comerciales, que normalmente se emplean para destacar objetos. Su eficiencia energética es fundamental.
- **Luminarias de alumbrado decorativo de uso general en interiores:** se trata de aquellas luminarias en las que prima fundamentalmente su componente estética sobre otras y se emplean para conseguir la denominada iluminación de acento. Las lámparas más usuales empleadas son fluorescentes compactas, incandescentes y de vapor de mercurio con halogenuros o de sodio “blanco”. Se evitarán las luminarias de lámparas incandescentes siempre que sea posible, por su baja eficacia luminosa.

A2.3.1.3 Según la distribución del flujo luminoso

Las luminarias para interiores han sido clasificadas por la CIE de acuerdo con el porcentaje de flujo luminoso total distribuido por encima y por debajo del eje horizontal de la luminaria, según la siguiente tabla:



A2.3.1.4 Según la distribución de la componente directa

Las luminarias para iluminación interior, se pueden clasificar según la distribución luminosa de su componente directa; dicha clasificación se realiza en función de la relación entre el espacio permisible y la altura de la instalación, según la siguiente tabla:

Clase de luminaria	Relación espacio-altura
Muy concentradora	< 0,5
Concentradora	0,5 a 0,7
Dispersión media	0,7 a 1,0
Dispersión normal	1,0 a 1,5
Gran dispersión	> 1,5

A2.3.1.5 Según el control del deslumbramiento

El control de deslumbramiento molesto de lámparas y luminarias, implica el control de la luminancia que emiten éstas en dirección al ojo del observador. El control de la luminancia buscado depende de la clase de actividad que se realice. La CIE clasificaba las diferentes actividades en cinco grupos, según el grado de control de luminancia que se necesita:

Clase de Calidad	Tipo de Actividad
A	Tareas visuales de gran precisión
B	Tareas con alta demanda visual Tareas con demanda visual moderada pero que requieren alta concentración
C	Tareas con demandas visuales y de concentración moderadas y en las que hay movilidad del trabajador
D	Tareas con demandas visuales y de concentración bajas y con gran movilidad del sujeto en áreas restringidas
E	Interiores en los que los sujetos no están confinados en áreas localizadas y se mueven de un área a otra realizando tareas de baja demanda visual Interiores que no se usan continuamente por las mismas personas

Hoy día, tal y como se recoge en la norma UNE EN 12464-1, el valor de UGR caracteriza el control del deslumbramiento de las instalaciones de iluminación en interiores.

A2.3.2 Criterios para la elección de una luminaria

Además de la consideración estética en la elección de la luminaria que, al ser un criterio totalmente subjetivo, no puede ni debe ser limitado, existen una serie de factores que pueden provocar una mejora importante

en la eficiencia energética de la instalación. En este apartado A2 de esta Guía se pueden encontrar algunos de estos argumentos.

Datos para la evaluacion energetica de las luminarias

Desde el punto de vista de la eficiencia energética y considerando aisladamente las luminarias, se dan a continuación unos valores recomendables para su elección.

Siguiendo la clasificación ya aplicada, en alumbrado interior (oficinas, grandes superficies, etc.), los parámetros considerados en las tablas para cada tipo de fuente de luz y alumbrado son:

- Factor de utilización para relaciones de altura-anchura de 1 y 1,5.
- Grado de protección IP del comportamiento óptico.
- Rendimiento del haz para el caso de proyectores.

		Incan.[1]	Fluor.	V.Merc.	Halogen. Metálic.		V.S.A.P.		Induc.
					Tub.	Ovoide	Tub.	Ovoide	
IP[3]	Ambiente Limpio	20							
	Ambiente Sucio	43							
Rendimiento[2]		60	70	65	70	60	70	60	60

1) Este tipo de lámpara no es recomendable salvo por motivos estéticos en algún alumbrado de acento debido a su baja eficacia.

2) Los valores de rendimiento mencionados se consideran como valores recomendables para las luminarias en cuestión. Valores superiores hasta en un + 5 % se consideran muy recomendables y por encima de este valor como excelentes; por el contrario para valores inferiores hasta en un - 5 %, se consideran muy poco recomendables e inferiores a este valor, se deben desestimar.

3) El grado de protección mínimo que se indica, es para una luminaria que se usa en un ambiente típico para el tipo de alumbrado considerado. En el caso de que el ambiente donde se ubique la luminaria sea especialmente sucio, deberá aumentarse el grado IP, con objeto de mejorar el factor negativo que supone el ensuciamiento del interior del compartimiento óptico.

A3

Datos sobre la luz natural y recorrido solar

Anexo A3
Datos sobre la luz natural y recorrido solar

Los datos de cielos básicos, proporcionan a un arquitecto el conocimiento e información de las condiciones relativas a las posibles situaciones del lugar de edificación que éste precisa para predeterminar las aportaciones de luz natural que se pueden esperar. Las diferencias existentes entre los cielos del sur y del norte se han mostrado como un factor a tener en cuenta para conseguir una respuesta arquitectónica apropiada, contribuyendo a una información fiable sobre cuáles son los resultados que se pueden obtener a posteriori mediante los sistemas de captación de luz natural.

Por esta razón una información más detallada, en forma de curvas de distribución de luminancia del cielo o datos de disponibilidad de luz natural, proporciona detalles cuantitativos básicos que pueden ser usados en los análisis de las opciones de diseño. Los datos exactos y las técnicas para determinar las condiciones del cielo son importantes para juzgar las prestaciones del diseño final en términos tanto de confort visual como de uso eficiente de la energía en el tiempo. Ya se ha mencionado el hecho de que el uso de la luz natural para desplazar la necesidad de alumbrado artificial puede dar como resultado importantes ahorros de energía y la reducción de emisiones a la atmósfera de dióxido de carbono, particularmente en edificios no domésticos tales como oficinas, librerías o escuelas, etc. Debido a la naturaleza dinámica de la luz natural y de las variaciones resultantes de energía y de condiciones de iluminación, se requiere información sobre la luz natural que sea climática y temporalmente exacta y fácilmente disponible a fin de evaluar soluciones de diseño detalladas.

En este Anexo se presentan algunas técnicas para determinar los datos de luz natural a partir de información limitada obtenida mediante mediciones en general. Se describen distintos modelos y se relacionan y comparan con los datos medidos. El resultado se ha presentado en las tablas y gráficos adjuntos en forma de probabilidades estandarizadas de la ocurrencia de distintos tipos de cielo y la disponibilidad de luz natural en planos de orientaciones diferentes para distintos lugares.

No obstante, hay que resaltar que se disponen de escasos datos luminosos y de datos específicamente energéticos, siendo la fuente fundamental de los datos existentes los archivos meteorológicos. Uno de los medios más directos para obtener valores luminosos a partir de los datos de radiación es el uso de la eficacia luminosa de la luz natural, que es una medida de la eficiencia luminosa del flujo radiante. La mayor parte de los datos de radiación meteorológica son registrados simplemente como irradiancias globales en un plano horizontal cada ciertos intervalos de tiempo.

Pocas estaciones meteorológicas proporcionan mediciones de la irradiancia horizontal difusa y de las irradiancias globales sobre superficies inclinadas (verticales en la mayor parte de los casos, como en el caso de las ventanas de edificios) para un intervalo de orientaciones. Obtener iluminancias difusas a partir de datos meteorológicos en distintas superficies inclinadas requiere un conocimiento de la distribución de luminancias del cielo. La distribución de luminancias normalizadas son expresadas como la relación entre la luminancia de un punto del cielo y la luminancia cenital. Por ello, es necesario conocer la variación de esta luminancia cenital de acuerdo con parámetros fácilmente accesibles a fin de obtener valores absolutos de la luminancia en cada punto del cielo.

Las distribuciones normalizadas, expresadas como ecuaciones simples, están disponibles sólo para condiciones de cielo extremas, en particular cielo cubierto y cielo claro. No hay fórmulas normalizadas para cielos intermedios, tales como cielos parcialmente nubosos y, expresado de un modo más general, cielos reales; pero muchos equipos de investigación que han trabajado en la materia han propuesto expresiones de distribuciones de iluminancia para diferentes condiciones de cielo. A continuación se describen algunos modelos de luminancia, basados en datos controlados para distintos tipos de cielo.

A3.1 Revisión de modelos de cielo

A3.1.1 Cielos cubiertos

Pueden usarse dos fórmulas para describir la distribución de luminancia de las siguientes condiciones de cielo cubierto:

- el cielo uniforme,
- el cielo cubierto de Moon y Spencer.

En el caso del cielo uniforme, la fórmula que relaciona el valor de la luminancia, L_u, con la iluminancia obtenida en un plano horizontal, E_H, es:

$$L_u = \frac{E_H}{\pi}$$

El cielo de Moon y Spencer, normalizado por la CIE, es un cielo con asimetrías en altitud, caracterizado porque la luminancia cenital es 3 veces mayor que la del horizonte. Para un punto P a una altura angular θ, la luminancia es expresada como sigue:

$$L_P = \frac{L_Z(1 + 2\,\mathrm{sen}\theta)}{3}$$

donde L_Z es la luminancia cenital y está relacionada con la iluminancia E_H por:

$$L_Z = \frac{9E_H}{7\pi}$$

A3.1.2 Cielos claros

La ecuación para un cielo claro según ha sido normalizado por la CIE tiene en cuenta condiciones reales medias y efectos de difusión y refracción de la luz solar fundamentales en una atmósfera particularmente clara y sin nubes. La distribución de luminancias viene expresada, como se indica en la figura A4.1 en función de tres ángulos.

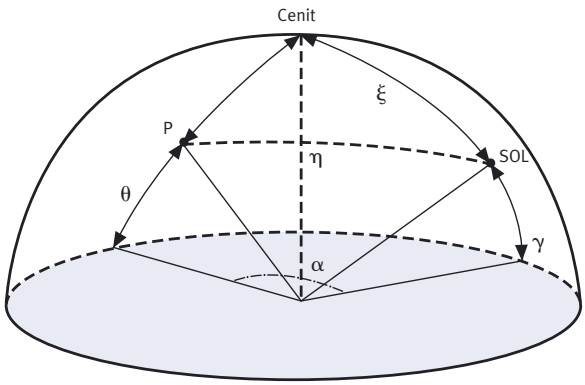


Fig. A3.1 Definición de los ángulos de la bóveda celeste

- π: distancia angular entre el punto P del cielo y el sol,
- ξ: distancia angular entre el sol y el cenit - distancia cenital desde el sol,
- $\pi/2 - \theta$: distancia cenital desde el punto P.

$$\frac{L_P\left(\frac{\pi}{2}-\theta,\alpha\right)}{L_Z}=\frac{f(\eta)\varphi\left(\frac{\pi}{2}-\theta\right)}{f(\xi)\varphi(0)}$$

donde:

- $f(x) = 0{,}91 + 10\exp(-3x) + 0{,}5\cos(x)$ (difusión estándar)
- $\phi(x) = 1 - \exp(-0{,}32/\cos(x))$
- $\eta = \text{arc cos}\ \cos(\xi)\cos(\pi/2 - \theta) + \text{sen}(\xi)\ \text{sen}\ (\pi/2 - \theta)\cos(\alpha)$
  α es el ángulo acimutal

En condiciones de atmósfera contaminada, como puede suceder en las grandes ciudades o zonas industriales, la función f(x) resulta:

$$f(x) = 0{,}856 + 16\exp(-3x) + 0{,}3\cos^2(x)$$

A3.1.3 Cielos nubosos - cielos reales

Se han propuesto distintas fórmulas intermedias de distribución de luminancias de cielos.

- *Tregenza:* la fórmula está basada en las características de las nubes y en los datos de nubosidad estadística.

- *Gillette y Treado:* la ponderación entre dos cielos extremos (claro y cubierto) está basada en el uso de la relación de nubes (CR), una relación entre la irradiancia horizontal difusa (D) y la irradiancia horizontal global (G).

$$L_P = \eta L_{Pc} + (1 - \eta)L_{Po}$$

donde:

- L_{Pc} es la luminancia del cielo claro
- L_{Po} es la luminancia del cielo cubierto
- $\eta = |1 + \cos(CR\cdot\pi)|/2$

Una fórmula similar es propuesta por Winkelman y Selkowitz para los cálculos de luz natural en un programa llamado DOE 2.

- *Nakamura y Oki:* una fórmula matemática (que sólo puede ser usada con $\gamma < 80^o$) del cielo medio intermedio es propuesta a partir de mediciones hechas durante un largo periodo:

$$\frac{L_P\left(\frac{\pi}{2}-\theta,\alpha\right)}{L_Z}=\frac{f(\eta)\varphi\left(\frac{\pi}{2}-\theta\right)}{f(\xi)\varphi(0)}$$

- *Pierpoint:* una expresión idéntica a la del cielo claro de la CIE pero con diferentes funciones f y ϕ:

$$f(x) = 0{,}526 + 5\exp(-1{,}5x)$$
$$\phi(x) = 1 - \exp[-0{,}80/\cos(x)]$$

- *Littlefair:* usando los resultados de mediciones correspondientes a un intervalo muy amplio

de cielos reales, la distribución de la luminancia media del cielo es proporcionada por la fórmula:

$$L_p = \alpha e^{-\eta/40} + d[5 - 2 \text{ sen } (\pi/2 - \theta)] / 3 \text{ (kcd/m}^2\text{)}$$

donde:

- $\alpha = 0{,}1 + 0{,}42\gamma - 0{,}7 \text{ sen}(7{,}2\gamma)$
- $d = (0{,}3 + 0{,}434\gamma - 0{,}0042\gamma^2)9/(11\pi)$
- (α y η están en grados para esta ecuación solamente)

Este cielo medio tiene tres componentes:

- Iluminancia solar directa.
- Zona circundante del sol.
- Resto del cielo.

A3.2 Eficacia luminosa de la luz natural

La eficacia luminosa de la luz natural es un parámetro fundamental requerido para hacer predicciones acerca de la luz natural. La eficacia es definida como el cociente del flujo luminoso dividido por el flujo radiante, expresado en lúmenes/vatio. Depende de la altitud del sol, de las nubes y del vapor de agua de la atmósfera. Valiéndose de mediciones de iluminancia e irradiancia realizadas sobre un determinado plano se han obtenido valores de la misma. En la mayor parte de los casos son para el plano horizontal.

A continuación se proporcionan unos detalles extraídos de la bibliografía existente de Littlefair.

A3.2.1 Eficacia luminosa de radiación global

La figura A3.2 muestra distintos valores de eficacia (para una altitud solar mayor de 10º) para condiciones de cielo claro y la Tabla 1 para condiciones de cielo cubierto.

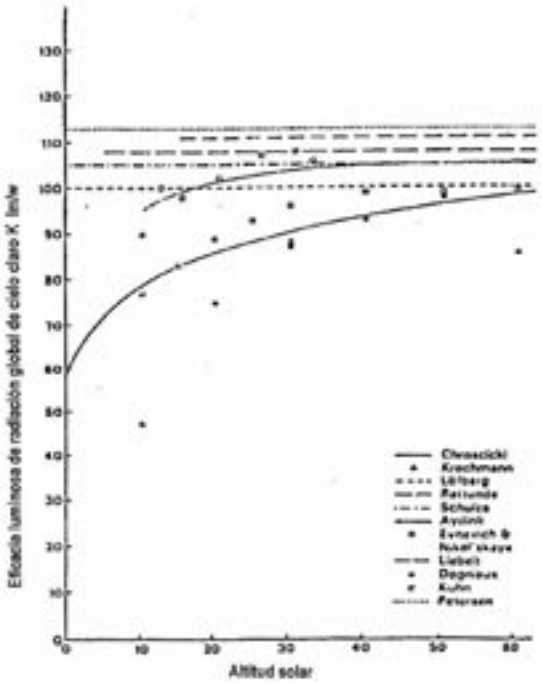


Fig. A3.2 Gráfico de eficacias luminosas de cielo claro (sol y cielo) según varios autores en función de la altitud solar

Autor	Lugar de medición	Valor obtenido (lm/w)
Drummond	Pretoria, sudáfrica	106
Krochmann	Washington, EEUU	115
Blackwell	Kew, UK	120±5
Blackwell	Kew, UK	115
Bartenava y Poljakova	Repeteke, Rusia	103
Dogniaux y Lemoine	Bélgica	110
Evenich y Nikolskaya	Moscu, Rusia	60-92 (función de γ)
Lofberg	Estocolmo, Suecia	111±18
Rattunde	Berlin, Alemania	116±10
Petersen	Vaerlose, Dinamarca	121±7
Page	UK	112 – 128 (función de γ)
CTSB	Nantes, Francia	110-115 aumenta con γ

Tabla 1 – Eficacias de radiación global de cielos cubiertos

A3.2.2 Eficacia luminosa de radiación difusa

Para la componente difusa la mayoría de los autores ha encontrado una variación de eficacia luminosa con la altitud solar. Los valores están comprendidos predominantemente entre 84 y 173 lm/w (Tabla 2).

Autor	Lugar de medición	Valor obtenido (lm/w)
Drummond	Pretoria, sudáfrica	132
Blackwell	Kew, UK	130
Bartenava y Poljakova	Repeteke, Rusia	118
Krochmann	Wahington, EEUU	130-133
Kuhn	Plateau Station, Antártida	122-156 aumenta con γ
Evenich y Nikolskaya	Moscu, Rusia	95-115 (función de γ)
Liebelt	Karlsruhe, Alemania	113±8
Chandra	Rourkee, India	84
Arumi-Noe	Golden, EEUU	140
Petersen	Vaerlosen, Dinamarca	146±14
CTSB	Nantes, Francia	132 (media)

Tabla 2 – Eficacias de radiación difusa de cielos cubiertos

A3.2.3 Eficacia luminosa de radiación directa

Como se puede ver, hay grandes diferencias entre los valores debido a la suposición de mediciones usadas en la estimación; en algunos casos la componente directa se obtiene sustrayendo la componente difusa del valor global. Lo resultados son de 50 a 120 lm/w para un altitud solar > 10° (figura A3.3).

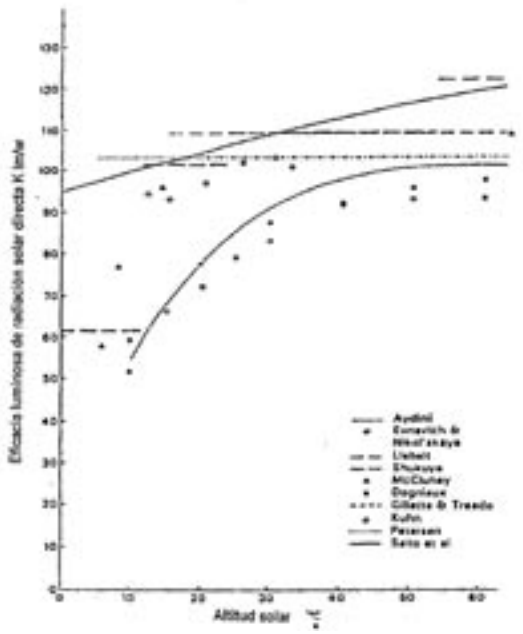


Fig. A3.3 Gráfico de eficacias luminosas solares según varios autores, en función de la altitud solar

A3.3 Resultados de mediciones

Instrumentación y procedimientos de medición

Las mediciones de luminancia realizadas en el sur de Europa, en Francia, fueron controladas durante 15 meses. Los grupos de sensores medían lo siguiente:

- Iluminancia horizontal global y difusa
- Irradiancia horizontal global y difusa
- 4 iluminancias verticales globales (N, E, S, W)
- 5 luminancias (cenit, y N, E, S, W a 42° de altitud)

Se utilizó una cámara provista de una lente de ojo de pez. Los luminancímetros usados consistían en luxómetros provistos de un accesorio tubular para limitar la abertura a 15°. A pesar de las precauciones para evitar efectos de luz parásita, la presencia del sol cerca del cono de mediciones cubierto por el luminancímetro dio como resultado una sobreestimación de valores de luminancia debido a la iluminación solar directa muy elevada de la pared interior del medidor. Aunque la reflectancia es baja, este efecto contribuye a inexactitudes. Después de haber efectuado mediciones con un luminancímetro de precisión, se determinó un factor de corrección que debe aplicarse sobre los datos

adquiridos. Sólo cuando la radiación solar directa está dentro del cono de medición de la célula de medición no se usarán los datos.

A3.3.1 Clasificación de cielos reales

Uno de los resultados fundamentales de la campaña de mediciones realizadas en el sur de Europa es la clasificación de los cielos en cinco tipos, recogidos en la Tabla 3. Esta clasificación, hecha por análisis de datos en todos los parámetros registrados, está basada en un único índice, el índice de nubosidad, I_N, definido como sigue:

$$I_N = \frac{(1 - CR_M)}{(1 - CR_T)}$$

donde:

- CR es la Relación de Nubes, un índice usado por la Oficina Nacional de Cielos (Washington).
- CR es la relación entre la irradiancia difusa horizontal y la irradiancia global horizontal.
- CR_M es el valor medido de CR.
- CR_T es el valor teórico medio de CR para una condición de cielo claro.

Tipo de cielo	Índice de nubosidad
Cubierto (O)	$0{,}00 < I_N < 0{,}05$
Cubierto intermedio (IO)	$0{,}05 < I_N < 0{,}2$
Medio intermedio (IM)	$0{,}20 < I_N < 0{,}7$
Azul intermedio (IB)	$0{,}70 < I_N < 0{,}9$
Azul (B)	$0{,}90 < I_N < 1{,}0$

Tabla 3 – Índice de nubosidad para cinco cielos tipo

A3.3.2 Distribución de luminancias: Luminancia Cenital de Cielo Cubierto

El valor de la luminancia cenital, L_Z, dependiente de la iluminación horizontal difusa, E_H, se encuentra, por término medio, entre los dos cielos cubiertos estandarizados (figura A3.4).

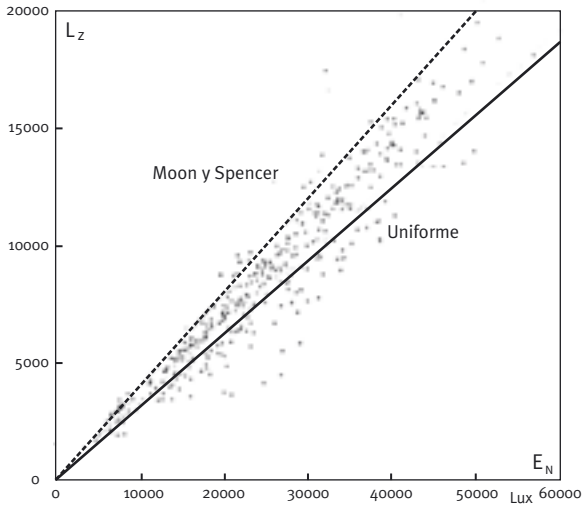


Fig. A3.4 Luminancia cenital (L_Z) en condiciones de cielo cubierto en función de la iluminancia difusa horizontal (E_H)

Los fórmulas diferentes, que definen L como una función de la altitud solar son todas de la siguiente forma básica, con A y B constantes:

$$L_Z = A + B\,(\text{sen}\gamma)^C$$

Las mediciones tomadas tanto de cielos cubiertos (O) como de cielos cubiertos intermedios (IO) están también representadas por tal fórmula (en cd/m²):

$$L_Z = 90 + 9630\,(\text{sen}\,\gamma)^{1{,}19}$$
$$L_Z = 100 + 7580\,(\text{sen}\,\gamma)^{1{,}36}$$

O, véase también la figura A3.5.

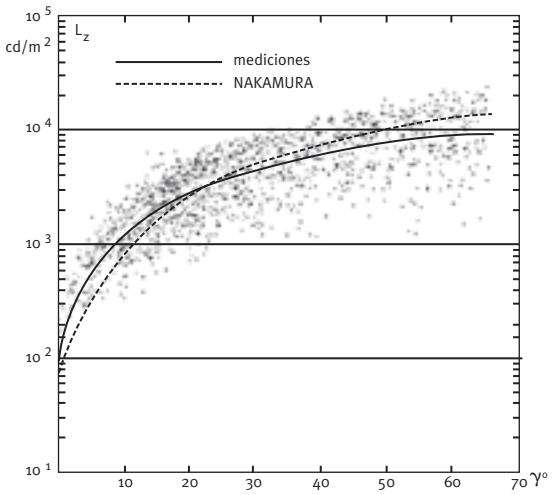


Fig. A3.5 Luminancia cenital (L_z) en condiciones de cielo cubierto en función de la altitud solar (γ)

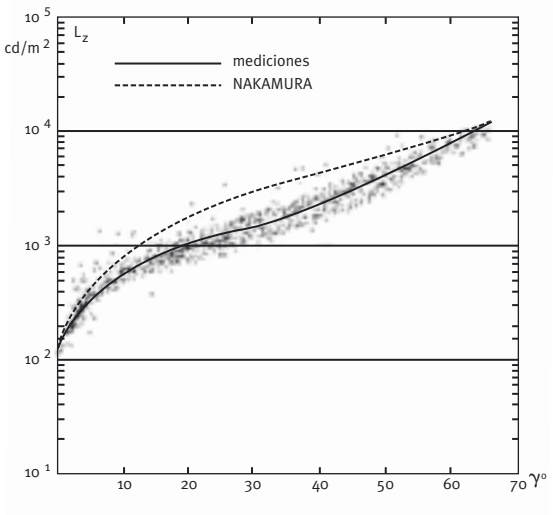


Fig. A3.6 Luminancia cenital (L_z) en condiciones de cielo claro como una función de la altitud solar (γ)

A3.3.3 Distribución de luminancias: Luminancia Cenital de Cielo Claro

En la documentación relativa a la luminancia cenital en condiciones de cielo claro, en la mayor parte de los casos, una variación de L_z es determinada como una función de la tangente de la altitud solar y de la turbidez de la atmósfera. No es factible determinar la turbidez a partir de mediciones; sin embargo, puede adoptarse una expresión propuesta por Nakamura y Oki expresando L_z de la siguiente forma:

$$L = 100 + 600\ (\tan \gamma)^{1,1}$$

No ha sido posible aproximar los resultados medidos obtenidos con un cielo claro mediante tal expresión, pero un polinomio de quinto grado consigue un ajuste bastante próximo (figura A3.6)

A3.3.4 Distribución de luminancias: Luminancia Cenital de Cielo Intermedio

La fórmula de Nakamura para la luminancia cenital de cielo intermedio es una combinación de sus fórmulas para cielos cubiertos y claros:

$$L_z = 0{,}07(100+600\ (\tan \gamma)^{1,1}) + 0{,}93\ (100+220\ (\text{sen}\ \gamma)^{1,8})$$

Las mediciones realizadas con un cielo intermedio, medio (IM) y azul (IB) pueden ser representadas por las siguientes expresiones:

$$L_z = A + B\ (\tan \gamma)^{C}$$
$$L_z = 100 + 5290\ (\tan \gamma)^{1,19}$$
$$L_z = 100 + 4150\ (\tan \gamma)^{1,18}$$

Para un cielo intermedio, IM, véase figura A3.7.

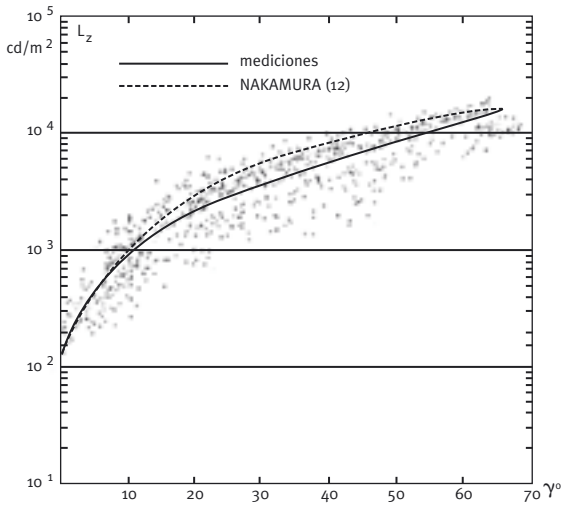


Fig. A3.7 Luminancia cenital (L_z) en condición de cielo intermedio en función de la altitud solar (γ)

A3.3.5 Distribución de luminancias: Cielo Cubierto

A partir de mediciones tomadas con los 5 luminancímetros y los cinco luxómetros (horizontal + 4 verticales) se ha observado que, para la medición realizada en el sur de Europa:

- La distribución de las luminancia se adapta a la de la expresión del cielo cubierto de Moon y Spencer solamente en el 5 - 10% de los casos.
- En el 20 - 30% de los casos la distribución es similar a la del cielo uniforme.
- Para todos los demás casos, la luminancia es mayor en el área del cielo próximo al sol cubierto.

A3.3.6 Distribución de luminancias: Cielo Azul

En la mayoría de los casos de cielo azul, la expresión teórica del cielo claro de la CIE es representativa de las luminancias medidas en el sur de Europa. Un ejemplo esta recogido en la figura A3.8 donde las cuatro relaciones L/L_z para los cuatro luminancímetros de norte, este, sur y oeste junto con los valores teóricos de estas cuatro relaciones, están recogidas a lo largo de un día.

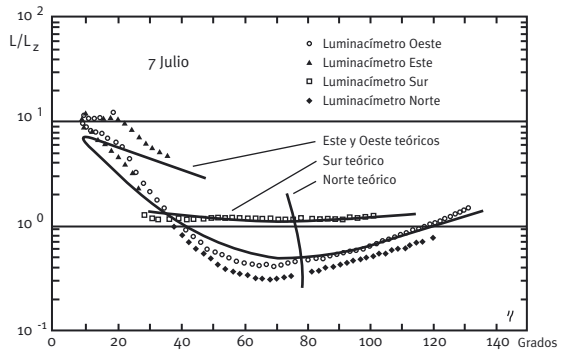


Fig. A3.8 Relación L/L_z en función de la distancia angular (η) para cuatro orientaciones

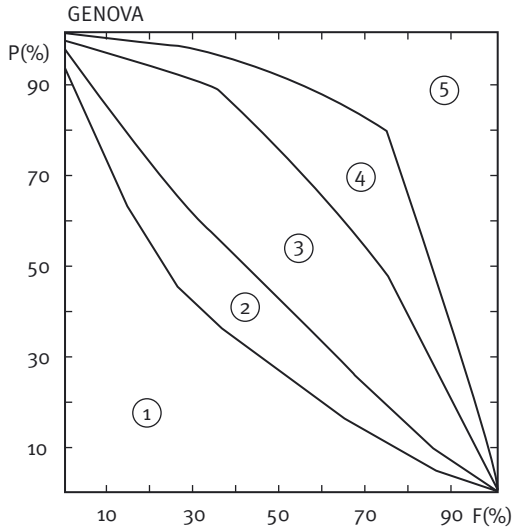
A3.4 Probabilidad de ocurrencia de cada tipo de cielo en estaciones meteorológicas europeas

Los datos usados para obtener estas probabilidades, han sido recogidos en varias investigaciones desarrolladas por la Comisión de las Comunidades Europeas, pero nuestro país no está en esta comisión de investigación. No obstante, también se tienen medidas recogidas en algunos laboratorios de España que aportan datos similares. Las probabilidades han sido obtenidas usando valores horarios de irradiancias (difusa, global y directa) cuando la altitud solar es mayor de 3º.

Las operaciones realizadas para determinar la probabilidad de la ocurrencia de cada tipo de cielo son:

- Establecer la relación de nubes "medida".
- Calcular el índice de nubosidad, IN.
- Determinar el tipo de cielo.

Cada día está caracterizado por la duración de luz solar relativa y las cinco duraciones tipo del cielo. La figura A3.9 presenta un ejemplo típico de resultado para la ciudad de Génova.



1. Cielo cubierto
2. Cielo cubierto intermedio
3. Cielo medio intermedio
4. Cielo azul intermedio
5. Cielo azul

Fig. A3.9 *Probabilidad diaria (P) de cada tipo de cielo en función de la duración del amanecer relativo diario (F) para Génova*

A3.5 Algoritmos para determinar las distribuciones de luminancia según datos energéticos disponibles

Entre los parámetros energéticos que influyen en las cantidades luminosas, las más ampliamente medidas en la red de estaciones meteorológicas son:

- Duración de la luz solar.
- Cobertura de nubes.
- Irradiación global en un plano horizontal.

La irradiación difusa en un plano horizontal solamente se mide en unas pocas estaciones. Dependiendo de los datos disponibles y de la exactitud del cálculo que se ha de hacer, varía la exactitud de la determinación de la distribución de luminancias en el cielo.

En el mejor de los casos, el Índice de nubosidad (I_N) determina el tipo de cielo, y la distribución de luminancias viene definida por la ecuación establecida:

$$L_P = D\, f(\eta) g'(\pi/2 - \theta) h'(\xi)$$

Si solamente hay disponibles datos de la luz solar, bien como irradiación global o como duración relativa de la luz solar, entonces sólo puede estimarse la distribución de luminancias de cielo más probable. La luminancia en un punto P es estimada usando estos resultados estadísticos y la fórmula:

$$L_P = f(\eta) g(\pi/2 - \theta) h(\xi)$$

Los valores de L así estimados pueden ser comparados con los valores medidos (véase figura A3.10)

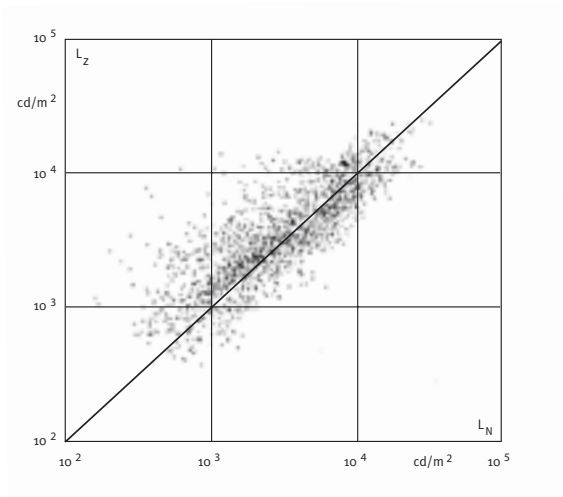


Fig. A3.10 Comparación entre luminancias medidas (L_M) y luminancias estimadas (L_E) usando la relación entre probabilidades diarias (P) de cada tipo de cielo y duración de luz solar relativa

A4

Cálculos de luz natural

Anexo A4
Cálculos de luz natural

El punto de comienzo para el cálculo o predeterminación de un alumbrado con luz natural, es el factor de luz natural, también llamado factor de luz día, una medida de la iluminancia de luz natural interior en una posición dada, expresada como un porcentaje de las iluminancias exteriores. Además de este factor promedio la distribución de la luz es muy importante, pues aunque el factor de luz natural sea elevado, partes de la sala parecen oscuras si no reciben luz directa o la sala es demasiado profunda.

A4.1 Factor de luz natural

El factor de luz natural promedio D es definido como:

$$D = \left(\frac{E_{entrada}}{E_{salida}} \right) \cdot 100\%$$

donde:

- $E_{entrada}$ es la iluminancia interior media.
- E_{salida} es la iluminancia exterior horizontal sin obstáculos.

Cuando la luz natural procede de ventanas laterales del edificio, el factor de luz natural puede ser calculado utilizando la siguiente fórmula:

$$D = \frac{0{,}85 \cdot T A_w \cdot \theta}{A(1 - R^2)} \%$$

donde:

- T es la transmitancia difusa visible del acristalamiento, incluyendo correcciones para la suciedad en el cristal y persianas y cortinas existentes. (Para un único cristal transparente y limpio puede tomarse un valor de 0,9, mientras que para un triple acristalamiento puede adoptarse un factor de 0,8).
- A_w es el área acristalada neta de la ventana (m^2).
- A es el área total de las superficies de la sala: techo, suelo, paredes y ventanas (m^2).
- R es su reflectancia media (para salas coloreadas en tonos claros puede tomarse un valor de 0,5).
- θ es el ángulo del cielo visible, en grados, medido como se muestra en la figura A4.1.

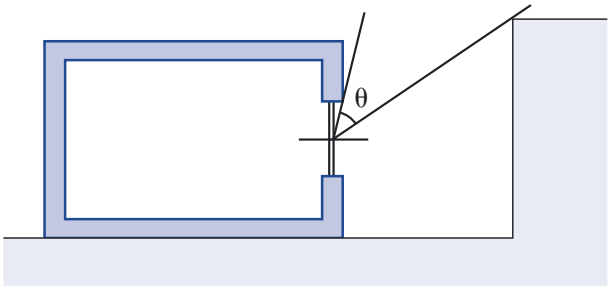


Fig. A4.1 *θ es el ángulo subtendido, en el plano vertical normal a la ventana, por el cielo visible desde el centro de la ventana*

Transmisión de luz natural a través de acristalamientos

No obstante, aunque resulta difícil prever el factor de corrección en función del acristalamiento, pero puede hacerse, más complejo resulta cuando se emplean en los acristalamientos lámina de control solar, que se aplican corrientemente al acristalamiento transparente con la finalidad de reducir el exceso de luz solar. En este caso, se usa directamente sólo el factor de transmisión difusa de la película, pudiendo éste llegar a ser de 0,5 (por lo que las pérdida de aportación de luz natural puede ser muy importante).

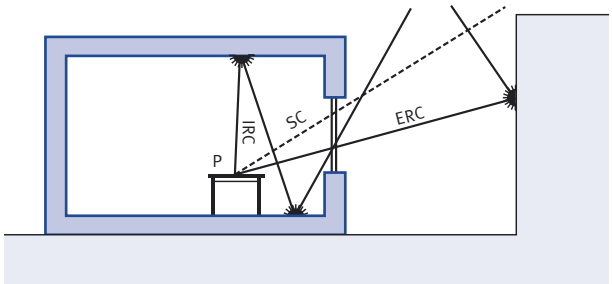
Cuando la luz natural procede de aberturas en el techo, como lucernarios o claraboyas, la fórmula es:

$$D = \frac{T A_w \theta}{A_f (1 - R_f R_c)} \%$$

donde:

- T es la transmitancia difusa visible del acristalamiento, incluyendo correcciones para la suciedad en el cristal y persianas y cortinas existentes. (Para un único cristal transparente y limpio puede tomarse un valor de 0,8).
- A_w es el área acristalada neta de la abertura (m^2).
- A_f es el área del suelo (m^2).
- R_f es la reflectancia del suelo.
- R_c es la reflectancia del techo, incluyendo las aberturas del techo.
- θ es el ángulo del cielo visible, en grados.

El factor de luz natural en cualquier punto en un plano de trabajo es calculado en términos de la luz que procede directamente del cielo (la Componente del Cielo), la luz reflejada procedente de superficies exteriores (la Componente Reflejada Exteriormente), y luz reflejada desde superficies existentes dentro de la sala (la Componente Reflejada Interiormente).



DF(P) = SC(P) + ERC(P) + IRC(P)

Fig. A4.2 *Componentes del factor de luz natural*

Si se requiere una apariencia de iluminación con luz natural predominantemente, entonces D debe ser 5% o más si no hay alumbrado artificial suplementario, o 2% si hay previsto alumbrado suplementario.

Para ciertas aplicaciones se usan algunos modos de calcular la luz natural empleando el factor de cielo, que es similar al factor de luz natural excepto en que excluye la luz reflejada y los efectos de acristalamiento y es calculado en un cielo uniforme.

La distribución del factor de luz natural puede ser trazada para cualquier espacio o conjunto de espacios en la etapa de diseño. Con esta información, y utilizando las curvas CIE mostradas en la A4.3, es posible estimar el porcentaje del año laboral durante el cual el alumbrado con luz natural satisfará sólo las necesidades del ocupante del edificio.

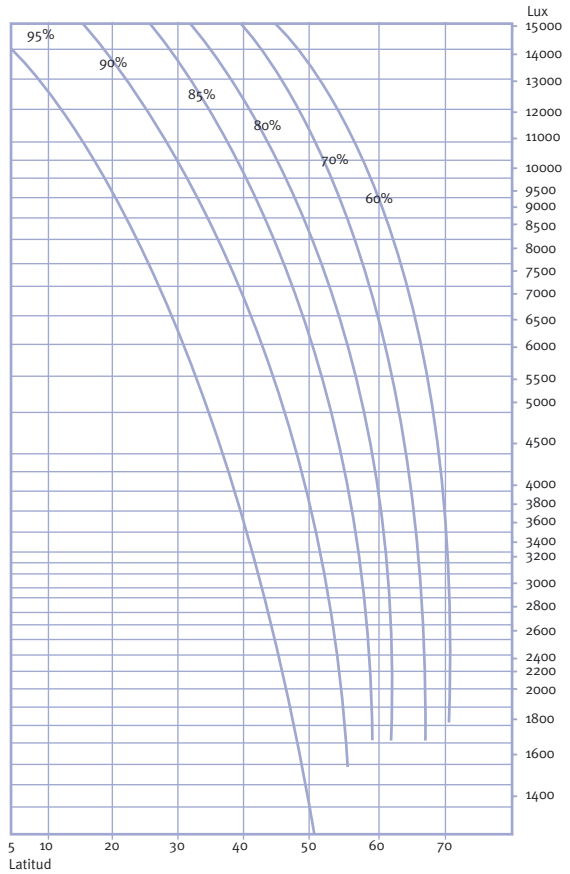


Fig. A4.3 Disponibilidad de luz exterior en función de la latitud de la ubicación

Como se muestra en la figura A4.4 cuanto mayores son los factores de la luz natural mayor será este porcentaje de horas.

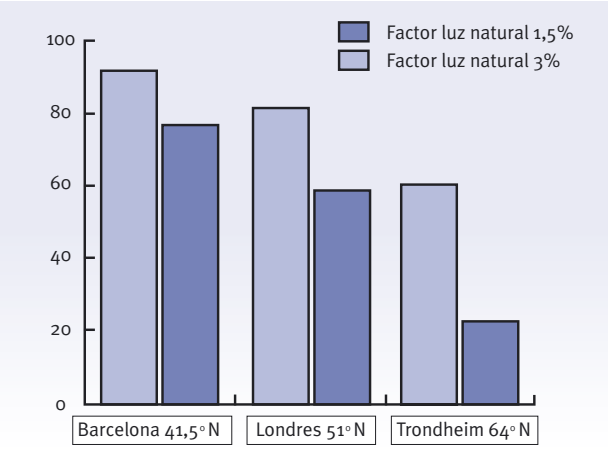


Fig. A4.4 Porcentaje de horas de trabajo (9:00 a 17:00 h) a lo largo del año en que se conseguirá una iluminancia interior de 200 lux en Barcelona, Londres y Trondheim

Los factores de luz natural mínimos recomendados para los espacios principales en algunos tipos de edificios no domésticos pueden ser:

Oficinas	2%
Hospitales	1%
Aulas	2%
Fábricas	2%
Iglesias	1%

En el caso de espacios subsidiarios, tales como áreas de circulación, pueden ser perfectamente satisfactorios valores inferiores. En el norte del país, donde la iluminancia exterior es menor, los factores de luz natural pueden ser algo superiores.

A4.2 Cielos de la CIE

Una de las aplicaciones más importantes del alumbrado con luz natural se encuentra en el diseño y funcionamiento de edificios eficientes energéticamente. Consiguientemente hay un enorme interés en predecir los efectos energéticos de la luz natural.

El factor de luz natural es sólo válido para cielos cubiertos cuando realmente es independiente de los efectos de la orientación y de la posición del sol. Este hecho se traduce en que incluso en climas relativamente nubosos o cubiertos, este método puede sobreestimar el uso del alumbrado eléctrico en cuanto a costes de energía y análisis. Por ello hay que considerar otras alternativas para el cálculo de la energía del alumbrado, usando un tipo de distribución de luminancias del cielo diferente que automáticamente tenga en cuenta los efectos de la orientación y de los cielos parcialmente nubosos, constituyendo lo que sería un cielo medio.

En el Anexo A3, relativo a datos sobre la luz natural y el recorrido solar, se encuentran estas alternativas.

A4.2.1 Cielo cubierto

Muchos cálculos de luz natural están basados en el cielo cubierto de la CIE. Éste representa la distribución de luminancias del cielo en condiciones de cielo muy cubierto. Es simétrico en acimut y su luminancia, L, aumenta con la altitud, γ, en el cielo según la fórmula:

$$L\gamma = \frac{L_z(1 + 2\operatorname{sen}\gamma)}{3}$$

La luminancia del horizonte es, por ello, sólo un tercio de la luminancia del cenit, L_z.

Los cielos reales tienen una distribución de luminancia muy variable. Pero en general, para condiciones de cielo no cubierto:

- El horizonte será más brillante que lo que predice el cielo cubierto de la CIE; así en las salas iluminadas lateralmente se recibirá más luz.
- El área de cielo próxima al sol será más brillante; en un día medio, una sala que mire al sur recibirá más luz que otra que mire al norte.

Para tener en cuenta ambos efectos, pueden usarse los factores de orientación recogidos en la siguiente tabla.

Orientación	Factor
Norte	0,97
Este	1,15
Sur	1,55
Oeste	1,21
Horizontal	1,00

Factores de orientación para control fotoeléctrico

A4.2.2 Cielo claro

La CIE también define un cielo claro para condiciones sin ninguna nube. El cielo es mucho más brillante cerca del sol. En contraste con el cielo cubierto, su horizonte es más brillante que su cenit, así que se recibirá más luz en las salas iluminadas lateralmente. En climas muy contaminados y relativamente húmedos, el cielo claro es una fuente de luz muy importante. En climas secos y cálidos el cielo es de un azul más oscuro y las fuentes principales de luz (aparte del propio sol) son a menudo el terreno y los edificios circundantes.

A4.3 Cálculos manuales

Como ya se ha explicado antes, el factor de luz natural en un punto se calcula determinando en primer lugar las tres componentes: la componente del cielo, SC, la componente reflejada exteriormente, ERC, y la componente reflejada interiormente, IRC, y sumando a continuación los tres valores.

Las componentes SC y ERC pueden ser determinadas por distintos métodos, tales como el BRE de luz natural que es aplicado en dibujos a escala de planta y sección. El método más corrientemente utilizado para determinar la IRC está basado en la fórmula del BRE de flujo dividido.

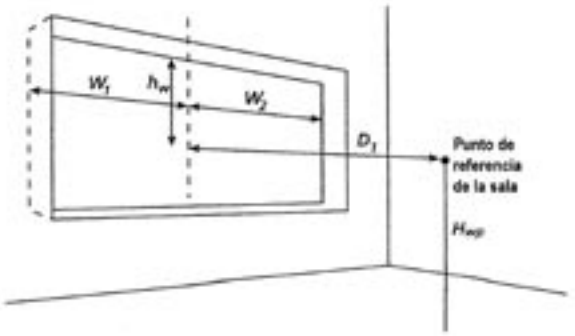
A4.3.1 Componente de cielo

En la tabla A4.3.1 se da el método simplificado BRE para estimar la componente de cielo, SC, en puntos de salas iluminadas por ventanas verticales. Solamente se da para las condiciones de cielo cubierto estándar de la CIE.

h_w/D_1	W/D_1														
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	3.0	4.0	∞
∞	1.6	3.1	4.6	6.1	7.4	8.6	10.5	12.0	13.4	14.5	15.4	16.3	17.8	18.3	18.8
4.0	1.5	3.0	4.5	5.9	7.3	8.4	10.3	11.5	12.9	13.6	14.3	15.5	16.6	16.9	17.1
3.0	1.5	2.9	4.4	5.6	6.9	8.0	9.8	10.9	12.3	12.6	13.4	14.6	15.5	15.6	15.9
2.0	1.3	2.5	3.9	5.0	6.0	7.0	8.4	9.4	10.4	10.9	11.4	12.1	12.5	12.6	12.8
1.8	1.2	2.4	3.6	4.8	5.8	6.6	7.9	8.9	9.8	10.3	10.6	11.3	11.6	11.8	11.9
1.6	1.1	2.3	3.4	4.4	4.9	6.1	7.3	8.1	9.0	9.4	9.8	10.3	10.6	10.8	10.8
1.4	1.0	2.0	3.0	4.0	4.8	5.5	6.5	7.4	8.0	8.4	8.8	9.1	9.4	9.4	9.5
1.2	0.9	1.8	2.6	3.4	4.1	4.8	5.6	6.3	6.8	7.1	7.4	7.6	7.8	7.9	7.9
1.0	0.7	1.4	2.1	2.8	3.3	3.8	4.5	5.0	5.4	5.6	5.8	5.9	6.0	6.1	6.3
0.9	0.6	1.2	1.9	2.4	2.8	3.3	3.9	4.3	4.6	4.8	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2
0.8	0.5	1.0	1.5	2.0	2.4	2.8	3.3	3.6	3.9	4.0	4.1	4.1	4.3	4.3	4.3
0.7	0.4	0.9	1.2	1.6	1.9	2.1	2.6	2.9	3.1	3.1	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5
0.6	0.3	0.7	0.9	1.2	1.5	1.7	2.0	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6
0.5	0.2	0.5	0.6	0.9	1.0	1.2	1.4	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9
0.4	0.1	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
0.3	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
0.1	0.0	0.0	0.02	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabla A4.3.1 – Componentes de cielo (cielo cubierto CIE) para ventanas rectangulares verticales sin acristalamiento

Se necesita la siguiente información para usar la tabla:



- h_w, altura efectiva de la parte superior de la ventana sobre el plano de trabajo descontados cualesquiera obstáculos.
- H_{wp}, altura del plano de trabajo sobre el suelo.
- W_1, W_2 anchuras efectivas de la ventana y a cada lado de una línea trazada desde el punto de referencia normal al plano de la ventana, tomadas separadamente.
- D1, distancia desde el punto de referencia al plano de la ventana (el plano del interior o del exterior de la pared, dependiendo del borde de la abertura de la ventana que limite la visión del cielo).

Las relaciones h_w/D_1, W_1/D_1 y W_2/D_1 son calculadas y la SC puede ser entonces leída directamente de la tabla. En general, la SC en cualquier otro punto de referencia puede ser obtenida por adición o sustracción. Si el alféizar de la ventana está por encima del plano de trabajo, las SC bloqueadas por la pared situada debajo del alféizar son calculadas del mismo modo y restadas.

A4.3.2 Componente reflejada exteriormente

La componente reflejada exteriormente, ERC, puede ser estimada calculando la "SC equivalente" obscurecido por la obstrucción vista a través de la ventana y dividiendo ésta por 5.

A4.3.3 Componente reflejada interiormente

La componente reflejada interiormente, IRC, puede ser calculada directamente a partir de la fórmula de interreflexión del BRE de flujo dividido para ventanas verticales, como se ha descrito en: Estimación de luz natural en edificios, parte 2 nº 310 de BRE.

$$IRC = \frac{TA_w(CR_{fw} + 5R_{cw})}{A(1-R)}$$

donde:

- T es la transmitancia del vidrio,
- A_w es el área de ventana,
- A es el área total de techo, suelos y paredes incluyendo el área de ventana,
- R es la reflectancia media de techo, suelo y todas las paredes, incluyendo ventana, expresada como una fracción,
- C viene dada aproximadamente por $\theta/2 - 5$, donde θ es el ángulo de cielo visible en grados, medido desde el centro de la ventana,
- R_{fw} es la reflectancia media del suelo y partes de las paredes situadas por encima de la altura media de la ventana (excluyendo la pared de la ventana), y
- R_{cw} es la reflectancia media del techo y partes de las paredes situadas por encima de la altura media de la ventana (excluyendo la pared de la ventana).

El método de flujo dividido produce una IRC escalar promediada, que será igual al valor medio entre todas las superficies de la sala. Hay una cierta variación de la IRC sobre el plano de trabajo y esto puede expresarse mediante la fórmula:

$$IRC = [(a-1)(CS + ERC)] + \left[v \cdot e \cdot \frac{A_w}{A_f}\right]\%$$

donde:

- a está dada en la tabla A5.3.2,
- v está dada en la tabla A5.3.3,
- $e = (\theta\text{-}10)/80$ donde θ es el ángulo del cielo visible medido desde el centro de la ventana, y
- A_w/A_f es la relación del área de la ventana al área del suelo.

Factor de reflexión del suelo	0.3			0.1							
Factor de reflexión del techo	0.7			0.7			0.5			0.3	
Factor de reflexión de paredes	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1
Índice de local	Valores de a										
1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
1.25	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.5	1.2	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
2.0	1.2	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
2.5	1.3	1.2	1.2	1.3	1.1	1.1	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
3.0	1.5	1.4	1.3	1.4	1.2	1.1	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0
4.0	1.7	1.6	1.4	1.5	1.3	1.2	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
5.0	2.0	1.8	1.6	1.7	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0

Tabla A4.3.2 – Coeficiente a para la componente reflejada interiormente

Factor de reflexión del suelo	0.3			0.1							
Factor de reflexión del techo	0.7			0.7			0.5			0.3	
Factor de reflexión de paredes	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1
Índice de local	Valores de v										
1.0	4.0	2.9	2.1	3.5	2.2	1.6	3.1	2.0	1.3	1.7	1.0
1.25	3.9	2.6	2.0	3.1	2.0	1.6	2.7	1.8	1.3	1.6	0.9
1.5	3.8	2.3	1.8	2.7	1.8	1.4	2.5	1.6	1.1	1.3	0.8
2.0	3.5	2.2	1.7	2.5	1.7	1.4	2.1	1.4	1.0	1.1	0.8
2.5	3.2	2.0	1.6	2.3	1.6	1.3	1.8	1.3	0.9	1.0	0.6
3.0	2.7	1.7	1.3	2.1	1.4	1.1	1.6	1.1	0.9	1.0	0.6
4.0	2.5	1.6	1.1	1.8	1.3	1.0	1.3	1.0	0.8	0.9	0.5
5.0	2.1	1.3	1.0	1.6	1.1	0.9	1.0	0.9	0.6	0.8	0.4

Tabla A4.3.3 – Coeficiente v para la componente reflejada interiormente

Deben hacerse correcciones apropiadas para el mantenimiento, el bastidor del acristalamiento y la transmisión del mismo. En las tablas el índice de local viene dado por:

$$\text{Índice de local} = \frac{L \times W}{H_r(L+W)}$$

donde:

- L es la profundidad de la sala.
- W es la anchura de la sala.
- H_r es la altura de la sala sobre el plano de trabajo.

A4.3.4 Factores de corrección

En la práctica, el factor de luz natural calculado sumando SC, ERC e IRC debe ser corregido de modo adecuado en consecuencia con lo siguiente:

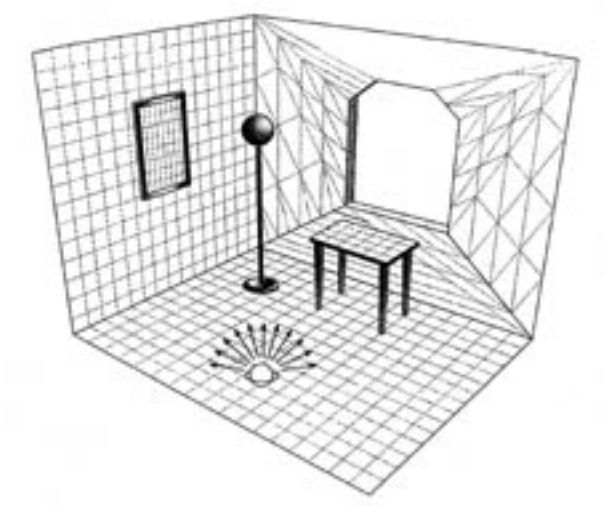
- Transmisión del cristal: normalmente se usa la transmisión difusa.
- El marco de la ventana y el bastidor de la misma: cuando los cálculos se han basado en en la abertura total de la ventana debe hacerse una concesión a la reducción debida al marco bastidor de la ventana. Alternativamente, se puede usar un factor de corrección de 0,85 para marcos metálicos y 0,75 para marcos no metálicos.
- Suciedad en el cristal: La reducción de transmisión de luz del acristalamiento debido a la suciedad depende de la inclinación del acristalamiento y del grado de contaminación atmosférica.

A4.4 Métodos de cálculo por ordenador

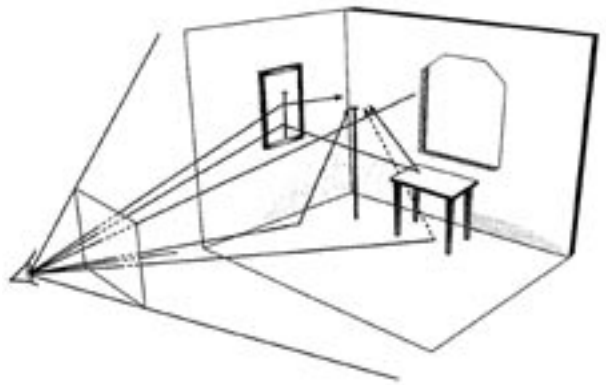
Los métodos tradicionales de cálculo de luz natural utilizan el cielo cubierto estándar como punto de partida. Los cálculos por ordenador pueden, en principio, proporcionar muchos más datos debido a que permiten tener en cuenta los efectos de orientación de ventana, cielos claros o luz solar directa. La mayor parte de los programas sofisticados pueden permitir utilizar cielos claros y a veces el cielo promedio. Esto incluye la luz solar directa así como una distribución de luminancia de cielo promediada en todas las condiciones de tiempo diferentes, y es especialmente adecuado

para calcular los efectos de los sistemas de luz natural innovadores. Usando el cielo promedio como punto de partida, la iluminancia promediada en el tiempo en un punto dentro de un edificio puede ser calculada para cualquier instante del día y del año.

Un elemento clave en el cálculo por ordenador es el cálculo de la luz reflejada interiormente. Las técnicas simples, tales como las utilizadas en la fórmula del flujo dividido de BRE, suponen que es uniforme; pero de hecho varía. Hay disponibles modelos de ordenador que pueden predecir estas variaciones en la luz reflejada interiormente. Estos pueden ser divididos en dos tipos: radiancia y trazado de rayos.



Método de radiosidad



Método de trazado de rayos

Ambos métodos pueden funcionar con geometrías complejas, permitir distribuciones de cielo complejas y potencialmente producir imágenes fotorrealísticas. Los métodos de radiancia suponen que todas las superficies son perfectamente difusoras, de otro modo los tiempos de cálculo serían excesivos. Por tanto hay una ventaja de las técnicas de trazado de rayos en exactitud y obtención de imágenes simuladas. Sin embargo la radiancia tiene sus ventajas. Los tiempos de cálculos son normalmente más cortos y son posibles los modelos y animaciones, debido a que la luminancia de las superficies es independiente de la posición de visión.

El método de radiosidad implica dividir las superficies de la sala en un gran número de elementos. Las reflexiones entre cada elemento y cada otro elemento que pueda recibir luz de él pueden ser modeladas entonces. El número de cálculos es igual al cuadrado del número de elementos elegido. El tiempo de cálculo debe ser considerado cuando se decide sobre la subdivisión de las superficies.

La radiosidad progresiva comienza con una estimación aproximada de luminancias superficiales y luego se afinan. Esto significa que una imagen inicial puede ser presentada muy rápidamente. El procedimiento puede ser detenido tan pronto como se ha conseguido un afinado suficiente.

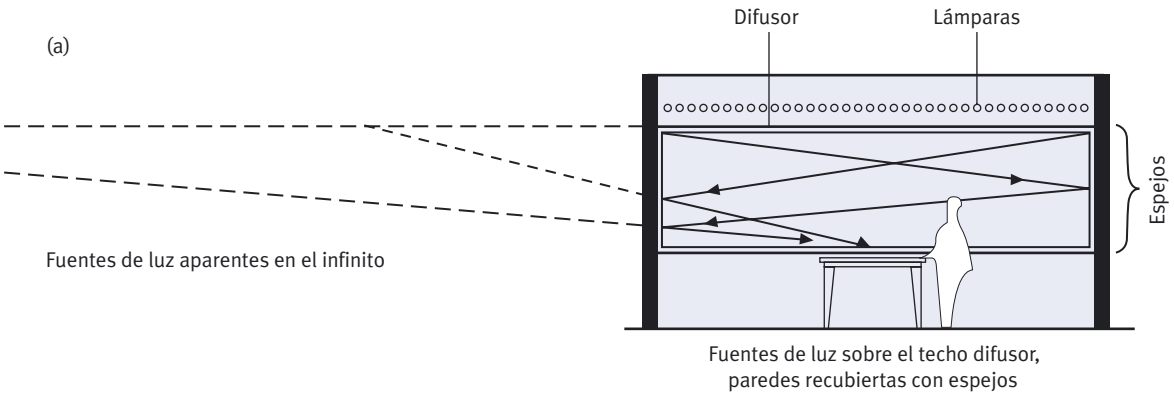
En cuanto al método de trazado de rayos hay dos técnicas:

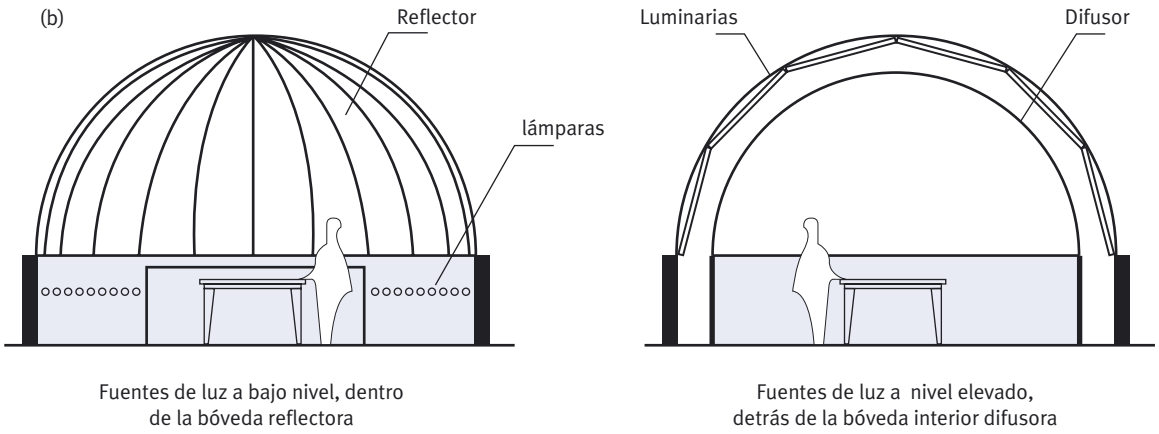
- Trazado de rayos hacia atrás, en el que un rayo es trazado de nuevo desde la posición del ojo hasta que corta a una superficie. En el método de trazado de rayos básico, después de la intersección con una superficie, un rayo es trazado desde el punto de intersección hasta las fuentes luminosas. El comportamiento de ese rayo dependerá de las características de reflexión de la superficies.

- Trazado de rayos hacia delante, en el que los rayos son trazados desde la fuente de luz hasta la posición del ojo. Este método es mejor que el anterior para espacios equipados con tubos de luz y sistemas innovadores de espejos de alumbrado con luz natural. Generalmente es adecuado para pequeñas fuentes.

A4.5 Estudios de modelos a escala

Se pueden diseñar cielos artificiales para simular todo tipo de cielos. Los métodos más utilizados son los del tipo de espejos rectangulares o de cúpula semiesférica, los cuales están diseñados para simular un cielo cubierto CIE. La principal desventaja del primero son las múltiples reflexiones del modelo en los espejos, mientras que el último puede tener errores de paralaje si el modelo es demasiado grande con relación al cielo. En general el cielo de cúpula ofrece más flexibilidad porque puede ser adaptado con una baja reflectancia para simular otros tipos de cielos. Sin embargo, puede haber un problema con los cielos en forma de cúpula debido a que la luz puede ser dirigida hacia arriba en la sala desde el horizonte de la cúpula. Esto puede ser contrarrestado, a cambio de una cierta pérdida de luz, colocando el nivel de la parte superior de la ventana coincidiendo con el horizonte de la cúpula.





Líneas a seguir:

- El modelo debe ser tan grande como sea posible dentro de las restricciones impuestas por el cielo. Los grosores de pared de fachada deben ser modelados si es posible.
- El modelo debe ser hermético a la luz, lo que normalmente significa utilizar materiales opacos.
- Las reflectancias de las superficies deben ser modeladas exactamente. Hay tendencia a usar todas las superficies blancas, lo que puede conducir a una sobreestimación de luz disponible.
- Los obstáculos exteriores deben ser modelados exactamente tanto en tamaño como en reflectancia, lo que es a menudo muy difícil debido a su distancia desde el edificio que se está estudiando.
- La escala del modelo necesita tener en cuenta la dimensiones de las fotocélulas que se están utilizando. Típicamente 1:10 a 1:40 es un intervalo razonable de escalas. Usualmente se hacen mediciones en el plano de trabajo y aunque la fotocélula puede ser levantada es más difícil bajarla en el modelo. Para mediciones en superficies verticales es más fácil colocar la fotocélula en las paredes.
- Pueden tomarse fotografías de los espacios situados dentro del modelo usando una cámara. Exactamente se corta un agujero del tamaño de la lente y se reemplaza el disco cortado después del uso, tapando con cinta. Se requerirán filtros para obtener un equilibrio de color correcto.
- Los modelos no tienen usualmente acristalamiento y son corregidos a continuación para el tipo de acristalamiento, de bastidor y de suciedad. Los materiales difusores pueden ser modelados pero su transmitancia debe ser estimada y es usual modelar el acristalamiento transparente y el acristalamiento difusor por separado. Este procedimiento es utilizado corrientemente si se usan diferentes vidrios de transmisión. Debe tenerse cuidado si el ángulo de luz incidente en el acristalamiento es predominantemente un bajo ángulo con relación al acristalamiento. En estas condiciones gran parte de la luz es reflejada y es mejor incorporar el material de acristalamiento.
- Deben usarse fotocélulas corregidas en color y coseno del ángulo de incidencia con una respuesta lineal.

A4.6 Estudios de luz solar

Los estudios con luz solar que utilizan un modelo pueden proporcionar información válida para determinar la separación entre edificios, el diseño de dispositivos de producción de sombra y la elección de forma u orientación de edificios. Se requiere una fuente de luz adecuada y un dial solar. Un dial solar este-oeste contiene dos escalas, una por el anverso y otra por el reverso (figura A4.5).

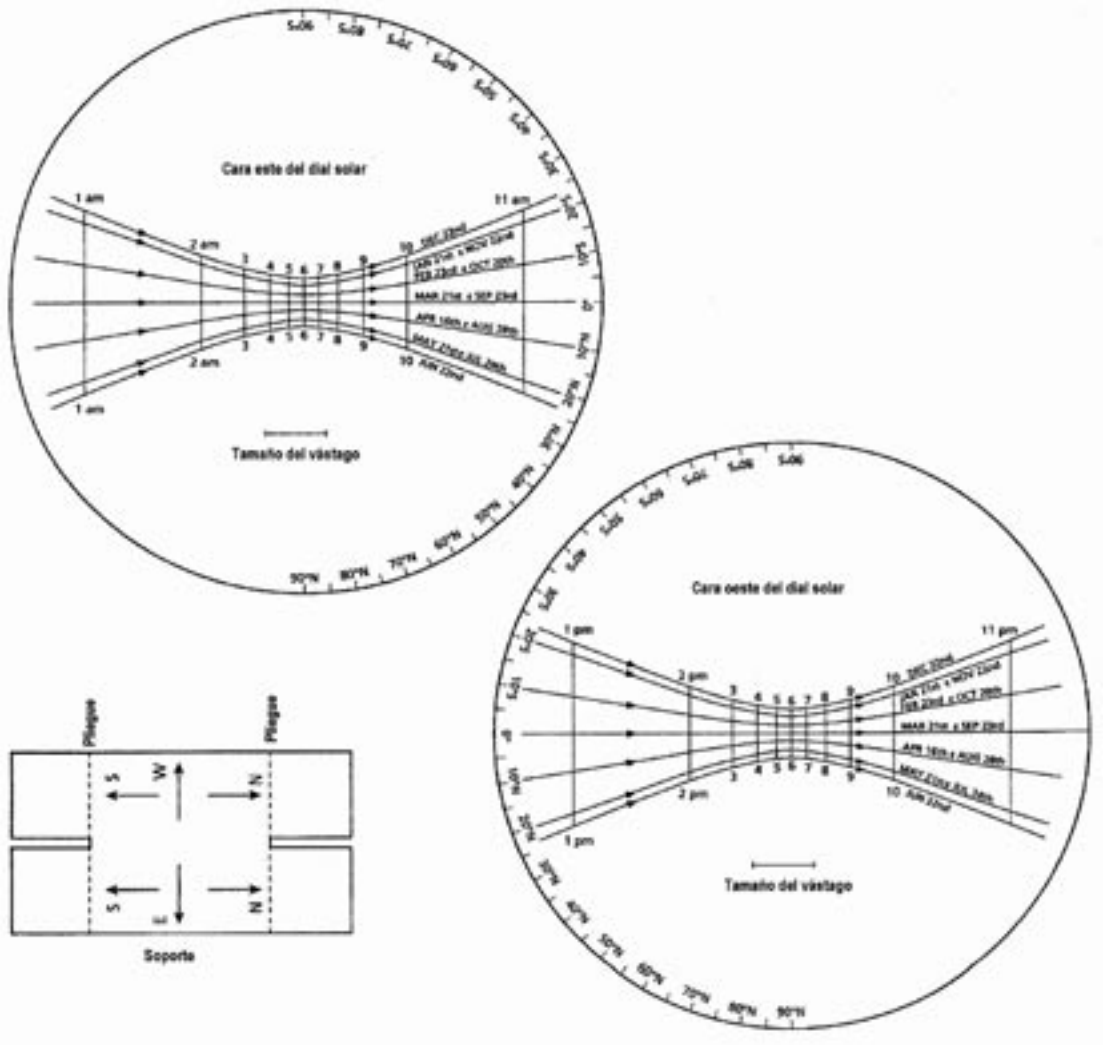


Fig. A4.5 Caras este y oeste. Soporte de sustentación. Tamaño 100 mm de diámetro. Longitud del vástago 10 mm.

Una mira al este y la otra al oeste. Se pegan las caras este y oeste dorso con dorso sobre un círculo de cartón rígido de 100 mm de diámetro, asegurándose de que las escalas en latitud de las circunferencias coincidan. Se monta el conjunto en el soporte plegado con los lados este y oeste enfrentados tal como se ha indicado en la figura A4.6.

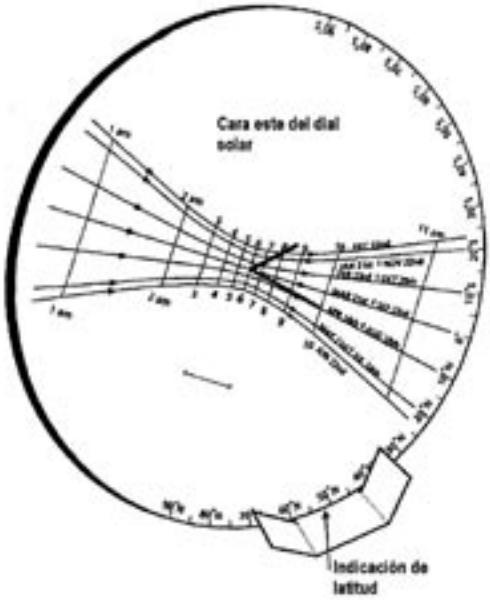


Fig. A4.6 Cara este del dial solar. La sombra del vástago muestra las 10 A.M. en abril o agosto

La circunferencia del dial solar está marcada en grados de latitud. Se hace girar el círculo del dial solar sobre su eje hasta que su latitud geográfica apunte recta hacia abajo y coincida con la línea de base este-oeste en el soporte. Colóquese un vástago para producir una sombra en el centro de cada cara del dial solar. Cada vástago debe sobresalir 10 mm a cada lado de la escala del dial solar.

En un día soleado la sombra de la extremidad del vástago indicará la hora del día (en relación al mediodía solar, cuando el sol atraviesa el meridiano norte-sur). Durante el curso de un día la sombra de la extremidad del vástago trazará un trayecto a través de la escala del dial solar correspondiente al momento del año. Estos trayectos solares son etiquetados a intervalos mensuales entre los solsticios de verano e invierno.

La limitación más obvia del dial solar este-oeste se encuentra en el hecho de que en el intervalo de 50 minutos en el entorno del mediodía y de la medianoche la sombra del vástago queda fuera de la escala. Afortunadamente la dirección del sol a mediodía, y por tanto la sombra del vástago a mediodía, son muy fáciles de establecer. El sol estará en el plano del dial solar circular. Cada cara estará en semisombra. La dirección de la sombra infinitamente larga coincidirá, en la escala de latitud, con la declinación solar y según la tabla siguiente:

Fecha	Declinación
22 de junio	23°27' N (solsticio de verano)
21 mayo/24 julio	20° N
16 abril/28 agosto	10° N
21 Marzo/23 septiembre	0° (equinoccio)
23 febrero/20 octubre	10° S
21 Enero/22 noviembre	20° S
22 diciembre	23°27' S (solsticio de invierno)

Tabla de declinaciones solares

Colóquese el dial solar este-oeste junto a un modelo arquitectónico, como en la figura A4.7, y orientese correctamente con respecto al modelo. Usese una lámpara para proyectar la sombra de la extremidad del vástago sobre una marca de momento/fecha elegida en el indicador. Usese el dial solar que mira al este

para la mañana, y el que mira al oeste para la tarde. Las sombras apropiadas se producirán en el modelo, y pueden ser fotografiadas.

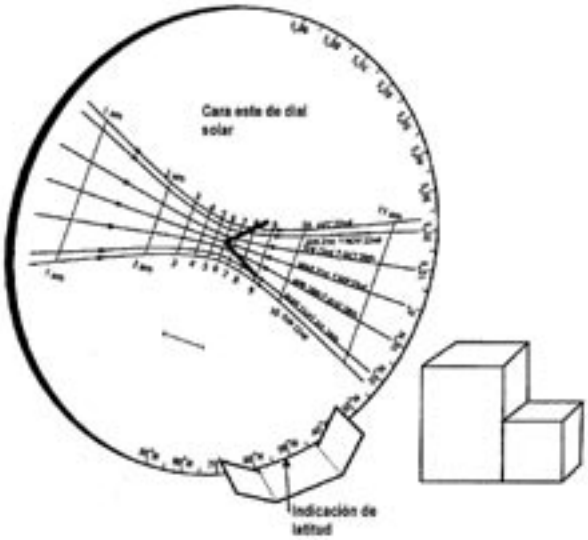


Fig. A4.7 Modelo del dial solar este-oeste en una latitud determinada. La sombra del vástago muestra que el instante son las 9 A.M. en mayo o julio

Este es un trabajo para ser realizado por tres personas. El más alto sujeta la lámpara tan lejos como sea posible para asegurarse de que los rayos incidentes de luz solar son efectivamente paralelos. Otro mira el dial solar indicándole al que soporta la lámpara que la suba o baje o la mueva a la izquierda o a la derecha. La tercera persona fotografía el modelo (desde el norte en el hemisferio Norte) recordando incluir en cada foto una etiqueta que muestre el momento y fecha. La distancia del "sol" desde el modelo debe ser tan grande como sea posible para asegurar que los rayos incidentes sean todos paralelos.

En principio el sol real es la fuente ideal para estudios de modelado. Sus rayos son paralelos y el ángulo subtendido es correcto; así las sombras tendrán justo la agudeza y densidad correctas. Desgraciadamente, el sol no siempre está presente cuando se le necesita. Y si se usa el sol real, la base del dial solar debe ser fijada de modo seguro en el plano del modelo. El modelo debe ser montado sobre una plataforma adecuada, tal como un tablero de dibujo, y ser hecho girar inclinado de modo que la sombra del vástago capte la hora y estación elegidas.

El método de Cellini es una alternativa rápida. Depende del hecho de que el sol nunca ve una sombra: una sombra simplemente define una área oculta de la luz solar directa. Para usar el método de Cellini alinee su ojo con la extremidad del vástago y el momento/fecha pertinente marcando en el dial solar. Como usted está mirando desde la dirección del sol, aquellas partes del modelo que pueda ver estarán iluminadas por el sol y las superficies que queden ocultas estarán en sombra.

La ventaja del método Cellini es que requiere solamente una persona y ningún equipo además del modelo y del dial solar, y puede ser usado en cualquier parte, sin tener que apagar las luces. La desventaja es que no permite un registro fotográfico, y de esta manera no queda un registro permanente de la investigación.

A5

Mantenimiento de los sistemas de alumbrado

Anexo A5
Mantenimiento de los sistemas de alumbrado

A continuación se describen los factores que influyen en las prestaciones o características técnicas del sistema de alumbrado después de la instalación, tanto para el que controla la luz natural como la artificial. Los sistemas de alumbrado modernos con controles electrónicos son capaces de crear una atmósfera atractiva. Al mismo tiempo tales sistemas pueden ser eficientes en energía. Desafortunadamente la electrónica puede fallar parcialmente o, más difícil de observar, funcionar mal.

Así, una vez que la instalación de alumbrado está en uso y los controles están configurados y sintonizados, se requiere un mantenimiento adecuado para mantenerla en funcionamiento como se espera. El mantenimiento regular conlleva un pequeño esfuerzo y asegurará muchos años de servicio de la instalación.

Para aquellos sistemas de luz natural que tienen partes móviles, esto es más obvio que en alumbrado artificial. Para el alumbrado artificial no es suficiente sólo con reemplazar simplemente lámparas rotas. Las luminarias también han de ser limpiadas periódicamente y las lámparas han de ser reemplazadas después de su tiempo de vida económica debido a su depreciación del flujo luminoso.

Dentro del contexto de esta Guía no todas las cuestiones relativas al mantenimiento pueden ser descritas en detalle. En especial la limpieza y sustitución de lámparas estándar del alumbrado artificial y la relación con el coste y uso de energía está descrita en la mayoría de libros de alumbrado eléctrico. Aquí las observaciones fundamentalmente se hacen con respecto a temas específicos de mantenimiento para controles que responden a la luz natural.

Otro aspecto del uso de las instalaciones que varían con el tiempo es la necesidad de modificar algunas veces los parámetros de control o incluso adaptar la implantación para acomodar los cambios en las solicitudes del usuario. Este cambio puede ser en el tipo de trabajo o en la tarea visual, nueva colocación de muebles o un posicionamiento de espacios diferente.

Los componentes envejecerán y eventualmente fallarán. El mantenimiento regular apropiado compensará los efectos del envejecimiento y del fallo. Los sistemas de control de alumbrado en respuesta a la luz natural requieren un cuidado adicional en comparación con aquellos casos en los que no hay sistemas de control. Será necesario ser consciente de:

- Detectores de luz obstruidos o sucios.
- Mal funcionamiento de componentes.
- Envejecimiento y rotura de componentes.

La mayoría de los factores comunes con respecto a la flexibilidad son cambios en:

- Las condiciones de alumbrado requeridas dentro de un espacio (la mayor parte debido a cambios en la tareas visuales o cambios en la ocupación).
- La disponibilidad de luz natural, en la mayoría de los casos como resultado de la modificación de los obstáculos externos (por ejemplo, nuevas edificaciones y crecimiento/cambios de árboles).
- El interior; tal como volver a situar tabiques de salas, nueva pintura en un color diferente, un nuevo mobiliario, etc.

A5.1 La primera etapa: evaluación de las prestaciones iniciales

Es evidente que el sistema de control de alumbrado ha de funcionar como se espera después de la instalación. Por ello, es útil comprobar y documentar las prestaciones del sistema después de la instalación y repetir estas comprobaciones periódicamente.

Las sugerencias para esta evaluación pueden ser encontradas en esta Guía. Durante la instalación y en el periodo inicial de uso a menudo otras personas distintas de las que se ocupan del servicio normal están a cargo de la instalación. Debido a estos cambios en el personal, la información y la documentación pueden perderse.

Un ejemplo de lo que podría ocurrir en un proyecto grande es el proyecto del "Palacio de Justicia" en Den Bosch, Holanda. Después de un año del uso actual del edificio los ocupantes han identificado el sistema de apantallamiento solar como la causa de varias reclamaciones, pero entonces fue difícil encontrar qué compañía instaló este sistema. Durante la fase de identificación un grupo de gestores responsables de la compañía constructora no vio la necesidad de pasar (como fue aparente después) la información crítica del sistema al usuario final. Cuando la documentación buena y una descripción de los sistemas y su realización están disponibles es posible comparar la realización real con las expectativas de diseño.

A5.2 Cambios en las condiciones de alumbrado requeridas

Hoy en día las organizaciones cambian continuamente, lo que conduce a ajustes en el uso de espacios y a combinaciones o nuevos espacios. Por ejemplo, cuando los tabiques son cambiados, a veces han de hacerse nuevas disposiciones en los sistemas de control más complejos. En el caso de los sistemas basados en líneas bus estos cambios pueden requerir una acción especial. A menudo el sistema ha de ser reprogramado por personal capacitado para asegurar el funcionamiento apropiado. La reprogramación es necesaria para definir nuevos grupos de luminarias que sean controladas de acuerdo a los nuevos espacios o usuarios.

Los sistemas basados en luminarias podrían no necesitar ser cambiados.

A5.2.1 Cambios en la reflectancia del espacio de trabajo

Un problema especial es un cambio drástico en la reflectancia media de la superficie de trabajo bajo los detectores montados en el techo. Como se sabe estos detectores reaccionan a la luminancia media de la superficie de trabajo. Esto significa que los cambios en la reflectancia media influirán sobre la luminancia media

del sistema de control de alumbrado. Así el sistema necesita ser recalibrado en caso de cambio significativo (> 10%) en la reflectancia media. Esto conlleva la medición de la iluminancia y el ajuste de los parámetros del sistema (en sistemas basados en iluminancia, a menudo el ajuste de los equipos; en otros sistemas, el ajuste de los parámetros del software en el software de control).

Los detectores montados en el techo no funcionarán correctamente con reflectancias extremadamente bajas. Esto puede ocurrir por ejemplo en un espacio con un suelo muy oscuro. Cuando la luz natural es muy poca y o la luz eléctrica es reflejada no puede verse una luminancia significativa por el detector y el sistema compensará esto con un flujo máximo (completo) y no se producirán regulaciones de flujo.

A5.2.2 Cambios en las tareas visuales

En la práctica reciente, quejas sobre el alumbrado eléctrico en un espacio de trabajo han dado casos como el siguiente. El espacio de trabajo es una gran sala de dibujo. Originalmente el alumbrado de esta sala fue implantado para acomodar el dibujo en grandes tableros de dibujo, típicamente una tarea visual que solicita valores de iluminancia vertical elevada con el fin de ver pequeños detalles en las superficies inclinadas. Recientemente los tableros de dibujo han sido reemplazados por sistemas de dibujo basados en ordenador, equipados con pantallas de ordenador. Desde luego este entorno visual solicita iluminancias verticales mucho menores y luminarias que estén suficientemente apantalladas para evitar el deslumbramiento reflejado y directo. En esa situación la instalación de alumbrado de la 'sala de dibujo' ha de ser adaptada para la nueva tarea, reemplazando las luminarias (ópticas).

A5.2.3 Cambios motivados por la individualidad de los ocupantes

Aparte de tales cambios drásticos, pueden ser necesarias adaptaciones más sutiles del alumbrado. En muchos casos los niveles de alumbrado mantenidos necesitan ajustes. Hay siempre varias personas que prefieren más o menos luz. Grupos de conmutación de luminarias o alumbrado adicional (de tarea) o adaptar la configuración de referencia del sistema de control, son soluciones estructurales posibles. La complejidad del último ajuste depende del tipo de sistema y por tanto debe ser un elemento clave en la selección inicial del sistema.

Los controles en respuesta a la luz natural son a menudo parte de un sistema de control más extenso. La mayoría de los sistemas basados en ordenadores requiere el ajuste de un parámetro en el software de control. Otros sistemas (algunos sistemas basados en luminaria) solicitan el ajuste físico del detector, a menudo en combinación con medidas de iluminancia. Esto puede suponer mucho tiempo.

A5.3 Envejecimiento de los componentes

El envejecimiento de los componentes de un sistema de control de alumbrado que responde a la luz natural puede ser subdividido en dos partes: la instalación del alumbrado (lámpara, luminaria) y el sistema de control (detector y controlador).

El componente más fungible y variable en la instalación del alumbrado es la lámpara. La vida de la lámpara (tiempo después del cual el 50% de las lámparas probablemente falle) refleja el número de horas que se espera que una lámpara dure. El uso de un sistema de control puede influir en la vida de la lámpara negativamente, como resultado de encender y apagar las lámparas más veces que cuando no se dispone del sistema. Sin embargo, como resultado de este encendido y apagado, las horas de encendido por año para las lámparas son menos que para el caso de lámparas que no son controladas.

Un beneficio adicional del uso de un sistema de control es que el efecto del envejecimiento de las lámparas puede ser compensado mediante un sistema de

control. Debido a la depreciación luminosa esperada de las instalaciones de alumbrado artificial, las instalaciones han de ser sobredimensionadas. Con un sistema de control y regulación del flujo de las lámparas, se reduce su flujo luminoso al comienzo, compensando así la potencia adicional instalada, y gradualmente se regulará su flujo luminoso total según se vayan depreciando con el tiempo. Con esta característica de "luxes constantes" se ahorrará energía.

Además del envejecimiento de los componentes, la instalación también puede verse influida por el envejecimiento y degradación de los detectores. Poco se sabe acerca del envejecimiento de los detectores, pero pueden extraerse algunas conclusiones:

- Ciertos tipos de resistencias fotosensibles se degradan con el tiempo y en algunos casos se han registrado desviaciones de hasta el 50%. Las empleadas en los sistemas actuales se regeneran automáticamente. Esto requiere una cantidad de luz suficiente, por lo que en ambientes muy oscuros pueden presentarse algunos problemas con el tiempo.
- Algunos problemas pueden ser causados por la degradación de ciertos tipos de plástico usado en los cierres de las células. Los fotodiodos son muy conocidos por ser muy estables en el tiempo.
- En cuanto a la electrónica que controla las lámparas, generalmente su duración es mucho mayor que la de las propias fuentes de luz.

A5.4 Mal funcionamiento de componentes

Los fallos del sistema pueden tener muchas causas. Algunos fallos son difíciles de detectar, especialmente cuando el confort visual no se ve afectado. Este es el caso, por ejemplo, de la función de regulación del flujo luminoso en respuesta a la luz natural de una instalación de alumbrado eléctrico que no funciona: las luces permanecerán encendidas y así habrá suficiente luz. Sin embargo no se ahorrará energía.

Qué sucede si un circuito electrónico se estropea o un detector de luz es cortocircuitado o desconectado. Si el fallo en la electrónica causa una tensión constante de 10 V de salida en el detector, las luces de amortiguarán y eventualmente se desconectarán. Esto se observará rápidamente. En caso de cortocircuito el sistema de control responderá con la máxima emisión luminosa. En caso de desconexión, el controlador reacciona de acuerdo con el tipo de sistema como si el detector no estuviera presente. Entonces las quejas del usuario son menos probables.

A5.5 Programa de mantenimiento

Para impedir que el sistema se degrade o pierda funcionalidad (desde el punto de vista de confort visual así como de ahorros de energía) son esenciales inspecciones periódicas y mantenimiento.

En general se aconseja hacer referencia al manual de mantenimiento del fabricante para el sistema. Cuando las lámparas se cambien como consecuencia de su envejecimiento, deberán limpiarse también las luminarias. Cuando se proceda a la reposición masiva de lámparas, deberán efectuase mediciones de iluminación y una recalibración de los detectores a fin de asegurar un funcionamiento apropiado del sistema de control.

Dependiendo del tipo de sistema de control, los detectores de luz podrían necesitar algún cuidado adicional. Los detectores situados en el exterior deben ser comprobados periódicamente para estar seguros de que están libres de residuos y no sufren daños por la intemperie (corrosión, amarilleamiento, etc.).

A6

Casos prácticos y experiencias

Anexo A6
Casos prácticos y experiencias

Además de los casos que se recogen en este anexo, se pueden encontrar muchos más en la literatura relativa a los sistemas de control y gestión, procedentes de trabajos de organismos tales como la Agencia Internacional de la Energía (EIA) sobre ahorro energético. No obstante, los que se exponen a continuación son especialmente interesantes por pertenecer a algunos de los llevados a la práctica en nuestro país.

A6.1 Primer caso: Edificio de oficinas en la factoría de EADS-CASA

Se trata de un edificio de obra completamente nueva, situado en Getafe, Madrid (Paseo John Lennon, s/n), destinado a uso de oficinas.

Con la fachada principal orientada al sur, el edificio tiene una altura de 24m, repartidos en 4 plantas (más una cubierta y un sótano). Cuenta con más de 28.000 m², el 90% de los cuales dispone de regulación en el alumbrado. En concreto, la totalidad del alumbrado del mismo (a excepción del de la planta garaje) se encuentra regulado; salvo en los aseos y halls de entrada.

Esta regulación se ha llevado a cabo de dos modos:

- En función del aporte de luz natural: pues el 30% de la superficie total iluminada del edificio cuenta con aporte de luz natural. Esto es posible gracias a que las zonas de despacho (zona norte) tienen ventanas de 4m de largo y 1,5m de alto y el resto del edificio posee cristaleras que van del suelo al techo.
- Regulando el nivel de iluminación, ya que el instalado (700 Lux) es superior al nivel mantenido requerido por el cliente (500 Lux) en todo el alumbrado de oficinas; por lo que se han empleado sensores de luz internos capaces de mantener ese nivel exigido, haya o no aporte de luz natural.

En total, el edificio cuenta con una potencia instalada en iluminación de 9,85 W/m² (13,89 W/m² en oficinas, es decir, excluyendo el sótano), de los que están regulados 185,70 kW (2.564 luminarias).

El sistema de regulación empleado es el modelo LIGHTMASTER de PHILIPS, cuyo esquema se muestra a continuación.

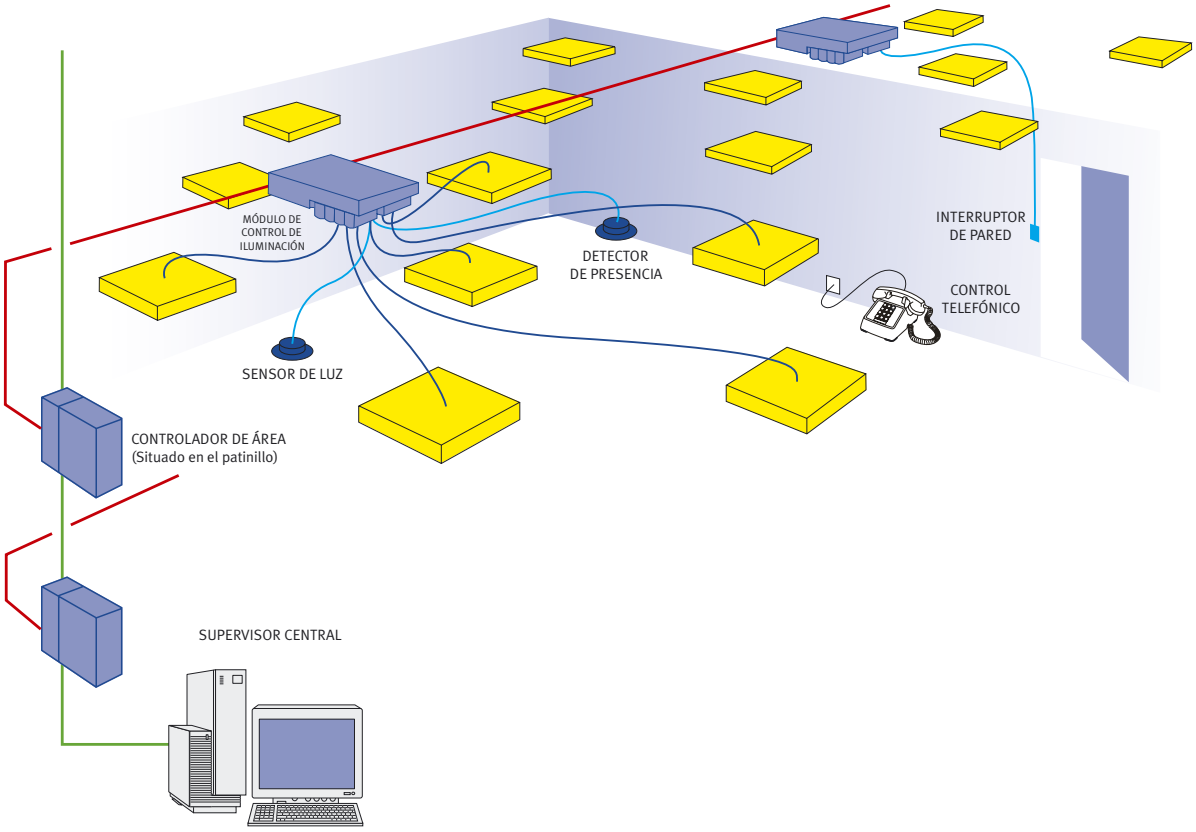


Fig. A6.1 Esquema del sistema de regulación

- La regulación se realiza según el estándar de control DALI.
- Se han empleado dos tipos de luminarias, ambas con lámpara fluorescente compacta.

Luminaria	Lámpara	R_a	Balasto Electrónico
FBS561 P	(2 de 40w) 2x40PL-L 840	80	HFD C6 W5
FBH170	(2 de 26w) 2x26PL-C	82	HFD

- Igualmente se han instalado dos tipos de sensores:
  - Se han empleado sensores de luz internos modelo LRL 2360 para mantener continuamente el nivel de iluminación (lux) requerido en cualquier situación. Es decir, tanto si existe aporte de luz natural como si éste no existe y se quiere mantener un nivel fijo de 500 lux, inferior al que emiten las luminarias al 100% de su flujo (750 lux).
  - También se han empleado sensores de movimiento modelo LRM 6801, para regular a un porcentaje determinado el alumbrado cuando no existe presencia en la zona durante el horario laboral, y apagarlo fuera del horario normal de trabajo.

Fig. A6.2 Planta representativa, con esquema de sistema de regulación

Los factores de reflexión de las distintas superficies interiores del edificio se muestran en el siguiente cuadro. Hay que decir que todos los acristalamientos cuentan con cortinas; pero al ser éstas del tipo "estor", manualmente regulables por el usuario, no se ha tenido en cuenta su factor de reflexión.

			Material	Factor de reflexión
Suelo	Plantas 1ª, 2ª, 3ª y 4ª		Placas gris claro	0,2
	Planta baja	Oficinas	Placas gris oscuro	0,1
		Entrada	Mármol claro	0,3
		Salón de actos	Moqueta granate	0,1
Techo	Salón de actos		Madera de nogal	0,2
			Falso techo blanco	0,5
Paredes	Ventanas		Cristal	0,0
	Mamparas división despachos		Madera	0,3

Resultados finales

No existen datos reales de consumos eléctricos debido a la total imposibilidad de separar el consumo eléctrico en alumbrado del de fuerza del edificio. A tal fin, y para ser completamente rigurosos, sería necesaria la instalación de contadores de energía separados en cuadros de fuerza y alumbrado.

Sin embargo, el software del sistema recoge con total fiabilidad, entre otros parámetros, dos datos muy importantes de los balastos DALI. En primer lugar, las horas de funcionamiento totales de las lámparas en un periodo de tiempo determinado. Y, en segundo lugar, si las lámparas han estado variando su flujo luminoso obedeciendo a los sensores de luz internos, el software calcula el tiempo equivalente total en horas de funcionamiento de las lámparas al 100%. Este segundo dato es siempre menor que el primero, lógicamente, si las lámparas han estado variando su flujo luminoso.

De los datos correspondientes al mes de octubre de 2003 en la 2ª planta del edificio, que es idéntica a la 3ª y a la 4ª, y muy semejante a la 1ª, por lo que se trata de una representación muy fiable de todo el edificio, se deducen los ahorros conseguidos.

- El número total de horas que el alumbrado de oficinas ha estado encendido es de 101.850. Gracias a la regulación, por aporte de luz natural y por mantenerse un nivel inferior al instalado continuamente, el equivalente a funcionamiento en horas reales al 100% es sólo de 50.566 horas.

- Por tanto, si dividimos entre sí ambas cifras, se puede deducir que el ahorro en consumo de energía eléctrica es del 51%. De éste, el 25% es debido a la regulación para disminuir el nivel de iluminación de 750 a 500 lux. Por tanto, el ahorro imputable al aprovechamiento de la luz natural es del 26%.

A6.2 Segundo caso: Edificio de oficinas de la sede de Iberdrola

Se trata de un edificio de obra completamente nueva, para uso de oficinas, aparcamiento, comedores, salas de reuniones, audiovisuales y zona de dirección. Se dispone en 7 plantas, la última de las cuales ha sido dotada de la más avanzada tecnología unida al control de la iluminación: panales táctiles, control de persianas para escenas, regulación de halógenas, interface para los sistemas audiovisuales,...

Este edificio, situado en Madrid, presenta la particularidad de ser completamente simétrico. Esto ha permitido estudiar el efecto de la regulación en la iluminación en una de las alas, dejando la otra libre de cualquier tipo de regulación.

De esta forma se ha podido comprobar que la regulación de la iluminación en función del aporte de luz natural ofrece unas ventajas energéticas incluso mejores de lo esperado.

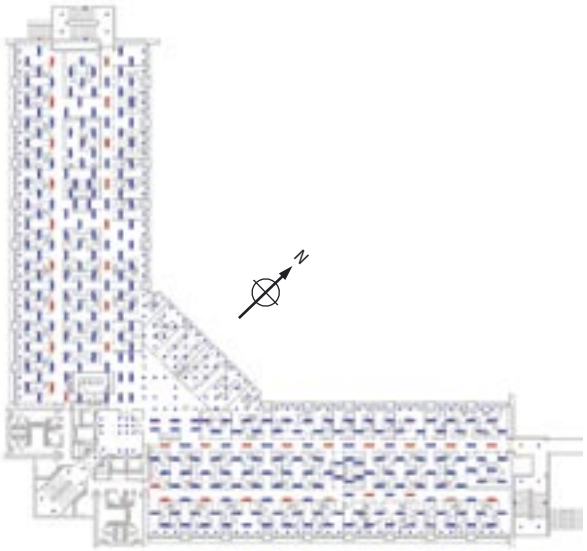


Fig. A6.3 Planta representativa, con esquema de sistema de regulación

Con una altura de 28,9 m, el edificio cuenta con una superficie total de 42.125 m², de los cuales 16.610 m² (el 40%) aprovechan para su iluminación la luz natural. De hecho, la regulación en función del aporte de luz natural se ha diseñado en forma de dos filas, paralelas a la línea de ventanas; la zona central, aunque demasiado alejada de las mismas, también se dotó de regulación.

- Las luminarias reguladas más alejadas de la ventana, se encuentran a 8,57 m de la misma.

1º fila de luminarias reguladas

Alumbrado zona central

2º fila de luminarias reguladas

El sistema de regulación empleado es el modelo Profesional de LUXMATE.

- Se ha empleado balasto electrónico digital DALI para lámparas fluorescentes, con una regulación 3-100% (220-240V 50/60 Hz).
- Los sensores instalados son de dos tipos:
  - Los de la línea exterior son LM-TLM (con 8 células fotoeléctricas y un sensor de infrarrojos).
  - Los del interior son LSD (1 célula fotoeléctrica).
- Las luminarias emplean tubos fluorescentes, 2x28W T5 DALI.
- Se ha fijado un nivel de iluminación de 550-600 luxes.

En total, de los 320 kW de potencia total instalada en iluminación, se han regulado el 82%: 264,6 kW, es decir, 4.410 luminarias de 2x28W.

Datos de consumo energético

Durante el mes de marzo de 2003 (uno de los meses más nublados de ese año), el consumo medio de electricidad en iluminación medido, tras 308 horas de consumo, fue:

	Con aprovechamiento de luz natural (kWh)	Sin aprovechamiento de luz natural (kWh)	% de ahorro sobre el consumo en iluminación de las luminarias reguladas
Primera Fila	650,08	496,86	41,55 %
Segunda Fila	868,42	640,92	26,19 %
Fila Emergencias	1.045,80	602,28	42,41 %
Alumbrado central	2.192,12	1.850,52	15,58 %

Esto supone un ahorro del 15,7% en el consumo de iluminación del edificio durante dicho mes de marzo.

Nota: En mediciones puntuales en días de verano se estaban alcanzando niveles de ahorro del 90-95% en primera fila, 70-75% en segunda fila, 55-60% fila de emergencias y 35-40% en alumbrado central. Se estima que en verano el ahorro en la zona regulada puede suponer un 60-65%.

Datos económicos

- Para calcular el ratio de inversión por m² de superficie con regulación, hay que tener en cuenta dos gastos:
  - El sistema de regulación para aprovechamiento de la luz natural (excluyendo el coste de los sistemas puramente de confort de las salas de reuniones, ya descritos anteriormente) fue de 208.000 €.
  - El coste del cableado y los balastos implicados estrictamente en el control en función del alumbrado natural (es decir, excluyendo los del sistema de confort) ascendió a 153.000 €.

En total:

361.000 € / 264,6 kW = 1.364 €/kW

Lo que supone, para la superficie regulada, un ratio de inversión de 10,4 €/m².

- Aunque la ventaja principal buscada en esta instalación fue la flexibilidad y es difícil de cuantificar su beneficio económico, Iberdrola considera que hay un ahorro mensual medio de 1.872,26 €, estimándose un periodo de retorno de 7 años.
- Iberdrola cuantifica en 1,5 €/m² el ahorro conseguido por reducción de costes en reformas eléctricas en alumbrado en un edificio con superficie totalmente flexible gracias a este sistema.
- Por otro lado, hay que tener en cuenta que este sistema avisa de errores de lámparas y prolonga la vida de las mismas, por lo que se puede considerar que hay una reducción del 40% en el coste de reposición de las lámparas y del 50% en los de mantenimiento.
- Finalmente, aunque inicialmente no se consideró, se observó que durante el verano no se alcanzó el 100% de potencia de las máquinas frigoríficas. De ahí que se añada un ahorro económico por menor consumo eléctrico en refrigeración: toda la potencia en iluminación que se ahorra en los meses de verano no se tiene que combatir con energía frigorífica.

Es decir, aunque no se puede calcular en este caso (ya que los presupuestos están mezclados) se consiguen unos ahorros totales que hacen que la inversión necesaria para este tipo de sistemas se recupere en un periodo de unos 4-5 años.

A6.3 Tercer caso: Edificio de oficinas en la Torre AGBAR (Aguas de Barcelona)

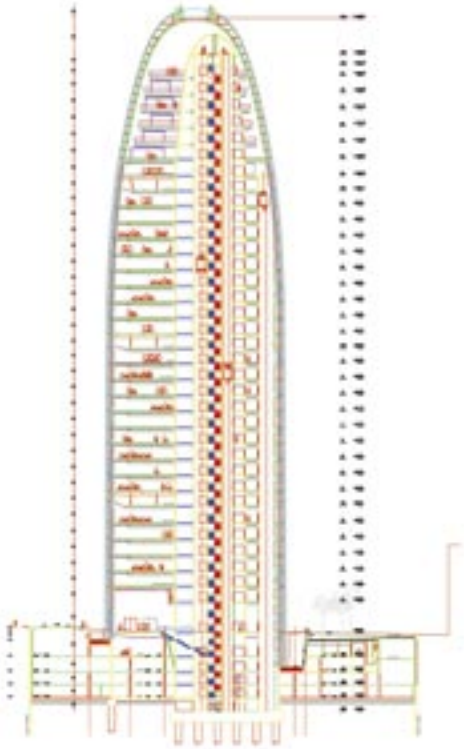
Se trata de un edificio singular, en forma de enorme bala, diseñado por el arquitecto francés Jean Nouvel. Con una altura de 142 metros (repartidos en 30 plantas y 3 sótanos), tiene una sección circular de aproximadamente 40 m.

Desde el punto de vista de aprovechamiento de la luz natural, posee una estructura interna de hormigón, en forma de núcleo central (donde se ubican las zonas de escaleras, servicios,...) que constituye la única zona "inaccesible" para la luz solar. Pero no existe ningún obstáculo exterior que dificulte la entrada de luz, ni tampoco se han instalado cortinas, estores o similares. De ahí que la luz natural se aproveche en todo el edificio salvo en su zona central.

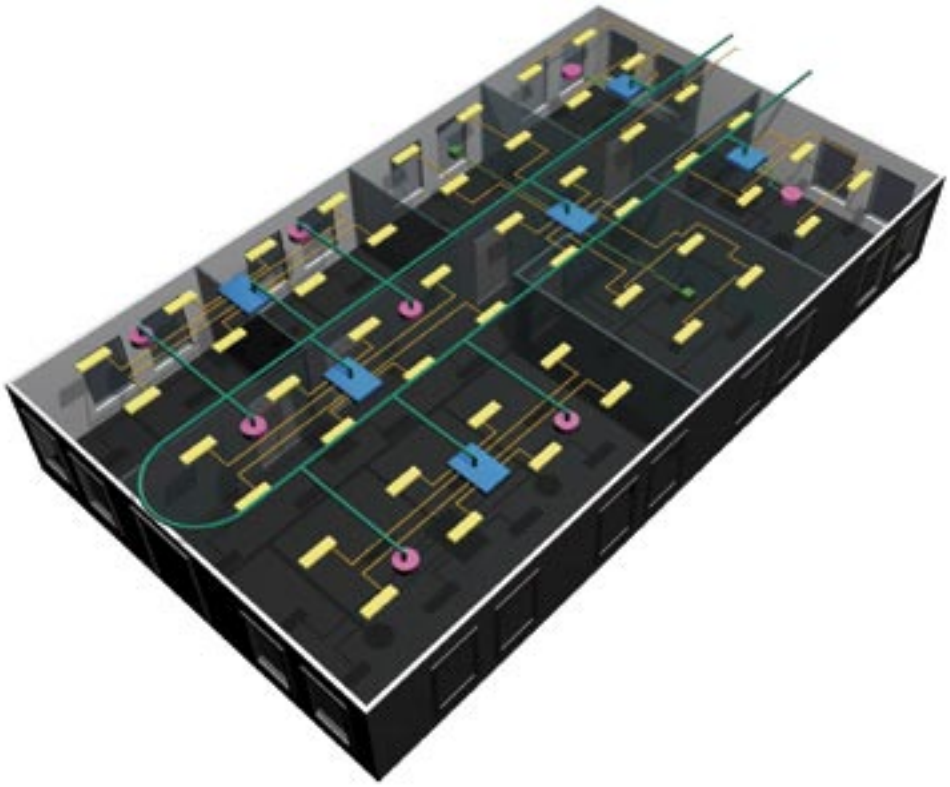
Su fachada destaca por la distribución aparentemente aleatoria de ventanas (todas de 1m² de superficie) y sus casi 60.000 lamas de cristal con distintas inclinaciones, con distintas tonalidades dependiendo de la zona de la torre en que nos encontremos.

El objetivo principal de este proyecto de regulación y control ha sido dotar al edificio de un sistema de gestión capaz de optimizar el consumo energético en alumbrado, permitiendo una flexibilidad total en la redistribución de espacios y adaptación del alumbrado. Este control se ha llevado a cabo de dos formas:

- Mediante la regulación en función de la aportación de luz solar, lo cual ha sido posible gracias al total acristalamiento del edificio, que provoca que, en el peor de los casos (junto al núcleo central), la distancia máxima a una ventana sea de 10m (9m es la máxima distancia entre luminaria y ventana).
- Apagados selectivos por horario o por detección de movimiento.



Gracias a esta gestión, la superficie total del edificio (26.400 m²) tiene su iluminación regulada, la mayor parte de ella (24.190 m²) en función del aporte de luz natural. El esquema del sistema de regulación, realizado mediante el modelo HELIO de PHILIPS, se muestra en la siguiente gráfica.



- Se han empleado multisensores tipo LRI8124, que incorporan fotocélula, receptor infrarrojo y detector de movimiento.
- Los balastos son electrónicos, de PHILIPS, HF-R, con regulación 1-10 V. Esto permite que, con una alimentación de 220-240V, a 50/60 Hz, se consiga una regulación de 3-100%.
- Las luminarias reguladas, son de dos tipos:
  - Luminarias fluorescentes de 4 x 14 w (la totalidad, 2.400 unidades, reguladas).
  - Downlights de 2 x 26 w (las 3.400 existentes, reguladas).
- Se ha fijado un nivel de iluminación de 500 lux.

De la potencia total instalada, 321 Kw (12 w/m²), la totalidad está regulada; 5,6 kW en función del aporte de luz natural.

Datos de consumo energético

Durante un mes, con 15 horas de encendido diario, el consumo medio de electricidad medido en 24 plantas, fue:

- Sin aprovechamiento de luz natural: 1.257.620 kWh
- Con aprovechamiento de luz natural: 730.700 kWh

Este ahorro fue posible gracias a la triple regulación instalada en el edificio:

- Si sólo se tiene en cuenta la regulación en aporte de la luz natural, se ahorra un 42%.
- Si, además, se regula gracias a detectores de movimiento, el ahorro sería del 50%.
- Si, a los anteriores, se les une el control horario, el ahorro sube hasta el 60%.

Datos económicos

- Para calcular el ratio de inversión por m² de superficie con regulación, hay que tener en cuenta dos gastos:
  - La inversión total en el sistema de regulación para aprovechamiento de la luz natural ascendió a 225.000 €.
  - Al ser una obra nueva, el extracoste de pasar de luminarias no regulables a regulables representó 65.000 €. Además, hay que sumar el extracoste del cableado* necesario para llevar a cabo esta regulación, que en este caso ascendió a 40.000 €.

*Hay que señalar que, en este caso, el extracoste de cableado de regulación y sensores quedó prácticamente compensado por el ahorro en los cableados verticales, lógica de doble interruptor en despachos y reducción en el cableado de potencia, al quedar la instalación mucho más estructurada y racionalizada alrededor de los controladores.

En total:

330.000 €/ 321 kW = 1.029 €/kW

Lo que supone, para la superficie regulada, un ratio de inversión de 12,5 €/m².

- Gracias a la regulación total de la iluminación de la torre, se consigue un ahorro económico anual en la factura (considerando un coste de 0,08€/kWh) de 42.153 € sólo por el hecho de regular la iluminación en función del aporte de luz natural. Cantidad que asciende a 65.500€ si tenemos en cuenta la totalidad de sistemas de regulación de la iluminación integrados en este edificio.
- Además, aunque es difícil de medir, se estima que los gastos de mantenimiento y reposición en esta instalación se verán reducidos entre un 40 y un 60% con respecto a los que se tendría de no haber instalado estos sistemas de regulación.
- Sumando todos los ahorros directos conseguidos junto con los indirectos (flexibilidad total en distribuciones de espacios, niveles,..., menores gasto de mantenimiento,...) y teniendo en cuenta el dato señalado anteriormente de que, en este caso, el extracoste del cableado se compensaba, se estimó que en 4,5 años quedaría totalmente recuperada la inversión extra realizada en este edificio.

A6. 4 Conclusiones

Teniendo en cuenta los datos extraídos de los casos prácticos anteriormente reflejados, podemos obtener las siguientes conclusiones.

El ahorro en edificios donde la relación entre la superficie acristalada con respecto a la superficie útil es superior a un 14%, las tecnologías de aprovechamiento de luz natural en iluminación interior permiten conseguir ahorros en el consumo de iluminación total de los edificios entre un 26 y un 43%.

Las inversiones necesarias para conseguir estos niveles de ahorro se encuentran entre 10 y 12 €/m² de superficie con aprovechamiento de luz natural (1.000-1.300 €/kW regulado), lo que permite periodos simples de amortización de esta inversión de entre 8 y 10 años.

Si al ahorro eléctrico en iluminación añadimos otros ahorros, como menor coste de mantenimiento, menor coste de reformados, menor potencia instalada en refrigeración y menor consumo eléctrico en refrigeración, los periodos de retorno simple de dicha inversión se reducen a 4-5 años.

NOTA

Los ejemplos incluidos en este anexo han sido recopilados tras solicitar casos prácticos a las empresas del sector, a través de sus asociaciones profesionales y del Comité Español de Iluminación.

Debe resaltarse que estos ejemplos se desarrollan con carácter informativo, como ejercicios meramente prácticos de evaluación de la eficiencia y ahorro de energía y del análisis de la rentabilidad económica de la implantación de las distintas alternativas. Cada proyecto deberá analizarse de forma específica, siguiendo esta metodología.

Por tanto, la adopción de unas u otras propuestas o soluciones que en este anexo se exponen no implica ni toma de postura sobre la bondad de las mismas ni fomento de unas aplicaciones o tecnologías frente a otras.

Bibliografía y webs de interés

Bibliografía y webs de interés

Bibliografía

• ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. Daytime lighting in buildings : technical report.

• CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS (CIBSE). Daylighting and window design - London : CIBSE, 1999.

• COMMISION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. DG XII for Science Research and Development. Daylighting in architecture : a European Reference Book - London : James & James, reimp. 2001.

• Evaluation and user assessment of lighting systems performance : Publishable Final Report 1º January 1996 to 31 December 1998, Non Nuclear Energy Programme JOULE III.

• INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Solar Heating & Cooling Programme. Application guide for daylight responsive lighting control – IEA, 2001 - (IEA Task 21: Daylight in Buildings).

• INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. Daylight: International Recommendations for the Calculation of Natural Daylight, CIE No.16/ E-3.2 – 1970.

• INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. Guide to recommended practice of daylight measurement, CIE TC-3.07.

• INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. Guide on daylighting of building interiors, CIE TC-4.2.

• NAVARRO CASAS, Jaime. Sobre iluminación natural en arquitectura.

• INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE). Guías Técnicas de Eficiencia Energética en Iluminación - Madrid : IDAE, 2001.

• INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE), COMITÉ ESPAÑOL DE ILUMINACIÓN (CEI). Cuadernos de Eficiencia Energética en Iluminación - Madrid: IDAE, 1996.

• Revista Internacional de Luminotecnia (ILR) de Philips. (varios números).

Webs de interés

• Agencia Internacional de la Energía
http://www.iea.org

• Agencia de Protección del Medio Ambiente de USA
http://www.epa.gov

• Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)
http://www.ibp.fhg.de

• IDAE
http://www.idae.es

• Iluminating Engineering Society of North America
http://www.iesna.org

• Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales)
http://www.mtas.es/insht/legislation/guiaspr.htm

• Lawrence Berkeley National Laboratory
http://windows.lbl.gov

• Programa Europeo GreenLight
http://www.eu-greenlight.org

• US Department of Energy Efficiency and Renewable Energy
http://www.eere.energy.gov

• The Internet source for Light Specifiers
http://www.light-link.com

Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

Madera, 8 - 28004 Madrid
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14
e-mail: comunicacion@idae.es
http://www.idae.es

ISBN 84-86850-92-4
9 788486 850920

P.V.P. 18 € (I.V.A. incluido)