

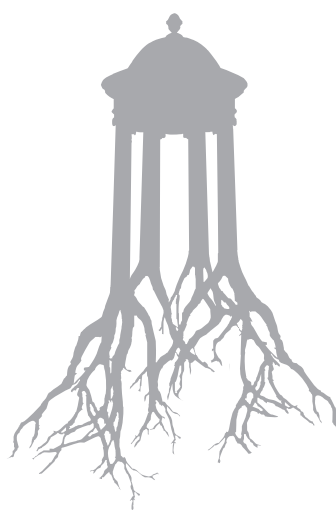


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

→ **UPC**GRAU

La iluminación artificial es arquitectura →

Eduard Folguera Caveda
Adrià Muros Alcojor



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



iniciativa
digital politècnica
Publicacions Acadèmiques de la UPC

→ **UPCGRAU**

La iluminación artificial es arquitectura →

Eduard Folguera Caveda
Adrià Muros Alcojor

Primera edición: diciembre de 2013

Diseño y dibujo de la cubierta: Jordi Soldevila

Diseño maqueta interior: Jordi Soldevila

© Los autores, 2013

© Iniciativa Digital Politècnica, 2013
Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC
Jordi Girona 31,
Edifici Torre Girona, Planta 1, 08034 Barcelona
Tel.: 934 015 885
www.upc.edu/idp
E-mail: info.idp@upc.edu

DL: B. 29572-2013

ISBN: 978-84-7653-465-2

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede realizarse con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista en la ley.



Prólogo

Desde la aparición de la luz artificial se ha producido una evolución constante de factores relacionados con esta que han contribuido a hacer evolucionar la arquitectura hasta la situación actual, en que la complejidad y las diferentes voces y opiniones que han surgido hacen conveniente establecer una metodología para incorporar la iluminación artificial en la enseñanza de la propia arquitectura.

La luz artificial tiene aplicaciones en diferentes campos como son el arte, el diseño de luminarias o la enseñanza teórica, que contribuyen a su incorporación definitiva en la arquitectura; en su búsqueda constante de nuevas formas de representación y de transmisión de ideas y propuestas, nos encontramos con el hecho de que la iluminación artificial ofrece un lenguaje capaz de generar nuevas imágenes y nuevos espacios con una expresividad totalmente innovadora.

Los planteamientos lumínicos puramente cuantitativos que marcaron la incorporación de la iluminación artificial en un primer momento dieron paso a los cualitativos planteados por Richard Kelly en la década de 1970 y a los de la psicología perceptiva de W.M.C. Lam en la década de 1980. El siglo XXI requiere afrontar la iluminación desde los planteamientos de la conceptualización formal arquitectónica. La luz artificial ha dejado de ser definitivamente una herramienta funcional para convertirse en un elemento fundamental del lenguaje arquitectónico.

Este libro pretende contribuir, con este nuevo planteamiento, a la formación de los profesionales de la arquitectura, así como a ingenieros, diseñadores y otros profesionales sensibilizados con la luz artificial, y con una capacidad técnica y



creativa suficiente para materializar los conocimientos adquiridos en las propias obras y realizaciones.

Esta visión, diferente de la iluminación artificial arquitectónica, permitirá afrontar el análisis crítico de los resultados y servir de guía en la toma de decisiones de arquitectos y profesionales de la iluminación, y, sobre todo, evitar la banalización de la iluminación artificial en la arquitectura.

El libro se estructura en cuatro partes, que corresponden al proceso de realización del proyecto arquitectónico. La primera parte recoge los conocimientos básicos que deben alcanzar los profesionales que quieran dedicarse a la iluminación arquitectónica y al diseño lumínico: la luz y la percepción, el comportamiento de los materiales, el lenguaje de la luz, fotometría y percepción, los sistemas y las fuentes de alumbrado artificial, las instalaciones auxiliares y complementarias y las normativas.

La segunda parte se centra en los criterios necesarios del diseño lumínico en arquitectura y contempla el diseño de efectos lumínicos, la definición de las ideas lumínicas, la representación de los efectos y el diseño formal de los sistemas lumínicos.

La tercera parte trata el diseño técnico y aporta criterios para la selección de luminarias y lámparas y para la representación gráfica de los sistemas lumínicos. La cuarta parte habla de los diferentes métodos de cálculo y de predimensionado, así como los programas informáticos de aplicación.

Con esta propuesta se desarrolla un camino de progreso desde unas bases más intelectuales hasta las definiciones de los aparatos y los cálculos más objetivables.

Se estudia el diseño de las luminarias y se plantean nuevas clasificaciones que ayuden a su elección en los procesos de proyectación arquitectónica y en el diseño formal de los espacios. Se analiza la definición lingüística y la conceptualización arquitectónica de los sistemas de iluminación artificial, así como las técnicas metodológicas de representación de los efectos lumínicos, desde el conocimiento de sus cualidades y singularidades. Y se aborda el estudio del lenguaje formal de la arquitectura a partir de una calificación específica y propia de la iluminación artificial.

También encontramos un breve estudio de los aspectos asociados a la dinámica lumínica y perceptiva.

Por otra parte, este libro recoge contenidos de diversas publicaciones docentes anteriores de las asignaturas en que se imparten materias de iluminación artificial para los estudiantes de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, así como algunas de las principales aportaciones de la tesis doctoral titulada “La Luz, de herramienta a lenguaje. Una nueva metodología de iluminación artificial en el proyecto arquitectónico”, realizada por el profesor Adrián Muros.



Finalmente, su planteamiento conceptual afronta, voluntariamente, el reto de incluir la disciplina de la iluminación artificial en la de la proyectación arquitectónica, desde sus planteamientos compositivos, formales y creativos, pero sin olvidar los conocimientos implícitos en la luz artificial.





Índice

Prólogo	5
Índice.....	9
Primera parte. Introducción y conceptos básicos.....	15
1. La luz y la percepción.....	17
1.1 Generalidades.....	17
1.2 Utilidades de la luz artificial.....	18
1.2.1 Utilidades relacionadas con la iluminación natural	19
1.2.2 Utilidades relacionadas con la generación de efectos lumínicos y perceptivos	22
2 El comportamiento de los materiales	37
2.1 El relieve, la textura, la rugosidad y el color de los paramentos	38
2.2 Comportamientos de los objetos y de las superficies a la reflexión y a la transmisión.....	43
2.2.1 Materiales opacos	43
2.2.2 Materiales translúcidos	45
3 El lenguaje de la luz	49
3.1 La significación del entorno	50
3.2 La luz y el lenguaje arquitectónico	50
3.2.1 La luz como complemento y sustituto de la luz natural....	50
3.2.2 La luz como símbolo	51
3.2.3 La luz como información	53
3.2.4 La luz como arquitectura	55
3.3 La luz y el diseño arquitectónico	58
3.3.1 De las exigencias de mínimos a la composición formalista (promoción del proyecto).....	58



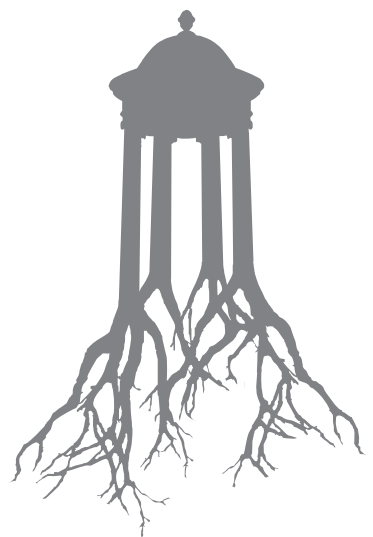
3.3.2	El edificio como espacio abierto al exterior o como espacio exterior.....	59
3.3.3	Los espacios interiores transparentes	59
3.3.4	Condiciones de los espacios, de los objetos y de la luz para la armonización o el contraste	60
3.3.5	Del concepto de edificio y luz, imagen de día y de noche	62
3.3.6	La luz de noche en los espacios arquitectónicos exteriores	65
4	Fotometría y percepción.....	71
4.1	Parámetros físicos	72
4.2	Parámetros luminotécnicos.....	72
4.3	Parámetros visuales.....	74
4.4	Colorimetría y leyes básicas de fotometría.....	77
4.4.1	Colorimetría	77
4.4.2	Leyes básicas de fotometría	83
5	Los sistemas y las fuentes de iluminación artificial	87
5.1	Generalidades, introducción y caracterización de los sistemas lumínicos	88
5.2	Composición básica de los sistemas.....	88
5.2.1	Elementos físicos	88
5.2.2	Elementos estructurales y organizativos	88
5.3	Clasificación de los sistemas lumínicos para establecer un léxico comprensible y útil para el desarrollo de los proyectos de iluminación en la arquitectura.....	89
5.3.1	Clasificación de los sistemas lumínicos según la direccionalidad del flujo luminoso	90
5.3.2	Clasificación de los sistemas lumínicos según la distribución del flujo luminoso	93
5.3.3	Clasificación de los sistemas según su percepción visual	96
5.4	Los sistemas especiales y específicos	97
5.5	Evoluciones y características formales de los sistemas	98
5.6	Las fuentes de luz (luminarias y lámparas).....	99
5.7	Las luminarias	100
5.7.1	Definición y composición	100
5.7.2	Características luminotécnicas de las luminarias	102
5.7.3	El diseño de las luminarias desde la función.....	108
5.7.4	Criterios de clasificación de las luminarias desde la función	108
5.7.5	Clasificación de las luminarias según la direccionalidad del flujo lumínico	110
5.7.6	Clasificación de las luminarias según la distribución del flujo lumínico emitido	114
5.7.7	Clasificación de las luminarias según la forma básica de su superficie emisora	117
5.7.8	Las luminarias de diseño de autor	122



5.7.9	La forma de la luminaria como lenguaje	123
5.7.10	La luminaria como metáfora	123
5.7.11	Las luminarias de autor según la iluminación del espacio.....	124
5.7.12	Las luminarias según su tipología o denominación comercial	134
5.8	Las lámparas	136
5.8.1	Características físicas	136
5.8.2	Características lumínicas	137
5.8.3	Características eléctricas y electrónicas	141
5.8.4	Introducción general a las familias o tipos genéricos.....	141
5.8.5	Lámparas de incandescencia.....	143
5.8.6	Lámparas de luminiscencia.....	148
5.8.7	Lámparas de fotoluminiscencia (fluorescencia y fosforescencia)	154
5.8.8	Lámparas de inducción	162
5.8.9	Las lámparas LED	163
5.8.10	Lamp Designation System	166
6	Instalaciones auxiliares y complementarias (de los sistemas)	171
6.1	Infraestructura mecánica: de fijación, protección y orientación ...	172
6.2	Infraestructura eléctrica y electrónica.....	174
6.2.1	De los sistemas	174
6.2.2	Equipos auxiliares de las luminarias.....	176
6.2.3	Equipos auxiliares de las lámparas.....	177
6.3	Controles de funcionamiento.....	179
7	Las normativas.....	183
Segunda parte. Criterios de diseño lumínico en arquitectura.....		187
8	El diseño lumínico en la arquitectura.....	189
8.1	Antecedentes y principios.....	190
8.2	Objetivos y métodos	191
8.3	El planteamiento del proyecto lumínico en la arquitectura.....	195
8.3.1	Características físicas del espacio	195
8.3.2	Características del contenido	197
8.3.3	Características funcionales (del programa de funcionamiento)	197
8.3.4	Características de los usuarios.....	198
8.4	Una nueva propuesta metodológica para el proyecto lumínico en la arquitectura.....	199
8.5	Definición de las ideas lumínicas.....	202
8.6	La representación gráfica de los efectos	202
8.6.1	El dibujo en blanco y negro	203
8.6.2	La técnica del dibujo a color.....	206
8.6.3	El dibujo en planta con la técnica de color.....	208
8.6.4	El dibujo en sección con la técnica del color	209



8.6.5	Las maquetas de luz	210
8.6.6	Los renders informáticos	211
8.6.7	Futuras formas de representación tridimensionales	213
9	El diseño de los sistemas	215
9.1	Aspectos estructurales y compositivos de los elementos	216
9.2	La composición y formalización de los sistemas	218
9.2.1	La disposición espacial	219
9.2.2	Estructura formal y compositiva	219
9.2.3	Geometría	219
9.3	Clasificación de los sistemas según la disposición espacial	220
9.4	Clasificación de los sistemas según la forma, disposición y organización de las luminarias	224
9.4.1	Las formas de las luminarias	224
9.4.2	Las disposiciones de las luminarias	224
9.4.3	La organización de las luminarias	225
	Tercera parte. Del proyecto	229
10	La elección de los sistemas lumínicos	231
10.1	La elección de los sistemas lumínicos	232
10.1.1	La selección de las luminarias	232
10.2	La selección de las lámparas	235
10.2.1	Recomendaciones y criterios de selección de las lámparas. Recomendaciones para la selección de las lámparas de interior	236
10.2.2	Por cualidades cromáticas: K e IRC	237
10.2.3	Por durabilidad	238
10.2.4	Por eficacia	238
10.3	Planteamiento para estructurar decisiones sobre los sistemas ...	239
10.4	La representación del sistema lumínico	240
10.4.1	La representación en planta cenital	240
10.4.2	Los detalles de implantación	243
	Cuarta parte. Cálculos básicos.	245
11	Cálculos básicos	247
11.1	Generalidades	248
11.2	Cálculos de los niveles de iluminación (iluminancias)	256
11.2.1	Método del flujo o del nivel medio	256
11.2.2	Método del punto por punto	262
11.2.3	Cálculo de la luminancia (control de deslumbramiento) ..	268
11.2.4	Introducción a los programas de cálculo	272
	Bibliografía	283





Primera parte.
Introducción y conceptos básicos

→ 1



La luz y la percepción

1.1 Generalidades

La iluminación artificial está presente en todas las construcciones actuales. Allí donde haya que desarrollar una actividad, para cualquier usuario dentro de un “espacio” definido por elementos materiales, será necesaria la utilización de la iluminación artificial.

La luz artificial tiene una componente calificadora que permite transformar una “construcción” en “arquitectura”. Esta capacidad de la luz artificial para configurar el espacio arquitectónico se debe analizar a fondo desde el punto de vista de la percepción visual y desde la cultura-estética arquitectónica, así como analizar las características de los diferentes elementos que intervienen en el proceso de la percepción visual: la luz, el espacio arquitectónico y el observador.

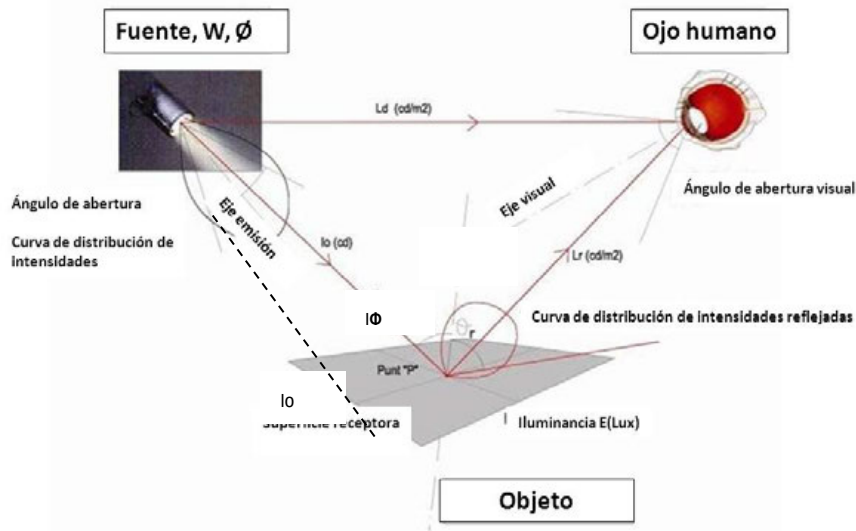
Con la luz artificial podremos decidir y controlar los valores máximos, medios y mínimos de diferentes parámetros lumínicos como iluminancia (E), luminancia (L), temperatura de color (K), calidad de reproducción cromática (IRC), flujo (Φ), intensidad (I), dirección del ángulo de concentración de la emisión (α), etc. Actualmente existen suficientes tipos de fuentes de luz (luminarias y lámparas) para cumplir con las necesidades de iluminación de cualquier espacio u objeto.

Para determinar las necesidades básicas de confort y funcionamiento podemos consultar diferentes listados de recomendaciones así como normas y reglamentos con el valor de los diferentes parámetros lumínicos (ver el capítulo 7, *Las normativas*).



La capacidad de controlar los parámetros y los efectos permite diseñar todo tipo de imágenes, de contrastes, de alteraciones y de provocaciones visuales entendiéndolos como **diseño de efectos**.

Fig. 1.1
Esquema del proceso de
la percepción visual.
Fuente, Autor.



Por otra parte, también podemos **diseñar sistemas** entendidos como elementos arquitectónicos de composición del espacio y **luminarias** entendidas como objetos técnicos o artísticos en sí mismas (ver más adelante *La estética de la percepción de las fuentes*).

En síntesis, realizar una iluminación artificial significará cubrir unas necesidades de confort y diseñar al mismo tiempo unos paisajes visuales para cada circunstancia del individuo y de acuerdo con las características propias de cada espacio, por lo cual las aplicaciones luminotécnicas han superado las misiones funcionales para integrarse en el diseño arquitectónico y estético, como objetos o como resultados.

1.2 Utilidades de la luz artificial

Hoy día la iluminación artificial tiene un amplio abanico de posibilidades de utilización que abarca campos tan diferentes como el arte, el ocio, los espectáculos, el paisajismo, el urbanismo, la arquitectura, etc. En el campo de la arquitectura, en general tenemos como opciones básicas especiales más interesantes las utilidades siguientes:



1.2.1 Utilidades relacionadas con la iluminación natural

Compensación de las oscilaciones de la luz natural

La luz artificial se puede adaptar a las variaciones de la luz natural, variable de intensidad, color, dirección, etc., con sistemas de variación progresiva o instantánea de manera que dichas variaciones no afecten excesivamente a la capacidad visual.

Transición y adaptación a las condiciones nocturnas

La luz artificial puede crear unos niveles y cualidades de transición de manera que, con determinados tipos de luces, se puedan crear efectos similares a los de la luz natural durante un tiempo y que de noche permitan servir a las necesidades previstas básicas o del diseño.

Acomodación por las transiciones interior-exterior, de día y de noche

En situación dinámica del usuario entrando o saliendo de un espacio interior, es conveniente resolver la acomodación visual durante la transición entre estos espacios que tienen niveles de iluminación muy diferenciados.

Como ejemplo podemos ver en la figura 1.2 una gráfica de los niveles existentes en diferentes lugares de un edificio de oficinas durante un recorrido específico, y las oscilaciones en situación diurna o nocturna, así como en el recorrido hasta las salas de exposición en un museo representado en la figura 1.3.

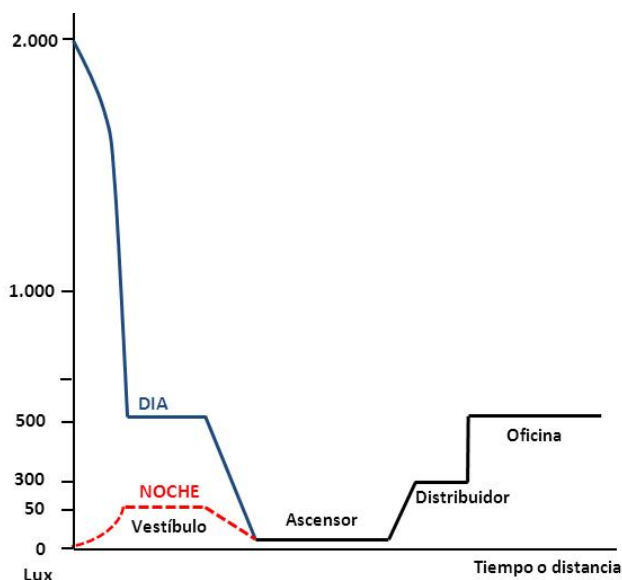
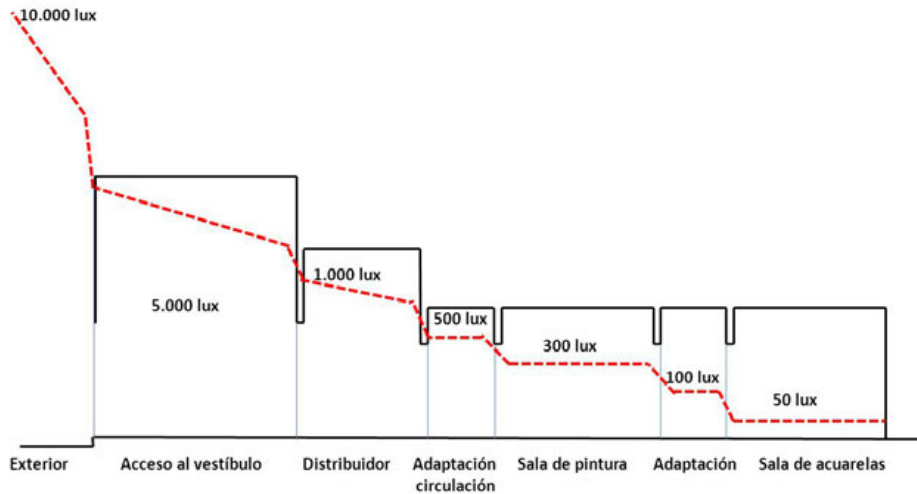


Fig. 1.2
Ejemplo de transición de
día y de noche en un
edificio de oficinas.



Fig. 1.3
Ejemplo de transición de
día en los espacios de un
museo.



Generación de iluminaciones similares a la producida por la luz natural

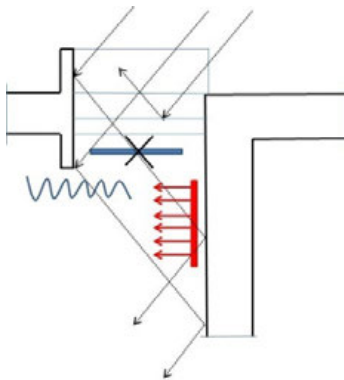
Aunque sea obvio, hay que mencionar que en el exterior es imposible reproducir la luz del día con fuentes artificiales. Pero en los interiores de los espacios construidos podemos reproducir la entrada de luz natural en sus formas vertical u horizontal integrando la luz artificial de reposición. Para conseguirlo habrá que cuidar las formas, dimensiones y colores de los paramentos reflectantes próximos a las superficies emisoras.

Con fuentes difusoras de emisión vertical situadas en el techo se podrá generar una luz semejante a la natural desde lucernarios. Y con las situadas en las paredes, una luz semejante a la de las ventanas.

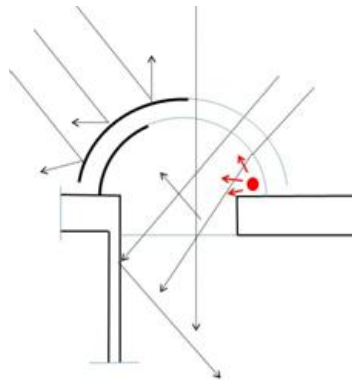
En la fig. 1.4a tenemos un ejemplo de generación de similitud a la luz natural, con entrada de luz natural horizontal con ventanas, balconadas, muros vidriados, etc. y opciones para reproducirla con fuentes artificiales. En la fig. 1.4b tenemos la generación de similitud a la luz natural desde el interior de un lucernario. En la fig. 1.6a tenemos la generación de similitud a la luz natural desde el exterior de un lucernario.

Como se observa en la fig. 1.5, Alvar Aalto incorporó una iluminación artificial desde el exterior de los lucernarios en el M.I.T. Senior Dormitory en Cambridge (Massachusetts) de 1947-1948. Esta yuxtaposición entre iluminación natural y artificial la repetirá más tarde en el vestíbulo del edificio de oficinas de la compañía Rutatalo, en Helsinki, de 1953-1955.

También F. L. Wright intentó reproducir con luz artificial los mismos efectos de la luz natural incorporando lámparas en el interior de tubos de cristal Pyrex que forman el techo del edificio Johnson & Johnson.



a

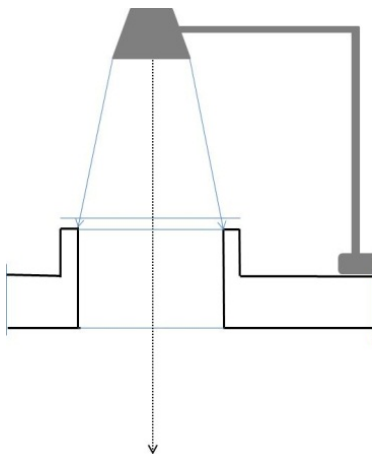


b

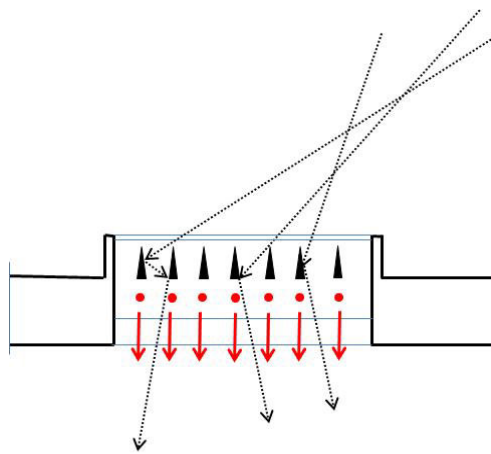
Fig. 1.4
Ejemplos de iluminación
artificial para generar
similitudes con la luz
natural.



Fig. 1.5
Luminarias y lucernarios
de la compañía Rutatalo
en Helsinki. 1953-1955.
A. Aalto.



a



b

Fig. 1.6
Similitud de iluminación
natural de lucernarios.

a. Desde el exterior.

b. Desde la cámara
interior del propio
lucernario.



Fig. 1.7
Sala central del S.C.
Johnson Building.
F. Lloyd Wright.



1.2.2 Utilidades relacionadas con la generación de efectos lumínicos y perceptivos

Generación de contrastes

Hay que tener presente que los contrastes de las iluminaciones, de los brillos y de los colores son convenientes o necesarios en muchos casos para la mejor percepción acentuada de los ambientes o de los objetos. La falta de contrastes obligaría al individuo a forzar la agudeza de la visión para no perder los detalles.

Estos contrastes para la percepción instantánea se consideran según las diferentes partes del campo visual. La calidad de percepción mejora con el aumento de la iluminación, pero también y sobre todo con el aumento del contraste de las luminancias (brillos).

Fig. 1.8
Sala museo con
fuerte contraste
obra-fondo 50-5
lux. Fuente:
*Lighting in Mu-
seums.*





La provocación visual

La acomodación del ojo humano al ambiente luminoso y la visión de los objetos para una actividad en correctas condiciones pueden determinar unos valores de los parámetros lumínicos que permitan ofrecer un nivel de confort visual aceptable.

Pero no siempre es adecuada esta actitud frente al diseño perceptivo. A menudo, la mejor percepción de los espacios, las formas y los colores de los objetos se consigue creando áreas de luz y de sombra con fuertes contrastes, tanto de iluminación como de luminancias (niveles de luz y de brillo), incluso superando los valores recomendados como máximos o mínimos.

Así, la provocación visual se puede entender como la generación de impactos visuales con puntos, líneas, superficies y volúmenes, fuertemente contrastados con el resto de espacios u objetos dentro del campo visual, y son los que diseñan el paisaje de nuestro entorno, para que el cerebro humano capte las imágenes deseadas y las mantenga a su memoria.



Fig. 1.9
Contrastes de provocación
en el pasillo del Hotel
Puerta de América. Madrid.
David Chipperfield,
arquitecto.

Efectos de la dirección de la luz

Según la manera de incidir sobre el espacio y los objetos, la luz creará unos efectos específicos, formas y manchas, ritmos, sombras, etc. También se pueden generar efectos especiales de deformaciones o de modelado si proyectamos luz fuertemente direccional próxima a la horizontal o a la vertical de procedencia inferior, ya que estas situaciones no las proporciona la luz natural y nos sorprenden.



Fig. 1.10
Alumbrado de objetos de
cristal. Efectos según la
dirección de la luz.
Aspreys, London.
Fuente, Lighting in Mu-
seums.



Uno de los efectos de la dirección de la luz cuando incide en superficies y objetos es la aparición de sombras. **La sombra** es el contrapunto de la luz. Entre la oscuridad absoluta y la luz cegadora se encuentra una escala interminable de matices y de penumbras que permiten calificar lumínicamente los espacios y definir los objetos. Existen dos tipos de sombras: las sombras propias y las sombras proyectadas.

Las sombras propias se sitúan directamente sobre los objetos y los paramentos del espacio, dependen de su forma, textura, orientación espacial y distancia de las fuentes de luz. También nos informan de las cualidades volumétricas y superficiales de los objetos, y su dureza explica la intensidad de la luz incidente.

Las sombras proyectadas son las que un objeto o elemento proyecta sobre otro; representa una imposición y una interferencia de este en la integridad visual del objeto que recibe la sombra. Nos dan información tridimensional, fijan la posición del objeto en el espacio o respecto de otros objetos, a la vez que informan de su posición relativa respecto de la fuente de luz.

Según si la luz es natural (en el caso de la radiación solar directa o difusa con nubes) o artificial, las características de la sombra serán diferentes; las sombras producidas por la luz solar tienen una proyección simétrica y las líneas paralelas de los objetos proyectan líneas de sombras paralelas. También en un objeto o el espacio, visto en perspectiva, sus sombras se dispondrán siguiendo los mismos criterios de fuga de los propios objetos. La dureza de la sombra será variable dependiendo de la intensidad de la radiación solar y del estado de la atmósfera.

Las sombras producidas por fuentes de luz artificial se caracterizan por tener un punto focal, del cual en forma cónica divergente se proyectan las diferentes líneas de sombra.

Esta divergencia se verá aumentada o reducida por efecto de la perspectiva, según la posición relativa entre objeto, fuente de luz y observador. La dureza de la sombra será constante y dependerá de la intensidad de la luz emitida por la fuente de luz, así como por el tipo de óptica de la luminaria.

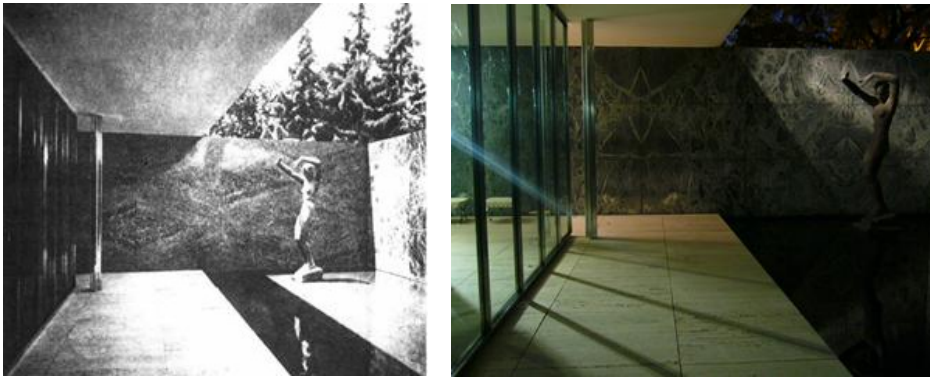


Fig. 1.11
Sombras producidas en el pabellón oficial de Alemania de la Exposición Internacional de Barcelona de 1929.
(Izquierda) Sombras producidas por luz natural, foto de 1932.
(Derecha) Sombras producidas por luz artificial, foto de 2010.

El límite entre la sombra y la luz puede tener diferentes gradientes: un gradiente suave indicará la presencia de una luz difusa (procedente de un cielo nublado o de un sistema lumínico difuso), mientras que un gradiente brusco (acelerado) indicará la presencia de una luz muy direccional (procedente de la luz solar directa o de un sistema lumínico fuertemente direccional).

Una sombra con un límite suave define y modela los volúmenes del objeto, mientras que una sombra con gradiente brusco puede distorsionar el objeto y dificultar su comprensión; también lo causará la superposición de sombras procedentes de diferentes objetos.



Fig. 1.12
Efectos de luz proyectada desde el suelo.

Beauty and Wellness Centre. Hotel New York Palace, Budapest, diseñador Simon Micheti arch. luminarias EGO 3, Leds, Artemide.



La inversión y deformaciones perceptivas de los espacios también se podrán generar con suelos luminosos totales o parciales, así como desde fuentes puntuales se pueden crear formas rectangulares, circulares, ovoides, etc., independientes o conectadas, dibujando coronas, logotipos, letreros, etc. sobre los paramentos. Las proyecciones pueden combinar manchas de luz y de sombra, con situaciones que pueden ser fijas o dinámicas.

También se podrán generar efectos específicos según la rugosidad de las superficies receptoras. Así, obtendremos cualidades muy diferenciadas utilizando luz rasante o luz perpendicular sobre superficies reflectantes o absorbentes. Podremos conseguir eliminar partes del campo perceptivo o de los objetos si los dejamos a oscuras o con un fuerte contraste de luminancias.

Fig. 1.13
(Izquierda). Instalación de luz sensorial Olafur Eliasson en la Fundación Miró. 11/2008.
(Derecha). Modulador de luz y sombra. Lazlo M. Nagy, 1930.



Efectos del color de la luz y de los objetos

El color de la luz es un concepto asociado a la distribución espectral de la energía luminosa emitida por la fuente; la emisión contiene diferentes colores (correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro) que, en conjunto, tienen una apariencia de luz blanca.

Si bien podemos utilizar luces monocromáticas en iluminación por diferentes motivos, lo más habitual es utilizar la luz blanca con la caracterización de su temperatura de color en grados Kelvin (°K) y que de forma muy simplificada pero práctica pueden clasificarse en luz cálida, neutra y fría. El observador distingue las tonalidades cromáticas por comparación.

Los materiales que configuran el espacio tienen colores propios característicos que también se pueden agrupar en gamas de cálidos, neutros y fríos. Sobre los objetos y el ambiente podremos potenciar o anular los colores.

El color que percibe el observador del espacio o de un objeto es el resultado de la interacción entre el color propio emitido por las fuentes de luz y los objetos o superficies sobre los que incide. Esta relación cromática entre el color de los materiales y el de la luz producirá diferentes sensaciones en los observado-



res del espacio. Así, hablaremos de refuerzo cromático, amortiguamiento cromático, imposición cromática y coherencia cromática, que seguidamente definiremos.

El refuerzo cromático

Se produce cuando se utilizan fuentes de luz que ofrecen la máxima eficacia en los colores propios de los objetos, es decir, con colores concordantes con los de las superficies u objetos iluminados. Este refuerzo puede ser parcial (sobre elementos concretos) o global (sobre todos los elementos en conjunto). Una iluminación de refuerzo cromático genera también un refuerzo perceptivo de los elementos iluminados y pone en valor los materiales que configuran el espacio al potenciar tanto su color como su presencia.



Fig. 1.14
Refuerzo cromático de los materiales (frío y cálido). Templo de Kofu, Egipto.

El amortiguamiento cromático

Se produce por la emisión directa con fuentes de luz que no emiten energía en los colores propios de los objetos, es decir, cuando los colores de la luz no concuerdan con los de los materiales y se genera una disminución en su percepción, hasta el extremo de que se pueden percibir de color gris o casi invisibles.

Pueden darse diferentes grados de relación cromática entre el color de la luz y el color del material; desde una reducción cromática que disminuye el cromatismo propio hasta la anulación cromática (apariencia de gris), pasando por el amortiguamiento cromático parcial o total.

En la figura 1.15 se puede ver la iluminación de los pilares de la planta baja del NAI (Nederlands Architectuurinstituut) de Róterdam, realizados con hormigón visto. Los dos pilares de la parte central de la fotografía muestran su color propio y el resto aparecen teñidos de diferentes colores gracias a un sistema de iluminación de fluorescencia RGB.



Fig. 1. 15
Pilares de hormigón
visto coloreados con
fluorescentes. RGB,
NAI, Róterdam.



Fig. 1.16
Iluminación de color
sobre elementos
vegetales (Lit up Palm
Trees). Diego P.
Canossa.
Fuente,
www.panoramio.com



La imposición cromática

Se produce cuando en un espacio caracterizado por materiales de colores blancos (o neutros), el color resultante que percibe el observador es el impuesto por el color de la luz emitida por las fuentes de luz, tanto si son luces blancas como si son luces monocromáticas.

En este caso, los materiales propios no tienen la significación del espacio que vendrá dada por los colores de la luz que pigmenta el espacio.



Fig.1.17
Leonardo glas cube.
Bad Driburg, Alemania.
3Deluxe, Wiesbaden,
Arquitectos. 2004-2007

Un caso concreto de imposición cromática es el que sucede cuando se produce por la **alteración cromática por reflexión**, es decir, cuando la emisión de luz sobre superficies de determinados colores crea una difusión de luz en el ambiente con los colores dominantes de las superficies receptoras. El resultado es que los objetos estarán iluminados con el color resultante, y se verán de ese color si lo tienen como propio y según su intensidad. En caso contrario se verán como grises.



Fig.1.18
La columna y la
esfera blancas se
ven teñidas del
azul del local.
Fuente, *Schow
Room de ERCO.*

La coherencia cromática en iluminación consiste en la valoración cromática global del espacio perceptivo, resultado del análisis cromático del conjunto de los materiales configuradores y de su jerarquía formal, estructural y estética. Tiene el objetivo de establecer el valor cromático global de la luz a utilizar. Otros factores como la presencia de luz natural, la significación del espacio o el discurso arquitectónico condicionan los criterios cromáticos utilizados.



Fig. 1.19
Imagen interior de
Mercedes Benz
Museum, Stuttgart.
Fuente. Autor



La percepción de las cualidades cromáticas de la luz se hace por comparación. Así, distinguiremos entre una luz cálida y una fría si las vemos al mismo tiempo, así como una luz neutra nos parecerá más cálida o más fría según la luz con que la comparemos.

Fig. 1.20
Diferente percepción
cromática de la
iluminación interior
según el color de la
luz exterior.
Fuente, Autor



Efectos de la relación entre el nivel de iluminación y el color de la luz

Existe una relación entre el color de las fuentes de luz y los niveles de iluminación del espacio que determina la sensación psicológica de bienestar perceptivo.

Kruithof lo analiza (se representa en la figura 1.21) y establece que la iluminación con luz de tonalidades cálidas y temperaturas de color entre 1.800 K y 2.500 K resultan agradables en ambientes intimistas, con niveles de iluminación comprendidos entre 10 lux y 200 lux, mientras que la iluminación con luz de tonos fríos entre 3.500 K y 5.500 K resulta válida para lugares donde se realicen actividades intelectuales y de trabajo con niveles de luz entre 500 lux y 2.000 lux.

Esta relación, comprobada estadísticamente, se tendrá que tener presente en la iluminación de todos los espacios, especialmente en aquéllos donde el tiempo de permanencia del usuario sea elevado. El color de la luz y de las superficies que forman el espacio determinarán finalmente la sensación cromática ambiental.

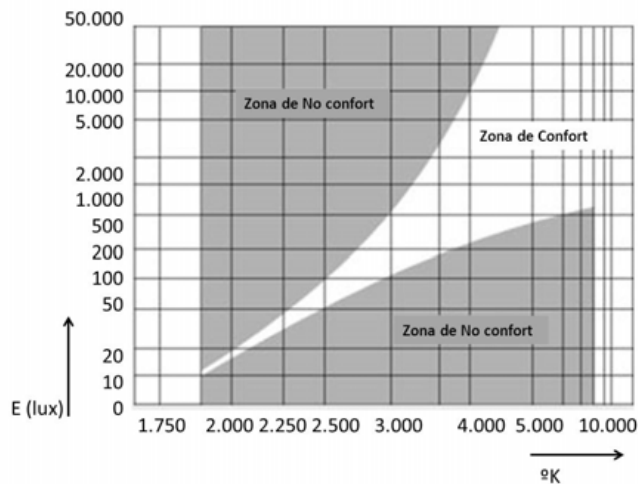


Fig. 1.21
Experimento de Kruthof.
Gráfica con las zonas de
confort y de desconfort.

La estética de la percepción de las fuentes

El inicio de la luminotecnia fue con la instalación de grandes fuentes de luz colgadas para ser exhibidas, como elementos artísticos con capacidad para iluminar globalmente todo el espacio, y esta opción todavía se está utilizando.



Fig. 1.22
Vestíbulo de la Bibliote-
ca Nacional, Madrid, con
luminarias Berlino y
reflectores, Renzo
Piano. iGuzzini.

Se ha continuado la misma tendencia de exhibir la fuente para iluminar un paramento o un objeto concreto, utilizando apliques, paneles, luminarias de pie, de sobremesa, etc.



Fig. 1.23
(Izquierda) Luminaria
ARCO, A.y Piero Giacomo
Castiglioni. Floss.
(Derecha) Luminaria PIPE,
Herzog & de Meuron.



Llegamos a la exhibición de la fuente de luz como elemento tecnológico de ingeniería del metal, del cristal y de los plásticos, igualmente capaz de iluminar globalmente el espacio o de concentrar la luz sobre una superficie o un objeto. Este planteamiento ha representado un fuerte desarrollo industrial del diseño de luminarias.

La industria ha generado series de luminarias con gran variedad de accesorios que ofrecen capacidades para diferentes aplicaciones y efectos.

Fig. 1.24
Luminaria LINGOTTO,
Renzo Piano,
iGuzzini.





Fig. 1.25
Proyector Shuttle;
diferentes accesorios,
iGuzzini.

También nos encontramos en un periodo donde se pueden generar diseños de luminarias como objetos artísticos en sí mismo para ser vistos encendidos o apagados, sin tener que cumplir su misión, que pueden cumplir bien o mal, pero que están reconocidos socialmente como diseños luminotécnicos históricos.

También se generan diseños lumínicos incorporados a elementos constructivos tales como barandillas, muebles, muros, etc. u objetos domésticos.



Fig. 1.26
Luminarias como
objeto.

a. Luminaria de
suspensión,
Alvar Aalto, 1953.

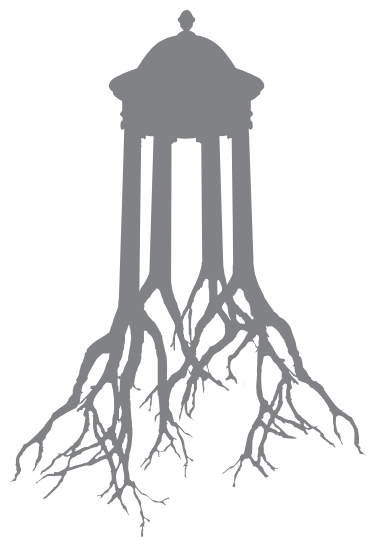
b. Luminaria
PROTOTIPO,
J. A. Coderch, 1956.



Fig. 1.27
Cubitera luminosa, de
polietileno, diseño
D. Venlet.



Así, las aplicaciones luminotécnicas han superado las misiones funcionales para integrarse en el diseño estético como objetos o como resultados (ver el capítulo 8, *El diseño lumínico en la arquitectura*).



→2



El comportamiento de los materiales



Baño Habitación, Hotel puerta América. Madrid. Ron Arad. Arquitecto



2.1 El relieve, la textura, la rugosidad y el color de los paramentos

Los cuerpos y las superficies tienen un comportamiento diferente respecto a la luz incidente que podemos controlar con el conocimiento de su forma, opacidad, relieve, textura, rugosidad y color, de los cuales obtendremos la reflectancia o transmitancia a la luz que reciben.

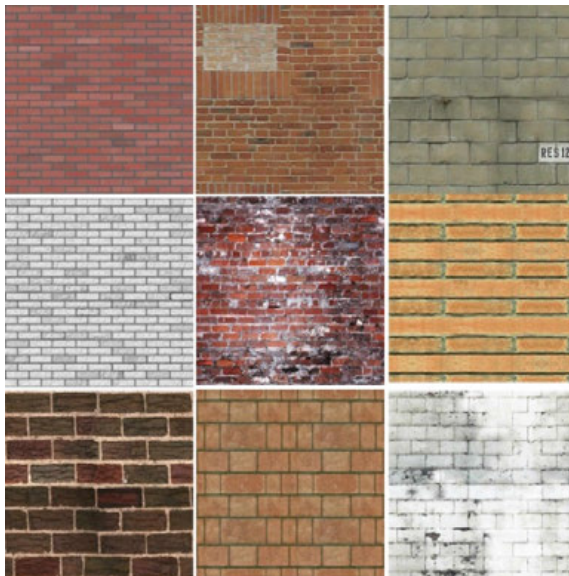
Relieve	de la superficie
Textura	de la composición de sus materiales
Rugosidad	del material en sí
Color	unitario o compuesto de diversos colores

En la arquitectura, los paramentos son el material envolvente que define el espacio, tanto el interior habitable como el exterior o fachada, y están formados por elementos materiales diferentes con características propias respecto a la radiación luminosa.

El comportamiento de la luz sobre los diferentes paramentos define la percepción del espacio arquitectónico, tanto interior como exterior, y su análisis nos llevará a hablar de los conceptos de rugosidad, textura, relieve y color, como factores principales en la percepción arquitectónica.

En este sentido, hay que hacer la siguiente consideración: los parámetros de rugosidad y color están exclusivamente asociados a los materiales unitarios que forman los paramentos y los de textura y relieve a la composición formal y volumétrica del conjunto de los paramentos.

Fig. 2.1
Rugosidad y color
de un material
cerámico.





La rugosidad es una característica específica de la superficie de un material, se puede definir como el conjunto de irregularidades consistentes en errores de forma, pequeñas ondulaciones de la superficie, protuberancias, etc. En el sistema internacional, la unidad de medida de la rugosidad es la **micra** ($1 \text{ micra} = 1 \mu\text{m} = 0,000001 \text{ m} = 0,001 \text{ mm}$).

El color de un material es una característica propia relacionada con el comportamiento respecto a las radiaciones luminosas incidentes y el espectro cromático de las radiaciones reflejadas o emitidas.

Así, la capacidad de reflejar la luz de un material (reflectancia) será el producto de la reflectancia del material según su rugosidad y de la reflectancia según su color.

La textura de un paramento hace referencia a la composición de los materiales que lo forman. Normalmente los paramentos están formados por diferentes materiales (madera, piedra, cristal, aluminio, etc.), que tienen características superficiales propias y diferentes. La textura de las superficies y elementos que definen el espacio influyen enormemente en el resultado lumínico y en la percepción visual del observador.



Fig. 2.2
Paramentos con
texturas diferentes.

En arquitectura consideramos **el relieve** como el atributo de un paramento relativo a su composición volumétrica formal. Se puede entender como la volumetría particular de una fachada, de los cerramientos interiores de una sala de conciertos, de una cubierta, etc.

En el arte, en cambio, el relieve se refiere a un tipo de **técnica escultórica** cuyas **formas modeladas** o recortadas resaltan respecto de un entorno plano. A diferencia de las **esculturas** volumétricas, los relieves están integrados generalmente en un **muro**.



Fig. 2.3
Edificios con fachadas de
relieves diferentes.
a. Fachada con relieve
muy liso.
b. Fachada con relieve
acusado.



Ante la luz, el relieve determinará la sombra de la fachada de modo inverso. Así, los relieves muy lisos o lisos provocan sombras muy suaves o imperceptibles, mientras que los relevos acusados y muy acusados provocarán sombras importantes. Al mismo tiempo la presencia de sombras provoca el contraste de luminancias, necesario para calificar de forma perceptiva la arquitectura.

La textura también es aplicable a la composición volumétrica del espacio y los edificios, y da como resultado espacios lumínicamente diversos. No solo se tiene que considerar como un aspecto propio del material sino como composición y tratamiento superficial del conjunto del espacio.

La decisión de utilizar un material con una determinada rugosidad y color se debe tomar de forma consciente con previo conocimiento del comportamiento lumínico sobre este y, por extensión, sobre el espacio perceptivo.

Fig. 2.4
Espacios con paramen-
tos de relieve y texturas
diversas.
a. Paramentos con
relieve suave y textura
variada.
b. Paramentos con
relieve acusado y
texturas uniformes.



Fig. 2.5
Espacios con materiales
de reflexión diversa.
a. Materiales con
reflexión especular.
b. Materiales con
reflexión difusa.





En general, podemos decir que los efectos de la luz son más perceptibles cuando utilizamos materiales oscuros (poco reflectantes) en lugar de materiales claros (muy reflectantes). Eso incide fuertemente en la percepción del espacio y, consecuentemente, en su comprensión formal y estética.

Podemos considerar que la iluminación artificial de un espacio con materiales claros recrea los efectos lumínicos próximos a los producidos por la bóveda celeste durante el día (fig. 2.6a), donde el papel de las sombras tiene una gran importancia; en cambio, cuando los materiales son oscuros recrea los efectos próximos a los producidos por la noche (fig. 2.6b), donde las manchas de luz y los brillos son muy importantes.

Podemos decir que el día es el reino de las sombras y la noche el reino de la luz. En el mismo sentido J. Quetglas dice que la luz pertenece al interior y la sombra al exterior de los edificios (arquitectura). La opción de utilizar materiales claros u oscuros en el interior de un espacio es una decisión que nos acercará a uno de los dos mundos anteriores.

En general, los efectos lumínicos y las luces directas tendrán mayor presencia perceptiva en espacios con materiales oscuros (índice de reflexión bajo) y aumentarán el valor de las luminancias a medida que las superficies son más pulidas (especulares). El número de brillos o luminancias puntuales aumentará cuando la rugosidad del espacio sea mayor, al tiempo que la comprensión de la globalidad del espacio se hará cada vez más difícil.



Fig. 2.6
Espacios con
diferente color o
reflectancia.

a. Espacios con
materiales claros.

b. Espacios con
materiales oscuros.



Fig. 2.7
Textura de Manhattan
de día y de noche.

a. Manhattan, imagen
de día: colores claros.

b. Manhattan, imagen
de noche: colores
oscuros.



Fig. 2.8
Biblioteca de la Universidad de Utrecht,
Holanda.
Wiel Arets, arquitecto.



Fig. 2.9
Tabla de relación
entre color, textura,
rugosidad y relieve
con la percepción
de los efectos y la
comprensión del
espacio.

Colores propios de los materiales (atendiendo a la luminosidad cromática de claros-oscuros, no a la saturación o color predominante)		
oscuros	Intermedios	Claros
Textura superficial de los materiales		
Especulares	Pulidos	Mates
Rugosidad de la envolvente espacial		
Elevada o muy elevada	Mínima	Baja o muy baja
Luminancias percibidas		
Elevadas en valor y número	Intermedias o suaves	Muy bajas o nulas
Grado de presencia perceptiva de los efectos lumínicos		
Muy importante	Relativa	Muy bajas o nulas
Grado de percepción del espacio (entorno arquitectónico)		
Muy débil o difícil	Débil o suave	Elevada, importante, fácil



2.2 Comportamientos de los objetos y de las superficies a la reflexión y a la transmisión

La luminancia es la luz que el observador percibe del espacio, consecuencia directa de la reflexión de la luz emitida por las fuentes y que incide sobre los diferentes elementos materiales que lo configuran. Con respecto a su comportamiento ante la luz incidente, los materiales podrán ser opacos o translúcidos.

2.2.1 Materiales opacos

Todos los materiales opacos tienen un determinado factor de reflexión o reflectancia (r) que depende de sus características materiales, como ya se ha explicado, así como también de su textura superficial, rugosidad y de su color propio. Para orientar sobre las reflectancias de diferentes materiales según su textura y color, se pueden tomar las de las tablas siguientes:

Materiales según la textura		Reflectancias	
Aluminio óptico gris claro brillante		0,96	
Aluminio anodizado		0,75 variante según el color	
Acero inoxidable pulido		0,80	
Acero inoxidable mate (difusor)		0,75	
Espejo de vidrio-plata		0,85	
Pintura plástica o estuco planchado en caliente, brillante		0,70 variante según el color	
íd.	satinado	0,60	íd.
íd.	mate	0,55	íd.
Cerámica esmaltada		0,70	íd.
Cerámica de obra vista		0,35	íd.
Hormigón visto claro con molde metálico		0,40	
Madera o corcho barnizado brillante		0,60	íd.
íd.	molde de madera o de mortero	0,35	
Piedra arenisca		0,35	

Tabla 2.1
Tabla de reflectancias de los materiales.

Como factor complementario a las texturas en materiales de diferentes colores, hay que aplicar los coeficientes, orientativos según el color del paramento (ver tabla 2.2).

Así, la reflectancia resultante de un menaje u objeto será el resultado de multiplicar la reflectancia del material y textura por la correspondiente al color.

Como ejemplo, al aluminio anodizado de color blanco claro le corresponde una reflectancia final de $R = 0,75 \times 0,8 = 0,6$.



Tabla 2.2.
Tabla de reflectancias según el color.

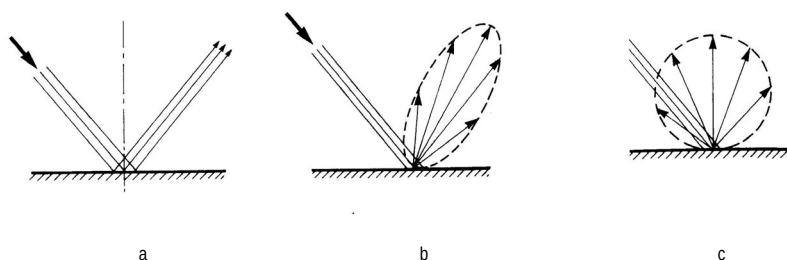
Reflectancias según el color			
Color	Claro	Medio	Oscuro
Amarillo	0,70	0,50	0,30
Beige	0,65	0,45	0,25
Marrón	0,50	0,25	0,08
Rojo	0,35	0,20	0,10
Verde	0,60	0,30	0,12
Azul	0,50	0,20	0,05
Gris	0,60	0,35	0,10
Blanco	0,80	0,75	-
Negro	-	0,07	0,00

Superficie especular, mixta o dispersa y perfectamente difusora

Siempre que la luz incide en una superficie se producirá la reflexión de una parte del flujo luminoso incidente, que dependerá de factores como el ángulo de incidencia y el tipo material de la superficie. En general, las superficies planas tendrán una reflexión que podrá ser especular (a), mixta o dispersa (b) y perfectamente difusa (c).

Geometría de las reflexiones sobre superficies planas

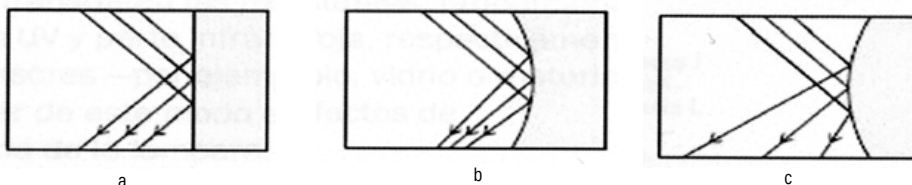
Fig. 2.9
Gráfico de reflexiones en superficies planas según reflectancias.



La curva de emisión desde una superficie dispersa no se puede conocer sin pruebas reales en laboratorio. No hay gráficas ni tablas de valores genéricos.

Geometría de las reflexiones sobre formas planas y curvadas

Fig. 2.10
Geometría de las reflexiones.





Observamos la reflexión brillante de rayos de luz, que inciden en paralelo sobre superficies planas (*a*, camino óptico paralelo), sobre superficies convexas (*b*, camino óptico convergente) y sobre superficies cóncavas (*c*, camino óptico divergente).

La utilización de superficies reflectoras especulares es especialmente utilizada en el diseño de ópticas por luminarias, que gracias a diferentes formas geométricas distribuyen el flujo lumínico en el espacio según una forma predeterminada. La luminaria de la figura 2.12 está equipada con lámparas LED y dispone de superficies reflectoras que generan una distribución luminosa asimétrica, tipo bañadora.

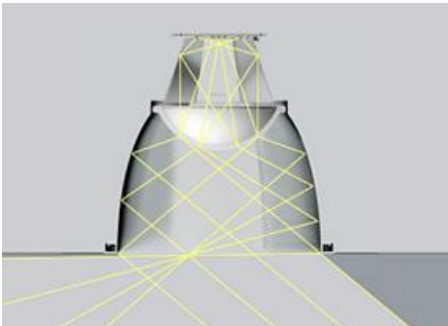


Fig. 2.11
Reflectoras Darklight
de ERCO.

2.2.2 Materiales translúcidos

En el caso de materiales que dejan pasar el flujo lumínico a través, la transmitancia o el coeficiente de transmisión de la luz determinará el porcentaje que lo atraviesa.

En la tabla 2.3 se indican de manera aproximada, para materiales transparentes o semitransparentes, absolutamente limpios y sin color, los valores de la transmitancia.

El caso del agua es especial ya que según el grueso o profundidad de la masa y si es dulce, salada, y/o con polución, variará su comportamiento.

Veamos la distribución de intensidades luminosas I (*b*), la distribución de luminancia L (*a*) con transmisión difusa, la distribución luminosa con transmisión mezclada (*c*) y la transmisión regular a través de materiales claros (*d*).

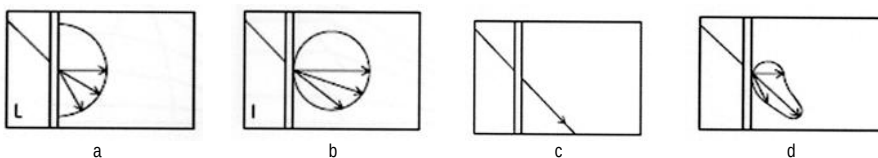


Fig. 2.12
Formas de distribución
luminosa al
atravesar un mate-
rial.



Material	Transmitancia
Vidrio transparente	1,00
Vidrio grabado al ácido	0,60
Vidrio opal	0,70
Polycarbonato de una plancha (opal)	0,70
Polycarbonato reticular con cámara	0,60
Metacrilato transparente	0,90

Comportamiento de difusores y lentes especiales

A menudo, las superficies difusoras suelen tener un tratamiento superficial que modifica el comportamiento de la transmisión según determinados criterios, generalmente dirigidos a concentrar, dirigir o difuminar el flujo lumínico.

Veamos el típico camino óptico de luz que incide en paralelo por una superficie prismática asimétrica (arriba izquierda), por una superficie prismática simétrica (arriba derecha), en la lente Fresnel (abajo izquierda) y en lentes condensadoras (abajo derecha):

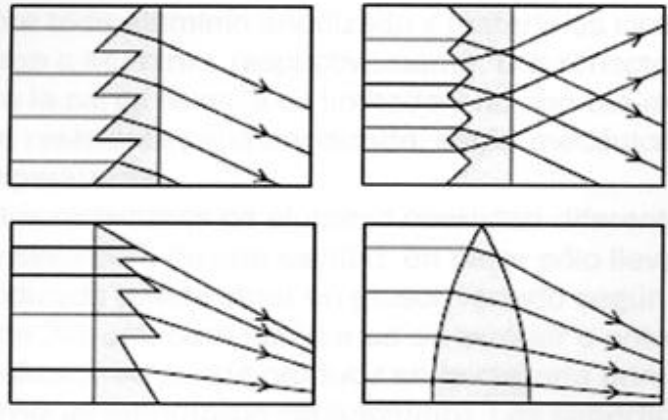
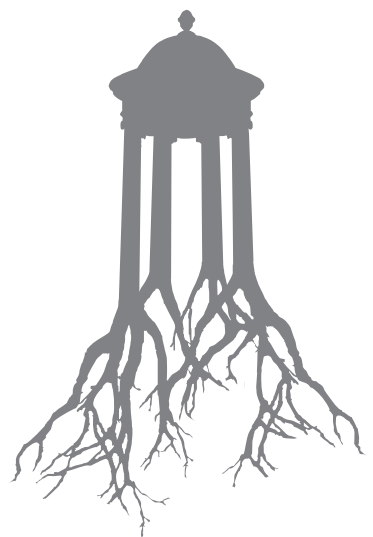


Fig. 2.13
Comportamiento de
difusores y de lentes
especiales.



→ 3



El lenguaje de la luz





3.1 La significación del entorno

Conocemos el mundo a través de nuestros sentidos (vista, oído, olfato, gusto y tacto) mediante los cuales percibimos la realidad del mundo que nos rodea, la forma, el tamaño y el color de los objetos, así como su distancia y movimiento. De todos los sentidos que posee el hombre, la vista es probablemente el más importante para el desarrollo de sus actividades. A través de los ojos recibimos la mayoría de informaciones y el uso de la luz permite crear el paisaje visual.

La calidad de nuestro entorno está condicionada por la manera como lo define la luz, y cómo estamos preparados para apreciarlo. La luz puede crearnos paisajes naturales o artificiales según lo que necesitamos ver en aquel momento, nos habla de lo que tenemos en nuestro entorno con sus características potenciadas según su manera de expresarlas. Por lo tanto, no se trata solamente de iluminar, hay que diseñar el espacio con la luz y que exprese un mensaje.

Y hay que recordar que de noche la luz es la que estructura el espacio. **La noche es el reino de las luces y el día es el reino de las sombras.**

De la luz, el aspecto más importante es que la dinámica visual se basa en la percepción de los **contrastes** de los niveles de iluminación existentes sobre los objetos, así como de los colores, y sobre todo de los brillos (luminancias) procedentes de los objetos hacia nuestros ojos, por lo que al diseñarla tendremos que tener muy presentes estos aspectos.

La sensibilidad máxima de la visión-percepción siempre se refiere a la percepción de los contrastes de brillos (luminancias).

3.2 La luz y el lenguaje arquitectónico

Finalmente, las ideas lumínicas asignarán, previamente, un determinado papel o categoría a la iluminación utilizada dentro del proyecto arquitectónico. Podemos enunciar que las principales categorías son:

Tabla 3.1
Categorías de
iluminación dentro
del proyecto
luminico.

La luz como complemento y sustituto de la luz natural
La luz como símbolo
La luz como información
La luz como arquitectura

3.2.1 La luz como complemento y sustituto de la luz natural

Uno de los motivos de la existencia de la luz artificial es la necesidad de suplir la falta de luz natural ya sea porque es de noche o porque ésta no puede llegar a determinados espacios de los edificios, sótanos, espacios interiores, etc.

Ya vimos que ésta era una de las utilidades de la luz artificial (ver el apartado 1.2) y que tenía diferentes aplicaciones concretas.

Esta sustitución se caracteriza porque su objetivo prioritario es obtener unos niveles de iluminación suficientes para desarrollar una actividad. Por lo tanto, los planteamientos funcionalistas serán determinantes.

También en espacios que disponen de luz natural conviene, cuando los niveles lumínicos aportados por ésta no son suficientes, que la luz artificial pueda aportar el suplemento lumínico necesario para alcanzar los valores mínimos necesarios según el uso previsto.

Es imposible conseguir con luz artificial las mismas cualidades y efectos de iluminación que con la natural, tenemos que saber utilizar las virtudes de cada una sin querer confundirlas. Mientras que la luz natural presenta una enorme variabilidad de todos los parámetros (niveles de iluminación, K, direccionalidad) sin posibilidad de control o modificación, con la luz artificial se pueden controlar y modificar a voluntad por el arquitecto y el usuario.

3.2.2 La luz como símbolo

Del símbolo primitivo del fuego, considerado como la primera luz artificial, pasando por la simbología religiosa hasta llegar al símbolo conmemorativo del 11-S en Nueva York, y a lo largo de toda la existencia humana, la luz se ha utilizado para representar los dioses, los mitos, los miedos y los deseos del hombre.

La luz de forma singular y autónoma siempre se ha asociado a todo tipo de símbolos: a dioses y demonios por igual; a la bondad y a la maldad, al placer y al dolor, etc. Es un elemento emocionalmente tan potente que se ha utilizado indiscriminadamente para muchas simbologías, muchas veces opuestas. Ahora bien, cuando la luz se relaciona con la arquitectura y con el espacio que es percibido por el hombre se transforma en iluminación, en materia compositiva y calificadora del espacio, permite dotar la arquitectura del simbolismo atribuido a un arco de triunfo romano o a una catedral gótica.

La luz artificial utilizada por sus cualidades en el énfasis de la simbología de los espacios no se ajustará a los parámetros cuantitativos y tendrá una importante dependencia de la simbología atribuida al espacio arquitectónico. Podrá plantearse dentro de la globalidad del proyecto o de forma totalmente autónoma en alguna parte específica dentro del edificio.

La luz como único elemento contrapuesto a la oscuridad de la noche es un continuo referente simbólico. El monumento llamado *Imagine Peace Tower*, Torre por la paz, realizado en 2007 en la isla islandesa de Videy, es una escultura de luz concebida por la artista Yoko Ono, un símbolo vertical e infinito perceptible desde la capital, Reyjavik, y que simboliza el concepto de la paz en el mundo.



Fig. 3.1

Imagine Peace Tower,
Torre por la paz,
Videy, Islandia,
PK , arquitectos. 2007.

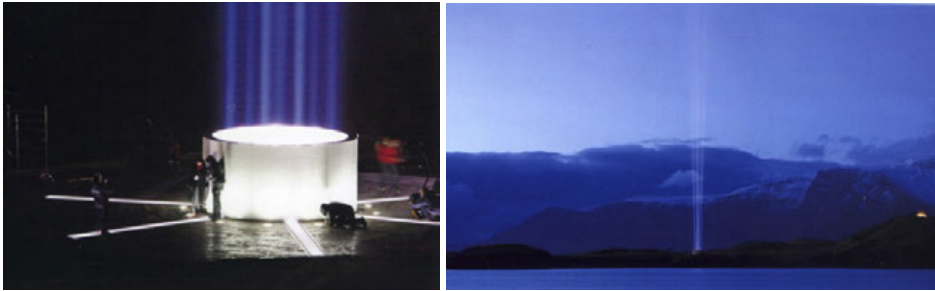


Fig. 3.2

Tribute in light, Monu-
mento a las víctimas del
11-S de 2001,
Nueva York.



Se conmemora los ataques a las torres gemelas el 11-S en Nueva York con dos simbólicas torres luminosas, que mediante un conjunto de más de 70 proyectores, de largo alcance y fuerte direccionalidad, situados recorriendo el perímetro de las dos torres, generan una potente imagen visual en el skyline de la ciudad; un auténtico tributo luminoso a las víctimas del atentado.

También el simbolismo de la luz es el único elemento existente en el espacio construido del monumento a las víctimas del 11-M realizado en la estación de Atocha de Madrid por los arquitectos del estudio FAM.

El monumento está formado por dos elementos diferentes: una gran escultura de cristal vacía interiormente colocada en el exterior y una sala subterránea colocada bajo la escultura. Dos elementos diferentes: uno para ser visto desde fuera y el otro para ser visto desde dentro.

Las ideas principales de la simbología del proyecto son *ligereza*, *transparencia* y *permeabilidad*, que se aplican a la construcción de la escultura cilíndrica de cristal. En la sala inferior, sin embargo, predominan los conceptos de espacio vacío, silencioso, amable y discreto.

Vemos, pues, que la luz se considera un símbolo al que se le atribuyen muchos y variados conceptos, se la considera capaz de materializarse en objetos o edificios y que, en el momento de incorporarse a un espacio arquitectónico, tiene la capacidad de calificarlo y de erigirse en su único protagonista.

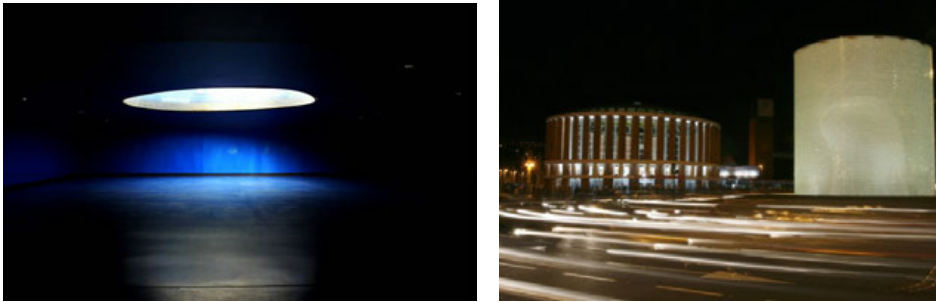


Fig. 3.3
Monumento a las víctimas
del atentado del 11-M.
Madrid.
Estudio FAM, arquitectos.
2007.

3.2.3 La luz como información

La luz también se puede utilizar como un elemento de comunicación visual, que abarque aspectos de comprensión y orientación en el espacio como los introducidos por W.M.C. Lam, de información de los usos a los que se destina, o de información complementaria o de carácter cultural.

Un ejemplo del simbolismo de la luz asociado a la “comunicación visual” es la iluminación del estadio de fútbol Allianz Arena, en Múnich, de los arquitectos Herzog & de Meuron. La estructura externa del estadio está formada por 2.874 paneles romboidales metálicos de ETFE (etileno-tetrafluoroetileno), que se pueden iluminar de manera independiente de color blanco, rojo o azul. La iluminación resultante informa, según los diferentes colores, del equipo que está jugando: rojo, el FC Bayern, azul, el TSV 1880, y blanco cuando juega la selección alemana.



Fig. 3.4
Foto. Allianz Arena,
Múnich. Herzog & de
Meuron, arquitectos.

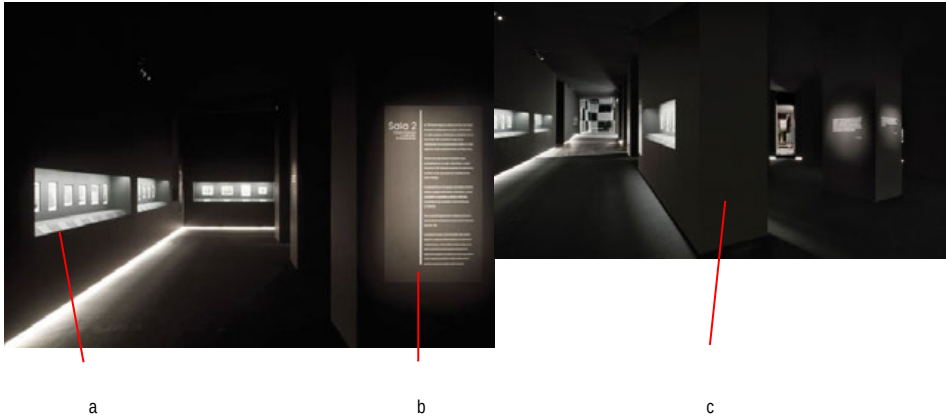
La primera incorporación de la luz artificial a la señalización estática de los letreros luminosos, en las pantallas de video o retro-iluminadas, hasta las fachadas *mass-media*, son ejemplos de utilización de la luz artificial como símbolo de comunicación dentro y fuera del espacio arquitectónico.

Esta información puede abarcar aspectos diversos como la organización del espacio interno, la seguridad, la personalización o la singularización de múltiples parámetros. También puede estar integrada en “artefactos” o disponerse sobre los menajes de la arquitectura.



Su eficacia radica en la utilización de un lenguaje (escrito o gráfico) aceptado y conocido por el usuario.

Fig. 3.5
Montaje exposición sobre
Escher. C. Ferrater
arquitecto.



En la figura 3.5 se muestra una fotografía del montaje de la exposición sobre Escher realizada por el arquitecto Carles Ferrater donde observamos como la luz artificial nos aporta diferentes tipos de información. En primer lugar, una información destinada a satisfacer las necesidades de orientación y comprensión de los espacios de la exposición, consistente en una luz baja (a), lineal y continua situada en la unión entre tierra y pared. Una segunda luz (b) nos permite centrar la atención visual sobre el cartel que marca el acceso a la sala y que nos informa de su contenido. Y una tercera luz (c) permite la percepción de los dibujos sin modificar la comprensión de su contenido introduciendo los aspectos de confort y de calidad cromática necesarios.

Las múltiples combinaciones de las diferentes luminarias LED instaladas en todas las ventanas de la Torre Dexia permiten, mediante un patrón formal y de color, informar de las variaciones climatológicas y atmosféricas según la predicción del instituto meteorológico belga del tiempo, con un patrón lumínico visual.

Un conjunto de patrones geométricos vectoriales son los que permiten representar las condiciones de precipitación (lluvia, granizo, nieve, etc.) y dirección del viento. Un patrón de líneas verticales siempre señala la transición entre estos indicadores del clima.

Fig. 3.6
Las torres Dexia,
Bruselas, arquitecto.
Philippe Samyn &
Partners, M & J.M.
Jaspers-J. Eyers &
Partners. Instalación.
Jason Bruges 2006.





3.2.4 La luz como arquitectura

La luz artificial, utilizada como lenguaje calificador del espacio arquitectónico, es capaz de transmitir las ideas de la propia arquitectura manteniendo una elevada coherencia formal y conceptual con el proyecto arquitectónico.

Considerar la luz como elemento de la arquitectura nos llevará a relacionar cualidades arquitectónicas y lumínicas y a reconocer las características lumínicas que mejor se asocian a los diferentes estilos arquitectónicos.

Finalmente, nos preguntamos si es posible definir cómo tendría que ser una iluminación racionalista, expresionista, neoplasticista, minimalista, orgánica, etc., es decir, si es posible revisar todos los calificativos atribuidos a la imagen lumínica desde la atribución del estilo arquitectónico.

Pondremos algunos ejemplos para avanzar en los conceptos anteriores y abrir una posible línea de investigación en la relación entre iluminación y arquitectura:

Iluminación expresionista

La iluminación expresionista se caracteriza por la ocultación visual de las luminarias, por la aparición de la luz relacionada siempre con los elementos superficiales del espacio. Paredes, suelos, muros, etc., y el espacio entero están iluminados por los propios elementos configuradores.

La luz aparece como un refuerzo de los ritmos y de las modulaciones geométricas, las cualidades de la luz son partícipes de las de los materiales en los que se refleja. La utilización de la luz de color será secundaria y tendrá valor el refuerzo cromático mediante la reflexión de la luz sobre las superficies del espacio. El material impone su jerarquía de color a la luz.



Fig. 3.7
Escuela Técnica Superior
de Arquitectura de
Barcelona.
J.A. Coderch.



Iluminación neoplasticista

La luz neoplasticista es una luz fragmentada, delimitada, plana y sometida a una configuración geométrica que delimita su procedencia. La utilización del color de la luz y los juegos geométricos, igual que en pintores como Mondrian, se convierte en uno de sus principales elementos definidores.

El proyecto de los arquitectos 3XN crea un atrio central que contiene un conjunto de pasarelas y escaleras en zigzag que tienen una iluminación con LED RGB integradas. La luz aporta diferente cromatismo y crea composiciones de planos de colores que cambian dinámicamente.

El artista Steven Scott ha realizado esta intervención lumínica en el atrio del edificio de la compañía Deloitte, en Copenhague, Dinamarca. Scott realiza un reconocido homenaje a la obra de Dan Flavin y Piet Mondrian.

Fig. 3.8
Deloitte, HQ. en
Copenhague, 3XN
Architect. Artista
Steven Scott. 2003-
2005.



Iluminación funcionalista

Cuando la iluminación responde a criterios de distribución que atienden únicamente al cumplimiento de los requerimientos cuantitativos, sin entrar a considerar aspectos de definición o de refuerzo formal del espacio sobre las zonas conocidas como “zonas de trabajo”, podemos afirmar su carácter “funcionalista”.

La arquitectura funcionalista plantea la función como parámetro básico de la configuración arquitectónica y, en el mismo sentido, la iluminación funcionalista atiende al cumplimiento de las necesidades lumínicas principales.



Fig. 3.9
Mediateca de Sendai.
Toyo Ito, arquitecto.

Iluminación *art déco*

La iluminación *art déco* se podría caracterizar por la utilización de una luz filtrada a través de superficies translúcidas, con presencia de color.

La iluminación general es difusa y global, sin la presencia de luz dirigida ni acentos lumínicos. Es una luz homogénea y poco direccional en que las superficies cromáticas adquieren gran protagonismo.



Fig. 3.10
Hulpverleningscentrum
Moen&Van Oosten,
arquitectos.



Iluminación impresionista-modernista

Es una iluminación con una aparente expresión visual de las fuentes de luz, con una luz brillante, con acentos y elevadas luminancias puntuales, en que el sistema lumínico se muestra de forma aparente y está perfectamente integrado en el diseño formal del espacio. Las luminarias son visibles y adquieren una importante presencia visual que caracteriza el espacio.

Fig. 3.11
Capilla de San Ignacio.
Steven. Holl, arquitecto.



En la misma línea de trabajo podríamos continuar con la definición de las características de la iluminación del estilo constructivista, racionalista, orgánico, conceptual, *high tech*, etc.

Dejamos abierto este campo de investigación para futuros estudios que a buen seguro contribuirán a fijar un léxico capaz de relacionar, con una mayor intensidad, los conceptos de la iluminación y de la arquitectura desde aspectos relacionados con el estilo o la tendencia arquitectónica.

3.3 La luz y el diseño arquitectónico

3.3.1 De las exigencias de mínimos a la composición formalista (promoción del proyecto)

La idea de simplemente obtener un nivel de alumbrado que cumpla con las normas ha sido superada por la utilización de la luz como justificante de determinadas formas de los edificios. Esto significa incorporar conceptos arquitectónicos que tengan en cuenta los efectos de la luz, tanto en el exterior como en el interior.

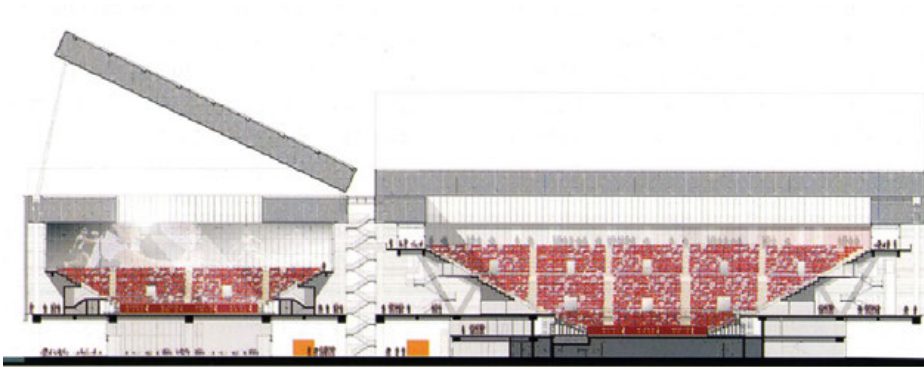


Fig. 3.12
Centro Deportivo Parque
Manzanares.
Las cubiertas practica-
bles y que se desplazan
inciden en el diseño del
edificio.

3.3.2 El edificio como espacio abierto al exterior o como espacio exterior

Podemos diseñar espacios cuyo exterior de forma perceptiva penetra dentro del edificio y llega a confundir los límites. Pero será la luz la que nos dé la imagen correcta, por lo que la orientación, el color y las texturas de los paramentos serán fundamentales.

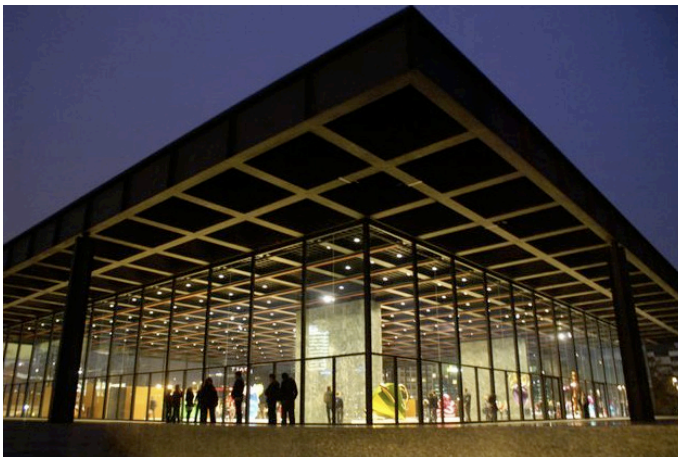


Fig. 3.13
Foto exterior de la
National Gallery, Berlín.
Mies Van der Rohe.

3.3.3 Los espacios interiores transparentes

Podemos generar secuencias visuales y lumínicas con las formas y dimensiones de los conectores, así como con las transparencias totales o parciales de los materiales. Las **permeabilidades horizontales y verticales**, como en el caso de los patios de parcela, sótanos con patios especializados, conductos de luz, etc..., así como los sistemas de pasar la luz a través de agujeros altos, bajos, con formas alargadas vertical u horizontalmente, etc., nos darán paso a la luz y a la visión. También podemos utilizar formas ópticas arquitectónicas y materiales reflectantes o absorbentes de determinados colores que dispersarán o concentrarán la luz y corregirán la cromaticidad de los espacios.



Fig. 3.14
Foto Atrio del Getty
Center, Los Angeles. R.
Meier.



3.3.4 Condiciones de los espacios, de los objetos y de la luz para la armonización o el contraste

Del concepto del **espacio como volumen limpio y vacío** deducimos la conveniencia de percibir una visión global, sin poder captar exactamente las dimensiones reales. Esto requerirá una condición de luz global.

Del concepto de **espacio como volumen definido y cerrado** deducimos la conveniencia de la visión clara de los paramentos, su posición, límites, texturas y dimensiones. Esto puede requerir una luz dirigida o rasante, con posible uniformidad de luz en algunos de los paramentos.

Del concepto del **espacio como inexistente** solo obtenemos la percepción precisa de los objetos interiores con su posición, distancia, dimensiones, color, forma y texturas. O la deformación intencionada de alguna de estas características o la ocultación total del objeto. Esto puede representar la conveniencia de utilizar luces direccionales y contrastadas.

Fig. 3.15
Sala con techo
luminoso. Museo
Louisiana.
Humblebaek, Dinamar-
ca.





Fig. 3.16
Triennale de fotografía de
Milán.



Fig. 3.17
Foto Museu d'Història de
Catalunya. Sala con
dioramas.

Del concepto de la **luz como definidora de intenciones formales en sí mismas** o de simular la existencia de paramentos o imágenes solo como efecto visual, deducimos el uso de espejos, cristales transparentes o elementos semitransparentes.



Fig. 3.18
Baño del Hotel Puerta de
América, Ron Arad.



3.3.5 Del concepto de edificio y luz, imagen de día y de noche

El edificio lleno de luz: de día permite entender el exterior como parte del interior y de noche, la transparencia de la fachada contribuye a crear un efecto de "luminaria" del edificio que ilumina el exterior inmediato.

Fig. 3.19
(Izquierda) Exterior Kunstmu-
seum Art, Stuttgart,
2005.
(Derecha) Mediateca de
Sendai. Toyo Ito,
2005.





El edificio con luz y sombras: desde el interior, durante el día se pueden sentir las evoluciones –a menudo negativas– de la radiación solar. La imagen exterior está compuesta por planos iluminados y manchas de sombras, ya sean agujeros de aberturas, rendijas o espacios intersticiales entre volúmenes. El movimiento solar introduce un dinamismo en los efectos lumínicos interiores y las imágenes exteriores.

La noche muestra una imagen de un objeto sólido del cual, a través de perforaciones, grietas o planos abiertos, sale la luz interior. A menudo las partes opacas exteriores están ligeramente iluminadas por la propia luz interior o por el alumbrado exterior, que reduce el contraste.



Fig. 3.20
Imagen diurna y
nocturna de la casa
Kaufman, Falling
Water. F. LL. Wright.

El edificio vaciado por la luz interna: de noche, la imagen desde el exterior aparece como un plano de fachada oscuro con diferentes perforaciones de las cuales sale la luz interior. Las manchas luminosas se perfilan según las formas de las aberturas y se crea la imagen de un mapa de manchas de luz geométricas sobre el fondo negro de la silueta del edificio.



Fig. 3.21
Denver Art Museum,
1971.
Gio Ponti, arquitecto.



El edificio modificado por la luz interna: a menudo, la luz interna crea una imagen del edificio durante la noche con una gran similitud formal a la que ofrece durante el día, hasta el punto de que se convierte en la imagen más identificativa.

De noche, y desde el exterior, es posible ver partes del interior, aunque las superficies vidriadas a menudo tienen una cierta opacidad (o bien disponen de filtros) que permiten mantener la imagen luminosa invariable. De esta manera no se ve afectada por los espacios interiores y sus cambios.

Fig. 3.22
Fotografía compara-
tiva de la fachada de
día y de noche.



El edificio como caja de luz opaca a la visión del interior: de día o de noche y desde el exterior se mantiene una imagen constante e invariable del edificio. No existe intercambio visual entre el interior y el exterior.



Fig. 3.23
Edificio Kursaal,
San Sebastián,
Rafael Moneo, arquitec-
to.

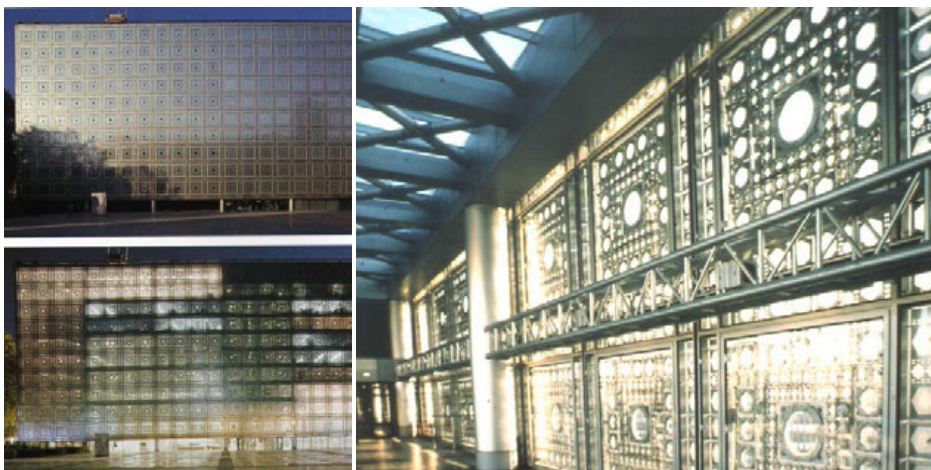


Fig. 3.24
Vista interior del Centro de
Estudios Islámicos,
París,
Jean Nouvel.

a. Imagen de día y de noche.

b. Imagen interior.

a

b

3.3.6 La luz de noche en los espacios arquitectónicos exteriores

La imagen nocturna de un edificio tiene que considerar el alumbrado de su entorno urbano inmediato: calle, avenida, jardín, plaza, etc. En edificios públicos, es habitual la proyectación conjunta del edificio y del espacio público próximo.

Desde el proyecto lumínico se puede intervenir en ambos ámbitos y dar una imagen de globalidad lumínica mediante soluciones unitarias en el edificio y en el entorno. El alumbrado urbano de vialidad existente también se tendrá que considerar en el planteamiento del proyecto.



Otros espacios exteriores actúan como espacio de transición entre la ciudad y el edificio, y se convierten en un vestíbulo público externo; es la primera imagen lumínica que se tiene del edificio.

Otros aspectos como la significación y la funcionalidad, así como la sostenibilidad y la contaminación lumínica, también deben tener un papel principal en el diseño lumínico.

Fig. 3.25
Espacios exteriores
próximos en el edificio
del Ministerio de
Relaciones Exteriores de
Israel, en Jerusalén.

Fachada de alabastro.



La imagen del edificio y la relación con su entorno urbano

En esta imagen del entorno urbano próximo al Kursal, en San Sebastián, se puede observar cómo el cromatismo y la distribución de luz por difusión del alumbrado urbano se trasladan a la iluminación del edificio, de manera que lo convierten en una gran luminaria urbana.

Fig. 3.26
Espacios exteriores
próximos al edificio
Kursal de San Sebastián.



El alumbrado urbano es una preexistencia que hay que considerar al plantear el papel lumínico que jugará un nuevo edificio; serán muchas las opciones lumínicas, que irán desde la integración absoluta hasta la máxima diferenciación y singularidad.

La diferenciación lumínica se podrá conseguir a través de cambios en los valores lumínicos de iluminancia y de luminancia, aunque los cambios cromáticos y tipológicos pueden tener un impacto diferenciador mayor.

A menudo, aspectos como un emplazamiento singular o el tamaño confieren al edificio una especial relevancia respecto de su entorno próximo y/o lejano. En estos casos, la iluminación adquiere una gran singularidad y lo hace aparecer como un “hito” de referencia en el entorno.



Fig. 3.27
Imagen nocturna de la
ciudad de Toledo.

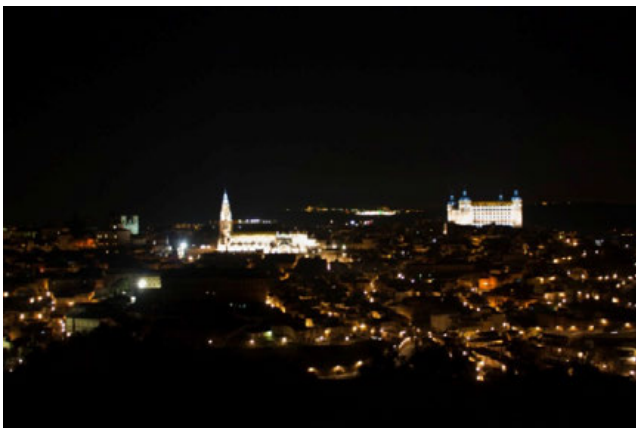


Fig. 3.28
Imagen nocturna de
la ciudad de Toledo.
La catedral y el
Alcázar aparecen
como hitos lumino-
sos.



El paisaje lumínico

La iluminación urbana ya no contempla únicamente aspectos de funcionalidad, sino que reconoce el concepto de paisaje lumínico como identificador y calificador del entorno y de las ciudades.

Por lo tanto, es necesario que los urbanistas y arquitectos paisajistas incorporen en sus proyectos la iluminación artificial desde la óptica del diseño cualitativo. En este sentido, la figura del diseñador lumínico urbano (*Urban Lighting Planner*) está tomando cada vez más relevancia.

Fig. 3.29
a. Imagen del proyecto
lumínico urbano para Singa-
pur.
LPA Inc.

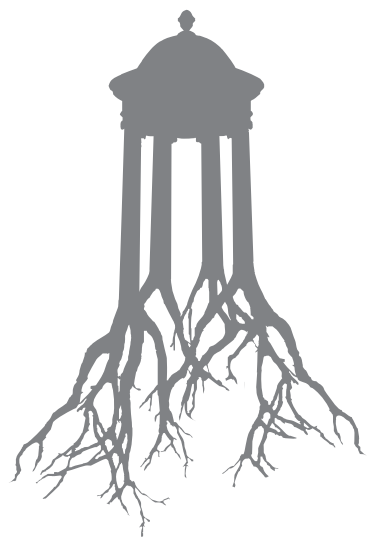
b. Plan lumínico para la
ciudad de Osaka, Japón.
LPA Inc.



En las ciudades emergentes del sur de Asia como Shanghái, Singapur, así como Abu Dabi y Dubái en los países árabes, la imagen nocturna de la ciudad se convierte en el principal símbolo publicitario y de poder económico. Esta imagen define su skyline de manera que se hace necesario hacer planteamientos globales que aporten calidad y coherencia al conjunto.

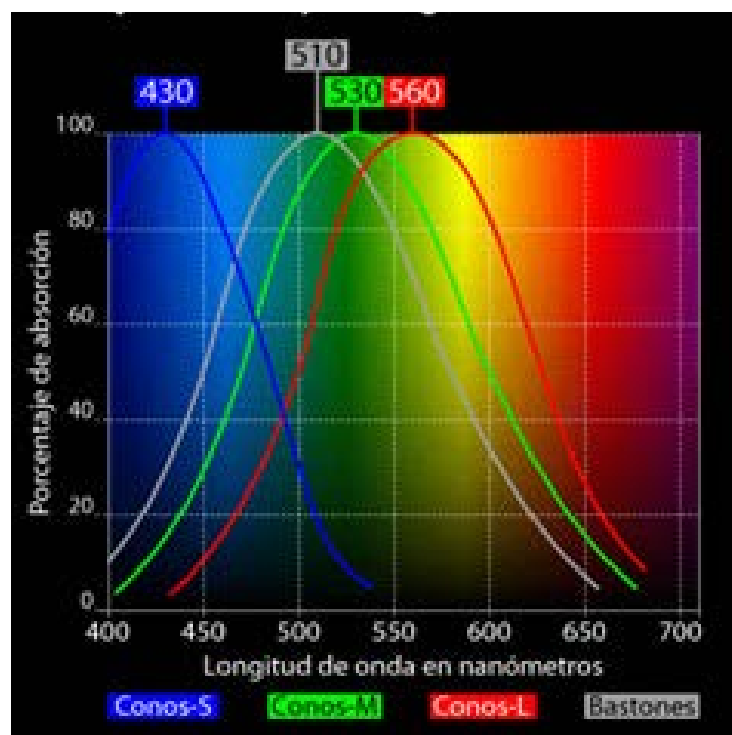
Fig. 3.30
Skiline nocturno de Abu
Dabi.







Fotometría y percepción





4.1 Parámetros físicos

Los parámetros físicos principales que tienen similitud con los luminotécnicos son los siguientes:

- Energía radiante E_r (Joules)	Radiancia L (W/str.m ²)
- Flujo radiante Φ (W)	Intensidad de radiación I (W/str)
- Potencia W (watts)	Irradiación E (w/m ²)

4.2 Parámetros luminotécnicos

Flujo luminoso Φ (*lúmenes*) es la cantidad de energía luminosa total emitida por unidad de tiempo y que puede producir una impresión en el ojo humano. El flujo luminoso máximo teórico que puede emitir una fuente de 1 watt luz para $\lambda = 555$ nm es de 680 lm.

$$\Phi\lambda = \Phi_w \cdot V\lambda \cdot 680 \text{ lm/W}$$

Un **lumen** (*lm*) es el flujo emitido por una fuente uniforme puntual con intensidad de una candela y también es el recibido en una superficie.

Intensidad luminosa I (*candela*) es la densidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz en un determinado ángulo sólido (ω). Su símbolo es I , y la unidad es la candela (*cd*). El valor límite de Φ/ω cuando el ángulo sólido se aproxima a cero se denomina intensidad luminosa y la fórmula es:

$$I = \lim_{\omega \rightarrow 0} \Phi/\omega$$

$$I = \Phi/\omega = \text{lm/estereorradián} = \text{cd}$$

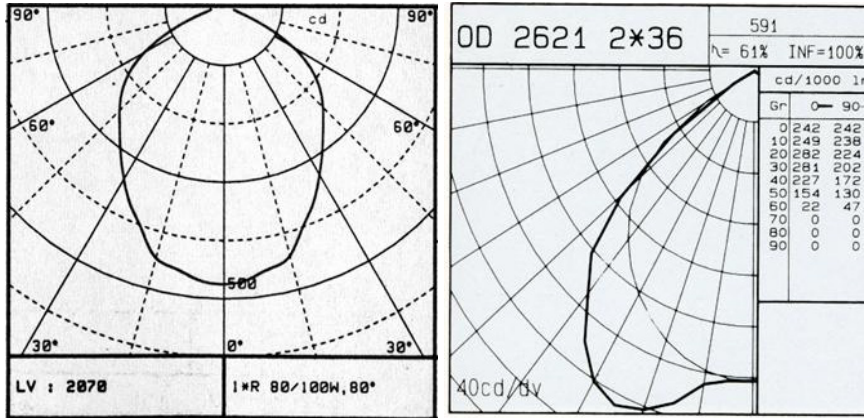
La forma en que el flujo luminoso de la fuente está distribuido en el espacio es de considerable importancia, ya que permite conocer la parte de luz dirigida hacia los objetos o las superficies deseadas; por eso resulta necesario medir los valores del flujo luminoso en diferentes direcciones y expresarlos en una cierta unidad.

Una **candela** es el valor del vector de intensidad en la dirección de la emisión.

Los diagramas polares son un tipo de representación gráfica de la distribución de intensidades de una fuente luminosa, en los cuales podemos diferenciar los valores específicos y calculables de:

- I_o Intensidad en el eje de emisión de la fuente
- I_M Intensidad con el valor máximo –en cualquier dirección
- I_θ Intensidad para una dirección específica según el ángulo θ
- J Intensidad de referencia para un flujo de 1.000 lúmenes

Según si los diagramas están realizados para el flujo correspondiente a la fuente o para un flujo de referencia tendremos dos tipos: los diagramas nominales y los diagramas de referencia. Generalmente éstos últimos se corresponden con un flujo de 1 Klm (1.000 lm).



Iluminancia o nivel de iluminación es la relación entre el flujo incidente sobre un plano dividido por el valor de su superficie en m^2 . También es la iluminancia producida por la intensidad de una candela en un punto situado a una distancia de 1 m. Se representa por el símbolo E, y su unidad es el lux, que es el valor de los lúmenes por metro cuadrado recibidos en una superficie: $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm} / m^2$.

$$E(\text{lux}) = \Phi (\text{lm}) / S (m^2)$$

Normalmente habrá que conocer diferentes valores de E en un espacio o superficie, así como la forma en que varían, según gradaciones escalares o exponenciales.

Los contrastes de iluminancias se pueden referir a los máximos referenciados a los valores medios. La uniformidad se refiere a áreas y el equilibrio es volumétrico. **Luminancia** o brillo (L o B) es la intensidad luminosa que recibe el ojo humano procedente de una fuente luminosa o reflejada desde una superficie. Su símbolo es L y su unidad es el nit en cd/m^2 .

$$L = E \cdot r / \pi (\text{en superficie difusora})$$

$$L = I / S \text{ recibida o emitida por una fuente o una superficie}$$

$$\text{Si } L = \Phi / S \cdot \omega \quad \wedge \quad E = \Phi / S, \quad \Phi = E \cdot S \Rightarrow L = E / \omega$$



Se podría aplicar para conocer valores de:

- L directa, emitida desde la fuente hasta el ojo del observador
- L reflejada, en una superficie reflectora y emitida hacia el ojo
- L ambiental, como efecto global en el espacio

A veces hay que conocer valores del factor de iluminación.

$$F_i = L \text{ reflejada} / L \text{ difusora} \quad L = E \cdot F_i / \pi \text{ (en superficie no difusora)}$$

Los valores máximos se estudian para conocer el grado de deslumbramiento como calidad del sistema al deslumbramiento ante posibles molestias. Se dispone del sistema C.I.E de las curvas de limitación (Söllner), actualmente ya sustituido por el sistema CIE UGR en la normativa del CTE.

Los efectos que produce el deslumbramiento se clasifican en molesto, perturbador e incapacitante, según condiciones a menudo subjetivas (ver 4.3, Parámetros visuales).

4.3 Parámetros visuales

El tercer grupo de aspectos a considerar en la percepción es el relacionado con el sujeto observador. Desde el punto de vista del diseño arquitectónico resulta complejo tener en cuenta ciertos aspectos de cariz psicológico, emocional o cultural durante la fase de diseño de un espacio.

La naturaleza del ojo determinará los aspectos fisiológicos que son comunes a todos los observadores, a partir de los cuales podemos fijar relaciones respecto de la iluminación y los materiales. Aquellos aspectos de naturaleza estrictamente personal, no comunes estadísticamente, acabarán afectando a la percepción individual según el tipo y/o estado psicológico propio de cada individuo.

El color percibido por el objeto es el resultado de la combinación del color de la luz, del color propio del objeto y del color de los otros paramentos del ambiente. El cromatismo ambiental sería el resultado cromático global como tendencia esperada.

Sabemos que para conseguir una **óptima comodidad perceptiva** se necesitan un nivel suficiente de iluminación (E mín.), un nivel máximo de luminancia (L máx.), y una coherente calidad cromática de la iluminación del ambiente, teniendo en cuenta unos márgenes de variabilidad importantes y dependiendo de muchos factores o aspectos.

La agudeza visual es la capacidad para discriminar los más pequeños detalles de objetos muy próximos. Depende principalmente del nivel de iluminación y puede variar en función de múltiples factores lumínicos, psicológicos y fisiológicos como la luminancia ambiental, los colores, el estado psíquico, la edad, etc.

La adaptación o capacidad de modificar el diámetro del iris según la luminancia recibida permite regular la intensidad de la respuesta en función de la magnitud

del estímulo. El iris modifica el diámetro de la abertura ocular (pupila) en función de la luminosidad (luminancia).

La acomodación es la capacidad de ajustar automáticamente la distancia focal cuando se miran objetos situados a distancias diferentes. Mediante la variación de la curvatura del cristalino podemos situar el objeto observado directamente sobre la retina.

La sensibilidad a los contrastes o diferencias entre iluminancias o luminancias es la capacidad que permite establecer las diferencias perceptivas dentro del campo visual. La falta de contrastes, tanto de la iluminancia como de la luminancia, obliga al individuo a forzar la agudeza de la visión. El contraste de iluminancias y de luminancias es necesario para mejorar la calidad perceptiva, que mejora con el aumento del nivel de iluminación. Por otra parte, un excesivo contraste puede producir deslumbramiento, estado de la visión con molestias y dificultades perceptivas.



Fig. 4.2
Figuras con diferente
contraste de luminancias
respecto del fondo.

El **contraste de luminancias** entre dos objetos o superficies (ver fig. 4.2) nos da el valor del contraste relativo (C) de acuerdo con la expresión $C = L_1 - L_2 / L_1$, y la sensibilidad al contraste (Sc) es el valor inverso del anterior de acuerdo con la expresión $Sc = L_1 / L_1 - L_2$.

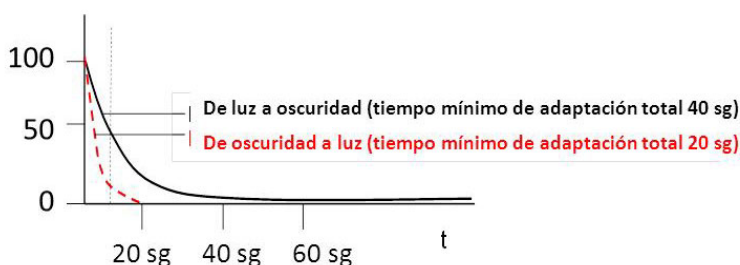
El **contraste de iluminancias** nos da los grados de uniformidad en el alumbrado de una superficie, que normalmente se toma con el valor $G1 = E_{mín} / E_{medio}$, aunque resulta más cómodo utilizar la expresión $G2 = E_{mín} / E_{máx}$.

El **deslumbramiento** es una condición de la visión que, a consecuencia de que las luminancias de áreas situadas dentro del campo visual superan determinados valores, produce molestias o reduce la visibilidad, o ambas cosas.



Decimos que el deslumbramiento es **molesto** cuando produce molestias sin reducir implícitamente la visibilidad ni la percepción de los objetos observados; es **perturbador** cuando reduce parcialmente la capacidad perceptiva, sin causar molestias; y es **incapacitante** cuando queda anulada la capacidad perceptiva, temporal o permanentemente. El ojo necesita de un tiempo de adaptación al pasar de un espacio a otro con valores de iluminancia muy diferentes. Este tiempo varía si el cambio se hace de un espacio iluminado a un espacio oscuro o al revés. La adaptación se produce más rápidamente al pasar de la oscuridad a la luz que al revés.

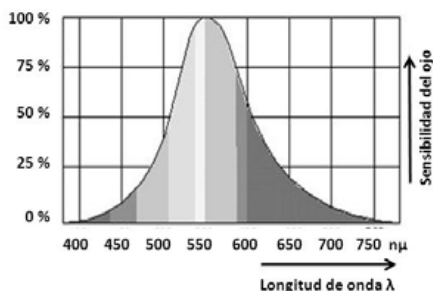
Fig. 4.3
Tiempo de adaptación a la transición entre espacios de diferentes iluminancias.



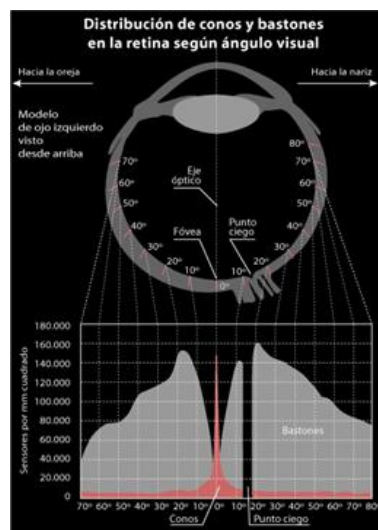
Este aspecto es muy importante a la hora de diseñar espacios de transición, donde los cambios de iluminancias se realizan de forma gradual a lo largo de un recorrido temporal.

La **fotosensibilidad** es la capacidad de las células receptoras del ojo de ser sensibles ante las radiaciones luminosas del espectro visible. Los conos son responsables de la visión de los colores durante el día (visión fotópica) y los bastones de la visión nocturna (visión escotópica) en blanco y negro. La disposición de los conos y de los bastones en la superficie de la retina no es uniforme; los primeros se concentran en un pequeño círculo cerca de la fovea y los segundos se reparten por el resto de la retina de acuerdo con la figura 4.4b.

Fig. 4.4
a. Curva de sensibilidad espectral relativa del ojo.



b. Distribución de las células fotosensibles en la retina.



La sensibilidad de las células receptoras a las radiaciones luminosas de diferente longitud de onda no es constante, sino que varía de acuerdo con las curvas representadas en la figura 4.3a, que tiene forma de campana de Gauss.

Cada longitud de onda produce una impresión de color en el ojo. Por acuerdo internacional se toman franjas de 10 nm por color, aunque no se las defina. El color al que el ojo es más sensible se corresponde con una longitud de onda de 555 nm (correspondiendo al amarillo verdoso), también llamada radiación de Langley.

4.4 Colorimetría y leyes básicas de fotometría

4.4.1 Colorimetría

El color

El término *color* se puede referir a diferentes conceptos, como el color percibido de un objeto, que es el color percibido instantáneamente como resultado de la interacción de diversos factores como:

– Las características del objeto
– Las características del entorno
– Las características de la luz incidente
– La dirección del observador
– La propia adaptación del observador

Tabla 4.1
Factores que determinan
el color percibido de un
objeto.

El **color propio** de un objeto es el color de la luz reflejado o transmitido por un objeto cuando se ilumina con una fuente de luz patrón.

El **color puro** es la descripción de la luz en términos de cantidades de potencia radiante de las diferentes longitudes de onda del espectro visible.

La percepción de los colores es una capacidad específica del ojo, discriminatoria y variable de acuerdo con una escala de sensibilidad según los colores y luminancias. Esta radiación luminosa puede provenir de una fuente luminosa emisora (lámpara) o de una superficie que refleja la luz incidente en ella.

Las cualidades de las sustancias absorbentes de colores que configuran los materiales modifican la composición espectral de la luz reflejada. Los materiales tienen un color propio y característico y los sistemas de clasificación de colores son próximos a los de la representación de paletas pictóricas.

El sistema Munsell o la tabla de colores DIN, el sistema CIE o el sistema RGB nos permiten clasificar los colores según diferentes parámetros y obtener paletas cromáticas diversas.



El color según la teoría Munsell

El sistema de color Munsell fue elaborado por el pintor y profesor de arte Albert Henry Munsell en su libro *Atlas of the Munsell Color System* en 1915.

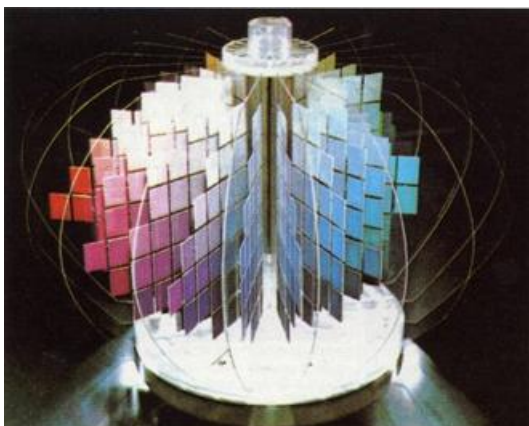
Se basa en una disposición ordenada en un sólido tridimensional formado por tres ejes correspondientes al *tono* (la longitud de onda dominante del color y la calidad que lo distingue de los otros), al *valor* (claridad u oscuridad) y a la *saturación* (intensidad o pureza).

En la práctica, el sistema se utiliza en la fabricación de pinturas, que toman las muestras publicadas por el autor como punto de referencia.

El sistema Munsell considera 10 tonos de color diferentes con 5 tonos principales: rojo (R), amarillo (Y), verde (G), azul (B) y púrpura (P), dispuestos en un círculo equidistantes; y 5 tonos entremedios: Amarillo-rojo (YR), verde-amarillo (GY), azul-verde (BG), púrpura-azul (PB) y rojo-púrpura (RP).

La mezcla de los colores adyacentes forma una gama de intensidades diferentes; por ejemplo, mezclando el verde y el amarillo se obtiene toda la escala entre estos dos y así con todos los colores y en cualquier posición. De esta forma se define un círculo cromático como el de la figura 4.5b.

Fig. 4.5
a. Sólido de Munsell.
b. Círculo cromático de Munsell.



El **tono** o matiz es lo que llamamos diferencialmente *color*, como rojo, verde, amarillo, etc. El término *tono* está relacionado con la terminología musical y expresa mayor o menor intensidad, mientras que el término *matiz* se refiere a su calidad diferencial respecto de otros colores.

El azul, por ejemplo, siempre lo distinguiremos del naranja por ser de matices complementarios.

El *brillo* o **valor** es la calidad que tiene todo color por la cual se puede equiparar a la familia de los grises. El valor comprende una escala de 0 a 10 que va del negro puro al blanco puro. En este sentido, el azul siempre será más negro que el amarillo; y dentro del matiz azul, un azul celeste estará más próximo al blanco y, por lo tanto, tendrá más *brillo*.

El *valor* o *brillo* depende de la iluminación del estímulo, que de forma perceptiva es relativa de acuerdo con la sensibilidad espectral del ojo humano.

La **saturación** o **intensidad** es la sensación de fuerza o de debilidad de un color, también su mayor o menor participación del blanco. El blanco siempre será un color menos saturado que el rosa. La intensidad depende casi siempre de la homogeneidad del estímulo.

Colores cálidos y fríos, luminosos y oscuros

Los colores (al igual que la luz) también se pueden agrupar según los conceptos de cálido y frío. También desde el punto de vista de la luminancia se pueden agrupar en colores luminosos u oscuros de acuerdo con los gráficos siguientes:



Fig. 4.6
Colores según la tonalidad y la luminosidad.

Los colores **fríos** son el verde, el azul verdoso, el azul y el violeta, y los colores **cálidos** son el amarillo, el naranja, el rojo y el púrpura. Los colores **luminosos** son el verde azulado, el verde, el amarillo y el naranja, y los oscuros, el azul, el violeta, el púrpura y el rojo.

La teoría tricromática de la CIE

En el sistema colorimétrico de la CIE (*Comission International de l'Eclariage*) no se clasifican los colores no autoluminosos y colores de la luz en el marco de un catálogo de pigmentos, sino que se hace según la composición espectral del tipo de luz emitida por una fuente.

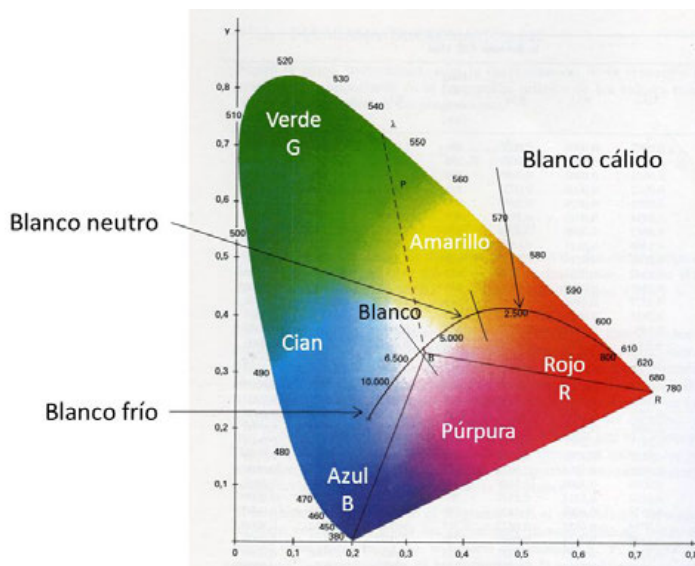


La representación se hace en el llamado *triángulo tricromático* que contiene los colores saturados en el perímetro, mientras que en el interior del triángulo se encuentra el punto de saturación más bajo nombrado *punto blanco* o *acromático*. Todas las categorías de saturación de un color se encuentran en la recta que une el punto anterior y el color totalmente saturado situado en el perímetro, y las mezclas posibles entre dos colores se encuentran en la recta que une los colores saturados mezclados.

En el interior del triángulo está representada la luz blanca en una línea llamada *curva de Planck*, correspondiente a los diferentes colores de una lámpara incandescente patrón. Esta curva se subdivide en colores blancos cálidos para temperaturas inferiores a 3.300 °K, en blancos neutros entre 3.300 °K y 5.000 °K y en blancos fríos para temperaturas superiores a 5.000 °K.

El sistema CIE se basa en las pautas físicas de longitud de onda, pureza de excitación e intensidad luminosa, que representan variables específicas y universales.

Fig. 4.7
Triángulo tricromático de la CIE.



El sistema RGB

La descripción RGB (del inglés *Red, Green, Blue*; rojo, verde, azul) de un color hace referencia a la composición del color en términos de la intensidad de los tres colores primarios que lo forman: el rojo, el verde y el azul. Es un sistema basado en la síntesis aditiva, mediante la cual es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores primarios.

El modelo RGB no define exactamente el rojo, el verde o el azul, por lo cual los mismos valores RGB pueden mostrar colores notablemente diferentes según los dispositivos que usan este modelo de color.



Para indicar la proporción de la mezcla se asigna un valor a cada uno de los colores primarios; el valor 0 significa que no intervienen en la mezcla y, a medida que el valor aumenta, se entiende que aporta más intensidad a la mezcla.

Por lo general, la intensidad de cada uno de los componentes se mide según una escala que va de 0 a 255 bits.



Fig. 4.8
Modelo aditivo de colores
RGB, rojo-verde-azul.

La iluminación con leds utiliza este sistema para crear luces de colores, así el rojo se obtiene con una mezcla RGB de valor (255, 0, 0), el verde con (0, 255, 0) y el azul con (0, 0, 255), de manera que en cada caso se obtiene un color monocromático. La ausencia de color o el color negro se obtiene cuando los tres componentes RGB tienen los valores siguientes: (0, 0, 0).

La combinación de dos colores a 255 con un tercer color a 0 da lugar a tres colores intermedios. Así, el amarillo es una mezcla RGB de valor (255, 255, 0), el cian de valor (0, 255, 255) y el púrpura de valor (255, 0, 255).

Obviamente, el color blanco se forma con los tres colores primarios en su máximo nivel (255, 255, 255).

La psicología de los colores

Psicológicamente los colores producen diferentes sensaciones en las personas y, de forma general, tienen asociados los siguientes rasgos.

Los colores cálidos se consideran intimistas y a menudo estimulantes, alegres e incluso excitantes, y los colores fríos son tranquilos, relajantes y en algunos casos deprimentes

El amarillo se relaciona con el **sol** y significa luz radiante, alegría, estímulo, poder, arrogancia, alegría, buen humor, voluntad; se le considera estimulante de los centros nerviosos.



El rojo está relacionado con el fuego y sugiere **calor**, excitación, pasión, **violencia**, actividad, impulso y acción; sugiere **movimiento** y vitalidad.

El azul es el color del cielo y el **agua**, es serenidad, infinidad, frialdad, **inteligencia**, verdad, sabiduría, recogimiento, espacio, inmortalidad y también paz. Provoca calma y mezclado con blanco forma un matiz celeste que expresa pureza y fe.

El naranja, mezcla de amarillo y rojo, tiene las cualidades de ambos y, en menor grado, significa entusiasmo, ardor, incandescencia, euforia. Mezclado con blanco constituye un rosa carne que tiene una calidad muy sensual.

El verde, color de la hierba, es fresco, tranquilo y reconfortante, y significa reposo, esperanza, primavera, **juventud** y sugiere **aire libre** y frescor. Este color libera el espíritu y equilibra las sensaciones.

El violeta es madurez, y en un matiz claro expresa delicadeza. Significa profundidad, misticismo, misterio, melancolía, y en su tonalidad púrpura, realeza, suntuosidad y dignidad.

Fig. 4.9
La utilización del
color en una sala de
radiodiagnóstico del
hospital oncológico.



Estos colores básicos contienen una enorme variedad de matices obtenidos por la mezcla entre ellos y con el blanco y el negro; cada una de estas variaciones participa del carácter de los colores componentes, con predominio de aquél que interviene en mayor proporción.

Otros colores no primarios tienen los siguientes significados:

- El **blanco** es pureza y candor.
- El **negro**, tristeza y luto.
- El **gris**, resignación.
- El **pardo**, madurez.
- El **oro**, riqueza y opulencia.
- El **plata**, nobleza y distinción.

Son muchos los artistas que también han realizado obras o instalaciones lumínicas explorando los aspectos psicológicos relacionados con el color de la luz y de los ambientes. La instalación de Bruce Nauman *Green light corridor*, de 1970, o la propuesta de Olafur Eliasson *Room for one colour* exploran la saturación de los receptores ópticos especializados en el color amarillo.



Fig. 4.10
Room for one colour.
1997,
O. Eliasson.

4.4.2 Leyes básicas de fotometría

Ley del cuadrado de la distancia

Esta ley establece que “La iluminación en un punto de un plano perpendicular a la línea que une el punto y la fuente es igual a la intensidad luminosa de la fuente en dirección al punto, dividida por el cuadrado de la distancia entre el punto y la fuente”:

$$E = I / d^2$$

Cuando la $I = 1$ cd y la $d = 1$ m, tendremos que $E = 1$ lux, de donde se obtiene esta otra definición de lux.

Esta ley nos indica la importancia que tiene la distancia entre una fuente de luz y el punto o superficie a iluminar en el valor de la iluminación.

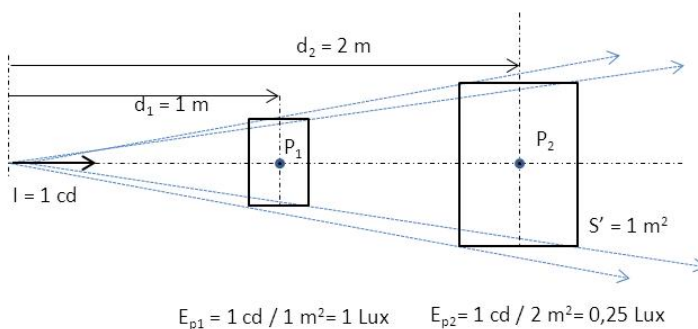


Fig. 4.11
Representación gráfica de
la ley del cuadrado de la
distancia.



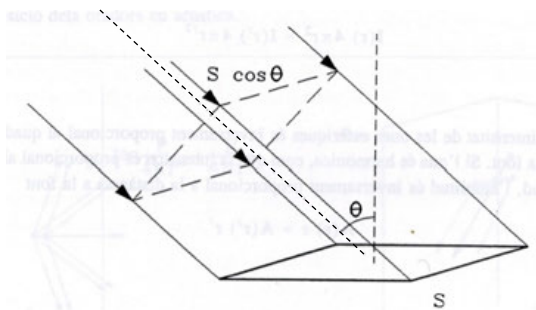
Ley del coseno del ángulo de incidencia

En lo que se ha descrito en el párrafo anterior se ha supuesto que la superficie iluminada S es normal a la dirección de los haces luminosos. Ahora bien, si la superficie es S' y está inclinada en un ángulo θ , tal como se ve en la figura, el flujo se concentra en el interior del cono que limita la superficie iluminada, y en este caso la iluminación resultante es ahora $E' = \theta/S'$.

De la figura se desprende claramente que: $S' = S / \cos\theta$, entonces $E' = E \cdot \cos\theta$

Resultando que $E = I_{\theta} \cdot \cos\theta / d^2$

Fig. 4.12
Representación gráfica
del coseno del ángulo de
incidencia.



Ley de Lambert

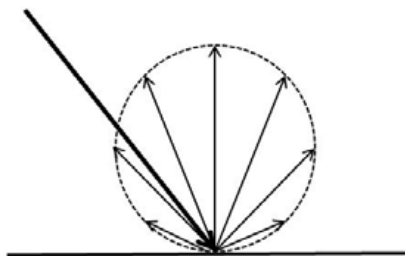
Cuando esta dirección es perpendicular a la superficie luminosa, y si la superficie es plana, se tiene que tomar simplemente el área real en la fórmula de descripción de la luminancia:

$$L = I / S$$

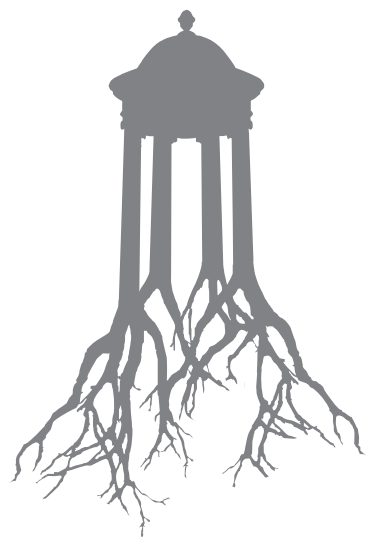
“Si una superficie tiene la misma luminancia en todas direcciones (en el caso de una superficie perfectamente difusora; ver figura 4.13), su intensidad luminosa en una dirección dada es igual a la intensidad luminosa perpendicular al plano (I_0), multiplicada por el coseno del ángulo formado entre esta dirección y la normal en el plano”. Así, la expresión matemática de la Ley de Lambert resulta:

$$Y_{\theta} = L_{\theta} \cdot S \cdot \cos\theta$$

Fig. 4.13
Representación gráfica de
la ley de Lambert.



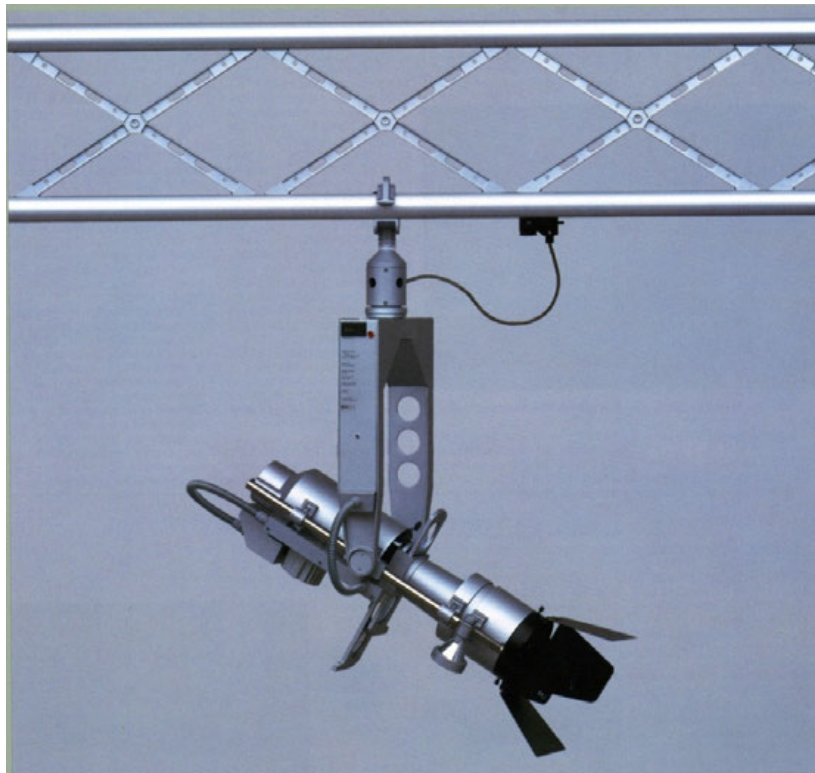
No hay fuentes luminosas que cumplan totalmente la ley de Lambert, pero estas fuentes hipotéticas proporcionan bases muy útiles para argumentos teóricos. Las fuentes luminosas de este tipo se denominan fuentes uniformemente difusoras.



→ 5



Los sistemas y las fuentes de iluminación artificial





5.1 Generalidades, introducción y caracterización de los sistemas lumínicos

Un sistema de iluminación se considera como el conjunto de elementos físicos que permiten el funcionamiento de unos emisores de luz hacia unos espacios, superficies u objetos, tanto para los interiores de locales como para los ámbitos exteriores. El sistema de iluminación se proyecta para conseguir los efectos lumínicos planteados gráficamente de acuerdo con las ideas conceptuales propuestas inicialmente.

La complejidad de un sistema de iluminación dependerá en gran medida de las necesidades lumínicas, del espacio, de los usuarios y de las posibilidades técnicas y económicas disponibles. Está formado por los siguientes elementos: las luminarias equipadas con las lámparas y sus equipos y accesorios, las infraestructuras mecánica y eléctrica, y los sistemas de regulación y control.

Existen sistemas de iluminación extraordinariamente complejos con gran cantidad, disposición y control de sus elementos, así como sistemas extraordinariamente simples con un único elemento.

5.2 Composición básica de los sistemas

En general, podemos considerar que un sistema de iluminación artificial está formado por los elementos siguientes:

5.2.1 Elementos físicos

Los elementos físicos son los objetos que tenemos que colocar en el espacio, conectados entre ellos eléctricamente, y que son:

Fuentes luminosas	Luminarias y lámparas
Infraestructura mecánica	Todos los elementos físicos mecánicos necesarios para la fijación, orientación y protección
Infraestructura eléctrica y electrónica	Elementos eléctricos y electrónicos necesarios para el funcionamiento y control de sistemas
Controles	Como subsistemas eléctricos y electrónicos de accionamiento y control. Los hay de menor a mayor complejidad: normales, compuestos y programables.

(Ver el apartado 6.3, Controles de funcionamiento.)

5.2.2 Elementos estructurales y organizativos

La organización compositiva de los elementos anteriores, especialmente de las luminarias, tiene mucha importancia en la percepción del espacio e interviene en el diseño arquitectónico global.



- Forma de las luminarias
- Disposición en el espacio o manera de ubicar el sistema
- Organización o estructura compositiva, como relación formal entre el sistema y la forma del espacio

(Ver detalles en el capítulo 9, Diseño de sistemas.)

5.3 Clasificación de los sistemas lumínicos para establecer un léxico comprensible y útil para el desarrollo de los proyectos de iluminación en la arquitectura

Se pueden establecer diferentes clasificaciones de los sistemas de iluminación atendiendo a conceptos como la forma de distribución del flujo y su direccionalidad, la apariencia del sistema, criterios de diseño, etc.

Las condiciones y peculiaridades a considerar como específicas en los sistemas de iluminación de exteriores y de interiores hacen que estos sean ya totalmente diferentes y requieran también de una clasificación específica en cada caso. Pero necesitamos partir de una base clara para todos ellos.

Se han dado diferentes clasificaciones y definiciones, e incluso se ha llegado a nombrar los sistemas según el tipo de lámparas utilizadas en el interior de las luminarias. Así, nos encontramos quien habla de sistema de fluorescencia sin saber distinguir si son tubos dentro de plafones o lámparas compactas o dentro de proyectores; o sistemas de halógenos simplemente porque utilizan estas lámparas, sin distinguir si son de descarga con halogenuros metálicos difusoras o son fuentes concentradoras con lámparas incandescentes halógenas de muy pequeño tamaño.

En la actualidad, el sector de la iluminación para la arquitectura marca una clara división entre dos tipos de productos: los dirigidos a una iluminación de tipo “arquitectónico”, caracterizada por productos donde predomina el diseño técnico y cualitativo de los efectos lumínicos, con implantaciones empotradas, adosadas y/o en estructuras; y los llamados productos de iluminación “decorativa”, caracterizados por el predominio del diseño formal y de los efectos del objeto con implantaciones superpuestas, colgadas y adosadas.

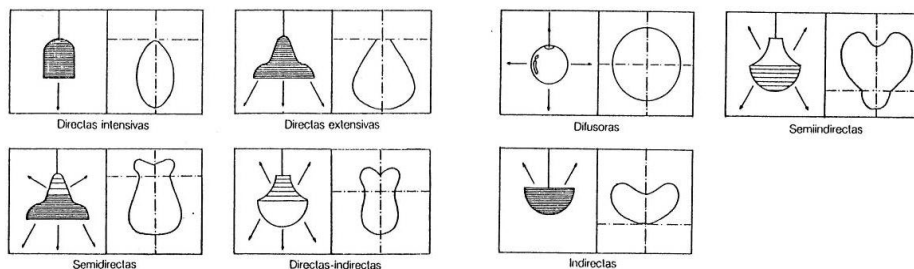
A veces, la distinción entre estas dos tipologías de producto se hace difícil y ambigua. Los productos “decorativos” se acostumbran a definir por tener una presencia singular (de pocos elementos) mientras que los “arquitectónicos” se definen porque se colocan de forma repetitiva (con un gran número de unidades) en el espacio.

La manera tradicional de clasificar los sistemas de interiores es *según la direccionalidad del flujo luminoso* o forma de distribuir el flujo de las fuentes de luz,



o sea en función de la parte de luz que la fuente envía directamente hacia los elementos a iluminar y la parte que irá hacia otras superficies. Esta clasificación coincide con la de la *Commission Internationale de l'Eclairage* que contempla los tipos siguientes: *directa intensiva*, *directa extensiva*, *semidirecta*, *general difusa* (también llamada directa-indirecta), *difusora*, *semiindirecta* e *indirecta*.

Fig. 5.1
Clasificación de la CIE.



Esta clasificación genera confusiones al hacer referencia a la manera como las luminarias emiten la luz y no a la de los propios sistemas, así como a clasificarlas con nombres que expresan grados de direccionalidad, que puede ser una característica de las luminarias pero no de los sistemas. Sin embargo, las podemos resumir en **directas**, **indirectas** y **mixtas**.

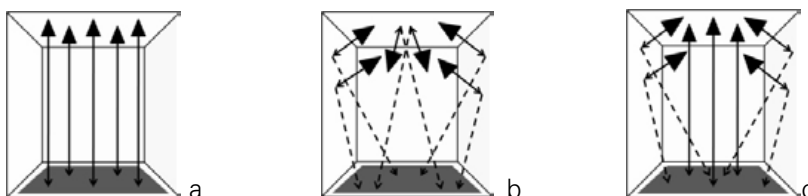
Volviendo a los sistemas, y para simplificar conceptos, proponemos una clasificación genérica y elemental que, definiendo los aspectos fundamentales de los sistemas, pueda englobar otras clasificaciones. La clasificación se centrará exclusivamente en los sistemas lumínicos constituidos con productos de tipo "arquitectónico".

Los principales conceptos que determinarán las diferencias entre los sistemas lumínicos son la forma de introducir el flujo luminoso en el ambiente según su **direccionalidad**, según la **distribución** del flujo en el ámbito a iluminar (a menudo llamado ámbito o plano de trabajo) y según su **percepción visual** (de los elementos del sistema lumínico).

5.3.1 Clasificación de los sistemas lumínicos según la direccionalidad del flujo luminoso

Considerando la globalidad del flujo que sale del sistema lumínico (es decir, de todas las luminarias) y según la direccionalidad y forma de incidir sobre el plano de trabajo o una superficie concreta, tendremos la siguiente clasificación:

Fig. 5.2
Clasificación de los
sistemas lumínicos según
la direccionalidad.
Sistemas directos a
Sistemas indirectos b
Sistemas mixtos c





Sistemas directos

El flujo luminoso que sale de las luminarias incide directamente y sin que se interponga ningún elemento entre ellas y el objeto, por lo tanto, sin reflexiones en otros elementos del espacio, por lo que dirigen toda la luz sobre el elemento a iluminar.

Sus principales características lumínicas son:

- Es un sistema eficiente y económico porque no se pierde energía por reflexión con otras superficies antes de incidir en el plano de trabajo.
- Se consigue fácilmente un elevado nivel de iluminación.
- Permite una modelización elevada de las figuras porque puede generar contrastes y proyectar sombras.
- Dada la fuerte direccionalidad del flujo, puede provocar deslumbramiento ambiental y/o puntual por contraste o por reflexión.
- La visión directa de las superficies emisoras de la luz y los parámetros reflectores puede deslumbrar por contraste (más importante en el caso de tener parámetros con colores oscuros o poco reflectantes).

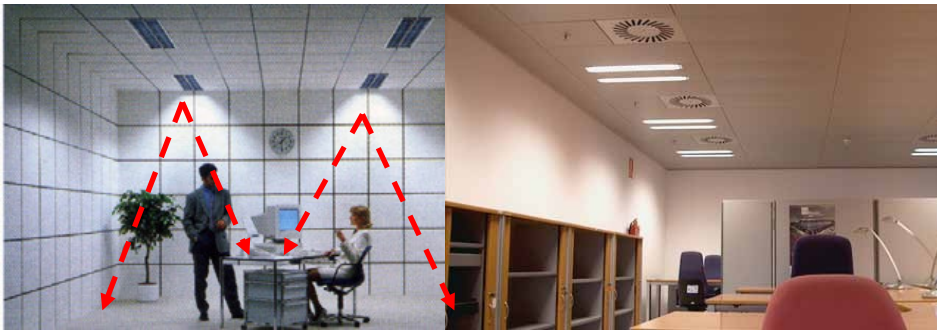


Fig. 5.3
Ejemplo de
sistemas directos.

Sistemas indirectos

El flujo luminoso de las luminarias se proyecta hacia un determinado elemento o superficie que actúa como receptor, refleja la luz en dirección al plano o elemento a iluminar, así como también hacia otras superficies o elementos, a veces sin ser necesario.

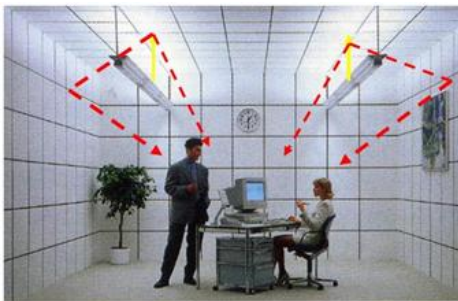
En general, los sistemas indirectos se utilizan para producir una iluminación que exprese algún valor de los paramentos reflectores o bien se desea producir una sensación de globalidad lumínica (aunque no son los específicos para conseguirlo). Es frecuente la iluminación indirecta desde el techo tanto perimetral como central.



Las principales características lumínicas son:

- No resulta económico para necesidades de niveles de iluminación más elevados que con los directos.
- El contraste que se puede producir entre los niveles de las superficies reflectoras (claras) y de las oscuras puede producir deslumbramiento, por lo que la definición de las figuras y objetos volumétricos resulta más débil.
- Reduce el deslumbramiento directo pero hay que controlar el contraste de luminancias en las superficies reflectoras y no reflectoras.
- El color de las superficies reflectoras tiene una gran influencia en el resultado cromático de la iluminación del ambiente.
- Enfatiza la definición del espacio y de su volumetría.

Fig. 5.4
Ejemplos de sistemas
indirectos.



Sistemas mixtos

En muchas ocasiones la luz llega al plano de trabajo de manera directa e indirecta al mismo tiempo. Los sistemas de iluminación pueden ser simples o muy complejos, pero es muy habitual la existencia de sistemas mixtos, que combinan iluminaciones directas e indirectas.

Las principales características lumínicas de estos comparten las ventajas y los inconvenientes de ambos sistemas.

Fig. 5.5
Ejemplos de sistemas
mixtos.





5.3.2 Clasificación de los sistemas lumínicos según la distribución del flujo luminoso

Para clarificar conceptos, creemos conveniente empezar una clasificación genérica o elemental que, definiendo los aspectos fundamentales de los sistemas, tanto para interiores como por exteriores, pueda englobar otras clasificaciones. Y la manera más eficaz de llamarlos es **según la uniformidad lumínica producida**. Sabemos que cuando la luz sale de las fuentes e incide sobre una superficie define unos niveles lumínicos determinados. Entonces, la relación entre los diferentes valores máximo, mínimo y medio producidos define el concepto de uniformidad lumínica.

En relación con este concepto podemos hablar de los sistemas uniformes, de los sistemas localizados y de los sistemas mixtos.

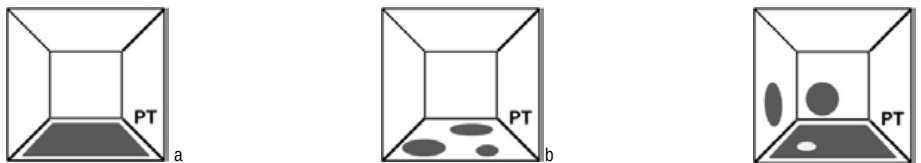


Fig. 5.6
Clasificación de
sistemas según la
distribución del flujo
luminoso en el plano
que se quiere alum-
brar.

a. Sistemas uniformes

b. Sistemas localiza-
dos

c. Sistemas mixtos

Sistemas uniformes

También llamados *por difusión*. La superficie o el espacio iluminado con estos sistemas (área o plano de trabajo, así como cualquier otro paramento aunque no sea de trabajo) presenta unos niveles de iluminación sensiblemente iguales en todos los puntos de su superficie. En general, la uniformidad lumínica está condicionada por la conveniencia de uniformidad funcional de los espacios (recordamos que la uniformidad en todos los paramentos y objetos del espacio produce “globalidad lumínica”).

Las principales características lumínicas son:

- Todo el plano de trabajo o superficie específica tiene el mismo nivel de iluminación.
- La definición de las figuras y objetos resulta más débil e imprecisa, sin mucho acento y poco detallada.
- La luz puede globalizar el espacio sin provocar ninguna diferenciación.
- Permite una gran movilidad de los puestos de trabajo o exposición en todo el espacio.
- El deslumbramiento puede aparecer por contraste cromático de las superficies o por reflexiones en materiales altamente reflectantes.



Fig. 5.7
Ejemplo de
sistema uniforme.



Sistemas localizados

También llamados *por proyección*. No se utilizan cuando un espacio no necesita ser iluminado de manera uniforme, por el hecho de que existen unas zonas concretas y localizadas que necesitan diferentes valores o cualidades lumínicas, sino que se establecen varias zonas con unos valores lumínicos muy diferentes. La iluminación localizada produce grados de uniformidad muy bajos y está asociada al refuerzo o énfasis de un elemento o área concreta, que quiere destacarse gracias al contraste lumínico dentro del espacio.

Las principales características lumínicas son:

- Los niveles de iluminación varían considerablemente en todo el espacio.
- La iluminación acentúa los elementos y objetos del espacio.
- La modelización de figuras y objetos puede ser muy precisa.
- El contraste lumínico dentro del campo visual es elevado, por lo cual se pueden provocar deslumbramientos por reflexión y contraste de luminancias.
- La variabilidad lumínica favorece el descuido visual.

Hay que tener en cuenta que los colores de los materiales del espacio influirán en el contraste cromático, en el contraste de luminancias y en la presencia visual de la iluminación.



Fig. 5.8
Ejemplo de sistema
localizado.

Sistemas mixtos

La complejidad actual de usos y espacios hace que sea frecuente la presencia de sistemas que combinan la iluminación uniforme con la localizada. Las actuales tecnologías de regulación y control permiten una gran diversidad de escenas lumínicas incluso desde un único sistema, lo cual permite dar respuesta a necesidades variables y cambiantes de manera versátil.

Las principales características lumínicas de los sistemas mixtos comparten las ventajas y los inconvenientes de ambos sistemas.



Fig. 5.9
Ejemplo de sistema
mixto.



5.3.3 Clasificación de los sistemas según su percepción visual

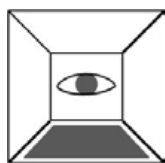
En general, los sistemas lumínicos tienen una importante presencia visual en el espacio arquitectónico; por lo tanto, es conveniente analizarlos en función de esta presencia física así como de la visión de sus superficies emisoras.

Las luminarias (con visión o no de la superficie emisora de luz) son los elementos normalmente visibles y principales del sistema, caracterizados por sus aspectos formales, dimensionales, cromáticos, estéticos, etc.

La estructura organizativa de las luminarias y la relación con los aspectos definidores del espacio tendrán que estar presentes en su selección desde el primer momento del proceso de proyectación.

Considerando la capacidad de ser visto por el observador, los sistemas se pueden clasificar en “visibles” y “no visibles”. En esta clasificación solo nos referiremos a las luminarias, aunque también se podrían distinguir, entre la percepción parcial de los diferentes elementos del sistema lumínico, las luminarias, las estructuras de apoyo, los cableados, los equipos auxiliares, etc.

Los sistemas no visibles pueden serlo por encontrarse ocultos o escondidos entre elementos del espacio como salientes, cornisas, cavidades, rincones, etc., o añadidos, bien para estar colocados en lugares previstos inicialmente en el diseño del espacio, es decir expresamente, o integrados con los elementos que constituyen el espacio como los muros, los techos, los elementos de mobiliario, los revestimientos, etc. La clasificación de los sistemas propuesta por el profesor Norbert Lechner estaría incluida en la clasificación de los sistemas no visibles que planteamos.



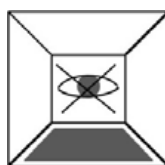
VISIBLE

Los sistemas lumínicos (especialmente las luminarias) tienen una presencia visual muy importante en el espacio.

Su estructura organizativa, la composición, el ritmo, etc., tienen especial importancia en la visión que se tiene del espacio y finalmente en su definición global.

Su propio lenguaje formal y el del espacio se hacen evidentes y necesitan un planteamiento que los relacione.

La accesibilidad al sistema es normalmente fácil para el mantenimiento y la reposición de sus partes.



NO VISIBLE

El sistema lumínico no se hace perceptible visualmente, predomina el efecto de la luz en el espacio, en sus superficies y elementos, que adquieren un determinado papel de “luminarias” reflejando la luz.

El color, la textura, la forma, en definitiva, el espacio definido por la arquitectura son los principales elementos que aparecen bañados por la luz procedente de un sistema lumínico oculto.



OCULTOS	La ocultación implica la disposición de espacio por las luminarias y la iluminación indirecta del plano de trabajo o del paramento.
	El protagonismo del lenguaje arquitectónico se potencia con la luz.
INTEGRADOS	Cuando el sistema lumínico está colocado de forma solidaria con elementos constitutivos del espacio como techos, muros, pavimentos, etc.
	Normalmente forman parte del proyecto desde las primeras decisiones formales.
	Su posición es fija y difícilmente movable.

Fig. 5.11
Clasificación de los
sistemas *no visibles*.

Pero no siempre se toma la decisión de integrar los sistemas lumínicos en el proyecto arquitectónico, también se adoptan otras formas de colocación como adosados, suspendidos o empotrados de forma visible y aparente.

Los sistemas vistos adoptarán formas diversas atendiendo a su disposición espacial, así como por el hecho de estar formados por elementos con formas y características muy variables, dada la extensa variedad de productos existentes en el mercado y la diversidad de los espacios y usos de la arquitectura actual.

Una clasificación exhaustiva desde este punto de vista resultaría imposible y además sería muy limitadora, aunque de forma conceptual sería posible agruparlos considerando la relación que el sistema adopta hacia el espacio que los contiene.

5.4 Los sistemas especiales y específicos

También hay sistemas que cumplen misiones muy específicas dentro de un proyecto y otros que no se incluyen en el ámbito del diseño lumínico. Con este calificativo, genéricamente aceptado desde el carácter técnico, nos referimos a unos tipos determinados que tienen por misión emitir luz en circunstancias de funcionamiento especiales o para la seguridad:

- Emergencia
- Señalización
- Reemplazo
- Seguridad y vigilancia
- Limpieza
- Específicos del proyecto del edificio

Por último, hay que atender a las cualidades de expresión de unas premisas básicas, como “tecnológico”, generando sistemas y fuentes de luz de alta



sofisticación y calidad tecnológica, o bien “de diseño”, en utilizar las fuentes o las infraestructuras como objeto autónomo priorizando su expresión formal.

Hay algunos sistemas especiales tipificados como tales como techo estrellado, techo luminoso, suelo, pared o columna luminosa, de línea continua, indirecto de perímetro, indirecto central, grandes luminarias espaciales, etc. Y también de exteriores como globo sobre columna, pilones luminosos, de balizamiento, etc.

5.5 Evoluciones y características formales de los sistemas

Las fuertes evoluciones de los componentes de los sistemas y la sensibilidad social han potenciado una evolución importante de los sistemas de iluminación artificial. Esta evolución se remonta a un periodo de tiempo muy próximo y prácticamente podemos asociar la aparición de los sistemas lumínicos con el desarrollo de la industria luminotécnica producido a principios del siglo XX.

El concepto de sistema, tal como lo entendemos actualmente, es muy reciente y ha sido objeto de estudio a partir de que las fuentes de luz y las luminarias alcanzan un nivel de calidad muy elevado. Hemos pasado de sistemas con pocos elementos y con control manual, a sistemas con una gran complejidad de elementos y con regulación informatizada; y de sistemas que solo ofrecían un servicio lumínico, a sistemas que incorporan otros servicios como climatización, comunicación, detección, seguridad, sonorización, etc.

En cuanto a la relación de los sistemas lumínicos con el espacio, la evolución se ha encaminado a realizar instalaciones integradas en los elementos definidores de los edificios o de los espacios exteriores. En efecto, los nuevos sistemas de iluminación están formados por unos elementos materiales que, unidos entre sí, definen una estructura física, con formas y dimensiones muy diversas, y que generalmente inciden fuertemente en la percepción que tiene el usuario del espacio.

La última evolución ha significado el paso de los sistemas exclusivamente proyectados para cumplir una misión funcional y que eran pocos y fácilmente definibles, a sistemas que pueden entenderse en función de los efectos producidos y, por lo tanto, con muchas posibilidades de diversificación difícilmente clasificables.

Expresión formal

Si hacemos una consideración al respecto, entendiendo que la estética del espacio es un conjunto fuertemente relacionado de formas, elementos, colores, luz, etc., no podremos olvidar el papel que los propios sistemas de alumbrado desarrollan dentro del conjunto.



Así, analizando la relación formal y estética de los sistemas con el espacio donde se ubican, podemos mencionar los siguientes conceptos según su expresión: **de expresión formal, de integración formal y de ocultación formal.**



Fig. 5.12
Sistema de integración
formal en baño con muro
de espejo.
Hotel Puerta América.
Diseño: Ron Arad.

5.6 Las fuentes de luz (luminarias y lámparas)

Las fuentes de luz son los elementos productores de luz, autónomos o dependientes de un suministro de energía, normalmente electricidad, y con posibles accesorios auxiliares para el funcionamiento y el control de la emisión de luz.

La mayoría de las fuentes de luz están compuestas por las *luminarias* y las *lámparas* que incorpore. En el proyecto luminotécnico, una vez decidido el sistema más adecuado para cada espacio, hay que definir el tipo –aunque genérico– de luminaria a incorporar y de las lámparas que contendrán. Compositivamente, se considera que la importancia de la luminaria es previa a la selección de las lámparas, a pesar de que a veces es más importante la decisión sobre la “bombilla” porque afecta a las cualidades lumínicas de la luz. Por lo tanto, hay que explicitar primero los conceptos básicos sobre las luminarias y, a continuación, los de las lámparas.



5.7 Las luminarias

5.7.1 Definición y composición

La luminaria es el producto de la industria de la luminotecnia que permite la incorporación de la iluminación artificial en los espacios, ya sean interiores o exteriores. Según la EN 60598-1:2008 es “un aparato que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más lámparas y que incluye, excepto las lámparas propiamente dichas, todos los componentes necesarios para fijarlas y protegerlas y, donde proceda, los circuitos auxiliares, así como los medios necesarios para la conexión a la red eléctrica de alimentación”.

En general, está formada por los siguientes elementos: (1) la envolvente externa (armazón o carcasa) que le da su imagen visual como objeto. En el interior del armazón se sitúan: las lámparas (5), los elementos eléctricos y/o electrónicos de funcionamiento y protección (3) (equipos), los elementos ópticos de reflexión de la luz hacia el exterior de esta (2) (ópticas) y los elementos de protección de las lámparas (4) y de los elementos ópticos y (difusores). Para su colocación sobre el soporte la luminaria dispone de elementos de fijación, orientación y movilidad (6).

Fig. 5.13
Elementos de una
luminaria de exterior.

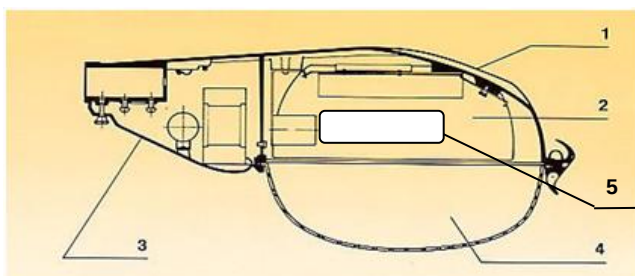


Fig. 5.14
Detalles de una
luminaria de
sobremesa,
interior.

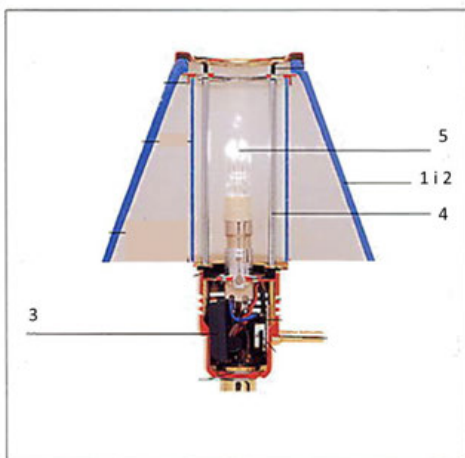
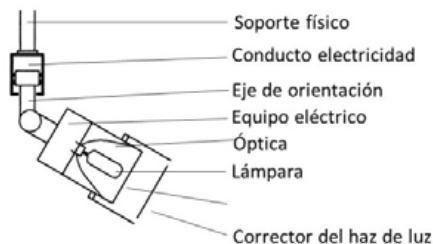
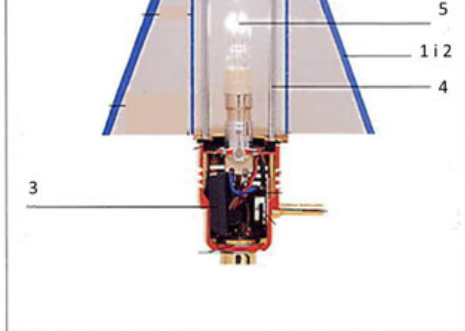


Fig. 5.15
Croquis de
luminaria de
interior, proyec-
tor fijado en
carril electricifi-
cado.
Fotografía de un
Proyector UNO-
100, STAFF con
IR 80°, 100 W,
230 V.





También hay que atender a unas características propias de los materiales y a las prestaciones de los aparatos.

Para los **armazones**, los materiales más utilizados son los de chapa de acero, chapa de aluminio, aluminio extruido, fundición de aluminio, fundición de hierro, latón pulido o esmaltado, termoplásticos, etc. Tienen que poder ser tratados superficialmente para mejorar sus prestaciones a la oxidación y facilitar el mantenimiento.

Los **difusores o correctores exteriores de la emisión** pueden incorporar filtros de colores, de UV, concentradores o difusores, lentes de Fresnel, pantallas orientables exteriores, rejillas antideslumbramiento, pantallas difusoras, etc.

Los materiales más utilizados son el cristal normal, fundido, tensado, termoplásticos, etc., y los metales y plásticos para los accesorios antideslumbramiento.

Las **ópticas**, como superficies interior reflectoras, pueden dirigir el flujo en la dirección deseada, simétricamente o no, concentrándolo o dispersándolo. Se utiliza el aluminio anodizado liso o grabado y el de calidad especular para la máxima eficacia, aunque también pueden incorporar ópticas de chapa metálica esmaltada en blanco.

Las **protecciones** para los golpes, contactos eléctricos, polvo, humedad, agua, vandalismo, explosiones o incendios, etc., normalmente cuidan la resistencia del armazón y del cristal que cierra la zona de la emisión, con juntas elásticas y fijadores de presión.

La nomenclatura utilizada para definir los grados de protección es con las letras IP seguidas de tres cifras: IP _ _ _. La primera, para la protección de contactos eléctricos accidentales, la segunda, para la estanquidad en el polvo y agua, y la tercera, para el vandalismo.

Los **sistemas de fijación y orientación** pueden ser pinzas, placas de pared o de techo, rótulas de fijación en brazos, columnas, báculos, cables suspensores, tubos rígidos de suspensión, liras orientables, nimbos de graduación, puntos fijos memorizables, elementos para empotrar o fijar al cielo raso, etc. Los materiales utilizados son el acero, acero inoxidable, latón, termoplásticos, aluminio, etc.

Los **sistemas de conexión eléctrica y electrónica** llevan incorporados los portalámparas adecuados, el cableado, el posible equipo de alimentación con el transformador, reactancia, condensador, regulador o programador con bus de señales, incorporadas en la luminaria, etc.

Y de otros elementos específicos para determinados tipos especiales de luminarias.



5.7.2 Características luminotécnicas de las luminarias

Rendimiento óptico η_{LB}

Tiene una notable importancia para el aprovechamiento del flujo que generan las lámparas en su interior.

Es el cociente entre el flujo que realmente sale del proyector y el de la lámpara o lámparas instaladas.

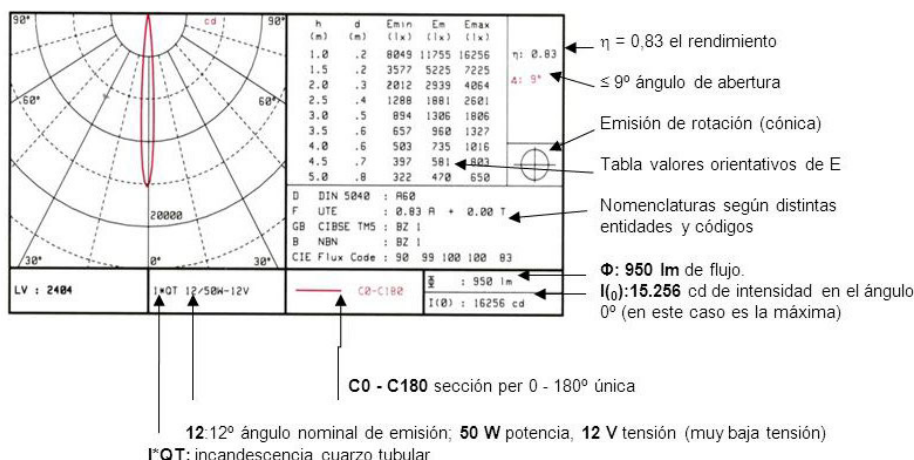
$$\eta_{LB} = \frac{\Phi_L}{\Phi_I}$$

En el caso de contener lámparas reflectoras con toda la emisión proyectada al exterior del armazón, el rendimiento obviamente es 1. Todos los fabricantes publican los rendimientos de sus luminarias en los catálogos técnicos.

En la tabla de datos de la fuente de la figura 5.16 se pueden ver características tales como tipo de lámpara, diámetro de la lámpara, el ángulo nominal de proyección, el flujo nominal, la intensidad en la dirección 0° , el rendimiento y el ángulo real de proyección. El círculo con cruz significa que su funcionamiento es en cualquier posición; la línea única con la expresión C0 - C180 expresa la emisión simétrica e igual en los planos 0 y 180° –en grados sexagesimales.

En el CIE Flux Code se dan datos de IRC, emisión inferior/superior, rendimiento y otros.

Fig. 5.16
Datos de fabricante
sobre una luminaria con
lámpara conocida y
explicaciones



Depreciación luminosa CL

Es el coeficiente de pérdida luminosa de la luminaria según el tipo, las cualidades propias de los reflectores y difusores y el ambiente donde se instalaran.



Tipo de luminaria	Ambientes sucios	Ambientes limpios
	(polvo, grasa, o con limpieza precaria)	(o con limpieza esmerada)
Herméticas	0,85	0,95
Cerradas y con filtros	0,80	0,90
Abiertas y ventiladas	0,70	0,75
Abiertas normales	0,60	0,75

Tabla 5.1
Tabla de coeficientes de depreciación de las luminarias.

La depreciación es variable en función del tiempo pasado desde la instalación original y el mantenimiento que se haga, y se puede expresar mediante las curvas de depreciación de cada caso. Se puede ver cómo con una limpieza cada 3.000 h remonta la posible pérdida de luz, pero no llega nunca al 100 %. El deterioro de la lámpara da la curva límite de depreciación.

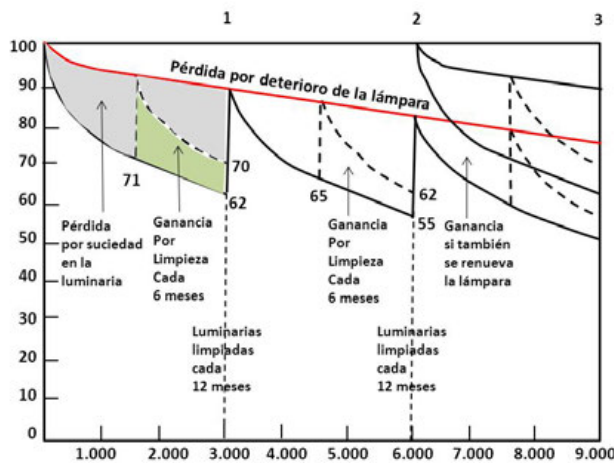


Fig. 5.17
Gráfica de depreciación de la emisión luminaria y lámpara según mantenimiento.

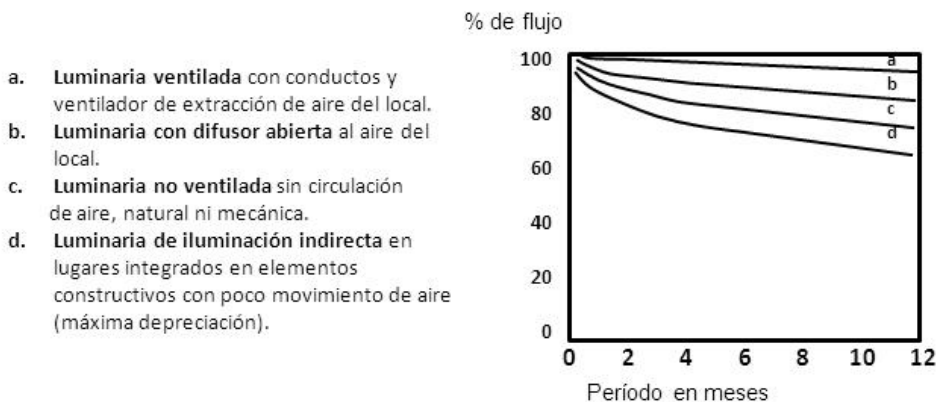


Fig. 5.18
Gráfico de curvas de depreciación según el tipo de capacidad de dispersión térmica de la luminaria. Explicación de los conceptos.

- Luminaria ventilada con conductos y ventilador de extracción de aire del local.
- Luminaria con difusor abierta al aire del local.
- Luminaria no ventilada sin circulación de aire, natural ni mecánica.
- Luminaria de iluminación indirecta en lugares integrados en elementos constructivos con poco movimiento de aire (máxima depreciación).

Factor de mantenimiento, m

El producto de los dos coeficientes, CI (de depreciación de la lámpara) y el CL de la luminaria, nos da el factor de mantenimiento general de la fuente de luz



(m) como pérdida de emisión lumínica por el envejecimiento y la depreciación del conjunto de lámpara y luminaria.

La limpieza y la sustitución de las lámparas, combinadas con la de las luminarias, pueden mejorar los valores de depreciación.

$$m = CI \times CL$$

Factor de pérdida de luz

Es la relación entre la iluminación prevista en el proyecto y la inicial obtenida con la instalación nueva.

La prevista en el proyecto puede ser el valor mínimo correspondiente después de limpiar las lámparas o cambiarlas, o bien el valor medio previsto durante toda su vida o “iluminación de servicio”. La inicial de la instalación nueva siempre será algo superior a la fijada en el proyecto.

El valor nominal del flujo de las lámparas de descarga y los fluorescentes se acostumbra a tomar a las 2.000 horas de funcionamiento. De esta manera ya se incluye la pérdida normal en el proyecto.

Índice específico de luminancia (SLI)

Las luminarias tienen su propio valor para el control del deslumbramiento y es independiente de su posición y altura de montaje.

Es la característica indicativa del grado de deslumbramiento que puede causar una luminaria y que la CIE definió como: I limitado, II moderado, III intenso.

En otra convención europea se definieron otros valores de cualidades de las luminarias con las letras A, B, C, D, E, y la S, que significa sin posible deslumbramiento. Las correspondencias entre todas ellas es la siguiente:

Tabla 5.2
Corresponden-
cias entre
valores de SLI
entre sistema
CIE y G.

	Cualidades internacionales	Grados CIE	Grados G
Súper	S		0,80
Muy alta	A	I	1,15
Alta	B	II	1,50
Media	C		1,85
Baja	D	III	2,20
Muy baja	E		2,55

Aunque en cada país se consideraron ligeras variantes con respecto a las equivalencias y categorías de las instalaciones, el criterio de Alemania, válido para España, y por aplicación de los diagramas de Söllner (actualmente no contemplado en la normativa de CTE), es el siguiente:



Grados CIE	Sistema alemán	
. Calidad I	Para exigencias muy elevadas	B
. Calidad II	Para exigencias medias	D
. Calidad III	Para exigencias bajas	E

Tabla 5.3
Correspondencias de valores de SLI entre CIE y el sistema alemán.

Control de la emisión

Habrá que obtener datos de la distribución de intensidades, en función de las diferentes lámparas que se puedan instalar, mediante sus gráficas, o bien intentar asimilarlas a las curvas tipificadas más parecidas. También hay que conocer el porcentaje de la emisión inferior, los ángulos de abertura de las directas y simétricas por los cuales se emite el 50 % del flujo total, o los ángulos por donde se emite el 90 % de su flujo total (para el caso de lámparas con reflector incorporado).

Denominación	�ngulo de emisión
. Intensiva	0-30
. Semiintensiva	30-40
. Dispersora	40-50
. Semiintensiva	50-60
. Extensiva	60-70
. Hiperextensiva	70-90

Tabla 5.4
Denominación de la emisión luminosa según el ángulo.

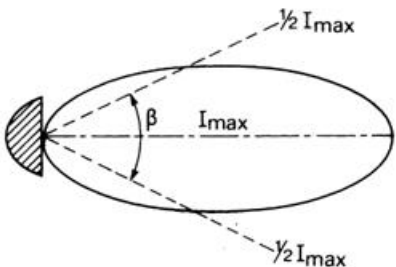


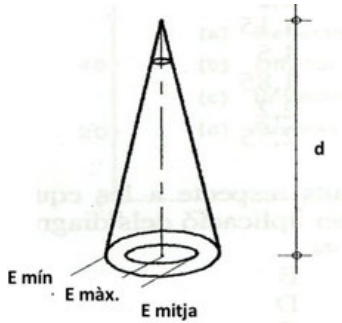
Fig. 5.19
 ngulo medio de emisión del flujo.

El resto del flujo emitido se dispersa con ángulos más o menos abiertos, pero sin un control exacto ya que depende de la calidad geométrica y del material de la óptica o de la propia lámpara.

También se pueden definir según la proporción de luz emitida hacia la parte inferior o la superior de su plano de montaje, tanto para entender si pertenecen al tipo directa, indirecta o mixta (directa-indirecta) para el caso de las de interior, como si emiten parte del flujo hacia el hemisferio superior, que está regulado por la ley de protección del ambiente natural. En los catálogos técnicos de algunos productos se publican tablas del diámetro del círculo luminoso, en función de la distancia *d*, y dentro del ángulo de proyección media, con datos sobre las iluminancias medias, máximas y mínimas que se pueden obtener a aquella distancia.



Fig. 5.20
Diámetros del
círculo luminoso
con los valores
correspondientes
de iluminancias
máxima, mínima y
media.



$$E = (E_M + E_m) / 2$$

E : media

E_M : máxima

E_m : mínima

Eje de la emisión

Es la línea central del ángulo sólido determinado por las direcciones por donde se emite como mínimo el 90 % de la intensidad máxima de una luminaria.

Divergencia de la emisión

Es la extensión angular en un plano que contenga los valores vectoriales de intensidades superiores a una fracción de su valor máximo. Normalmente es del 50 % en Europa y del 10 % en los EE.UU.

Ángulos de proyección media (o de concentración)

Para las simétricas con $\beta = 0$ es el ángulo medido sobre la mitad de la intensidad máxima (en Europa).

Factor de utilización, u

Al ser un parámetro de cálculo de la iluminancia en un espacio se ha desarrollado en el capítulo 11, Cálculos básicos.

La eficacia de una fuente luminosa –cociente entre el flujo emitido y la potencia consumida– es una característica evidente del rendimiento de una fuente de luz; tiene una traducción similar al hablar de luminarias.

Se denomina factor de utilización de una luminaria al cociente entre el flujo útil –flujo luminoso recibido por una de las caras de la superficie de referencia– y el flujo emitido por las lámparas.

Representa el porcentaje del flujo inicial emitido por una luminaria que llega a una superficie, y ya incorpora la reducción por su rendimiento óptico, η_{LB} .

Los valores concretos los debe dar el fabricante de la luminaria en una tabla que los relacione con el índice del local y las reflectancias de los paramentos (normalmente techo, pared y suelo).

No se tiene que confundir este término con la utilancia U.



El concepto de utilancia U

Es similar pero representa la relación entre el flujo útil recibido por la superficie y el nominal emitido por la luminaria para un valor de referencia de 1.000 lúmenes distinto del flujo real de servicio cuando este no se conoce, y sin la aplicación de su rendimiento.

Es el valor para aquellas fuentes cuyo flujo que emiten las lámparas se desconoce; se considera que al desconocer el factor de utilización, se debe buscar en las tablas –genéricas– de utilancias con el tipo de luminarias con emisión aproximada a la nuestra.

(Ver estas tablas en el capítulo 11, Cálculos básicos.)

Si no disponemos de la tabla de factores de utilización y sí del valor del rendimiento, o bien lo podemos suponer, entonces utilizaremos las utilancias:

$$U = \Phi_{Fu} / \Phi_{FL}$$

Y como las normas DIN 5035 y las UTE exigen la utilización de las utilancias, en el capítulo de Cálculos se adjuntan las tablas de estos valores, que son los únicos genéricos existentes.

Estos conceptos tienen las relaciones siguientes:

- Factor de utilización = $\Phi_{\text{útil}} / \Phi_{\text{lámpara}}$
- Factor de utilización = utilancia x rendimiento óptico.
- Rendimiento óptico = $\Phi_{\text{luminaria}} / \Phi_{\text{lámpara}}$

Definición de los consumos por luminaria equipada y regulada como suma del consumo de las lámparas y de los equipos propios o externos.

(Ver Capítulo 6, Instalaciones auxiliares y complementarias (de los sistemas).)

Limitaciones del deslumbramiento como calidad de la visión de la fuente de luz, por la forma de la óptica y la lámpara, los cristales o plásticos difusores y los protectores, rejillas o lamas de control de la salida de la luz.

Los fabricantes dan el grado de calidad al deslumbramiento de sus luminarias (para el cálculo ver UGR: *Unified Glare Ratio*, o Índice de deslumbramiento unificado), aplicable solo en sistemas lumínicos diseñados para producir uniformidad ambiental, con luminarias difusoras y para locales de trabajo con formas paralelepípedas y para iluminar un plano de trabajo paralelo al de montaje (horizontal) del sistema.

Existe una tipología de luminarias pensadas para la iluminación general de áreas o superficies, ya sean horizontales de trabajo o verticales como paramentos interiores y fachadas.



Son luminarias que hay que contemplar en los proyectos de arquitectura, que se colocan preferentemente empotradas o adosadas en el techo, pared y tierra, aunque también pueden colgarse o colocarse en carriles electrificados o en estructuras.

No se trata ya de piezas únicas, sino de piezas fabricadas de forma industrializada en grandes cantidades, que por repetición formarán los sistemas de iluminación. La forma organizativa de estos sistemas será objeto de estudio en el capítulo 9.

Ahora simplemente intentaremos agruparlas según la forma de distribución del flujo lumínico en el espacio, según la forma de proyección del flujo por la luminaria y por cómo se colocan.

Este grupo son las inicialmente llamadas “luminarias industriales” y que en la actualidad los fabricantes de luminarias llaman “arquitecturales” o “arquitectónicas”, quizás también erróneamente.

5.7.3 El diseño de las luminarias desde la función

En el diseño de las luminarias funcionales se prioriza el control de la luz emitida frente a la estética formal del objeto, aunque la calidad material, la tecnológica y también la estética son hoy día parámetros totalmente integrados en su fabricación.

Generalmente, su colocación está estrechamente relacionada con los elementos de la arquitectura y se tienen que incorporar en el proyecto arquitectónico para garantizar unos niveles de iluminación mínimos, necesarios para la adecuada utilización funcional del espacio.

A menudo los fabricantes las llaman erróneamente luminarias “arquitectónicas”, “de áreas” o “de integración arquitectónica”, ya que el término *integración* quiere decir algo más que una simple definición o colocación y en el lenguaje arquitectónico o compositivo tiene significados mucho más complejos.

También los fabricantes se han especializado en un producto concreto, dirigido a aplicaciones funcionales según usos específicos del espacio como, por ejemplo, administrativo, comercial, museístico, teatral, ocio, etc., difícil especialización ya que estos espacios no siempre se diseñan con tanta neutralidad y especificidad como se podría pensar.

Lo cierto es que el campo de aplicación es tan diverso como las tipologías posibles que la arquitectura actual puede adoptar.

5.7.4 Criterios de clasificación de las luminarias desde la función

Desde el punto de vista de la iluminación del espacio, podemos agrupar las luminarias funcionales según diferentes criterios:



El primero es según la direccionalidad del flujo lumínico hacia el ámbito a iluminar, que contiene los subgrupos siguientes:

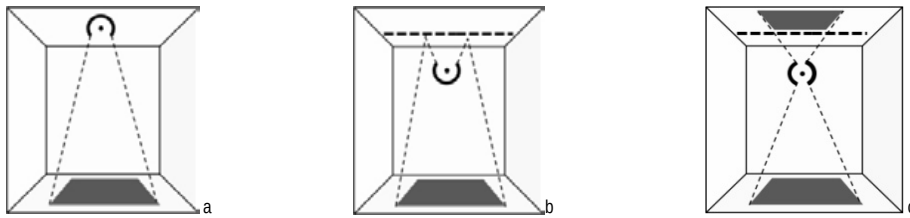


Fig. 5.21
Clasificación de las luminarias según la direccionalidad del flujo lumínico.

- a. Proyección directa
- b. Proyección indirecta
- c. Proyección mixta

El segundo es según la distribución del flujo lumínico emitido, que contiene los subgrupos siguientes:

Observación. Los fabricantes llaman a las de proyección mixta como "directa-indirecta".

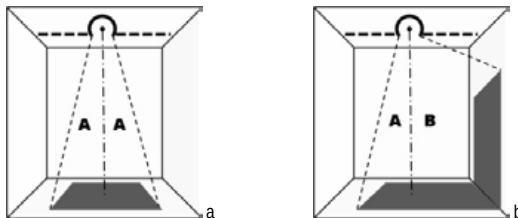


Fig. 5.22
Clasificación de las luminarias según la distribución del flujo emitido.

- a. Distribución simétrica
- b. Distribución asimétrica

Observación: a menudo los fabricantes llaman a las asimétricas como "bañadoras", y frecuentemente encontramos "bañadoras" que no bañan correctamente el paramento receptor. Algunos fabricantes sí que las distinguen.

El tercero es según la forma básica de la superficie emisora de la luminaria.

Una preocupación exclusiva por la forma exterior ha marcado un largo periodo, hasta que la luz en sí misma y con las combinaciones de efectos en el espacio ha adquirido un valor estético propio. En cualquier proyecto se deberán seleccionar las luminarias entre las existentes en la industria, o bien diseñarlas para conseguir el resultado lumínico y estético previsto.

Atendiendo a la forma de la superficie emisora de luz, se clasifican en:



Fig. 5.23
Clasificación de las luminarias según la forma básica de la superficie emisora.

- a. Puntual
- b. Lineal
- c. Superficial
- d. Volumétrica



Normalmente incorporan los accesorios para la fijación al soporte y pueden estar preparadas para empotrar, colgar, orientar, etc. Por eso, a menudo se definen según unas tipologías diferenciadas entre las de interior y las de exterior.

A partir de 2008 las luminarias para leds han adquirido una difusión comercial muy importante, por lo que hay que tener una consideración especial con ellas ya que se presentan como las del futuro inmediato; sustituyen la amplia mayoría de fuentes tradicionales y automáticamente se modifica el concepto de superficie emisora, ya que en la práctica son agrupaciones de diversos puntos de tamaño muy inferior a las puntuales.

Como las fuentes leds son aparatos electrónicos con unas condiciones ópticas y unas necesidades físicas muy especiales, se ha considerado oportuna la inclusión de su tipología específica.

Esta clasificación de las luminarias funcionales según la forma básica de su superficie emisora también nos servirá para clasificar los sistemas lumínicos según su expresión formal y el tipo de luminaria utilizado en su composición.

También es muy habitual que un mismo modelo de luminaria pueda adoptar diferentes posibilidades de colocación en el espacio (gracias a pequeñas modificaciones realizadas por el fabricante).

A continuación pondremos algunos ejemplos significativos de estas luminarias siguiendo las clasificaciones propuestas. Generalmente, todas las luminarias funcionales están diseñadas para colocarse en el espacio según una determinada disposición (que generalmente acostumbra a estar fija), con diversas posibilidades como empotradas, adosadas, suspendidas, con estructuras, de pie, integradas en elementos y montadas en carriles.

5.7.5 Clasificación de las luminarias según la direccionalidad del flujo lumínico

Luminarias de proyección directa

Esta clasificación corresponde a aquellas luminarias que están diseñadas para que su flujo lumínico sea dirigido, de forma directa, hacia el ámbito a iluminar. Es decir, no se producen interacciones del flujo que sale de la luminaria con ningún elemento o superficie.

Una luminaria de proyección directa también se puede utilizar para iluminar un ámbito de forma indirecta, pero hay que decir que esta clasificación propuesta hace referencia a la luminaria en sí y a la aplicación básica para la cual se ha diseñado originalmente.

Dejaremos de lado otras posibilidades, que en cualquier caso producirían otros efectos lumínicos o formas de iluminar áreas, cuyo estudio corresponde al capítulo 6 y a los sistemas lumínicos en concreto.



Todas las luminarias de proyección directa tendrán un diagrama de intensidades concentrado en un determinado ángulo, generalmente inferior a 180° , y pueden llegar a concentrarse en ángulos muy pequeños, de hasta 5° .

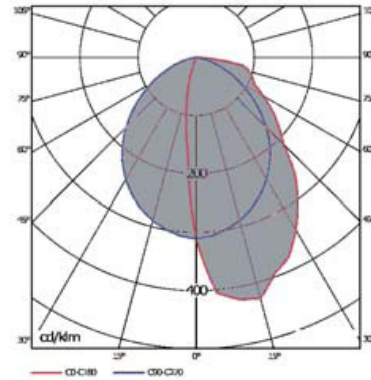
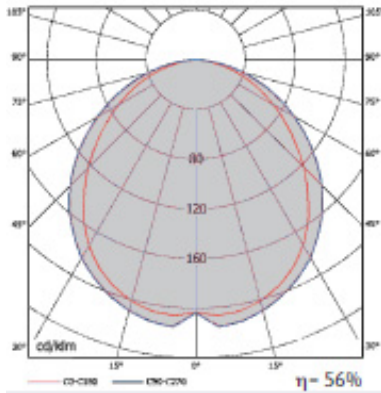


Fig. 5.24
Diagramas polares de
luminarias de proyección
directa.

Algunos ejemplos de luminarias que responden a este grupo son la luminaria Oseris de Erco (Fig. 5.42), diseñada para iluminación museística, y la Zylinder, para la iluminación directa de áreas.

Las principales empresas disponen de series de luminarias fabricadas para ir colocadas en carriles. La flexibilidad en el posicionamiento, junto con la orientación variable de la luminaria, así como las diferentes aberturas del haz luminoso, hacen que estos sistemas sean muy adecuados para aplicaciones donde la movilidad de los puntos a iluminar sea una característica básica. Galerías de exposición, museos y centros comerciales son espacios adecuados para las luminarias de proyección colocadas en carriles.

Luminarias de proyección indirecta

Se trata de luminarias diseñadas para la iluminación indirecta de ámbitos, es decir, mediante la iluminación de una superficie, elemento o paramento que actúa como reflector iluminando al mismo tiempo el ámbito o el espacio.

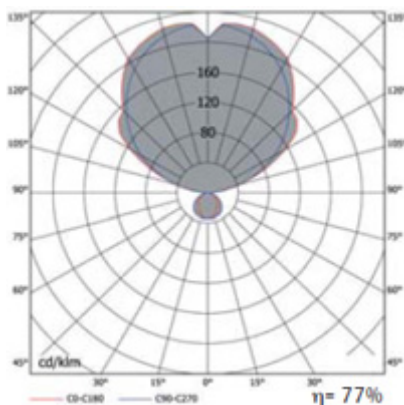


Fig. 5.25
Diagrama polar de
luminaria indirecta.

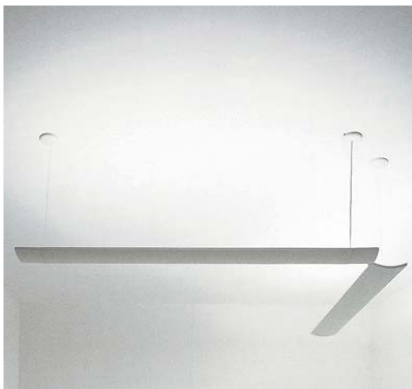


Estas luminarias pueden colocarse de forma muy variada, tanto suspendidas en los techos como adosadas a paredes o empotradas en el suelo y el mobiliario. Siempre proyectarán el flujo lumínico sobre una superficie que lo reflejará sobre el ámbito a iluminar.

Cuando se colocan suspendidas del techo lo hacen a una determinada distancia, dirigiendo el flujo hacia el hemisferio superior, de manera que el techo se convierte en una aparente superficie emisora de luz. La luminaria siempre aparece visualmente “a contraluz” respecto del techo y su presencia se hace muy aparente.

Por ejemplo, el modelo Surf-System, de Artemide (Fig. 5.26), está formado por una luminaria indirecta pensada para la iluminación de áreas de trabajo que pueden adoptar diferentes organizaciones.

Fig. 5.26
Modelo Surf System, de
Artemide.



Las luminarias llamadas bañadoras, en inglés *Wall Washer*, están diseñadas para la iluminación directa y uniforme de paredes desde una colocación preferente en el techo. Ahora bien, en la figura 5.27 tenemos un ejemplo de aplicación de un modelo *Wall Washer* de Erco para la iluminación de un pasillo; se trata de una iluminación indirecta.

Fig. 5.27
Luminaria modelo Wall
Washer, de Erco.





Normalmente son los paramentos del espacio como el techo y las paredes los que se utilizan como reflectores para la proyección del flujo de luminarias indirectas. En ocasiones, también se utilizan elementos reflectores especulares, espejos o superficies ópticas.

Las luminarias adosadas de proyección indirecta son adecuadas para iluminar techos de salas con unas dimensiones no muy anchas, ya que es fácil alcanzar una iluminación superficial de todo el techo desde el perímetro o de las paredes desde el techo. El diseño de las ópticas permite establecer la interdistancia entre ellas y el grado de uniformidad que se quiere obtener.

La luminaria Lingotto, diseñada por Renzo Piano, especialmente cuando realizó el proyecto de rehabilitación del edificio de la automovilística Fiat en Turín el año 1982 para la firma Artemide, tiene una clara vocación de iluminación indirecta de espacios, con un diseño formal muy tecnológico. También puede adoptar otras posiciones como colgada, de pie o móvil.



Fig. 5.28
Luminarias modelo
Lingotto.
Aplicación de pared, de pie
y de techo.

IGuzzini & Renzo Piano.

Luminarias de proyección mixta

Luminarias que proyectan al mismo tiempo su flujo lumínico directamente sobre el ámbito a iluminar y contra una superficie, elemento o paramento que, por reflexión, también ilumina el espacio. Será de componente directo hacia el ámbito a iluminar y directo sobre una superficie reflectora (indirecto sobre el ámbito a iluminar). Como se ha mencionado en 5.3, estas son las denominadas por los fabricantes como “directa-indirecta”.

Cuando el techo es el elemento reflector no pueden estar adosadas sino colgadas, en estructuras propias o adosadas a la pared, incluso pueden estar de pie o encima de las mesas.

Su diagrama polar de intensidades se distribuye tanto en el hemisferio superior como en el inferior, con valores variables. La norma DIN 5040 T2 de 1976 alemana o la UTE C71-121 francesa clasifican las luminarias según los porcentajes de luz dirigida a los dos hemisferios del espacio.



La luminaria Esperit de Artemide representa claramente la voluntad de iluminar en los dos hemisferios del espacio.

Fig. 5.29
Diagramas polares de
luminaria directa-
indirecta.

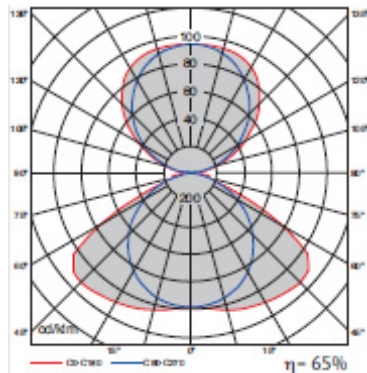


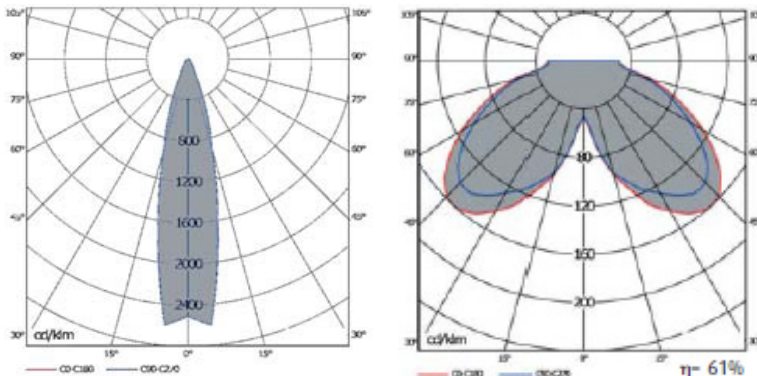
Fig. 5.30
Luminaria Esperit, de
Artemide.

5.7.6 Clasificación de las luminarias según la distribución del flujo lumínico emitido

Luminarias de distribución simétrica

Consideramos que una luminaria de proyección es simétrica cuando todo el flujo lumínico que sale de la luminaria lo hace de acuerdo con un diagrama polar de revolución respecto de un eje de simetría. La mayoría de luminarias puntuales son de proyección simétrica.

Fig. 5.31
Diagramas polares de
luminarias directa y
simétrica.



Las luminarias de proyección llamadas “simétricas”, es decir, que la distribución de intensidades es idéntica en cualquier plano, también se clasifican, según el ángulo de apertura por el cual emiten más del 50 % del flujo total, o los ángulos por donde emiten el 90 % de su flujo total (en el caso de las lámparas con reflector incorporado), de la siguiente forma:

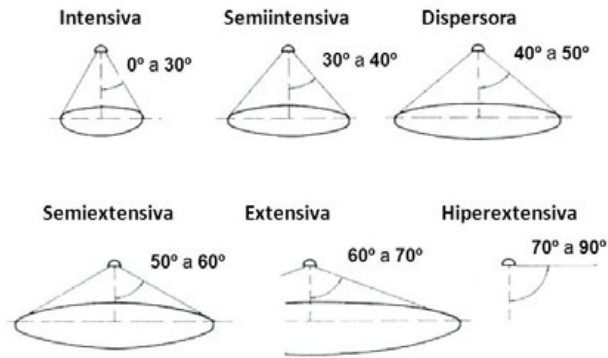


Fig. 5.32
Clasificación de las luminarias de proyección simétrica según el ángulo de apertura.

Para las luminarias lineales equipadas con lámparas fluorescentes lineales, la consideración de distribución simétrica tiene en cuenta el diagrama polar resultante en el plano perpendicular a la lámpara 0-180; y lo consideramos simétrico de acuerdo con el eje vertical. En estas luminarias el control óptico y la distribución del flujo lumínico se hace siempre considerando el plano perpendicular de las lámparas, no el longitudinal, aunque siempre se usa la curva longitudinal (90-270) como expresión de la salida de luz por sus dos extremos.

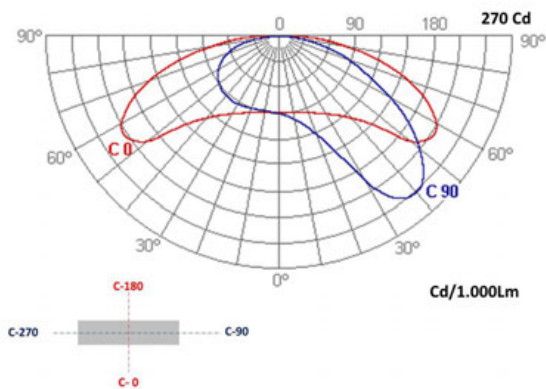


Fig. 5.33
Diagramas polares de intensidades de una luminaria con indicación de los planos 0-180 y 90-270.

Normalmente, en las luminarias simétricas el eje de simetría de los diagramas polares coincide con el eje 0-180°, es decir, el eje perpendicular a la luminaria (el eje vertical, la mayoría de veces).



Fig. 5.34
Luminaria modelo OD-3658 QM Odel-lux.



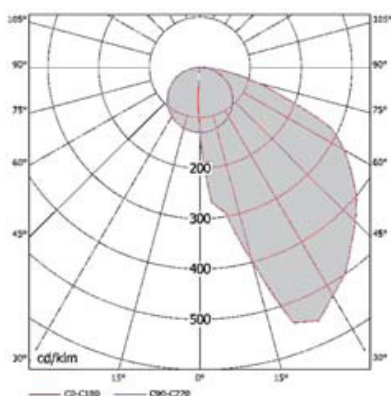
Luminarias de distribución asimétrica

Cuando el flujo lumínico se distribuye de forma no simétrica respecto del eje perpendicular, el resultado es una luminaria de proyección no simétrica.

Un ejemplo son las luminarias llamadas *Bañadoras* o *Wall Washer*, que proyectan el flujo contra la pared de forma que consiguen una iluminación resultante bastante uniforme en el plano vertical.

Otro caso son las luminarias de vialidad, que proyectan el flujo lumínico según dos ejes diferenciados, 0° - 180° y 90° - 270° , correspondientes al eje longitudinal y al eje transversal de la calle.

Fig. 5.35
Diagrama de intensidades asimétrico y vista de la luminaria.
En la foto inferior se puede ver un espacio iluminado con una luminaria asimétrica modelo Wall Washer.
Modelo OD-3931.





5.7.7 Clasificación de las luminarias según la forma básica de su superficie emisora

Las luminarias puntuales

Son las que tienen una forma geométrica regular como un círculo, un cuadrado, un pequeño rectángulo, etc., con unas dimensiones visibles muy reducidas respecto del espacio (generalmente inferiores a 30 cm). Las principales diferencias entre ellas radican en los acabados utilizados, en los ángulos de concentración del flujo y en el tipo de lámparas que utilizan.

La luminaria Rastaf de Artemide (fig. 5.36a) es un ejemplo de forma puntual, circular, para una disposición empotrada en falso techo. Otro ejemplo de luminaria puntual es la Trion de Erco (fig. 5.36c), para una colocación adosada a la pared y para una iluminación dirigida en el hemisferio superior.

Un ejemplo de luminaria puntual para ir colgada del techo es la Berlino de iGuzzini (fig. 5.36b), que dispone de diferentes modelos de proyección directa y mixta. Cuando las luminarias están colocadas en railes electrificados o en estructuras, pueden adoptar posiciones diferentes en el espacio, de manera que se adaptan más fácilmente a las necesidades lumínicas, gracias a la flexibilidad y movilidad que el soporte les ofrece, como es el caso de la luminaria Le Perroquet (fig. 5.36d).



Fig. 5.36
Diferentes luminarias
con superficie
emisora de forma
puntual.

a. Modelo Rastaf,
Artemide.

b. Modelo Berlino,
iGuzzini.

c. Modelo Trion,
Erco.

d. Modelo Le Perro-
quet, iGuzzini.

Las luminarias lineales

Son aquellas en que una de las dimensiones es muy superior a la otra (puede servir de referencia una relación entre los lados visibles mayor de 5 en 1). Normalmente está equipadas con lámparas lineales, tubos fluorescentes, de neón o incandescentes lineales, y también pueden estar equipadas con leds y lámparas de xenón. Generalmente se diseñan para la iluminación de ámbitos superficiales y no de elementos puntuales.

Pueden tener una distribución simétrica o asimétrica. La luminaria LINEUP de iGuzzini (fig. 5.37a) es un ejemplo de luminaria lineal para una disposición empotrada en falso techo, con diagramas polares simétricos o asimétricos. En la misma línea está la luminaria de la serie Talo de Artemide (fig. 5.37b), con opción de



colocación colgada del techo y distribución del flujo directo e indirecto, siempre con diagramas polares simétricos. Con la opción de colgar del techo o de empotrarse, y con la posibilidad de suministrarse en longitudes especiales, también tenemos la luminaria de la empresa catalana Grupo Lledó, OD-2971/7 (fig. 5.37c).

Fig. 5.37
Diferentes luminarias
con superficie emisora
de forma lineal.

- a. Modelo Lineup,
iGuzzini.
- b. Modelo Talo,
Artemide.
- c. Modelo OD-2971/7,
Grupo Lledó.



Las luminarias superficiales

También tienen una forma geométrica regular (círculo, cuadrado, rectángulo o paralelepípedo en general) con unas dimensiones visibles superiores a 30 cm (puede servir de referencia por las proporciones rectangulares inferiores de 3 a 1 entre sus lados). Cuando el área sobre la cual proyectan su flujo es amplia y, en conjunto, el área que deben iluminar coincide o se aproxima a toda el área del local, las luminarias sirven para iluminar áreas y no puntos concretos.

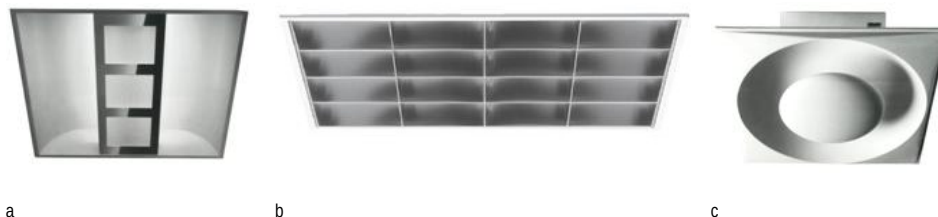
Estas luminarias son adecuadas para espacios de trabajo como oficinas y aulas, pero también para espacios comerciales y salas de uso público, por ejemplo. Pueden tener formas circulares de diámetros superiores a las concentradoras, por el hecho de estar equipadas con lámparas de fluorescencia o descarga, y también formas rectangulares o cuadradas, a menudo con medidas proporcionales en los falsos techos de placas prefabricadas.

La luminaria Bolero de Artemide (fig. 5.38a) es un ejemplo de luminaria superficial cuadrada para una disposición empotrada en falso techo. A menudo las dimensiones se ajustan a sistemas modulares y prefabricados de placas de falso techo. La luminaria del grupo Lledó OD-3581 Plus (fig. 5.38b) dispone de lamas para el control del flujo y la reducción del deslumbramiento y tiene unas dimensiones rectangulares y una disposición empotrada.

La luminaria Solar de Artemide (fig. 5.38c) es un ejemplo de luminaria superficial para una disposición empotrada y con superficie emisora de forma circular.

Fig. 5.38
Diferentes luminarias
con superficie emisora
de forma superficial.

- a. Modelo Bolero,
Artemide.
- b. Modelo OD-3581
Plus, Lledó.
- c. Modelo Solar,
Artemide.





La luminaria OD-D6550 (fig. 5.39a) está diseñada para adoptar una disposición colgada del techo con una forma rectangular. También encontramos luminarias superficiales con colocación de pie o de sobremesa, que están asociadas a la iluminación de zonas o áreas reducidas. Son adecuadas para enfatizar zonas o poner un acento luminoso en el mobiliario y también para iluminar mesas y zonas de lectura. No es habitual utilizar este tipo de luminarias para iluminar zonas o áreas extensas como oficinas, aunque en algunos casos, como en despachos reducidos, es una posibilidad para iluminar las mesas de trabajo. También pueden ser de proyección directa o mixta.



Fig. 5.39
Diferentes luminarias
con superficie emisora
de forma superficial.

a. Modelo Y Light,
Grup Lledó.

b. Modelo D-6550,
Artemide.

c. Modelo Chocolat,
iGuzzini.

Las luminarias volumétricas

Son aquéllas que emiten luz en todas direcciones y aparecen en el espacio como volúmenes de luz claramente visibles.

En este apartado se podrán incluir muchas de las luminarias de interiores analizadas en la primera parte del capítulo, así como muchas de especiales o diseñadas para un espacio concreto. Preferentemente adoptarán una disposición colgada del techo o de pie y no podrán estar empotradas.

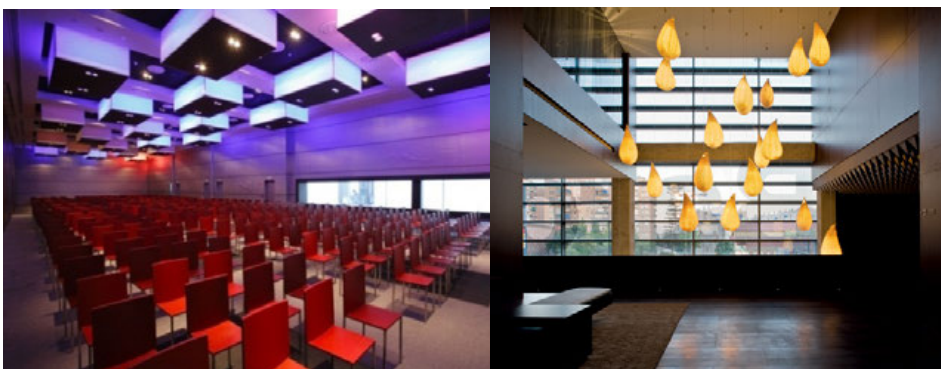


Fig. 5.40
(Izquierda) Luminaria
volumétrica. Hotel
Barceló, Málaga. Salón de
Actos.
(Derecha) Vestíbulo.
Jordi Torres.



Fig. 5.41
(Superior) Luminaria
volumétrica Horn Floor,
diseñada por Ayala
Serfati.
(Inferior) Luminaria
volumétrica en la
Biblioteca de Berlín.
Hans Scharoun,
arquitecto.



Las luminarias propuestas por el arquitecto Jordi Torres en el Hotel Barceló de Málaga son un ejemplo de luminarias volumétricas. También sirven de ejemplo las luminarias de Hans Scharoun colocadas en la Biblioteca de Berlín, como la luminaria líquida diseñada por Harri Koskinene o la Taraxacum de Achille Castiglioni y muchas más. La luminaria Horn Floor diseñada por Ayala Serfati es otro caso de volumétrica, que está destinada a ir colocada de pie en el suelo (fig. 5.41).

Como resumen de este capítulo hay que indicar que resulta del todo imposible organizar todas las luminarias del mercado de la luminotécnica dada su enorme cantidad así como por la constante aparición de nuevos modelos y propuestas. Esta clasificación es un primer intento de poner un poco de orden en las clasificaciones o, mejor dicho, “denominaciones” actuales de las luminarias por parte de los fabricantes, a los que animamos a sumar esfuerzos por aproximarse a una propuesta única y válida, que sin duda ayudará mucho a los estudiantes, arquitectos, diseñadores y profesionales de la iluminación a la hora de seleccionarlas para elaborar sus proyectos.



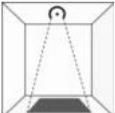
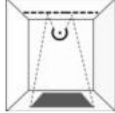
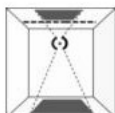
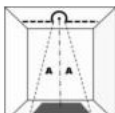
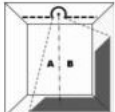
Grupo	Subgrupo		
Según la direccionalidad del flujo	Proyección directa		 Oseris d'Erco
	Proyección indirecta		 Lingotto
	Proyección mixta		 Esprit
Según la distribución del flujo	Distribución simétrica		 Le perruquet
	Distribución asimétrica		 Wall Washer

Fig. 5.42
Tabla propuesta de
clasificación de las
luminarias funcionales.



Fig. 5.43
Tabla de clasificación
de las luminarias
según la forma básica
de la superficie
emisora.

Grupo				
 Puntual				
 Lineal				
 Superficial				
 Volumétrica				

5.7.8 Las luminarias de diseño de autor

Arquitectos y diseñadores han creado luminarias desarrollando trabajos y experimentaciones singulares que, por sus características físicas y lumínicas, son difíciles de clasificar. Normalmente siguen corrientes artísticas, arquitectónicas o estilos personales en los que se enmarcan los autores.

Más que luminarias se trata de objetos que incorporan la luz como pretexto, muchas actualmente se consideran obras de arte y la mayoría son el resultado de producciones limitadas o únicas. La iluminación del espacio es un hecho subsidiario y circunstancial, la percepción se concreta en la visión del objeto como si fuera una obra de arte, incluso apagada.

La poética, la metáfora, la crítica y la ironía serán algunos de los argumentos utilizados para su diseño y en pocas ocasiones lo es la necesidad de iluminar el ámbito o espacio al que pertenece. El autor analiza la obra como un elemento ajeno al espacio, apto para posicionarse en cualquier lugar.



5.7.9 La forma de la luminaria como lenguaje

Considerar la luminaria como un objeto físico en el que la forma es el principal objetivo del diseño es uno de los primeros planteamientos. La utilización de materiales y su composición define formalmente el objeto y la luz es un elemento ocasional, casual y de segundo orden. Las luminarias producidas dentro del *art nouveau* y el *art déco*, coincidiendo con la aparición de la iluminación eléctrica, son un claro ejemplo.

No obstante, a partir de los experimentos creativos de la Bauhaus se empezará a forjar una concepción moderna del diseño de las luminarias que irá íntimamente ligada a la creación arquitectónica. Siguiendo la idea de “diseño total”, los arquitectos que iniciaron el movimiento moderno en Europa y América diseñarán las luminarias siguiendo los mismos criterios formales utilizados en sus obras, también aplicados al mobiliario y a la ornamentación interior.

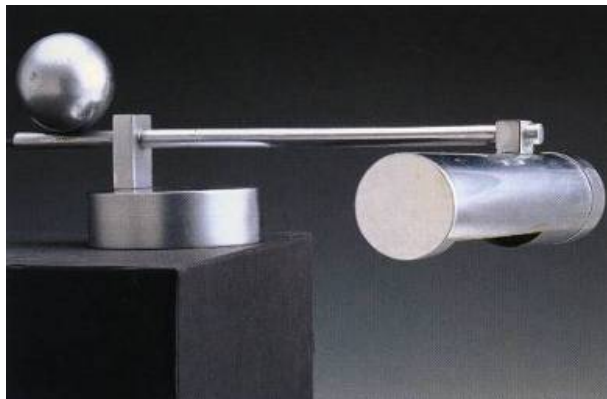
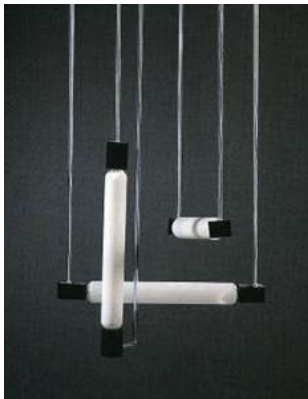


Fig. 5.44
Luminarias con lenguaje formal neoplasticista.

(Izquierda) Luminaria de suspensión. 1922, Gerrit Rietveld.

(Derecha) Luminaria para piano. 1927, J.J.P. Oud.

5.7.10 La luminaria como metáfora

La luminaria, como objeto formal y como productor de luz, permite utilizar el discurso de la metáfora para definir sus creaciones; estaría relacionado con la obra de artistas conceptuales como Bruce Nauman, donde la luz y el mensaje son metáforas plásticas de una misma realidad.

¿En especial la obra de Ingo Maurer recoge piezas que se prestan a este formato conceptual y metafórico, obras como *Porca Miseria*, *Flamingo* o *Wo bist du... Edison?*. Esta última es una luminaria que utiliza hologramas para crear la imagen de una bombilla estándar de Edison. Es la metáfora de la luz que crea el objeto que la produce, un homenaje a Edison como creador de la primera lámpara eléctrica realizada con la propia luz, desde una abstracción conceptual.



Fig. 5.45
Luminaria como metáfora.
(Izquierda) ¿Wo bist du Edison? 1997, Ingo Maurer.
(Derecha) Light shade 1999.



5.7.11 Las luminarias de autor según la iluminación del espacio

Sin duda, todas las luminarias producen una determinada iluminación del espacio, en cambio no es habitual intentar clasificar las luminarias de autor según ésta. Considerando los dos aspectos siguientes, la forma de distribución del flujo lumínico en el espacio y los materiales utilizados atendiendo a su afectación con respecto al color de la luz de las lámparas, tendremos la clasificación de la tabla siguiente.

Fig. 5.46
Tabla de clasificación de las luminarias según la iluminación del espacio

Clasificación de las luminarias según la iluminación del espacio	
Grupo	Subgrupo
Difusión translúcida	Envolvente translúcida de cristal sin decorar
	Envolvente translúcida de cristal decorado
	Envolvente translúcida de materiales orgánicos
	Envolvente translúcida de materiales sintéticos
Difusión controlada por formas ópticas	
De proyección directa	Proyección en el espacio
	Proyección en un área concreta
De proyección directa en reflectores	En reflectores fijos
	En reflectores móviles
De proyección de sombras y colores	



La difusión translúcida

Consiste en interponer una superficie envolvente que permite ocultar la visión de la lámpara y difuminar el flujo lumínico en todo el espacio; como si se tratara de un amplificador superficial de las fuentes. La superficie envolvente tiene un tamaño mayor que la lámpara y un grado de transparencia no muy elevado, hecho que reduce la luminancia o brillo de la luminaria y, por lo tanto, el deslumbramiento que esta provoca.

Las luminarias de difusión translúcida se agrupan, según el tratamiento del envolvente, en **luminarias de envoltorio de cristal translúcido sin decorar** y **luminarias de envoltorio de cristal translúcido decorado**. Es importante esta distinción por lo que representa en la iluminación ambiental y la percepción visual: la presencia de colores transforma las tonalidades cromáticas propias de la luz eléctrica incandescente y condiciona la percepción cromática resultante de los materiales y del espacio.

Luminarias de envoltorios de cristal translúcido sin decorar

De la misma forma que las *camisas de gas* mejoraron la luminosidad y redujeron la molestia de la visión directa de la llama, las pantallas translúcidas mejoran la luz producida por las primeras bombillas incandescentes. Los cristales, tratados de forma diversa (grabado, opalino, gravado al chorro de arena, vaselina, etc.) y materiales como la porcelana, la cerámica, el alabastro o el mármol permiten controlar los efectos lumínicos planteados.

Son luminarias de cualidades altamente decorativas, pero de escasa preocupación por el control de la luz producida. Adoptan formas diversas y múltiples posiciones de colocación en el espacio como de sobremesa, de techo, de pie o apliques murales (clasificación que continúa hasta hoy día, siendo válida para su identificación comercial).



a



b



c

Fig. 5.47
Luminarias de envoltorios de cristal translúcido sin decorar.

a. Luminaria ME1.
1923-1924,
Jucker i Wagenfeld.
Bauhaus.

b. Luminaria Cestello,
madera de cedro y
pantalla opal blanca.
1964,
Miguel Milà.

c. Luminaria Taraxacum,
cristal translúcido. 1988,
Achille Castiglioni.



Desde el punto de vista de la iluminación producida en el espacio, las luminarias de difusión con cristal translúcido no modifican el color de la luz producida por la bombilla (generalmente de incandescencia color cálido 1.800 – 2.100 °K, aunque últimamente también con bombillas de fluorescencia compacta).

La difusión de la luz se produce mediante el fenómeno de la “transmisión” a través del material utilizado, y depende de la forma del envoltorio, que generalmente será puntual, cilíndrico y/o lineal.

El tamaño no es muy grande a causa del tamaño reducido de la propia bombilla, aunque la combinación de múltiples pantallas puede crear ejemplos de gran tamaño.

Luminaria de envoltorio de cristal translúcido decorado

La decoración de las envoltentes de cristal hace que la iluminación del espacio se vea modificada por el cromatismo de las pantallas, que actúan como un filtro de color y varían el color de la luz emitida por la lámpara, que impregna definitivamente el espacio.

El aspecto ornamental de las luminarias de interior hace que la visión de la luminaria tenga un componente perceptivo predominante sobre la iluminación del espacio. No es hasta la década de 1960 que los efectos lumínicos empiezan a predominar sobre la imagen física de las luminarias.

Las diferentes técnicas de tratamientos decorativos, los materiales utilizados, las lámparas, junto con las formas y temáticas decorativas son los aspectos que diferenciarán este tipo de luminarias.

Fig. 5.48
Luminarias de
envoltorios de cristal
translúcido decorado.

a. Luminaria Wisteria. 1920, Émile Gallé.

b. Luminaria de techo. 1946, Gio Ponti.

c. Luminaria Modelo nº 66-051. 1961, Tapio Wirkkala.



a



b



c

Luminarias de envoltorio de materiales orgánicos

Mientras que *el art nouveau* y *el art déco* exploraron las posibilidades creativas de los metales nobles, el cristal y los mármoles translúcidos, los movimientos posteriores inauguraron la vanguardia rompiendo con los conceptos artísticos



anteriores. Los movimientos posteriores experimentarán la utilización de nuevos materiales para incorporarlos al diseño de luminarias, con las posibilidades formales y lumínicas que eso representará.

La utilización de materiales naturales como el papel y la madera en las pantallas de luminarias marca el inicio de la nueva experimentación, que no solo afecta los materiales no utilizados en la construcción de luminarias, sino también aspectos de funcionalidad, de versatilidad, de producción y seriación.



a



b



c

Fig. 5.49
Luminarias de envoltorios de materiales orgánicos.

a. Luminaria de sobremesa, Bambú. 1995. Fernando y Humberto Campana.

b. Luminaria de suspensión. 1954, José Antonio Coderch.

c. Luminaria Morning Glory. 1994, Ayala Sarfaty.

Luminarias de envoltorio de materiales sintéticos

Durante el periodo de la segunda posguerra, la experimentación con nuevos materiales se potencia y se traslada al campo del diseño, especialmente a las luminarias. Se introducen materiales nuevos como los plásticos y sus derivados para sustituir las pantallas de materiales tradicionales como el cristal, alabastro, cerámica etc. La experimentación con nuevos materiales se inicia con el interés especial mostrado por el movimiento constructivista y la Bauhaus, que utilizan el aluminio, el acero, los plásticos y sus derivados para la fabricación de luminarias. En la década de 1960, con el *pop art* norteamericano, el *minimal art* y el *arte povera*, sus principales representantes exploran las posibilidades estéticas de los nuevos materiales. La industria evoluciona hacia la seriación y producción mecánica, mientras que los años de la depresión acentúan la preocupación por la reducción de costes y la simplificación de los procesos de fabricación.



a



b



c

Fig. 5.50
Luminarias de envoltorios de materiales sintéticos.

a. Luminarias de la serie Brezza. 2000, Andrea Anastasio.

b. Luminaria Taraxacum. 1960, Achille & Pier Giacomo Castiglione.

c. Luminaria Styrene. 2002, Paul Cockshedge.



Luminarias de difusión controlada por formas ópticas

La difusión controlada distribuye el flujo de la lámpara utilizando los fenómenos de la reflexión superficial, en ocasiones combinada con una transmisión parcial de la luz en el espacio de forma no controlada o directa que, en la mayoría de los casos, evita la visión directa de la lámpara y el deslumbramiento. En este caso, el comportamiento lumínico del material y las posibilidades de darle formas complejas son los factores que determinarán su elección.

El tamaño del espacio u objeto a iluminar condiciona el tamaño de la luminaria, la cantidad a colocar y la posición; los materiales utilizados le conferirán aspectos cromáticos que modificarán la percepción final del ambiente mientras que las formas físicas se adaptarán a las tendencias estéticas del momento.

Uno de los principales problemas de las luminarias con lámparas de filamento incandescente era el deslumbramiento producido por su visión directa. Las luminarias de difusión translúcida resuelven parcialmente este problema pero no permiten una distribución controlada del flujo luminoso.

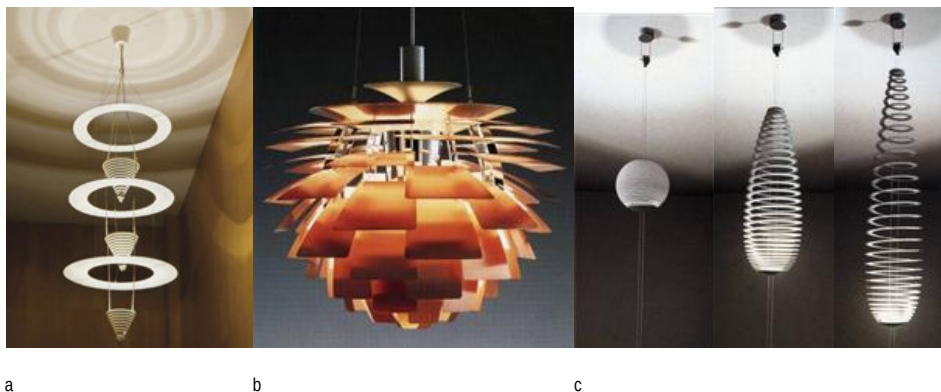
Estos dos aspectos, control del deslumbramiento y control de la distribución, son las premisas básicas de los diseños de luminarias que agrupamos bajo el nombre de luminarias de difusión controlada por las formas ópticas.

La experimentación actual continúa adelante, y considera no solo las cualidades propias de los materiales una vez contruidos, sino que se tienen en cuenta todos los procesos relacionados con ellos, construcción, deformación, destrucción, etc.

Pero sin ningún tipo de duda podemos decir que el arquitecto y diseñador Poul Henningsen es el máximo exponente en la experimentación de esta tipología de luminarias.

Fig. 5.51
Luminaria de envoltorios
de materiales sintéticos.

- a. Luminaria colgada,
Eileen Gray.
- b. Luminaria Artichoke,
Poul Henningsen.
- c. Luminaria Ge-off
Sphere, Ron Arad.





Luminarias de proyección directa

Las luminarias de proyección producen una iluminación totalmente diferente en el espacio que las de difusión. Sus diseños buscan el control del flujo de las lámparas y su distribución en una dirección determinada y bajo ángulos específicos de concentración.

Existe una relación mucho más definida entre la luminaria y el espacio que ilumina, lo que afecta a los valores lumínicos característicos como el nivel de iluminación y la uniformidad, también el modelado de figuras y la definición de las sombras. Según esto, establecemos dos grupos de luminarias de proyección: las de **proyección en el espacio** y las de **proyección en el ámbito de trabajo**. Las primeras buscan una iluminación localizada del espacio de forma directa proyectando un haz amplio de luz, mientras que las segundas buscan la iluminación intensa de un ámbito concreto, generalmente asociado a una actividad "de trabajo" donde la percepción global del espacio resulta secundaria.

Luminaria de proyección en el espacio

Cuando aparecieron las primeras lámparas de arco, la fuerte luminosidad que producían se tenía que dirigir a las zonas a iluminar; por eso se diseñaron pantallas reflectoras colocadas en la parte superior de las lámparas cuando se pretendía dirigir la luz hacia abajo o al revés.

La especialización y tecnificación de los productos pensados para una integración arquitectónica da lugar a una gama de luminarias de proyección en el espacio muy variada, tanto de proyección directa como indirecta y mixta. La iluminación del espacio con valores de gran uniformidad y globalidad comporta la utilización de un gran número de luminarias que tienen una fuerte incidencia en el espacio y que requieren una distribución del flujo lumínico de forma concreta.



Fig. 5.52
Luminaria de proyección
en el espacio.

a. Luminaria Modelo HE
78 B. 1926, Marianne
Brand, Bauhaus.

b. Luminaria halógena.
1970, Joe Colombo.

c. Luminaria The Radial
system, Iguzzini.



Son muchos los fabricantes que desarrollan una línea de producto pensado exclusivamente para la iluminación de zonas o áreas de superficie extensa; las analizamos más adelante cuando hablamos de las luminarias de “integración arquitectónica”, en el sentido de que están pensadas para ir empotradas en los elementos arquitectónicos como techos, pavimentos, mobiliario y paredes.

Luminarias de proyección en el ámbito de trabajo

Desde sus inicios, la relación entre la lumbrera y la zona de trabajo ha condicionado las propuestas y diseños a lo largo del tiempo. Toda su evolución está relacionada con cambios para conseguir mejorar la iluminación, la flexibilidad y la calidad y confort de los usuarios. Lentamente se producen inventos que van en la línea de mejorar y perfeccionar, a la vez que la relación de proximidad y la forma de colocación también evolucionan considerablemente.

Fig. 5.53

Luminarias de proyección en el ámbito de trabajo.

a. Luminaria Desk Light. 1927, Edouard-Wilfred Bouquet.

b. Luminaria Mod N° 1208 Anglepiose. 1933, George Carwardine.

c. Luminaria Tolomeo. 1986, Michele de Lucci.

d. Luminaria Serie Eclipse. 1986, Mario Bellini.



Lumínicamente, estos tipos de luminarias se caracterizan por disponer de pantallas que rodean las lámparas y concentran el flujo lumínico en la zona de trabajo, normalmente una mesa de despacho, de estudio o taller. El nivel de iluminación viene determinado por las características de la lámpara y por la distancia o separación respecto a la mesa, siendo normalmente la zona iluminada de dimensiones reducidas.

Luminarias de proyección directa con reflectores

La utilización de reflectores incorporados que distribuyen el flujo según la geometría y las características materiales del reflector es la característica lumínica de este grupo de luminarias.

Visualmente, la máxima luminancia se da en el reflector y este aparece contrapuesto a las superficies que lo rodeen, mientras que el reflector tiene la misma consideración lumínica que las superficies emisoras de difusión. La visión de la lámpara queda normalmente oculta y reduce los problemas de deslumbramiento. La luminaria adquiere así una mayor importancia como objeto luminoso por el hecho de tener una parte fuertemente iluminada.

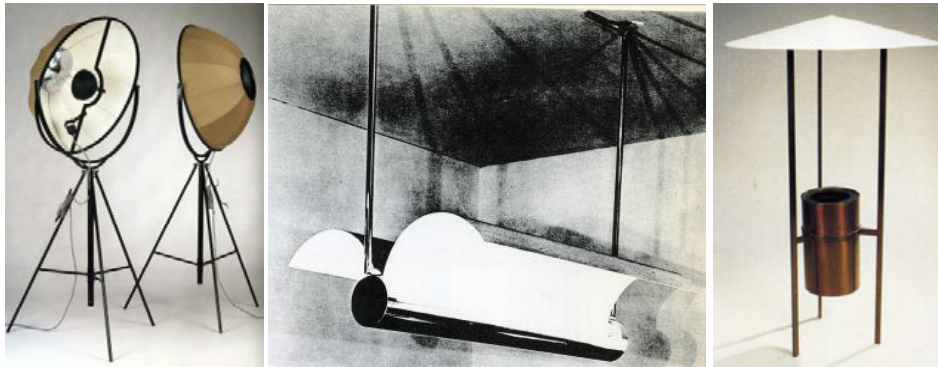


Inicialmente, los reflectores eran fijos y mantenían permanente el efecto lumínico. La posibilidad de modificar la posición y los ángulos permite conseguir una variedad de efectos lumínicos así como una mayor diversidad y una personalización lumínica.

En general, las luminarias de proyección con reflectores ocupan un sector altamente decorativo, aunque los últimos años se han utilizado para iluminar espacios de gran altura como aeropuertos y centros comerciales, fachadas y también en iluminación urbana, como la luminaria Lampeluna, de Elías Torres.

Luminarias de proyección con reflectores fijos

Uno de los primeros en trabajar el diseño de luminarias con reflectores es Mariano Fortuny i Madrazo. Su interés por la iluminación escenográfica le lleva a investigar los sistemas de iluminación indirecta para reducir los efectos de la visión directa de las lámparas de arco. En 1903 diseña una luminaria de mesa que dispone de dos pantallas de latón cromadas. La inferior oculta la lámpara y proyecta la luz contra la superior, de mayor tamaño, que distribuye la luz de forma inferior sobre la superficie horizontal de la mesa.



a

b

c

Fig. 5.54
Lumbreras de proyección con reflectores fijos.

a. Luminaria Fortuny floor light. 1907, Mariano Fortuny i Madrazo.

b. Luminaria de suspensión. 1929, René Herbst.

c. Luminaria de tres patas. 1953, Philip Jonson & Richard Kelly.

Luminarias de proyección con reflectores móviles

Cuando las luminarias permiten variar la relación entre el reflector y la lámpara es posible proyectar la luz en direcciones diferentes y producir iluminaciones singulares y muy variadas sin mover las luminarias de lugar.

La movilidad de los reflectores aproxima la luminaria al usuario y le permite disfrutar de libertad y personalizar los efectos. Esta circunstancia condiciona la posición del objeto en zonas de fácil accesibilidad, normalmente en mesas o apliques de pared accesibles, y descarta las luminarias de techo. La mayoría de luminarias de esta clasificación son de tamaño pequeño y sus diferencias vienen dadas por la forma de los reflectores y los mecanismos de movilidad utilizados.



Fig. 5.55

Luminarias de proyección con reflectores móviles.

a. Luminaria Claritas serie floor Light. 1946, Vico Magistretti & Mario Tedeschi.

b. Luminaria Modelo N° T-3-C. 1951, James Harvey Crate.

c. Luminaria Gibigiana. 1980, Achille Castiglioni.



a



b



c

Luminarias de proyección de sombras y luces de colores

A partir de la década de 1980, empieza a incorporarse a la luz la proyección de sombras combinadas y de manchas cromáticas. El arquitecto Mario Botta diseña la luminaria Schogun (Fig. 5.56) y la Fidia, que siguen el lenguaje formal de sus edificios, compuestos con franjas de colores blanco y negro, proyectando franjas de luz y sombra. A nadie se le escapa la similitud entre el proyecto de la Casa del Libro, Imagen y Sonido de Villeurbanne, en Francia, un proyecto de 1984, y la lumbrera Schogun de 1986.

Estas luminarias de factura totalmente artesanal, realizadas con bombillas simples decoradas, proyectan manchas de colores sobre el techo o las paredes produciendo un efecto multicolor en el espacio (ver la figura 5.57 izquierda). En cambio, en la figura 5.57 derecha se muestran los efectos de manchas de luz del mismo color siguiendo ritmos y formas geométricas bien definidas.

La tabla 5.6 muestra resumida la clasificación de las luminarias de autor según su diseño como objeto que interactúa lumínicamente con el espacio contenedor.

Fig. 5.56

(Izquierda) Casa del Libro, Imagen y Sonido de Villeurbanne. Mario Botta, 1985.

(Derecha) Luminaria Schogun. 1986, Mario Botta. Artemide Pregna-Milanesa, Italia.

Estructura de metal esmaltado con difusores giratorios de lámina metálica perforada, de 59,5 cm de altura.



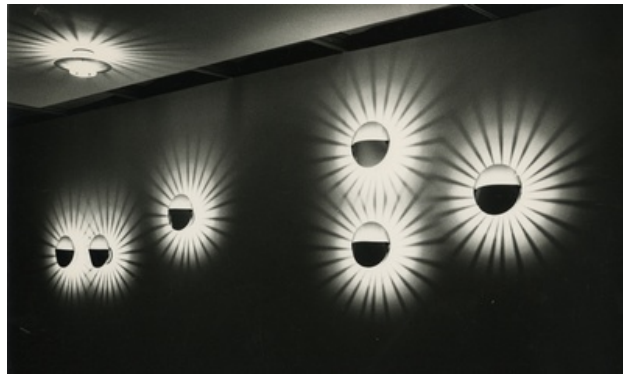


Fig. 5.57
(Izquierda) Luminaria Antino .1996, Hannes Weststein.
(Derecha) Luminaria Giovi. 1982, Achile Castiglioni, Flos.

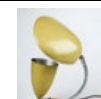
Grupo	Subgrupo			
Difusión translúcida				
	Envolvente translúcida de vidrio sin decorar Modelo ME27, 1926. Marianne Brand (Bauhaus)	Envolvente translúcida de material orgánico Luminaria Coderch 1954		
Difusión controlada por formas				
	Difusión controlada por las formas luminaria PH Louvre. Paul Henningsen	luminaria VP globe 1969. V. Phanton		
De proyección directa en el area				
	Proyección en el espacio luminaria serie lingotto, 1990, Renzo Piano	Proyección en ámbitos concretos luminaria de sobremesa Anywhere. 1952 . Greta Grosman		
De Proyección a reflectores				
	Fijos luminaria de sobremesa. 1950, Michel Bobrik	Móviles		

Tabla 5.6
Tabla de luminarias de autor según su diseño como objeto que interactúa lumínicamente con el espacio.



5.7.12 Las luminarias según su tipología o denominación comercial

Desde el punto de vista tipológico y comercial, existe una clara diferenciación entre las luminarias de aplicación en el interior y las de aplicación en el exterior.

Tipologías de luminarias de interior

Ha sido muy habitual que las empresas fabricantes de luminarias las clasifiquen según criterios comerciales, de aplicación o de simple colocación en el espacio. Estas clasificaciones no son consensuadas pero acostumbran a tener numerosas coincidencias. A título indicativo recogemos las denominaciones más utilizadas.

1. Apliques
2. Adosadas a techo
3. De suspensión, componibles y estructuras
4. De pie
5. De sobremesa
6. Empotrables en cielo raso (*downlight*)
7. Regletas y pantallas de fluorescencia
8. Proyector comerciales deslizantes sobre carril de 230 v o 12 v
9. Industriales, proyectores de descarga
10. Versátiles y especiales: diseños especiales, de múltiple funcionalidad, fibra óptica, leds, etc.

En la tabla 5.6 recogemos algunas luminarias según este criterio de clasificación:

Tabla 5.7.
Tabla de luminarias de interior según una clasificación habitual de los fabricantes, que responde a la colocación en el espacio.





Tipologías de luminarias de exteriores

Como en las de interior, las luminarias de exterior tienen diferentes denominaciones, en este caso con un mayor consenso y claridad, referidas a aspectos posicionales y de aplicación, como los siguientes:

1. Columnas y báculos
2. Candelabros y torres
3. Proyectores
4. De empotrar, murales y de suelo
5. Balizas
6. Especiales y de alto diseño
7. Con leds

En la tabla 5.8 recogemos algunas luminarias según este criterio de clasificación:



1 Columnas y báculos



2 Candelabros y Torres



3 Proyectores



4 De empotrar, murales y de suelo

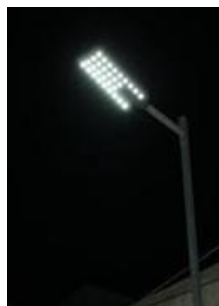
Tabla 5.8
Denominaciones
comerciales de las
luminarias de exterior.



5 Balizas



6 Especiales y de alto diseño



7 Con leds



7 Con leds



5.8 Las lámparas

Son los elementos productores de luz, autónomos o dependientes de un suministro de energía, normalmente electricidad, y con posibles accesorios auxiliares para el funcionamiento y el control de la emisión de luz.

Considerando la manera como se genera la luz, es decir, su radiación electromagnética con longitud de onda comprendida en el campo visible del espectro, podemos describir las principales lámparas de incandescencia, de descarga a baja presión, de descarga normales y de algunas especiales.

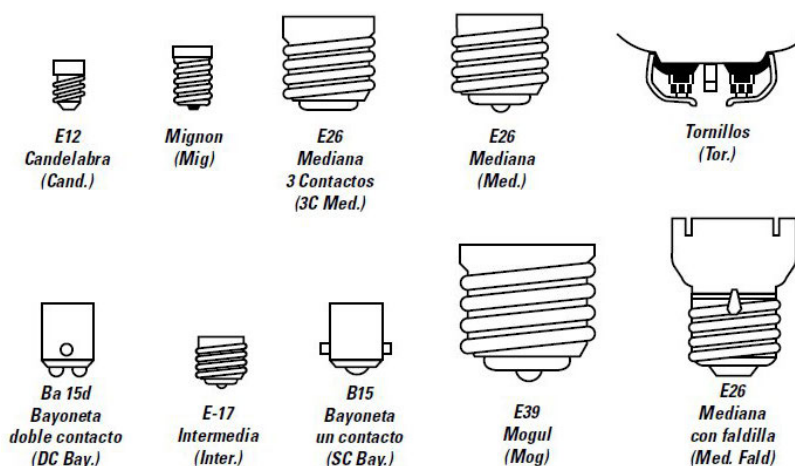
Todas las lámparas tienen unas características propias y unos valores específicos de determinados conceptos que las definen. Las podemos clasificar en características físicas, lumínicas y eléctricas.

5.8.1 Características físicas

Son aquéllas que hacen referencia a la forma de las lámparas, así como a los materiales que las forman:

- La forma geométrica de la propia lámpara
- La forma de la superficie emisora de luz (puntual, lineal y superficial)
- Las dimensiones de la bombilla
- La posición adecuada para el funcionamiento
- Los materiales de la bombilla y de los revestimientos
- Las bases para la conexión
- Las condiciones ambientales y de seguridad

Fig. 5.58
En casi todas las familias
podemos encontrar
lámparas con formas
similares.



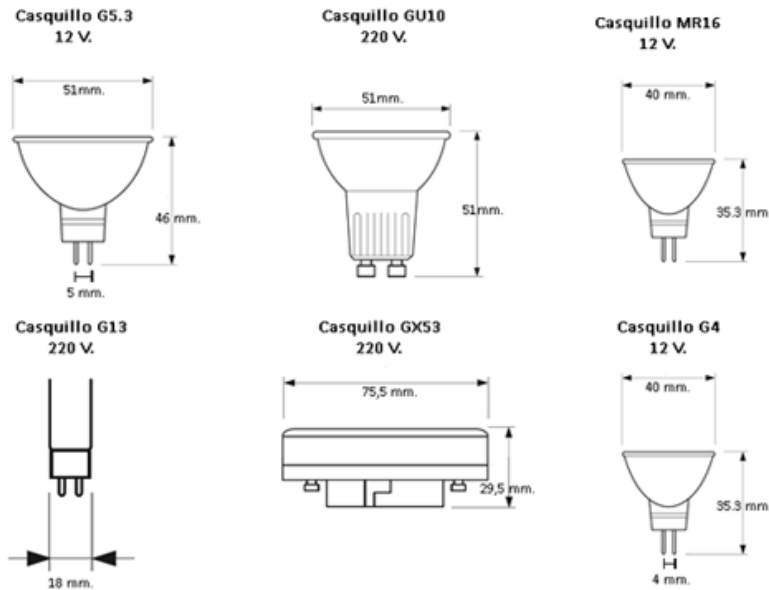


Fig. 5.59
Diferentes tipos de bases
de conexión de las
lámparas.

5.8.2 Características lumínicas

Son las que definen las características de la luz emitida.

- La forma de emitir el flujo luminoso, el ángulo de radiación (caso de reflectoras), la simetría o asimetría volumétrica, etc.
- La vida máxima, VM, media, V_m , y útil, V_u , así como la depreciación en el tiempo de funcionamiento, % ϕ al límite de la V_u
- Flujo emitido ϕ (lúmenes) nominal o teórico
- Eficacia de la fuente $e = \text{lm} / \text{W}$
- Espectro cromático de la emisión
- Temperatura de color (media) de la emisión K (Kelvins)
- Índice de rendimiento cromático, IRC
- Coeficiente de depreciación luminosa

Eficacia y flujo nominal

Actualmente, después de la eliminación comercial de las incandescentes estándar y por familias, se considera que las de menor eficacia son las incandescentes halógenas, seguidas de las fluorescentes compactas, algunos fluorescentes lineales, las de halogenuros metálicos, vapor de mercurio, leds y vapor de sodio AP, en este orden, y con valores desde los 21 a los 190 lm/W.

Hay que recordar que por una directiva europea las incandescentes estándar ya solo se admiten en el uso doméstico y hasta 60 W.



La eficacia de la lámpara es diferente para cada tipo y variable según la potencia y calidad cromática de cada modelo, y se expresa como los lúmenes emitidos por watt consumido.

El producto de la eficacia por su potencia nos da el flujo nominal de la lámpara.

$$\Phi_v = e \cdot W$$

Este flujo nominal es el que se consigue en pruebas de laboratorio y normalmente no se consigue en servicio.

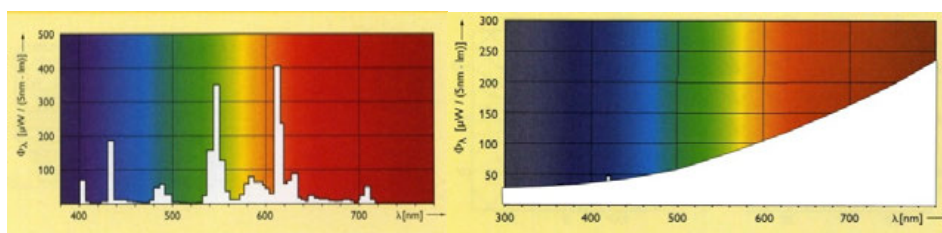
Rendimiento cromático

Como calidad para la reproducción de los colores, es exigible según las condiciones cromáticas del objeto a iluminar, pero se puede limitar a un mínimo de 80 en locales habitables.

Según sea el espectro continuo o discontinuo y equilibrado o no en todas las longitudes de onda, ofrece una calidad de reproducción de todos los colores IRC más o menos buena; y una composición con dominio de los azules o de los rojos ofrece una temperatura de color K más baja o alta, pero el IRC disminuye. Para conseguir la mejor calidad en los dos conceptos haría falta una emisión continua y equilibrada de todos los colores, que se representaría con un espectro de línea horizontal, el cual no se ha podido conseguir con ninguna lámpara, por lo que hay que escoger entre las que ofrecen los valores más adecuados en cada caso.

Otro parámetro es el del nivel de calidad cromática, expresado con valores de 1 a 4 y, con algunas variantes, A, B.

Fig. 5.60
(Izquierda) Espectro discontinuo.
(Derecha) Espectro continuo.



Temperatura de color

Son el resultado, en grados Kelvin, de la emisión total y dan idea de la calidez o frialdad de la luz emitida. La norma DIN 5035 diferencia tres valores: blanco cálido < 3.300 °K, blanco neutro 3.300 - 5.000 °K y blanco frío > 5.000 °K. En las lámparas se expresa con los dos números de los datos; así, el primero es del IRC; 7, 8, 9 y los 2 siguientes 30, 40, 50, 60 según si las temperaturas de color son superiores a 3.000, 4.000, 5.000, 6.000. Un color 840 sería de IRC superior a 80 y de K superior a 4.000.



Nivel	Índice	Lámparas
	100	
1A	90	Incandescente, Halógena TL-D/90 de Luxe
1B	80	Master: TL-D Super 80 SDW-T, CDM-T, CDM-TP
2A	70	TL-D/25
2B	60	TL-D/33 SON-COMFORT PRO
3	40	TL-D/29 HPL-N
4	20	SON PRO

Fig. 5.61
Valores de índice de calidad
de reproducción cromática
de algunas lámparas.

Depreciación luminosa de las lámparas

Con el tiempo, y a causa de diferentes factores, el flujo producido por la lámpara disminuye y también se reduce el número de horas de su vida teórica. Estas pérdidas pueden ser debidas a los factores siguientes:

- Las variaciones de la tensión de suministro eléctrico, el aumento o disminución, afectan seriamente a la vida de las lámparas.
- La temperatura ambiente, que no afecta a las de incandescencia, causa una disminución del flujo a las de fluorescencia si se mantienen a temperaturas por encima de 40 °C o por debajo de 20 °C.
- La frecuencia y el número elevado de encendidos y reencendidos disminuye también su vida útil.
- El ambiente con grasa, polvo, etc., reduce la emisión y perjudica todo el sistema eléctrico de las conexiones y el servicio. Y también el desgaste propio de la lámpara.

Coefficiente de depreciación luminosa

Es el porcentaje de descenso del flujo en un número de horas de vida, a partir de las 100 horas iniciales y con una media de un encendido cada 3 horas. En resumidas cuentas, se considera la disminución del flujo emitido como el Coeficiente de depreciación de la lámpara Cl.

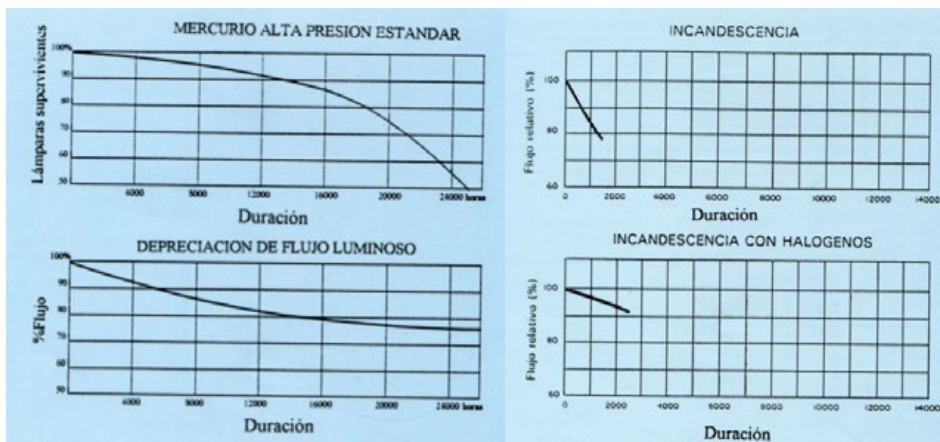
Este valor es la relación entre el flujo emitido en el momento del 70 % de su vida media –nominal– y el valor inicial –a las 100 horas del inicio del funcionamiento–, y se da en porcentaje de tanto por ciento (%) o en coeficientes.



Al ser el valor de pérdida de condiciones al final de su vida, hace falta conseguir que la disminución sea muy poca hasta llegar al final, momento en el que ya puede descender fuertemente.

Fig. 5.62
Curvas de mortalidad y de depreciación del flujo de diferente evolución.
(Izquierda) Lámpara de mercurio estándar.

(Derecha) Lámparas de incandescencia normal y halógena.



Vida útil o económica, V_u

Es el valor en horas de funcionamiento, en el momento en que fallan el 5 % o el 10 % de las lámparas, cuando se puede considerar la conveniencia de sustitución total, en función del coste real de mantenimiento y para establecer las bases de economía del proyecto técnico.

Da una orientación sobre cuándo hay que prever la sustitución de todas las lámparas al mismo tiempo –reemplazo en grupo–, que siempre es más económico que esperar que vayan fallando y cambiarlas individualmente.

Cuando los fabricantes mencionan la vida útil en número de años resulta “publicidad engañosa”, ya que toman el tiempo de encendido de 1.000 h por año, cuando son muy frecuentes los tiempos de más de 2.000 h. Tendrían que publicitarlas en horas totales.

Vida media, V_m

Se considera como la media de la duración de las lámparas en horas, estudiada sobre un grupo hasta que falle un 50 %. Acostumbra a ser del 60 % al 75 % de la vida máxima, contando con una media de un encendido cada tres horas con 15 minutos de apagada cada ciclo. Siempre es mayor que la vida útil.

Es un dato de los fabricantes y se puede expresar con la “curva de mortalidad” típica de la lámpara, que da el porcentaje de inutilizadas según el porcentaje de la vida media.



La vida máxima sería el número de horas hasta el fallo total. No tiene aplicación técnica, pero en algunas (por ejemplo, en los leds) a menudo se dan valores máximos en lugar de los medios solo para promocionarlas.

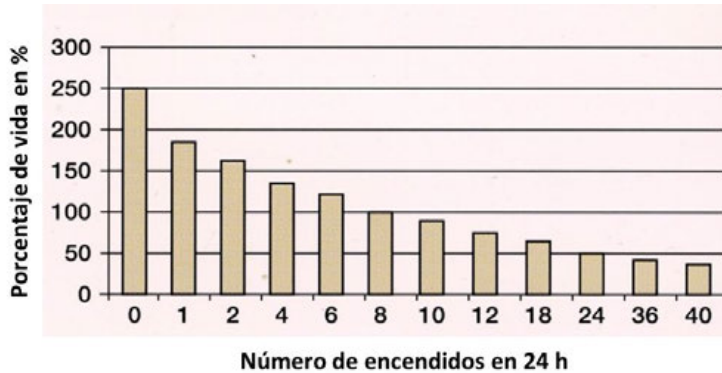


Fig. 5.63
Reducción de la vida media de los fluorescentes según el número de encendidos diarios.

5.8.3 Características eléctricas y electrónicas

Son las de su funcionamiento al depender de la energía eléctrica suministrada:

- Potencia consumida en watts por la lámpara y los equipos auxiliares
- Las condiciones de la corriente eléctrica, tensión U (voltios), frecuencia Hz, estabilidad a las oscilaciones, etc.
- El equipo eléctrico accesorio para el encendido y estabilización de la corriente
- El equipo electrónico para la regulación y programación
- Capacidad de regulación

5.8.4 Introducción general a las familias o tipos genéricos

La evolución de las lámparas de los últimos años ha creado tantas series y tipos nuevos que en los catálogos de los fabricantes encontraremos variaciones importantes cada año. Además, los modelos específicos han proliferado extraordinariamente, con lo cual no es posible en esta publicación dar razón de todos los tipos y modelos con sus características.

Con la definición de las familias ya se encuentran dificultades, ya que los fabricantes de lámparas también utilizan códigos y pautas diferentes, sin adaptarse exactamente a los códigos internacionales como el de Lamp Designation System (ver capítulo 5.8.9).

Las principales marcas de lámparas en Europa son Osram (Alemania) y Philips (Holanda), aunque podemos encontrar material de General Electric (EE.UU.) y otros productores o importadores más pequeños (españoles) como Laes, Megaman, Mattel, etc.



Tabla 5.9
Diferentes tipos de
lámparas por
familias.

DESCRIPCIÓN DE LÁMPARAS POR FAMILIAS	
INCANDESCENCIA	
. NORMAL en 220 V	
ESTÁNDAR, ESFÉRICA, VELA	
CÚPULA METALIZADA	
LINEAL (Sofito, Linestra, etc.)	
REFLECTORA DE CRISTAL NORMAL	
ÍD. CRISTAL FUNDIDO, PRENSADO (<i>Parabolic Aluminized Reflector</i>) PAR-38	
FLOOD/SPOT	
. HALÓGENA	
NORMAL, TUBULAR QT-LP12 en 220 V, QT-18	
DOBLE ENVOLVENTE, QT-DE CONEXIÓN ÚNICA (en 220 V)	
LINEALES en 220 V	
COMPACTAS (BI-PIN) en MBT 6, 12, 24 V, BI-PIN en 230 V	
REFLECTORAS en MBT 12 V:QR38, QR48, QR58	
ÍD. en MBT, DICROICAS (<i>Cool beam</i>) QR-CB-51 12 V	
ÍD. en 230 V Q-PAR 20 50 W 230 V	
ÍD. Q-PAR 30 E-27	
ÍD. Q-PAR-CB 51 G2 10	
REFLECTORA QR111	
. FOTOLUMINISCENCIA	
Fluorescencia (descarga en gas mercurio baja presión) y fosforescencia	
. FLUORESCENCIA	
LINEALES: TL, TL-D, TL-5	
ESPECIALES	
COMPACTAS NORMALES y ELECTRÓNICAS	
No INTEGRADAS (PL), Gama 80, Gama 90	
INTEGRADAS, abiertas (PL) o con cubierta (SL)	
ESPECIALES	
. CÁTODO FRÍO (intermedia entre neón y fluorescencia)	
. DE LUMINISCENCIA (descarga en gas)	
NEÓN	
VAPOR DE MERCURIO (AP normal) HPL	
íd. íd. REFLECTORA	
íd. íd. DE HALOGENUROS METÁLICOS HPI (TUBULAR)	
íd. íd. COMPACTAS (ENANAS)	
íd. íd. SOFITO	
íd. íd. ELIPSOIDAL	
íd. íd. REFLECTORA	
íd. íd. FLUORESCENTE (ELIPSOIDAL)	
íd. íd. REFLECTORA	
íd. íd. LUZ MEZCLA (ELIPSOIDAL)	
íd. íd. REFLECTORA	
VAPOR DE SODIO BP-TUBULAR	
íd. AP ELIPSOIDAL	
íd. AP NORMAL (TUBULAR)	
Íd. BLANCA	
DE INDUCCIÓN QL	
. ESPECIALES: Luz negra, germicidas, solares UVA, reprografía, clínicas, láser por fibra óptica, etc.	
. LAS DE LED ya se consideran como una familia concreta, no de especiales	



Las consultas en las webs de las principales marcas son muy recomendables ya que incorporan todo tipo de datos, pero su extensión dificulta la consulta puntual que los arquitectos puedan necesitar.

Por eso, esperamos que los resúmenes que se incorporan en esta monografía sean suficientes para resolver los problemas más inmediatos, como decidir la familia, el tipo y las prestaciones de las luminarias a incorporar en el proyecto.

Si con las luminarias hace falta cuidar su posible –y frecuente– incidencia en el diseño del espacio, con las lámparas no es así, excepto cuando la superficie emisora de la luz es visible o la propia lámpara no está escondida dentro de una luminaria. De esta manera, podemos trabajar la selección de las lámparas en función de sus prestaciones para el diseño de los efectos deseados, la capacidad –potencia, forma, medidas, etc.– para incorporarla a la luminaria, así como el coste propio, el consumo y el mantenimiento.

En esta publicación el lector se encontrará con una mayor cantidad de información de los productos de Philips que de otros. El motivo es una mayor facilidad de consulta a la web y, en el ámbito personal, una comunicación muy fluida con los técnicos de la delegación de Cataluña, demostrada con creces en sus intervenciones durante el 2010, cuando en el Taller de Estudios Lumínicos del ETSAB-UPC desarrolló el ciclo de conferencias titulado “2010 año de la luz en el ETSAB”.

Respecto a las otras empresas, al no tener una delegación en Cataluña, cualquier contacto que desde hace muchos años hemos intentado se ha tenido que realizar con los técnicos de Madrid, consultas o contactos siempre filtrados por los servicios de dirección y promoción, que no han tenido los mismos resultados que con otras empresas.

En general, se consideran las familias de **incandescencia**, **luminiscencia** y **descarga**. Y también hay que mencionar las **especiales**, como las de luz negra, de inducción, germicidas, solares UVA, para reprografía, para aplicaciones clínicas y cosmética (cromoterapia y fototerapia), láser, fibra óptica y los leds.

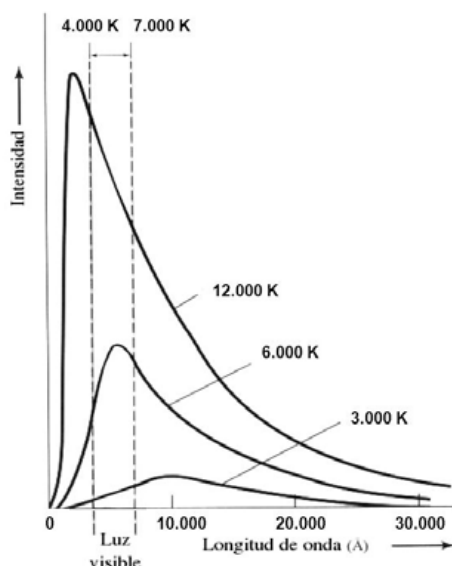
5.8.5 Lámparas de incandescencia

Principios de funcionamiento

La luz se produce por el calentamiento, al límite de su resistencia, de un filamento sometido al paso de la corriente eléctrica, cerrado dentro de una bombilla de cristal o similar, transparente o no, y llena de un gas protector. En las lámparas estándar, el filamento es de tungsteno y transforman en radiación térmica prácticamente toda la energía eléctrica consumida, y una pequeña parte, del 2 % al 5 %, en energía luminosa. A medida que aumenta la temperatura, la radiación se desplaza y aumenta la parte de radiación emitida dentro del espectro visible.



Fig. 5.64
Emisión luminosa de un cuerpo negro por incandescencia. A medida que aumenta la temperatura, la máxima emisión energética se desplaza hacia la zona visible del espectro.



A 1.000 K casi no hay energía dentro del espectro visible, a 2.000 K solo hay un 3 % del total y a 3.000 K, un 16 % del total.

Pero como el tungsteno se funde a 3.400 °C, no puede superarse esta temperatura y hay que limitarla de 2.100 a 2.500 °C. Las de incandescencia estándar y muchos modelos especiales tienen una eficacia inferior a los 20 lm/W y están destinadas a desaparecer del mercado por la aplicación de diversas directivas europeas.

Lámparas de incandescencia halógenas

La calidad de fabricación y la perfección de la forma, por el hecho de permitir el mayor número de ciclos sin destruir el filamento, mucho más pequeño que el de tungsteno de las normales, representará la prolongación de la vida útil de estas lámparas. La duración de las halógena de 125 o 230 V es de unas 2.000 horas y las de muy baja tensión (MBT) de 6, 12 y 24 V, alcanzan las 3.000 horas.

En 1960 se inicia su comercialización y desde 1990 se obtienen eficacias de 20 lm/W; actualmente, las de 125 y 220 V llegan a los 22 lm/W y las de 6-12-24 V (MBT) a los 25 lm/W.

El tamaño puede ser muy pequeño y permite incorporarlas a luminarias y proyectores muy pequeños o bien a las reflectoras directamente sin luminaria, con una mayor resistencia física del conjunto, y la posibilidad de llenarlas con gases nobles sin fuertes encarecimientos.

Estas lámparas no se ennegrecen durante su vida útil. El rendimiento cromático es muy alto –IRC próximo a 100– con Rg según la Norma DIN 5035-1.



El espectro de su emisión es continuo y más regular que las de incandescencia estándar y su color es WW, blanco cálido o blanco neutro, con 2.500 °K - 3.000 °K.

Proceso o ciclo de los halógenos

En el área de formación de halogenuros volátiles, se mezcla el tungsteno evaporado y los halógenos, que irán hacia la pared de la bombilla, donde se enfrían y se disocian. El tungsteno vuelve a engrosar el filamento, aunque de forma irregular y hasta que se funde por la parte que queda más delgada. Este proceso se llama *ciclo regenerativo*.

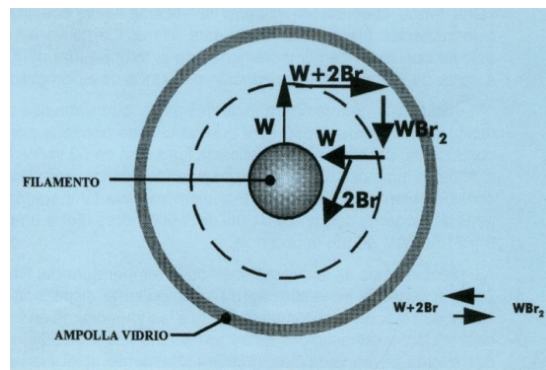
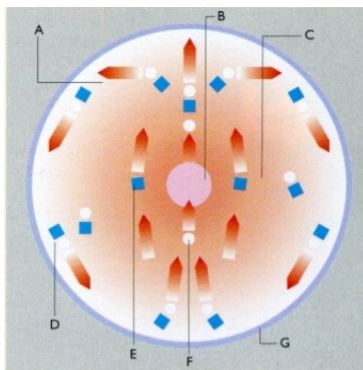


Fig. 5.65

A. Zona de temperatura inferior a 1.400 °C.
B Filamento de tungsteno entre 2.500 y 2.700 °C.
C Zona de temperaturas superiores a 1.400 °C.
D Haluro de tungsteno.
E Gas nitrógeno + argón + halógenos de bromo y yodo + agentes rarificantes y limpiadores.
F Área de formación de halogenuros volátiles.
G Botella de cuarzo en 250 °C.

Fig. 5.66

Gráfico explicativo del ciclo regenerativo del halógeno.

Como inconvenientes de estas lámparas hay que mencionar los siguientes:

- La fabricación es más sofisticada, cosa que representa un precio más elevado. La alta temperatura de la bombilla, en torno a los 500 °C, representa peligro de quemaduras si se toca accidentalmente, así como la destrucción de los contactos y del portalámparas, que normalmente resisten hasta los 350 °C.
- Al tocar la bombilla por la parte exterior con las manos, la grasa o el sudor que quede facilitará que el cuarzo se desvitrifique y se rompa al encenderla de nuevo.
- Las de tipo lineal (tubulares) solo se podían montar en posición horizontal, con variaciones de $\pm 4^\circ$. Desde 1995 existen las de posición vertical.
- La emisión térmica por radiación es muy direccional y fuerte.
- La luz halógena es mucho más genotóxica que la luz natural del sol o que la de los fluorescentes a causa de la emisión de ultravioletas lejanos, y pueden provocar lesiones en la piel y en los ojos. El efecto se puede reducir o eliminar utilizando filtros plásticos o de cristal, UVSTOP.



En 1995, Osram inició la incorporación de un agregado de tierras raras y óxido de titán en los cristales de las lámparas de toda la gama de halógenos (Decostar, Halostar, Halospot, Halolux y Halopar), las cuales transforman gran parte de los UVA y UVB en luz visible, pero se reduce hasta un 20 % la intensidad de las visibles normales.

Los fabricantes, desde 1995, también incorporaron dispositivos de filtro de los UV, y actualmente todas las reflectoras son también con cristal UV.

Existen con formas tubulares normales, de doble envolvente, reflectoras, compactas, etc.

Lámparas halógenas dicroicas

Para resolver el problema de la alta direccionalidad de la radiación térmica en las lámparas con material reflector incorporado en su interior, aparecieron las dicroicas, denominadas “fríos” y comercialmente *Cool Beam* (CB).

Estos tipos disponen de unas capas semitransparentes y selectivas de las radiaciones de longitudes de onda infrarroja y térmicas puras, aunque son reflectoras de las del campo visible.

Estas capas, de fluoruros de magnesio y sulfuros de cinc, con unos gruesos aproximadamente de 1/4 de la longitud de onda de la radiación a reflejar y en un número aproximado de 30 capas, permiten la proyección frontal de la luz y la máxima dispersión posterior del calor, que se puede eliminar más fácilmente.

Disminuye un pequeña parte de la luz, a cambio de la fuerte disminución de la radiación térmica direccional.

La gran dificultad de la fabricación de estas lámparas representa un fuerte encarecimiento del precio, que llega a ser el doble de las normales.

También permiten una ventaja, porque se pueden fabricar directamente para emisión de luz en colores. Actualmente las hay en amarillo, verde, azul y encarnado.

Los modelos dicroicos se fabrican en las lámparas incandescentes normales, reflectoras PAR y en las halógenas, que siempre dispone de cristal de cierre.

Comparación de las emisiones lumínicas y térmicas en los tipos halógena:

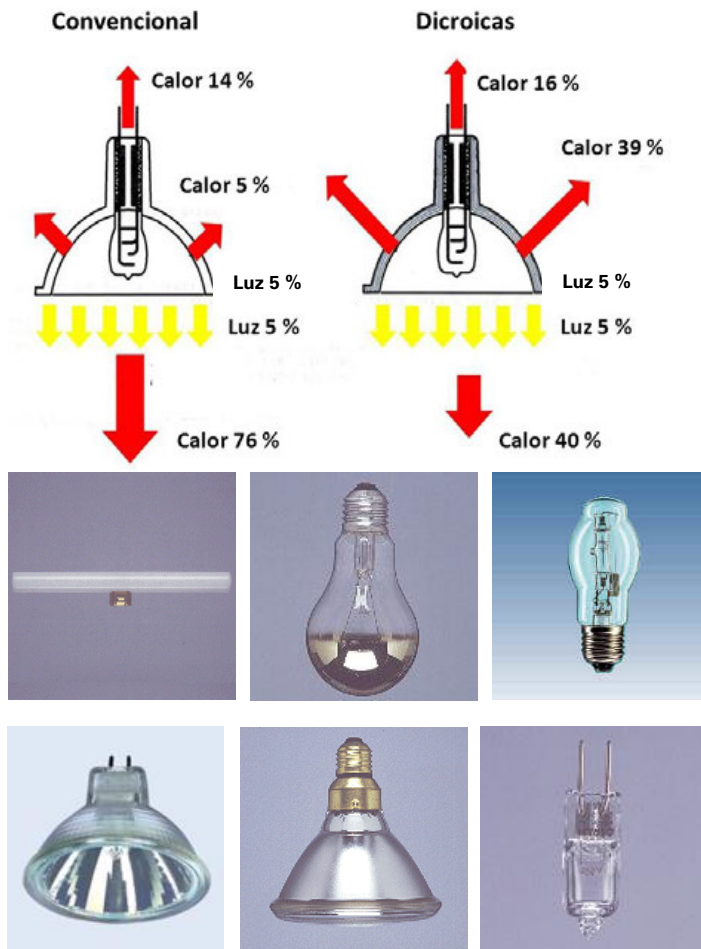


Fig. 5.67

Comparación de la emisión lumínica y calorífica entre lámparas halógenas

Fig. 5.68

Diferentes lámparas de incandescencia.

TIPO	POTENCIA (1) (W)	FLUJO LUMINOSO (lm)	TEMP. DE COLOR (K)	EFICAZ (LM/W)	DURAC. (H.)	CASO.
Lineales (220-230V)	100	1600	3000	16	2000	R75
	200	3200	3000	16	2000	R75
	300	5600	3000	18,6	2000	R75
	500	9900	3000	19,8	2000	R75
	1500	36300	3000	24,2	2000	R75
Doble envoltura (220-230V)	60	840	2900	14	2000	E40
	150	2550	2900	17	2000	E40
	1000	24000	2900	24	2000	E40
	2000	50000	2900	25	2000	E40
Reflectoras dicroicas (12V)	20(10/60°)	5000/350 cd(1)	3200	—	4000	GU5,6
	35 (10/60°)	6500/650 cd(1)	3200	—	4000	GU5,6
	50 (10/60°)	8000/1100 cd(1)	3200	—	4000	GU5,6
Reflectoras vidrio prensado (220-230V)	50(10/30°)	4300/1300 CD(1)	2.900	—	2500	E27
	75 (12/30°)	9500/2400 cd(1)	2900	—	2500	E27
	100(12°/30°)	1500/3000 cd(1)	2900	—	2500	E27

Tabla 5.10

Datos de diferentes lámparas de incandescencia.



5.8.6 Lámparas de luminiscencia

Se basan en la emisión de radiaciones electromagnéticas de los materiales interiores de las lámparas que, en ciertas longitudes de onda, superan la emisión térmica a la misma temperatura.

Lámparas de neón

La producción de luz se genera por la descarga eléctrica a través de un gas. Esta descarga se provoca con tensiones superiores a 380 V, por eso las lámparas solo se pueden llenar con gases nobles, y se obtendrá muy poca eficacia luminosa y colores restringidos al tipo de gas utilizado: rojo (neón), azul (mercurio con neón) y rosa claro (helio).

Estos tubos de gases nobles –al vacío y a alta tensión con electrodos fríos– son de muy pequeño diámetro y se pueden fabricar con formas curvas, pero las longitudes son limitadas por la necesidad de transformadores de encendido que den unos 600 V por metro de longitud.

Lámparas de cátodo frío

Son lámparas fluorescentes a mayor presión del gas, parecidas a las de descarga a alta presión (AP) y con la tecnología de las de neón.

Se fabrican con cristal soplado y en forma artesanal, por encargo.

Los diámetros y longitudes son variables: diámetros entre 8 mm y 25 mm y longitudes entre 300 mm y 2.990 mm.

Pueden soportar la lluvia, pero no son sumergibles.

Se pueden fabricar con formas curvas, dibujos y formas especiales, y se adaptan a cualquier requerimiento de diseño.

El montaje lineal de diversos tubos no deja zonas oscuras ya que los electrodos se sitúan lateralmente y la imagen es de tubo luminoso continuo.

Resisten cualquier vibración y no dan emisión térmica al ambiente; funcionan correctamente en lugares con temperaturas entre -40 °C y +70 °C.

De la sostenibilidad hay que remarcar que cuando los electrodos dejan de funcionar, se pueden sustituir sin cambiar el tubo, solo recargándolo de gas.



Funcionamiento

La tensión de suministro es de 230 V, pero con un transformador que la hace subir cerca de 1.000 V para el encendido instantáneo, que dura unos 8 ms, totalmente imperceptible, sin intermitencias, que ofrece el flujo de servicio inmediatamente con una tensión de funcionamiento aproximadamente de 400 V, variable según la longitud de los tubos. Este transformador realiza las funciones del cebador y del balasto (reactancia).

Se utilizan transformadores de dos tipos: los electromagnéticos, de mayor peso y dimensiones, más económicos, que permiten la instalación en lugares alejados hasta 50 m de las lámparas y en ambientes con humedad relativa alta. También permiten el suministro a longitudes grandes; y los electrónicos, que son más ligeros, pequeños y de coste superior. Hay que instalarlos cerca de las lámparas y son limitados para tubos de longitudes más pequeñas.

Los electrodos de las lámparas funcionan como aceleradores de los átomos del gas interno del tubo.

A causa de la variación y regulación cromática, el fabricante propone utilizar grupos de 4 colores CMYG, más sofisticados que los RGB, así como juntar el sistema RGB y el CMY para disponer de seis colores; o bien básicamente utilizar dos tubos, uno cálido y uno de frío regulables de intensidad para conseguir toda la gama de transiciones cromáticas dentro de la línea de los blancos.

Su eficiencia, según el tipo, va de los 65 lm/W a los 95 lm/W. La vida útil llega a las 70.000 horas y la máxima a 80.000 h. Su IRC es como mínimo de 65 y en modelos específicos para ámbitos exigentes de hasta 95.

La temperatura de color puede ser de 2.400 K (blanco cálido) hasta 4.300 K (blanco nieve) en tramos de 300 K.

Descarga en gas a alta presión:

- Vapor de mercurio
- Vapor de sodio
- Halogenuros metálicos

De estas, solo algunas de halogenuros metálicos, según el CTE, se pueden utilizar en el alumbrado de interior, las que superan el CRI de 80. Son las “cerámicas”, que acabarán sustituyendo las de tubo de descarga de cuarzo, que permiten la migración de la parte de sodio de los gases, ya que esta migración disminuye la emisión de luz y le da un componente más azulado.

Para aplicaciones en interior quedan excluidas todas las de vapor de sodio y mercurio normales.



Las primeras “cerámicas” fueron las CMH *Constant Color* de GE Lighting, con CRI de 84-86 con cerámica sintética PCA (alúmina policristalina translúcida).

La última novedad ha sido de Philips, con un tubo de descarga cilíndrico, más pequeño y efectivo.

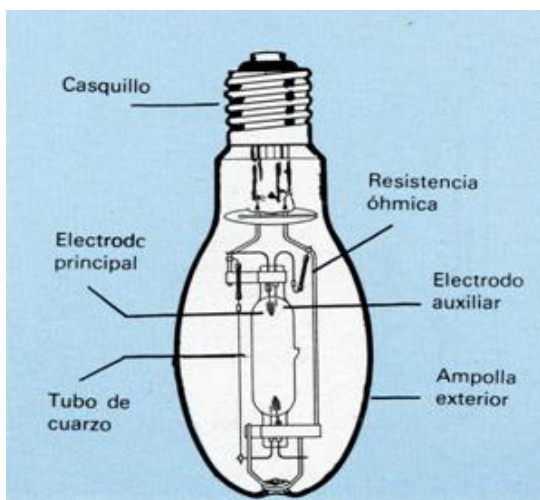
La luz se produce por la descarga eléctrica a través de un gas, vapores metálicos o mezclas, entre dos electrodos situados en los extremos de un tubo de cristal. Los electrones chocan con los átomos del gas y se cargan de energía que lo liberan en forma de radiación visible, directamente o bien con la colaboración de una capa de fósforo. Si las descargas se provocan a tensiones inferiores (BT), normalmente 125 V o 230 V, se pueden incorporar gases de vapores metálicos como el mercurio o el sodio, que producen altas eficacias luminosas. Según la presión parcial interior de los gases de relleno, se llaman:

- A alta presión, 10^5 n/m^2
- A baja presión, menos de 100 n/m^2 (podríamos decir que son los **fluorescentes**)

Vapor de mercurio a alta presión

Actualmente, estas lámparas se disponen con potencias de 50 W hasta 3.500 W, y las normales consiguen eficacias entre 40 lm/W y 60 lm/W. El gas mercurio emite principalmente la gama visible. El rendimiento cromático de estas lámparas normales, según DIN 5035, es de Ra-3 (aceptables pero bajos). Las hay de forma tubular, elipsoidal y reflectora.

Fig. 5.69
Lámpara de vapor de mercurio.
Lámpara de halogenuros metálicos CMH.
Constante Color, G.E.





Si se añade un filamento de incandescencia conectado en serie, se llaman de **luz mezcla**, la eficacia disminuye y se consigue entre 16 lm/W y 33 lm/W; ahora bien, su rendimiento cromático DIN mejora hasta Ra-1 y con color de la luz WW (blanco cálido). Prácticamente ya se consideran obsoletas.

En 1965 se empiezan a fabricar complementadas con los productos disociados de los halogenuros metálicos de yoduros de talio, indio, sodio, etc., y se llaman de **vapor de mercurio, color corregido o de halógeno**, y con eficacias igualmente altas, inicialmente de 60 lm/W, hasta 1984, de 67 lm/W y actualmente, de 95 lm/W. Comercialmente se llaman de **halogenuros metálicos**.

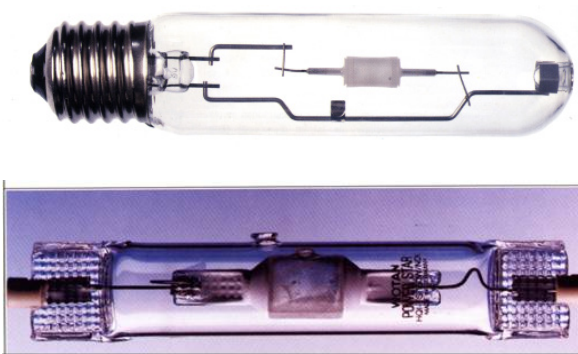


Fig. 5.70
a. Lámpara de halogenuros metálicos CMH. Constante Color, G.E.

b. Halogenuros metálicos POWER STAR, HQI-TS, primicia de Osram (1987) con 70 W - 150 W - 250 W.

El rendimiento de color de estas lámparas según DIN 5035 llega a ser de Ra-1B. La temperatura de color varía de 3.200 K hasta 6.500 K, incorporando yoduros de sodio (amarillo), de talio (verde) o de indio (azul). Los colores existentes son blanco cálido W, luz día D, blanco neutro N, blanca neutra de lujo NL y blanca cálida de lujo WDL.

El encendido tarda unos 4 minutos en alcanzar el flujo nominal y al apagarla hay que esperar de 4 a 6 minutos para que se enfríe y se pueda volver a encender. Por eso no son aconsejables en lugares donde sea necesario encender y apagar la luz frecuentemente, o bien lugares donde una avería eléctrica represente problemas graves al dejarlos a oscuras.

Con el tubo de descarga de cuarzo no se puede aumentar la temperatura por encima de unos límites y la luz emitida llega a un IRC de 75. Actualmente, con las de tubo cerámico se puede aumentar la temperatura de descarga, mejora el rendimiento cromático hasta 95 y la eficacia hasta 100lm/W, así como la vida útil de hasta 15.000 h.

La potencia eléctrica de consumo durante el tiempo del encendido, con tensiones de entre 1.500 V y 5.000 V, hay que considerarla con un coeficiente de 1,8 por el sobreconsumo de los aparatos eléctricos, excepto si se utilizan equipos de encendido electrónicos, con los cuales se considera de 1,1.



Fig. 5.71
Espectro de una
lámpara de vapor de
mercurio.

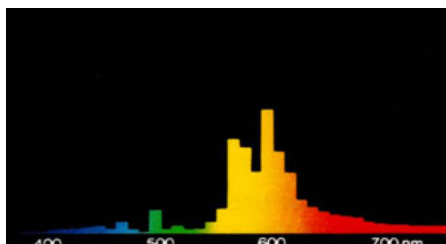


Fig. 5.72
Tipo de lámparas de
halogenuros
metálicos,
Philips.



Vapor de sodio

Son lámparas que utilizan las propiedades del sodio en 270° de temperatura, con gas neón para conseguir elevadas eficacias luminosas, aunque ofrecen un espectro mixto o discontinuo y una emisión fundamentalmente dentro de las tonalidades amarillas.

Los tubos de descarga se protegen dentro de una bombilla exterior de cristal duro. Básicamente son de dos tipos: de baja presión y de alta presión.

Tabla 5.11
Tipo de lámparas de
vapor de sodio.

Tipos de lámparas de vapor de sodio
. BP (BAJA PRESIÓN) TUBULAR, ELIPSOIDAL Y BILATERAL
. AP (ALTA PRESIÓN) ELIPSOIDAL
. íd. TUBULAR (más normal)
. íd. SODIO BLANCA

Vapor de sodio a baja presión

Con presión parcial no superior a 5 N/m^2 y una pequeña parte de neón que facilita la descarga, la calidad cromática es $R_g \text{ s/DIN: } 4$ (mala); el IRC: 20 y el color es amarillo anaranjado cálido, monocromático en 590 nm. Eficacias hasta 180 lm/W y vida media de 9.000 h.

Las formas son tubular, elipsoidal y bilateral.

La tensión de funcionamiento puede ser de 230 V, pero para el encendido se necesitan 440 V o 660 V y ésta tiene una duración de 6 a 10 minutos, y necesita unos 6 minutos para enfriarse y volverse a encender. Este tipo de lámparas no se admiten en utilizaciones de interiores.

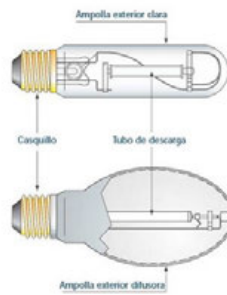
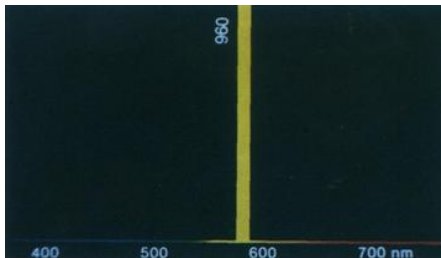


Fig. 5.73
a. Lámparas de sodio de forma tubular, elipsoidal y de doble conexión.

b. Espectro cromático.



Vapor de sodio a alta presión

Como las de baja presión, la descarga eléctrica, dentro del tubo al vacío con gas xenón y con amalgama de sodio, calienta el sodio y lo evapora por el calor producido iniciando la emisión lumínica. La presión parcial de funcionamiento del vapor es de 10^5 N/m^2 .

Se empiezan a fabricar en 1965 y se consiguen eficacias de entre 60 lm/W y 130 lm/W. Se fabrican con formas tubulares, elipsoidales y bilateral. Las potencias oscilan de 50 W a 1.000 W, la calidad cromática es Rg s/DIN 5035: 4 y el IRC: 40. Color: blanco cálido, 2.200 K, espectro mixto. Eficacias: de 70 lm/W a 130 lm/W; según modelos y vida media: 12.000 h. Para el encendido y el reencendido se necesita el mismo proceso que para las de baja presión.

Vapor de sodio “blanco” también a alta presión pero con una mayor mejora de la calidad cromática, que llega a dar el efecto de las de incandescencia normales, aunque el espectro sea discontinuo pero mucho más extenso.

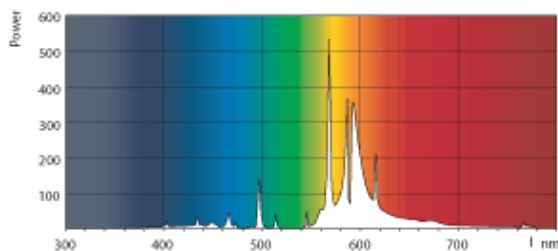


Fig. 5.74
Espectro de una lámpara de descarga en sodio a alta presión.



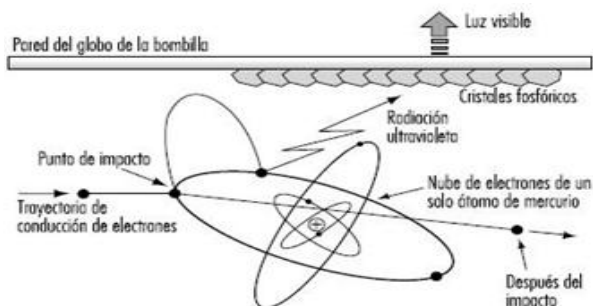
- Potencias: de 40 W y 100 W
- Calidad cromática con IRC: 81
- Color: blanco cálido, 2.500 K
- Eficacia: 40 lm/W (muy baja)

5.8.7 Lámparas de fotoluminiscencia (fluorescencia y fosforescencia)

Lámparas de fluorescencia

En realidad son lámparas de descarga en gas mercurio a baja presión, en la que la mayor parte de la emisión es de UV y la conversión a radiación visible de luz es debido a la capa de material fluorescente interior del tubo, que excita la radiación UV de la descarga. Se mantiene la emisión de luz mientras haya consumo eléctrico.

Fig. 5.75
Principio de producción de luz en un tubo fluorescente.



Hay que aumentar la tensión del suministro eléctrico para el arranque de la emisión casi el doble (450 V) y calentar los electrodos previamente al arranque; eso significa la necesidad de un **cebador** o un transformador automático.

Según la ley de Ohm ($U = IR$), si la resistencia eléctrica disminuye, la intensidad que circulará aumentará y se quemarán los filamentos. En el caso de las lámparas de fluorescencia, se quemarían las conexiones extremas principalmente, el ánodo y también el cátodo. Esto quiere decir que hará falta un limitador para volver a estabilizar la tensión (**reactancia**) o añadir un filamento auxiliar de incandescencia; este dispositivo representa lo mismo que el concepto de luz mezcla y permite la conexión directa al servicio eléctrico. Hay que estabilizar la tensión y la intensidad, por lo cual se interpone una bobina de inductancia, que la mantendrá al valor nominal (125 V o 230 V) después del encendido.

La fabricación en forma de tubos fluorescentes se inicia en 1936 y la eficacia de aquellos tubos ya llegaba a los 40 lm/W. En 1976 la eficacia llega a 93 lm/w con tubo de 20 W, 40 W y 65 W, y en 2010 ya se encuentran con 110 lm/w. Estos tubos tienen un proceso de encendido lento, hasta que la descarga no se estabiliza parpadean y hasta después de unos dos minutos no llega a emitir todo el flujo nominal con el calentamiento del tubo.

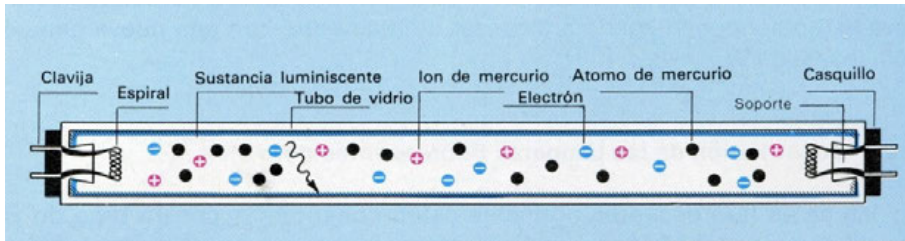


Fig. 5.76
Constitución de una
lámpara de fluorescencia.

En los tubos de arranque rápido sin parpadeo el cebador mantiene los electrodos calientes, lo que permite un pequeño suministro de corriente hasta el propio encendido. En los tubos de arranque instantáneo se aplica una tensión más elevada.

En 1982 empieza la incorporación de equipos electrónicos de alta frecuencia (35 kHz) en lugar de la normal a 50 Hz; el encendido con estos equipos es instantáneo, 0,1 s en tubo frío. Además de esta característica, estos tubos no producen el efecto estroboscópico y la eficacia llega a los 102 lm/W.

El diámetro de los tubos se mantiene hasta 1986 con 38 mm y longitudes de 589-1.199 y 1.500 mm, y a partir de este año se empieza la fabricación con diámetro de 26 mm con las mismas longitudes. En 1989 se reducen un 10 % las potencias a 18-36-58 W y se detecta que con este diámetro, si se incorporan equipos de arranque rápido normales, fallan los tubos mucho antes de su vida útil; por eso se necesitan equipos electrónicos más sofisticados. Al iniciar la fabricación en 1998 de tubos con diámetro de 16 mm y longitudes muy variables, preparados para equipos electrónicos, se resuelve el este problema.

Los tubos más normales son fluorescentes lineales, pero también se fabrican circulares y de formas especiales. Y como subfamilia con muchas aplicaciones hay los **fluorescentes compactos**, que el comercio ha bautizado eufemísticamente como “lámparas que ahorran energía”.

Se consideran dos tipos principales de las lámparas de fluorescencia: **lineales**, con formas especiales, y **compactas** con diversos tipos, ambas con prestaciones muy variadas.

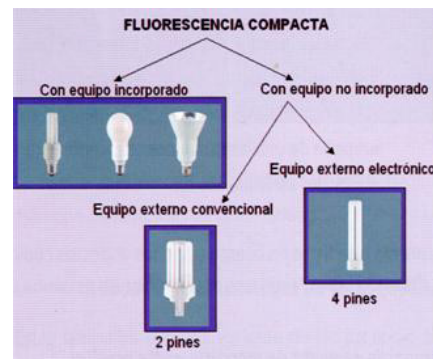
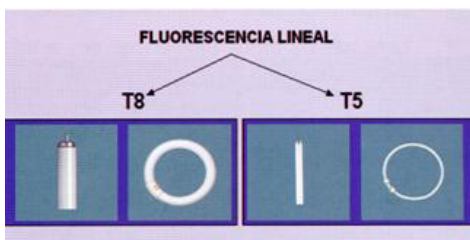


Fig. 5.77
Tipo de fluorescentes
lineal y compacto.



Tabla 5.12
Tipo de lámparas
fluorescentes.

Características de fluorescentes lineales, PHILIPS

Detalles de algunos tubos de uso más frecuente, o de características notables

Serie:

MÁSTER-TLD: SUPER 80, 90 De Lujo, ECO, Xtra

MÁSTER TL-D Super 80 trifósforos (1994) Ø26 mm buena calidad de luz Ra > 80 y bajo coste

(de 5,5 a 8 €, 2011)

Con flujo constante durante la Vu (mejor que las T8 estándar)

A partir de 2010 se reducen los tipos de potencias a los de 18-36-58 W con las longitudes tradicionales de 589-1.199-1.500 mm y eficacias de 75 a 93

Colores disponibles para cada tipo: 827, 830, 840, 865

MÁSTER TL-D 90 De Lujo Ø 26 mm (no regulables), muy buena calidad de luz Ra > 95

Eficacias de 61 a 79 lm/W

A partir de 2010 con las potencias de: 18-36-58 W y las longitudes tradicionales de: 589-1.199-1.500 mm, flujo de 940-2.250-3.650 lm variables

según color.

Colores disponibles: 930, 940, 950

Su vida es muy larga, y en todos los tubos es diferente según el ciclo de encendidos y el tipo de balasto utilizado:

CICLO DE 3 horas	CICLO DE 12 horas
Vu (al 10 % de fallos) con BE, HF 17.000-19.000	
con B electromagnético	12.000-15.000
Vm (al 50 % de fallos) con BE, HF	20.000-23.000
con B electromagnético	15.000-18.000

MÁSTER-TL5: HE, LO, VHO, TOP, ECO, Xtra

MÁSTER TL5 ECO-LO (Alto flujo) aptos solo para interiores en T ≥ 20°

Eficacias de las más altas: 96 a 111 lm/W

Potencias de 45-50-73 W con las longitudes de 1.449-1.149-1.449 mm

Colores disponibles: 830 y 840

ESTÁNDAR: TLD

MÁSTER TL-D Xtreme de trifósforos IRC > 80, de máxima durabilidad

Eficacias de 69 a 90 lm/W, colores 830, 840

Hasta 2010 disponibles con 18-36-58 W y longitudes de 589-1.199-1.500 mm

A partir de 2010 solo con potencias de 36 y 70 W de longitudes 970-1.761 mm

Vu (al 10 % de fallos) con EB en HF	71.000
con B electromagnético	55.000
Vm (al 50 % de fallos) con EB en HF	90.000
con B electromagnético	68.000

(Precios de 45 a 47 € en 2010)

Gama ESTÁNDAR TL-D Ø 26 mm no regulables, económicas (entre 4 y 7 € en 2011)

Eficacias de 67 a 79 lm/W

Potencias de 18-36-58 W, y las longitudes tradicionales de 589-1.199-1.500 mm,

Serie de longitudes especiales

Con las potencias de 6-8-13-14-15-23-30 W

Longitudes de 212-288-517-361-437-970-894 mm

Y diferentes diámetros 16-16-16-26-26-26-26 mm Ø

Especiales de las TLD y TL5: Reflex Eco, Graphica, Secure, Optiview, Activiva, Circular, Xtreme Polar, Colores, etc.



Equipos auxiliares de los fluorescentes

Los fluorescentes necesitan unos equipos auxiliares para su funcionamiento; su calidad y características afectan a su óptimo funcionamiento e inciden en parámetros como la eficacia y la vida útil de los fluorescentes.

Eficacia de los balastos (reactancias)

– Balastos electromagnéticos convencionales (BC)

Hay modelos de cuatro tipos:

- o De altas pérdidas (clase D)
- o De pérdidas moderadas (clase C)
- o De bajas pérdidas (clase B2)
- o De muy bajas pérdidas (clase B1)

La norma europea 2000/55/EC sobre eficiencia energética en balastos para lámparas fluorescentes prohíbe el uso de los tipos de clase D y C.

Para una lámpara fluorescente de 58 W el consumo adicional del BC de clase D es de unos 13 W, lo que supone un exceso para cumplir con el índice o valor de eficiencia energética de una instalación VEEI (W/m^2 por 100 lux).

– Balastos electrónicos (BE)

Convierten la tensión de red de 230 V a 50 HZ, a alta frecuencia de 25 a 40 Kz. Para una lámpara fluorescente de 58 W, su consumo propio se reduce a unos 5 W. Para esta lámpara el consumo del BE es de 5 W. En conjunto, esta lámpara con el equipo será de 55 W.

En comparación con el uso de balasto convencional electromagnético BC, lámpara con 58 W y balasto con 13 W, que resulta un total de 71 W, el consumo con BE es del 77.

Otras ventajas de los BE son que prolongan la vida útil de las lámparas, hasta un 50 %.

Proporcionan un encendido instantáneo libre de parpadeos, sin centelleo de los electrodos y sin efecto estroboscópico por visión de objetos en movimiento, así como un menor calentamiento del conjunto y el apagado automático de las luces defectuosas.

La vida útil de estos balastos llega hasta las 100.000 h, de manera que permiten la sustitución de diversas lámparas sin cambiar el balasto.



– Balastos electrónicos de bajas pérdidas (BBP)

Pueden llegar a reducir el consumo conjunto hasta un 30 % con respecto al equipo convencional.

– Balastos electrónicos regulables (BER)

Permiten incorporar sistemas de regulación de tipo Touch & Dim y DALI por sensores de presencia, de luz natural y por programaciones complejas. Con los resultados medios de regulación por existencia de luz natural, puede suponer una reducción del 50 % del consumo anual.

Tabla de comparación de costes-ahorro según el tipo de balasto

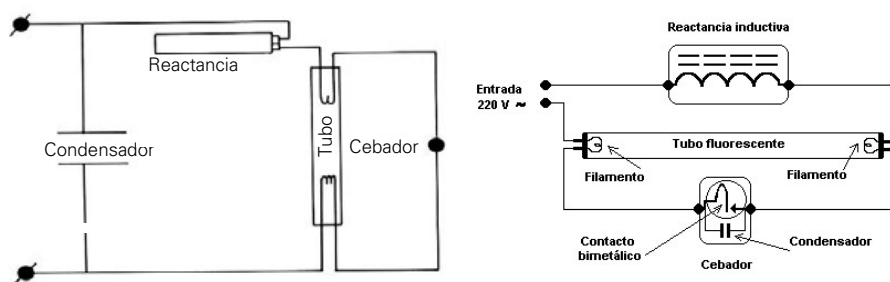
- Caso luminaria con dos tubos fluorescentes de 58 W
- Funcionamiento diario: 10 horas
- Días de funcionamiento anual (300 horas anuales) 3.000

Precio de la electricidad, contratada en trifásica: 0,16 € / Kwh (2009)

Tabla 5.13
Comparativa de costes.

Tabla de comparación de costes-ahorro según tipo			
TIPO DE REACTANCIA	BC	BE	BER regulado a luz natural, consumo: 50 %
Potencia de la lámpara	58 x 2	50 x 2	≥ 50
Consumo del balasto	13	5	≥ 5
Potencia de la luminaria	142	110	56
Consumo diario W	1.420	560	(10 H/D)
Consumo anual	426 kW	330	(300 D x 10 H = 3.000 H)

Fig. 5.78
Esquema de instalación
básica de una lámpara
de fluorescencia.



Fluorescentes compactos

En 1980 se inicia la comercialización de lámparas fluorescentes con dos tubos de diámetro muy pequeño, curvados y dentro de una bombilla de cristal protector, llamadas **prismáticas**, que, al llevar la conexión con rosca E27 y el equipo de encendido y estabilización incorporados, pueden sustituir directamente las de incandescencia normales. Su eficacia varía según el tipo entre 34 y 60 lm/W.



En 1985 se comercializan sin la bombilla, se llaman normalmente **fluorescentes compactos** y existen con uno, dos y tres pequeños tubos curvados de encendido normal o con encendido electrónico rápido y de dimensiones muy pequeñas.

Pueden incorporar el equipo eléctrico *integradas* o ser independiente *no integradas*, y la conexión puede ser con bases de rosca E27 o de plaquetas G-24-d.

Desde 1990 se fabrican con un globo de cristal decorativo y de protección transparente o matizado; todas son *integradas* y se llaman *cubiertas*. Por ejemplo, las Osram DULUX-EL-GLOBE o las Philips DECOR, de 11 y 15 W.

También las hay reflectoras, con un sencillo reflector incorporado de 9, 13 y 18 W.

Igualmente, han aumentado las gamas de potencias y de longitudes de los tubos de estas lámparas, de manera que disponemos de hasta con cuatro tubos y hasta 75 W, y algunas de longitud hasta 509 mm las de 55 W, cuya eficacia aumenta hasta los 80 lm/W. Por lo tanto, se amplían las gamas hasta niveles insospechados, tanto amplias como las de fluorescencia lineales, ya extraordinariamente desarrolladas por los principales fabricantes.

Lamentablemente, la gran difusión hecha para conseguir mercado de ventas, a partir de la publicidad engañosa como *lámparas ahorradoras de energía*, han generado un llamamiento a la fabricación de todo tipo de cualidades en la fabricación y a una guerra de precios, lógica en un tiempo de crisis, pero que conlleva una cierta dificultad al proyectista para seleccionar los modelos más adecuados.

Los tipos más comunes son los SL y los PL:

- SL de tubo oculto, cubiertas. Conexión E27. Tensión 230 V. Equipos siempre incorporados
- PL de tubo visto. Conexión plaquetas G-24-d. Tensión 230 V. Equipos incorporados o independientes

De tipo y formas especiales: reflectoras, largas, forma espiral, miniaturizadas.

Características de fluorescentes compactas, PHILIPS	
Detalles de algunos tipos con uso más frecuente, o características notables.	
FLUORESCENTES COMPACTAS INTEGRADAS 2010, todas con E27	
Series:	
. MÁSTER PL-ELECTRONIC PLENO-T 2 tubos, Vu 20.000 h, 15-20-23-27-33	
	colores 827/840/865
. MÁSTER PL-ELECTRONIC PLENO-C Vu 15.000 h, 5-8-11 W, colores 827/865	
. MÁSTER PL-E-D GLOBE	16-20-23 W, color 827,
	23 W, color 865

Tabla 5.14
Características de las
fluorescentes compactas
integradas.



Fig. 5.79
Fluorescente compacta
integrada PL, conexión
E-27.



Fig. 5.80
Fluorescente compacta no
integrada, plana, 4 pins,
Philips.

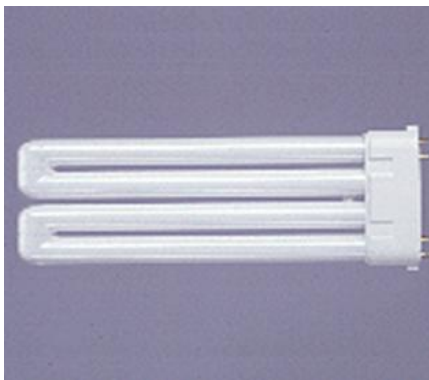


Tabla 5.15
Características de las
fluorescentes compac-
tas no integradas.

Características de fluorescentes compactas, PHILIPS	
Detalles de algunos tipos con uso más frecuente, o de características notables	
FLUORESCENTES COMPACTAS NO INTEGRADAS 2010, todas con E27	
Series:	
. MÁSTER PL-S un tubo, 2 o 4 patillas 7-9-11 W eficacias 57 en 82 lm/W	
. MÁSTER PL-C 2 tubos, con 2 o 4 patillas regulables, eficacias 60 en 69 10-13-18-26 W 827/837/830/840/865	
. MÁSTER PL-T 3 tubos eficacia 67-69 2 patillas 13-18-26 W 827/830/840 4 patillas 13-18-26-32-42-57 W 827/830/840	

Fig. 5.81
Fluorescente compac-
ta no integrada PL,
Blax Q-E
de GE Lighting, 2004.
Con 5 temperaturas
de color, entre 2.700 y
5.000 °K.
57 o 75 W regulables
con balasto electróni-
co.
74 lm/W, IRC 82.



Hay que remarcar que las planas están previstas para incorporarlas dentro de luminarias cuadradas y de dimensiones especiales, en lugar de los tubos lineales tradicionales.

De estas, Philips ofrece, entre muchas otras, el modelo MÁSTER PL-T de 4 patillas CS, IRC > 80 y con potencias de 13, 18, 26, 32, 42 y 57 W. Así como las MÁSTER PL-L 90 De Lujo, 4 patillas, de alta calidad del IRC > 90, y con potencias de 18, 24, 36 y 55 W, donde la de 55 W llega a una longitud de 509 mm.



Tipos Potencias (W)	Flujo Luminoso (lm)	e (lm/W)	Ø (lm)	Duración (horas)	Casquillo
Balasto inductivo incorporado y envoltura externa (temperatura de color 2.700 K)					
9	400		44,4	6.000	E27
13	600	-	46	6.000	E27
18	900	-	50	6.000	E27
25	1.200	-	48	6.000	E27
Tubulares con balasto electrónico incorporado (temperatura de color 2.700 K)					
9	400	-	44,4	9.000	E27
11	600	-	54,5	9.000	E27
15	900	-	54,5	9.000	E27
20	1.200	-	60	9.000	E27
23	1.500	-	65,2	9.000	E27
Tubulares con balasto inductivo exterior (temperatura de color 2.700, 3.000 y 4.000 K)					
5	250	50	25	8.000	G23
7	400	57	36,3	8.000	G23
9	600	66,6	46,1	8.000	G23
11	900	81,8	60	8.000	G23
Extralargas con balasto inductivo exterior (temperatura de color 2.700, 3.000 y 4.000 K)					
18	1.200	66,6	46,1	8.000	2G11
24	1.800	75	51,4	8.000	2G11
36	2.900	80,5	63	8.000	2G11
40	3.500	87,5	77,8 (1)	8.000	2G11
55	4.800	87,2	77,4(1)	8.000	2G11
Con balasto exterior inductivo o de alta frecuencia (temperatura de color 2.700 K) (Regulable)					
18	1.200	66,6	50/60	9.000	GX24d
26	1.800	69,2	59/64,2	9.000	GX24d
30	2.400	80	60/73	9.000	GX24d
36	2.900	81,4	-	10.000	GX24d
55	4.800	87,3	-	10.000	GX24d

Tabla 5.15
Lámparas fluorescentes compactas más utilizadas.
1. Con reactancia electrónica.
2. El rendimiento de color es 82.
Philips.

Características de fluorescentes compactas, PHILIPS	
Detalles de algunos tipos con uso más frecuente, o de características notables	
FLUORESCENTES COMPACTAS INTEGRADAS CUBIERTAS	2010
Series:	
. MÁSTER PL <i>Electronic Automatic</i> .	600-900 lm, e = 54-60, IRC 82, No regulable D: 50,8, l: 141,0, Vm al 50 % errores 15.000/20.000 h 11-15 W color 827
. MÁSTER PL AMBIANCE	12-16-20-23 W, color 827, Vu 12.000 h
. MÁSTER GLOBE	16-20-23 W, colores 827-865
. MÁSTER PL	Electronic POLAR 15-20-23 W, color 827 (apta para exteriores de -20 en +40 °C)
. Softone dimerizable	E27, 12-20 W, color 827

Tabla 5.16
Características de las fluorescentes compactas integradas cubiertas.



Fig. 5.82

1. Fluorescente compacta integrada y cubierta SL, OSRAM, E-27.

2. Tipo SL "esférico", MASTER GLOBE, Philips.

3. Tipo SLE De 12-16-20-23 W con color 827.

4. Tipo MASTER-PL.



1



2



3



4

5.8.8 Lámparas de inducción

Funcionamiento

Se induce un campo electromagnético dentro de una atmósfera gaseosa, que sea capaz de excitar a los átomos de mercurio del gas contenidos en la bombilla.

La radiación obtenida es fundamentalmente ultravioleta, por lo que la bombilla debe recubrirse interiormente con sustancias fluorescentes para transformar la radiación ultravioleta en visible.

La energía de un generador exterior de alta frecuencia (2,65 MHz) se transmite en la lámpara por radiación mediante un acoplador de potencia (antena) situado en el interior y unas bobinas de inducción con núcleo de ferrita. Las primeras eran de 55 o 85 W (1985) y con una emisión de 70 Lm/W, IRC 80.

Tabla 5.17
Características básicas de lámparas de inducción.

Características básicas de lámparas de inducción			
W	CÓDIGO	IRC	T°K
55	830	80	2.900
85	840	80	3.750
165	840	80	3.850

Vm estimado: 15 años, que equivale a 72.000 horas de funcionamiento de 4.800 horas/año en condiciones de laboratorio y 60.000 horas en condiciones normales (estimado sin ningún efecto negativo del sistema, el régimen del funcionamiento y las condiciones ambientales).

Su precio inicial era elevado, hasta unos 220 € el bulbo, 260 € el generador y 120 € la antena, resultando un total de 600 € por lámpara. En la actualidad, las empresas están mejorando sus precios con el fin de permitir una competente incorporación en el alumbrado urbano y de grandes áreas.

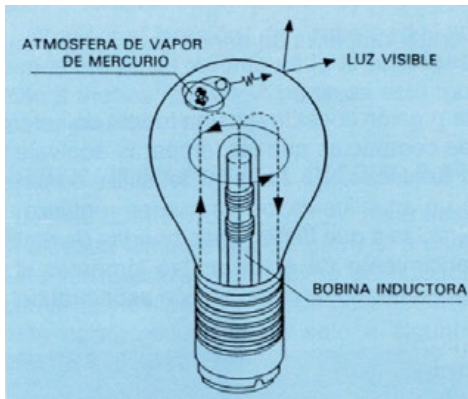


Fig. 5.83
Esquema de funcionamiento de una lámpara de inducción. Lámpara de inducción MASTER QL Philips.



5.8.9 Las lámparas LED

Las lámparas LED (*Light-Emitting Diode*) producen radiación luminosa de un elemento en estado sólido cuando se somete a una determinada polarización eléctrica, electroluminiscencia de una unión semiconductora, P-N, similar a un diodo convencional.

A Ánodo (P)

B Cátodo (N)

1. Lente (encapsulado epóxico)
2. Contacto metálico
3. Cavidad reflectora
4. Terminal del semiconductor
5. Yunque
6. Plaqueta
7. Lado plano

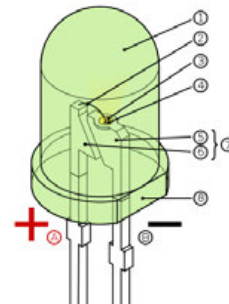


Fig. 5.84
Esquema de funcionamiento de un led.

El primer led, con emisión dentro del espectro visible pero de color rojo, fue desarrollado por el ingeniero Nick Holonyak en 1962 para la General Electric Company. A finales de la década de 1980 se inicia la fabricación de leds con colores amarillo, verde y azul. A partir del 2002 se desarrollan los blancos con aumentos notables de eficacia y en el 2009 se trabaja con los UV y amarillos.

Ahora ya se puede hablar de lámparas led, módulos led, lumbreras led y estructuras constructivas led.

Algunos tipos de led:

- | | | |
|---------------|-----|-----------------------|
| – Luxenon I | 1 w | $\Phi = 25$ lm blanco |
| – Luxenon III | 3 w | $\Phi = 65$ en 80 lm |
| – Luxenon V | 5 w | $\Phi =$ hasta 120 lm |
| – Vm 50.000 h | | $e \approx 60$ lm/w |

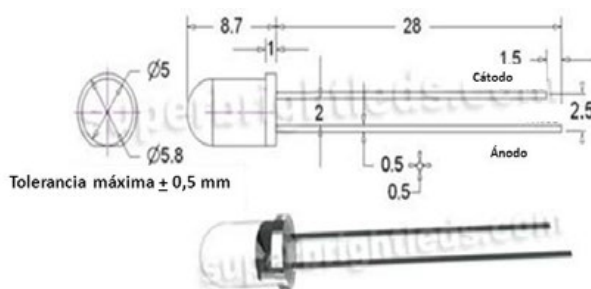


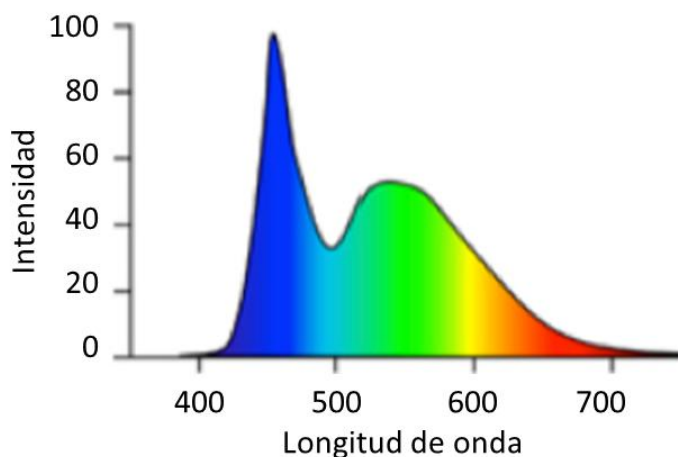
Fig. 5.85
Algunos tipos de lámparas led.
Medidas generales del led.

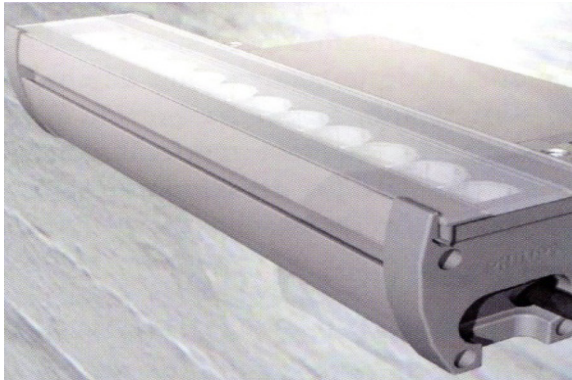
Las luminarias de leds acostumbran a incorporar el transformador. Estos ya son todos electrónicos, y la facilidad para incluir los chips de recepción de señal desde un programador hace que estas luminarias se puedan clasificar como *electrónicas*.

Con esto, las posibilidades de regulación de intensidad, los cambios de color activando leds diferentes dentro de la luminaria y la actuación por señales programables externas las hacen óptimas para la regulación según los niveles de luz natural en diferentes puntos del espacio, así como por la variación de la temperatura de color según el color de la luz natural en aquel momento o para montar *escenas* visuales específicas según el deseo del usuario.

Esto es lo positivo; lo negativo es que todavía no existen leds blancos de diferente tonalidad, son de un blanco azulado con unos 5.000 K y hay que tener al lado leds rojos para compensarlo. También precisan una buena dispersión térmica para que no disminuya su vida útil muy por debajo de la nominal o teórica de las 50.000 horas.

Fig. 5.86
Espectro de emisión de un led blanco.





a.



b.

Fig. 5.87
Algunas luminarias de leds.
a. Detalle de una luminaria con leds.
b. Lámpara Philips, de led blanco, con una forma parecida a las incandescentes tradicionales, 2008.

El OLED (*Organic Light-Emitting Diode*) es un diodo basado en una capa electroluminiscente que está formada por una película de componentes orgánicos, y que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica, y genera y emite luz por sí mismo. Su aplicación es realmente amplia, mucho más que en el caso que nos ocupa.

Además, las tecnologías basadas en oled no solo tienen una aplicación puramente como pantallas reproductoras de imagen, sino que su horizonte se amplía en el campo de la iluminación, privacidad y otros múltiples usos que se le pueda dar.

Una solución tecnológica que pretende aprovechar las ventajas de la eficiencia alta de los leds típicos (hechos con materiales inorgánicos principalmente) y los costes menores de los oled (derivados del uso de materiales orgánicos) son los sistemas de iluminación híbridos (orgánicos/inorgánicos) basados en diodos emisores de luz. Dos ejemplos de este tipo de solución tecnológica los está intentando comercializar la empresa Cyberlux con los nombres de HWL (*Hybrid White Light*, luz blanca híbrida) y HML (*Hybrid Multicolor Light*, luz multicolor híbrida). El resultado puede producir sistemas de Iluminación mucho más eficientes y con un coste menor que los actuales.

El futuro inmediato coincide con el desarrollo de los leds orgánicos **oleds**, que incluso permitirán crear láminas integrables en cristales a bajo coste, y podrán conseguir, con la mezcla de óxidos, los colores que se deseen.



Fig. 5.88
Algunas luminarias de
oleds.
Oled utilizado como
material de revesti-
miento de una pared,
como si fuera
cerámica luminosa.



Tabla 5.19
Algunos compuestos
utilizados en la fabri-
cación de leds.

Compuestos utilizados en la fabricación de leds		
Compuesto	Color	Long. de onda de la luz emitida
Arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo	940 nm
Arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	Rojo e infrarrojo	890 nm
Arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	Encarnado, anaranjado y amarillo	630 nm
Fosfuro de galio (GaP)	Verde	555 nm
Nitruro de galio (GaN)	Verde	525 nm
Seleniuro de cinc (ZnSe)	Azul	
Nitruro de galio e indio (InGaN)	Azul	450 nm
Carburo de silicio (SiC)	Azul	480 nm
Diamante (C)	Ultravioleta	
Silicio (si)	En desarrollo	

5.8.10 Lamp Designation System

El *Lamp Designation System (Uniform designation system for electrical lamps for general lighting)* es un código, aprobado en agosto de 1994, para unificar las diferentes designaciones de las lámparas eléctricas comercializadas por los fabricantes, de manera que todos ellos utilizan los mismos criterios para la designación e identificación de sus productos.

Resumen

Parte A. Identificación de la familia de la lámpara, de las características de la bombilla, así como de su forma. Está formada por tres caracteres principales, *a*, *b* y *c*, que se corresponden con las descripciones siguientes:



- a) producción de la luz: **Y** incandescencia, **H** *high pressure discharge* (descarga a alta presión), **L** *low pressure* (baja presión) *discharge*;
- b) material de la bombilla: **G** *glass* (cristal), **Q** *quartz* (cuarzo), **M** *mercuri* (mercurio), **e** *iodine* (yodo), **S** *sodium* (sodio);
- c) forma de la bombilla: **En** *all purpose* (diverso), **C** *candle* (vela), **D** *drop*, (gota) **E** *elliptical* (elíptico), **G** *globe* (globo), **L** lineal, **R** reflector, **T** tubular, etc.

Seguidamente identificamos las denominaciones de lámparas más frecuentes:

a	b	c	ejemplos
(I)	G	ER	IGER
(I)	G	R	
(I)	Q	T	
(I)	Q	R	
(I)	Q	R-CB	Reflectoras dicróicas (<i>Cool Beam</i>)
H	Q	L	Vapor de mercurio AP, <i>lineal</i> (normal)
H	M	E	HME vapor de mercurio AP, <i>hight pressure, mercury, elliptical form</i>
H	Q	I	H <i>hight pressure</i> , cuarzo, <i>iodine</i> , descarga de halogenuros metálicos
H	I	R	<i>Hight pressure</i> , yodo, reflectora, de halogenuros metálicos
H	I	T	<i>Hight pressure</i> , yodo, tubular, de halogenuros metálicos
L	M	TC-DSE	<i>Low pressure, mercury</i> , tubular compacto, DSE doble tubo fluorescente con balasto electrónico
L	M	T	<i>Low pressure, mercury, tubular</i> , T 26 18W /54-1A Fluorescente estándar, 18 W, 5.000K, Rg 1

Parte B (complementos y sufijos). Recoge la descripción de los complementos y de algunas características complementarias de las lámparas.

Los sufijos más frecuentes son los siguientes:



ax	Axial filamento
CB	Cool Beam
CBC	Cool Beam Closed
DE	Double Ended
DSE	Double tube compact fluorescente, self ballasted (compacto), electronic
LO	Electronic ballast
H	Horizontal lamp position
HS	Hight Security
L	Long compact fluorescente
T	Triple tube compact fluorescente
Q	Quadruple tube compact fluorescente
SE	Self ballasted, electronic
tr	Transversal filamento
UVr	UV reduced lamp
V	Vertical lamp position

Parte C. Corresponde a características eléctricas, geométricas y dimensionales. Los sufijos más frecuentes son los siguientes:

C.1	Diámetro de la bombilla	Excepcionalmente las lámparas PAR se siguen expresando con el diámetro en octavos de pulgada. PAR 20 20/8" = 63,5 mm; PAR 36 36/8" = 114,3 mm; PAR 38 38/8" = 120,65 mm
C.2	Wattage	Se expresa con "diameter-wattage"
C.3	Bulbo colour	c: clear; cr: crystal; m: matt; o: opal; w: white El color solo se expresa cuando es necesario
C.4	Shielding Angle	(ángulo de proyección-concentración de la emisión) Se expresa después de la potencia. Por ejemplo, una reflectora R80: 100 W/m/80°
C.5	Lamp Cap Type	(tipo de conexión). Los tipos más frecuentes son: E14, E27, E40, GY6,35, R7s, G12
C.6	d	Tensión de la corriente eléctrica; tipo: 6-12-24 V en MBT y 125-230 V en BT

Parte D. Corresponde en las características cromáticas de la luz que produce la lámpara. Principalmente la temperatura de color en K y el rendimiento de color IRC.

D.1 *Light colour* (temperatura de color en Kelvins)



Se puede expresar solo con dos dígitos; por ejemplo, superior a 3.000 K que permite tener una idea de aproximación.

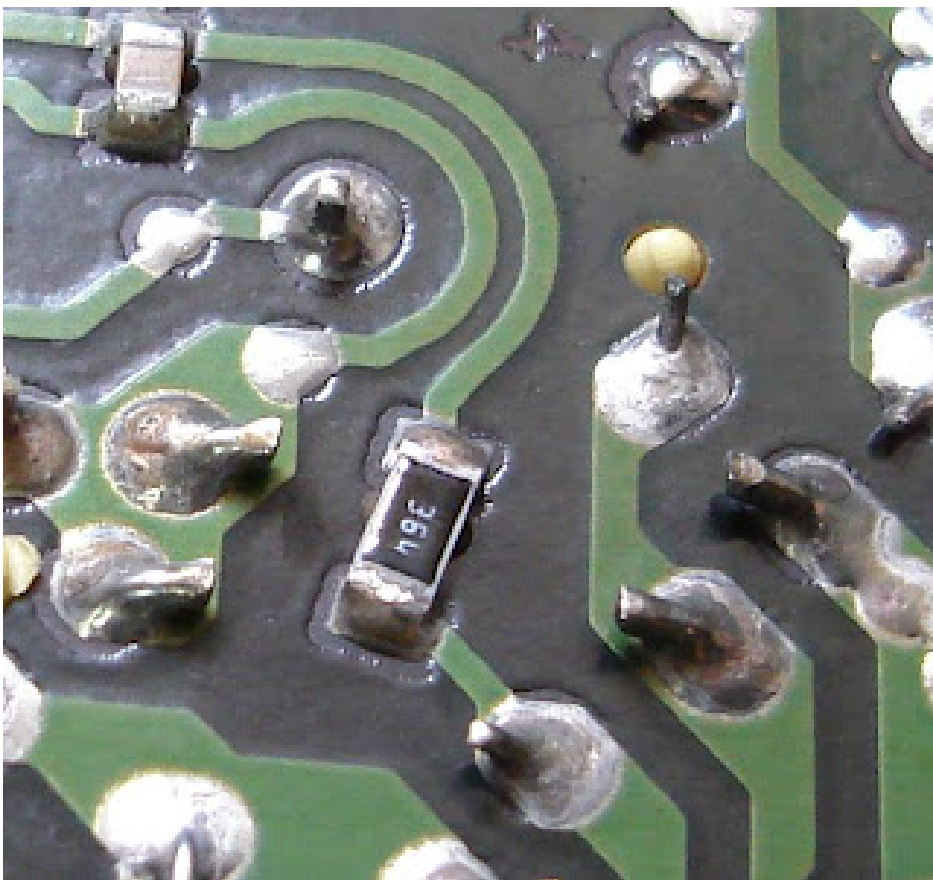
D.2 *Colour rendition* (índice de rendimiento cromático, IRC, o rango de calidad de reproducción de los colores)

El IRC se puede expresar con dos dígitos (0-99) o bien de forma simplificada y conjuntamente con la T de color; por ejemplo, 85, donde el 8 expresa superior a 80 y el 5 superior en 5.000 K.

También se puede utilizar el rango (entre 1-4) y el complemento A o B; por ejemplo, QR-CB51 50 W/30-1^a.

→6

Instalaciones auxiliares y complementarias (de los sistemas)



6.1 Infraestructura mecánica: de fijación, protección y orientación

Hay que tener presentes las condiciones y capacidades de los elementos constructivos de los edificios como sus paredes, techos, etc. para soportar, integrar y potenciar los elementos del sistema de iluminación. La resistencia, grueso, material, color, etc. de estos pueden afectar a la decisión y a los resultados.

Un **cielo raso** puede incorporar las fuentes de luz, pero hay que conocer las dimensiones y necesidades de ventilación de la luminaria para fijar la altura libre mínima y la posible necesidad de ventilación natural o forzada de esta cámara.

Un **carril electrificado** sirve para fijar, desplazar y orientar las luminarias y también para el suministro de corriente y el control de los encendidos de hasta tres grupos de luces. Estos pueden ser suspendidos, adosados o empotrados.

Fig. 6.1
Detalle de carril electrificado y diferentes tipos de conexiones de luminarias.



Las bases de fijación en techo o paredes pueden incorporar ejes para el giro y las orientaciones, así como alargadores con “jack”. Si las lámparas precisan transformadores u otros, se pueden utilizar incorporados en las luminarias o separados –en el falso techo– si es registrable o en lugares específicos como canales de instalaciones.

También se pueden diseñar o utilizar bases de fijación industrializadas, las **estructuras metálicas** aéreas que se pueden incorporar de otras instalaciones como aire acondicionado, sonorización, detectores y alarmas de intrusismo o fuego. A menudo, estas mallas vistas componen un techo virtual de gran impacto visual que puede significar el motivo principal de diseño del espacio.

Los **muebles electrificados** pueden contener otras infraestructuras como las de informática, sonido, telecomunicaciones, elementos mecánicos, etc. Una pared de obra enyesada puede tener empotrados los conductos eléctricos, pero no en un tabique simple de cartón-yeso, pladur y similares; en su caso, habrá que prever una cámara y unos refuerzos puntuales para los mecanismos.

En un muro de una capilla románica no se permite la fijación de luminarias, ni conductos vistos o empotrados y tampoco se nos ocurre situar apliques de pared sobre un muro cortina.



Al mismo tiempo, también en el ámbito urbano los pavimentos o muros de las calles, parques o jardines presentan condicionantes para la selección de los sistemas, fuentes y apoyos.



Fig. 6.2
Estructura espacial para
integración de
instalaciones.

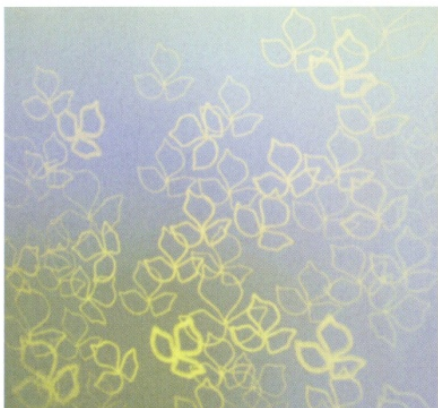


Fig. 6.3
Instalación de luminarias
diseñadas
especialmente para la
ubicación en los
capiteles.



Fig. 6.4
Luz integrada en objetos
y materiales.

Propuestas para el
concurso de
aplicaciones Corian®.



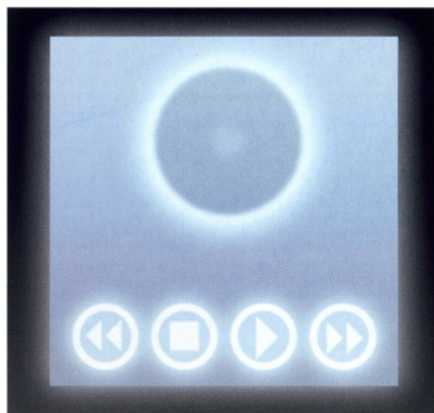
ILUMINACIÓN. Elementos gráficos luminosos dentro del Corian®, en el restaurante Serono. De Gavin Harris Mackay and Partners.



BORSA. Original lámpara de sobremesa portátil que deja entrever la luz ya que el Corian® es traslúcido. Es un diseño de Massimo Pavan.



MEDUSA. Luminaria que imita las formas de una medusa. Es un original proyecto de Claudia Carrasco, Hayley Stopford y Brian Duffy.



SQUARE. Un aparato de CD realizado en Corian® que incluye un display luminoso. De Bartanelli, Di Monte, Cremona y Bivaghi.

6.2 Infraestructura eléctrica y electrónica

6.2.1 De los sistemas

Del suministro de corriente a tensión normal (230 V), o a muy baja tensión (6-12-24 V), los equipos de encendido y estabilización (cebadores y reactancias), condensadores de compensación del factor de potencia, etc.

Las instalaciones del suministro de potencia de los cuadros de protección (principales, secundarios, de planta, de servicio, etc.), los cuadros de distribución, las cajas de conexión, conductos y conductores, la toma de tierra, etc.

Conocido como “el punto de luz” con la salida del conducto y los conductores eléctricos en el techo, o en la pared, conocido como “el aplique”.



También con un enchufe conectado a un accionador, situado en la parte alta de una pared desde donde sale el “hilo colgado”.

O la canaladura adosada a pared o techo, los canales a los suelos normales o de los suelos técnicos o suspendidos en el techo.



Fig. 6.5
Canaleta eléctrica con
mecanismos
integrados.

Los **carriles electrificados** ya mencionados como fijación, que pueden llevar la corriente a 230 V o bien a 12 V, útiles cuando las lámparas a instalar funcionan en 12 V ya que no precisan incorporar un transformador a cada una (lo lleva el carril en el extremo del suministro a 230 V).

También las barras metálicas y los cables conductores vistos para transportar la corriente a muy baja tensión (6, 12 o 24 voltios, inofensiva al contacto humano).



Fig. 6.6
Luminaria de bajo
voltage con sistema de
cables.
BakaRú,
Ingo Maurer.

Un caso especial es el de los **sistemas por fibra óptica**, donde la caja del generador, con suministro de corriente a 230 V, se puede situar a distancias de hasta diez metros de los extremos de los hilos de fibra óptica como terminales emisores de luz.



Fig. 6.7
Equipo de fibra óptica con la caja para lámpara, lentes concentradoras y ventilador, cables con conexión a salida de caja, modelos de terminales concentradores y difusores. Zumtobel.



Eléctrica o electrónica de los controles, para el suministro de tensión en los dispositivos y para generar la red alámbrica o inalámbrica del sistema de regulación, o de programación del funcionamiento, que puede llegar a formar parte de un sistema informatizado de gestión integral del edificio (llamado erróneamente “domótico” y, peor todavía, “edificio inteligente”).

Hasta 2001 existían las normas técnicas del EIBA (*European Installation Bus Association*) para los sistemas electrónicos de controles. Posteriormente se publicó el nuevo protocolo europeo DALI (*Digital Adressable Lighting Interface*), que puede integrar el EIBA y que define las condiciones de los sistemas con conductores de potencia y conductores de la red bus. Actualmente, desde 2004, se fomentan los sistemas vía radio –sin hilos– para distancias cortas dentro de edificios, teóricamente hasta 50 metros, mucho más económicos, así como los sistemas que utilizan la misma instalación de potencia eléctrica para el transporte de señales. Estos últimos sistemas no pueden incorporar protocolos EIBA, ni mucho menos el DALI.

6.2.2 Equipos auxiliares de las luminarias

Infraestructura física para fijar o soportar las luminarias

Podemos encontrar elementos tales como los carriles electrificados (ver el capítulo 5 sobre los sistemas), bases para fijar en techo o en paredes, jacks de prolongación, cables de suspensión, barras rígidas de suspensión, bases para dejar en el suelo o en sobremesa, pinzas, etc.

Sus accesorios tienen que ser adaptados a las conveniencias del sistema.

Muchas de las series de luminarias ofrecen dispositivos para carril, o bases para techo y pared y también para suelo y mesa, pero hay que comprobar cada caso.



También encontraremos luminarias que permiten incorporar accesorios para corrección de la emisión lumínica tales como orejas, rejillas, lentes tipo Fresnel o difusoras, lentes de color, etc.

Infraestructura eléctrica

Las luminarias que pueden incorporar lámparas incandescentes en MBT acostumbra a contener el transformador, aunque algunas lo dejan exterior para situarlo en canaletas.

Las que pueden incorporar lámparas fluorescentes lineales o compactas – siempre con el equipo no incorporado– contienen el balasto y el cebador, normalmente electrónico.

Y las que permiten lámparas de halogenuros metálicos contendrán los equipos específicos.

Las que se regulan y/o programan desde un sistema general de la sala o del edificio contendrán los receptores de señales para actuar sobre los autotransformadores y balastos.

También hay luminarias que incorporan los sensores, reguladores y programadores autónomos para cada unidad.

6.2.3 Equipos auxiliares de las lámparas

Se puede decir que apenas hay infraestructura para las lámparas, ya que toda es de las luminarias, pero algunas muy pequeñas y/o versátiles pueden funcionar sin luminarias.

Infraestructura física

La mínima expresión son los cables o barras conductoras de electricidad –en MBT– y que actúan como apoyo para colgar y conectar a la vez con su portalámparas.

Infraestructura eléctrica

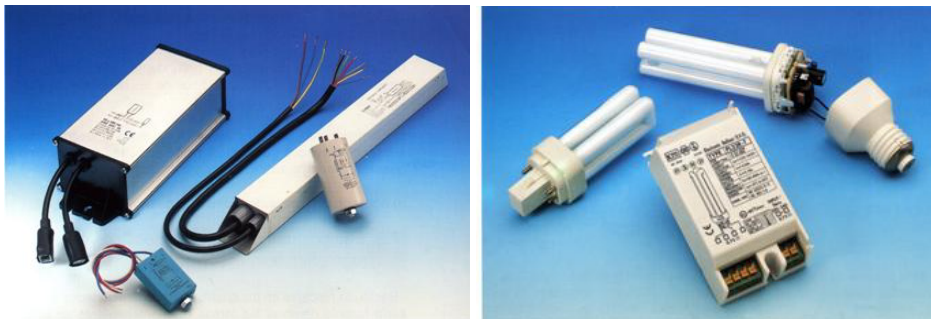
Los aparatos necesarios son los mismos mencionados para las luminarias.

Hay lámparas (sin luminaria) que precisan equipos auxiliares que, o bien son tan pequeños y elementales que se pueden situar en el sistema de bases, barras o jacks, o bien si se dispone de un canal, canaladura, caja o techo desmontable se pueden aprovechar para alojarlos.



Fig. 6.8
Componentes para
lámparas de descarga:
arrancador, cebador y
reactancia.

Fig. 6.9
Equipos auxiliares
para fluorescentes
compactos (no
integrados).



Recomendaciones para seleccionar las instalaciones auxiliares de las lámparas

En principio, los fabricantes de luminarias suministran los aparatos equipados para determinadas lámparas y las condiciones de funcionamiento. Ahora bien, si primero escogemos unas luminarias genéricas y después las lámparas, tenemos que saber qué elementos se tendrán que incorporar.

Según el régimen de funcionamiento y regulación previstos de las lámparas hará falta acoplarlas con unos elementos específicos. Especialmente según la tipología del espacio habrá que prever aspectos importantes.

El número de encendidos y apagadas diarios

En una **vivienda** los encendidos y apagadas son muy frecuentes, especialmente en lugares de acceso, distribuidores, cuartos de baño, cocinas y otros (más de diez al día) y mucho menos en las salas de estar y dormitorios (tres o cuatro al día).

En los **espacios comunitarios de los edificios de viviendas**, vestíbulo, escalera, distribuidores, rellanos, etc. es posible que si no disponen de luz natural haga falta un pulsador manual o unos sensores de presencia, y si hay luz natural hará falta un sensor de luz durante el día y un programador horario durante la noche.

De todas maneras, el sistema más económico es el de pulsador manual simple que al entrar enciende el vestíbulo y la primera planta y al salir de la vivienda con pulsador enciende el propio rellano y el de la planta inferior.

Para una **tienda o espacios de trabajo de una oficina**, los encendidos son pocos (dos al día) y el control acostumbra a ser manual o con sensor de luz natural.

Para las escuelas, en las **aulas** hace falta el sensor de luz natural para las líneas próximas a las ventanas y el control por horario de uso con retraso si hay presencia, que puede ser complicado y encarecedor.



La duración del periodo de encendido

Igualmente, para una vivienda los espacios de más frecuencia en los encendidos mencionados son también aquéllos en que la duración es más corta.

En los **espacios comunitarios** la duración del encendido manual o automático es la que cubre la llegada al ascensor o al subir dos plantas, aproximadamente un minuto. Al dejar el ascensor hace falta pulsar la luz del rellano.

Con respecto al sistema de programación o control del encendido, si se dispone de un programador este incorporará toda clase de sensores necesarios o convenientes, pero habrá que tener en cuenta las prioridades de trabajo; en caso contrario nos podremos quedar a oscuras sin saber qué hacer.

Los equipos de las lámparas serán los convenientes según la duración del encendido. La vida útil de las lámparas se detalla para duraciones de tres horas o de 12, y resulta que en muchos casos la duración es muy inferior, a menudo de tres o cinco minutos; por lo tanto, la vida útil será mucho menor que el nominal. En estos casos, es conveniente escoger lámparas específicas, por ejemplo, en fluorescentes compactos las de Philips MASTER PL-L no integradas y con balasto electromagnético, o en fluorescentes lineales.

6.3 Controles de funcionamiento

Normal: luminarias con interruptor o conmutador por accionamiento desde dos o más puntos, con posible regulador de intensidad, si las lámparas lo aceptan, con *dimmers* manuales. Es el sistema tradicional con el suministro de líneas de potencia en las fuentes y en los accionadores.

Muy manual: si todos los procesos los realiza el usuario, en realidad no existe ningún sistema de regulación.

Mínimos según normas: control de la iluminancia en el exterior (sensor exterior), control de la iluminancia media, máxima o mínima del ambiente (sensores interiores) y control de iluminancias de seguridad (luz de emergencia).

Sistema básico completo: control de la iluminancia en el exterior, control de la iluminancia media, máxima o mínima del ambiente, control de zonas según orientaciones, ocupaciones, horarios, niveles de exigencia, escenas deseadas, etc., control de mínimos por desempleo de los locales. Puede ser individual de lumbrera, de local, de planta, o de todo el edificio pero no bidireccional.

Compuesto: luminarias con diversas lámparas de encendidos independientes, y/o diferentes regulaciones o composiciones cromáticas. También pueden incorporar la luz de emergencia, de señalización o de seguridad para fallos de la corriente, así como de mantenimiento de nivel mientras se enfrían, se reen-



cienden y llegan a alcanzar el nivel de régimen determinadas lámparas de descarga.

Programable: la programación del funcionamiento de un sistema puede tener una complejidad determinada en función de las prestaciones deseadas o de los posibles ahorros de energía. Las programaciones pueden ser sencillas o muy complejas e incorporar las regulaciones con *dimmers* automáticos desde programadores.

El sistema programable puede controlar las variaciones de los niveles y las diferencias en los controles, según orientaciones, ocupaciones, horarios, niveles de exigencia, escenas deseadas, controles de mínimos y las previsiones de variación de las condiciones exteriores, con capacidad de cálculo en tiempo real y acumulado para periodos de consumos eléctricos y ahorros de energía, así como la programación de tareas de mantenimiento y reposición de aparatos por el ahorro general. Será siempre con direccionalidad y precisa la conexión en un ordenador principal “maestro” y diversos de “esclavos”.

En orden de importancia, las prioridades van según los controles de:

- Manual
- Por sensores de presencia
- Por horarios
- Por suficiencia de la LN

Básico, de ciclo o plan de funcionamiento con sensores de luz natural, de ocupación, según el horario, etc.

Dinámico, en función de muchas variables, creando “escenas” variables desde un programa informático.

De mantenimiento, para establecer el plan de limpieza, reparación y sustitución a tiempo para prolongar al máximo su vida media (útil o económica).

Para el control del coste de la instalación, del mantenimiento y de la energía consumida.

Tengamos presente que ya se puede proyectar una instalación cuyas luminarias dispongan de elementos capaces de actuar automáticamente, tales como sensores, actuadores y programadores incorporados dentro de ellas mismas.

Los **equipos unitarios de encendido y regulación** son los que incorporan el arrancador, el estabilizador y un posible transformador, y actualmente pueden ya incorporar los sensores y programadores.

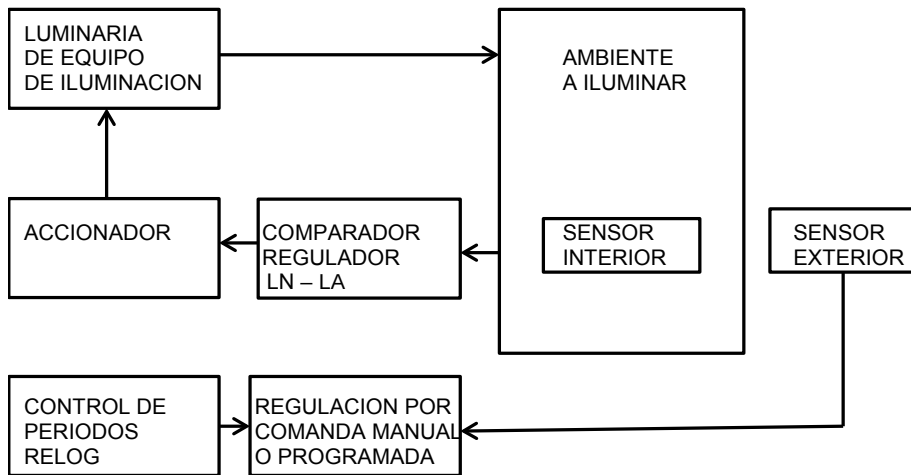


Fig. 6.10
Esquema genérico de
sistema de control.

→7



Las normativas





Hay que ser consciente de que esta materia sufre una revisión permanente para adaptarse a las evoluciones tecnológicas y que los gobiernos intentan adaptar las leyes para evitar que se causen daños o perjuicios a la población. Por eso los arquitectos tienen que conocer los campos legislativos que afectan a la viabilidad de sus proyectos.

El campo de la luminotecnica está evolucionando de forma espectacular y la tecnología eléctrica y electrónica se ha adaptado a las premisas de reducción de los consumos y las emisiones de CO².

Los sistemas de regulación y programación de la luz interior en los edificios permiten mantener los niveles de iluminación deseados apagando o reduciendo las iluminancias hasta niveles económicos, así como también la arquitectura, con la captación y transporte de la luz natural, se convierte en un referente frente al ahorro de energía al adaptar el funcionamiento de los sistemas eléctricos a los niveles obtenidos por la luz natural.

Así, en la actualidad se dispone de las normas siguientes:

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, REBT, R. D. 842/2002, de 2 de agosto, y sus Instrucciones Técnicas Complementarias. De ámbito totalmente dedicado al funcionamiento de las instalaciones eléctricas, y parcialmente a las de iluminación.

Reglamento de Eficiencia Energética en el Alumbrado Exterior, REEA'S, y sus Instrucciones Técnicas Complementarias EA-01 en EA-07. R. D. 1890/2008, de 14 de noviembre; BOE 279, de 19/11/2008.

Campo: instalaciones de alumbrado público con más de 1 kW.

El REEA'S menciona: "El uso irracional de la energía y la contaminación lumínica suponen un impacto negativo sobre el medio ambiente", así como "permite que se puedan conceder excepciones en sus prescripciones, en casos justificados debidamente, a fin de evitar situaciones de inaplicabilidad."

Ver apartado 4. ALUMBRADO ORNAMENTAL

Fachadas de edificios, etc.

Ver Tabla 3 de ITC-EA-03 Limitaciones de la luz molesta

Ver Tabla 17 Evaluación del deslumbramiento mediante el Índice UGR

ITC:

EA-01 Eficiencia energética

EA-02 Niveles de iluminación

EA-03 Resplandor luminoso nocturno y luz intrusa o molesta

EA-04 Componentes de las instalaciones

EA-05 Documentación técnica, verificaciones e inspecciones

EA-06 Mantenimiento de la eficiencia energética de las instalaciones

EA-07 Mediciones luminotécnicas en las instalaciones de alumbrado

Alumbrado en el sector terciario. Reglamento 245/2009

Con profusión de información sobre las lámparas a utilizar y la eficiencia exigida.

Guía de Aplicación CELMA (Federación de Asociaciones Europeas de luminarias y equipos electrónicos de la UE, con ANFALUM como miembro único de España); todavía no aparecen las lámparas, pendientes de incorporación en la próxima revisión.

Alumbrado doméstico. Reglamento 244/2009

Relacionado con el calendario de eliminación de lámparas.

Directiva Europea EUP 2005/32/CE (*Energy Using Products*), aceptada en España por el R.D. 1369/2007.

Entre otros, en los espacios de trabajo en interiores, con permanencia de personas hace falta un IRC mínimo de 80.

Y la eliminación del mercado (excepto ámbitos privados o domésticos) de las lámparas con eficacias menores a 20 lm/W.

Normativa española vigente, CTE Código Técnico de la Edificación

- CTE-HE3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación (VEEI).
- CTE-SU4 Seguridad frente al riesgo causado por una iluminación inadecuada.
- CTE- HE5 Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.
- Norma UNE EN 12464-1 2003: Norma Española sobre la iluminación para interiores.
- Norma UNE 72_112: Tareas visuales.
- Norma UNE 72_163: Niveles de iluminación. Asignación de tareas.
- Norma UNE 12193: Iluminación de instalaciones deportivas.

Otras normas relacionadas con el alumbrado

- RAEE: Real Decreto sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos
- RoHS Directiva 2002/95CE: Restricciones en la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos
- RD 838/2002: Requisitos de Eficiencia Energética de los balastos de lámparas fluorescentes

Decreto de la Generalitat de Catalunya 21/2006, de 14 de febrero, de Ecoeficiencia en los edificios.



Segunda parte.
Criterios de diseño lumínico
en arquitectura



El diseño lumínico en la arquitectura





Teniendo en cuenta las anteriores características asociadas a la luz, el observador y el espacio, el proyecto de iluminación según **el diseño lumínico en la arquitectura** tiene que actuar de acuerdo con las decisiones formales del diseño arquitectónico, para obtener un resultado global de potenciación perceptiva del espacio arquitectónico.

El proyecto lumínico, según Bruno Zevi, engloba los aspectos lumínicos y atmosféricos y está dentro de los valores artísticos, recordando Vitruvio y las tres condiciones de la buena arquitectura: *Firmitas, Utilitas y Venustas*.

8.1 Antecedentes y principios

Si la luz forma parte de la arquitectura, hay que preguntarse: ¿cuándo y cómo se tiene que incorporar al proyecto arquitectónico?

Ya hemos visto como la iluminación entró en el debate arquitectónico gracias a arquitectos e ingenieros como Raymon Hood y Joachim Teichmüller, que reconocían el papel “constructivo” de la luz y la necesidad de incorporarla a la “idea” de la arquitectura.

La influencia de la iluminación escénica en la iluminación arquitectónica es evidente; el paso de los diseñadores lumínicos escénicos americanos hacia la arquitectura fue frecuente; las primeras escuelas de formación de profesionales de la luminotecnica como el *School of Drama*, de Yale, eran para la iluminación escénica.

Las posibilidades “efectistas” y “creativas” de la escenografía hicieron avanzar la luminotecnica de simple disciplina técnica a “creativa” y calificadora de la escena arquitectónica. Poco a poco empieza a gestarse la figura del “luminotécnico”, más tarde “diseñador lumínico”, para asesorar a los arquitectos en el desarrollo de los proyectos y/o en la toma de decisiones lumínicas (ver las colaboraciones entre Richard Kelly y Mies, Kan etc.). Este cambio comporta adaptaciones en los criterios de intervención dada la importante diferencia conceptual entre escenografía y espacio arquitectónico.

La voluntad de crear nuevos “efectos espaciales” es una preocupación constante de los arquitectos que animará la industria luminotécnica a crear nuevas luminarias y a perfeccionar lámparas, equipos y tecnología en general.

Este proceso inicial se ha invertido en la actualidad, donde la potente industria luminotécnica necesita una innovación continua para hacer “comerciales” y rentables sus productos, dada la fuerte competencia del sector, lo que comporta la necesidad de una renovada “puesta en escena” y anima a los arquitectos a proyectar espacios nuevos donde aplicar estos productos y experimentar sus innovadores efectos.

8.2 Objetivos y métodos

Las utilidades mencionadas desde los ámbitos tecnológicos, como de **prestación visual**, **confort** y **confort básico**, no tienen otro efecto que poder realizar unas tareas con unos mínimos de exigencias visuales.

Las posibilidades del diseño lumínico abren un campo de actuación del diseñador, principalmente para la **significación del espacio arquitectónico** (espacio tridimensional perceptivo), lo cual representa la actitud de diseño con la luz. Nos estamos refiriendo (ver capítulo 1, La luz y la percepción) a la ocultación y la percepción y expresión del espacio y de los elementos contenidos, generando unas imágenes visuales que incorporen un mensaje estético o provocador de alguna sensación intelectual.

Por ejemplo, según el efecto percibido en el espacio, se pueden generar sensaciones de:

Sensaciones generales según el efecto perceptivo del espacio	
CENTRO	(luz centrípeta)
CONTORNO	(luz centrífuga)
CIRCULACIÓN o de CONTINUIDAD	(aceleración)
BARRERA VISUAL	(paro del desplazamiento)
GLOBALIZACIÓN	(espacial)
UNIFORMIDAD	(en menajes)
CONTRASTE	(potenciación de formas y texturas)
LOCALIZACIÓN	(potenciación para la expresión de elementos u objetos, creación de hitos espaciales)
MODELADO	(de objetos volumétricos, ponderación de las sombras propias o proyectadas)

Tabla 8.1
Sensaciones según el efecto perceptivo del espacio.

l como más específicas hay que añadir los efectos siguientes:

Sensaciones generales generadas según el efecto perceptivo del espacio. Efectos más específicos
POTENCIACIÓN O MODIFICACIÓN VISUAL DEL ESPACIO Y LOS CONTENIDOS
GENERACIÓN DE HITOS Y RECORRIDOS VISUALES
POTENCIACIÓN O ALTERACIÓN DE TEXTURAS Y COLORES. Diseños de reforzamiento o de alteración cromática

Tabla 8.2
Sensaciones generales generadas según el efecto perceptivo del espacio. Efectos más específicos

Seguidamente ponemos algunos ejemplos para clarificar los efectos descritos en las tablas anteriores.



Fig. 8.1
Efecto de centro (luz
centrípeta).
Vestíbulo Louvre,
I.M. Pei.

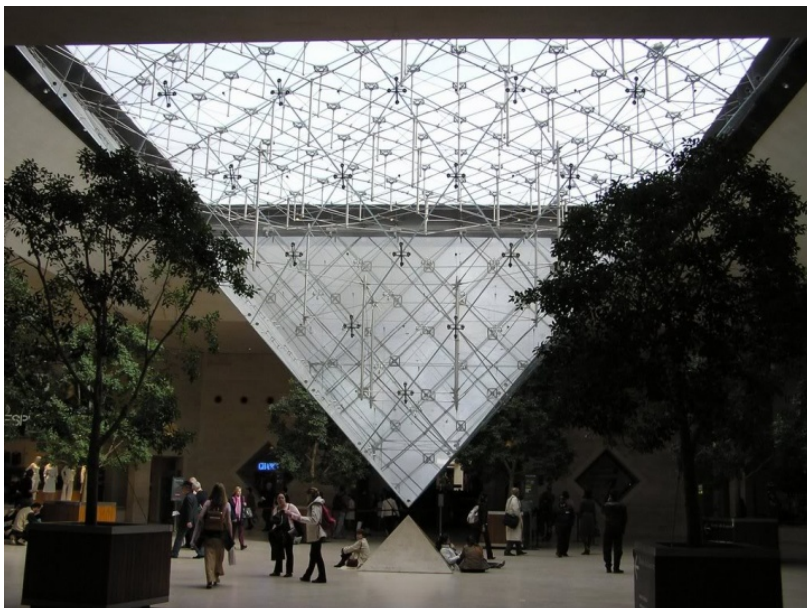


Fig. 8.2
Efecto de contorno (luz
centrífuga).
Sala convencional de
exposición.

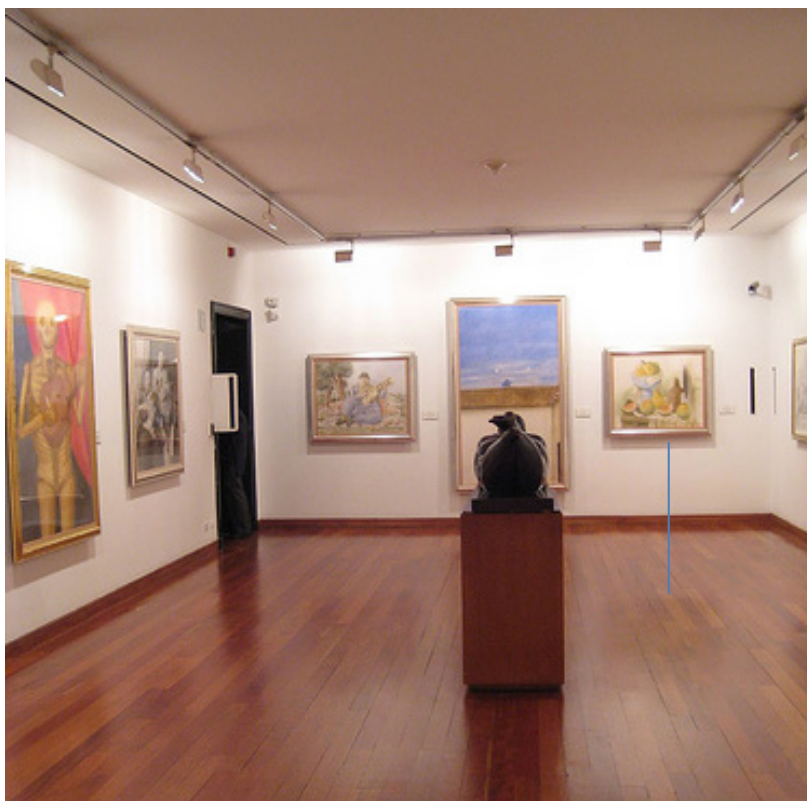




Fig. 8.3
Efecto de circulación con efecto lateral continuo y ocultación de formas o elementos en el otro lado.



Fig. 8.4
Efecto de barrera visual (deterida del desplazamiento por disminución fuerte de la luz de enfrente).



Fig. 8.5
Efecto de ritmo, con hitos, aceleración o percepción y direccionalidad del espacio.
Vaillo & Irigarai, arquitectos.



Fig. 8.6
Efecto de globaliza-
ción.
National Gallery de
Londres.



Fig. 8.7
a. Efecte d'uniformitat
Fundació Menil.
Renzo Piano.



b. Efecte de contrast.
Museu Lehmbrock,
Duisburg.



Fig. 8.8
Efecto de modelado,
Iluminación escénica de un
cantautor.



Fig. 8.9
a. Efecto de uniformi-
dad
Fundación Menil.
Renzo Piano.

b. Efecto de contras-
te.
Museo Lehmbrock,
Duisburg.



8.3 El planteamiento del proyecto lumínico en la arquitectura

Históricamente se ha definido el espacio arquitectónico desde su materialidad física. Actualmente, sin embargo, se hace desde sus cualidades perceptivas y el diseño de su atmósfera. La experiencia del observador se convierte en un elemento fundamental en la comprensión del espacio arquitectónico y, en este sentido, experiencia y percepción sensorial son inseparables. La luz permite alcanzar la experiencia del espacio a través de la visión.

En el **diseño lumínico en la arquitectura** se contemplan las dos consideraciones anteriores de espacio. Se entiende por espacio un “ámbito tridimensional dinámico perceptivo”, definido por una envolvente material (cerrada o no) de elementos de estructura (permanentes o temporales) con una determinada iluminación que caracteriza su atmósfera, analizado desde la percepción visual calificada arquitectónicamente y desde una posición no estática, sino dinámica.

El espacio arquitectónico es, pues, un espacio tridimensional perceptivo y la experiencia que tendrá de él cualquier observador dependerá de su iluminación, que tendrá que considerar en su planteamiento conceptual del espacio y sus características físicas, cromáticas, topológicas y simbólicas, los usuarios, el programa funcional y los contenidos.

Hay que analizar el proyecto en todos estos aspectos para encontrar la motivación del diseño y de su iluminación.



Fig. 8.10
Gráfico resum de las
características básicas
del espacio.

8.3.1 Características físicas del espacio

La definición física del espacio responde a múltiples consideraciones, que corresponden a ámbitos de caracterización conceptual diferentes como los siguientes:



Conceptualización de ámbito arquitectónico

Tabla 8.3
Conceptualización del
espacio según el ámbito
arquitectónico.

Tipología	Según el ámbito arquitectónico
INTERIORES	cerrados en sí mismo
EXTERIORES	comunicados con el barrio, la ciudad, viales de circulación, etc.
DINÁMICO	espacios de circulación, distribuidores, accesos, locales para el deporte, etc.
ESTÁTICO	estudio, lectura, trabajo, descanso
VARIABLE	salas multifuncionales, culturales, de ocio
DE TIPOLOGÍA ESPECÍFICA	aulas escolares, salones de actos, salas de lectura en bibliotecas

Conceptualización de ámbito tipológico

Tabla 8.4
Conceptualización del
espacio según el ámbito
tipológico.

Forma	Según el ámbito tipológico
LINEAL	pasadizos
SUPERFICIAL	atención en el suelo, campos deportivos
VOLUMÉTRICA	grandes volúmenes, dobles y triples alturas

Conceptualización de ámbito estructural u organizativo

La estructura espacial entendida como *modo* u *orden* característico de la organización del espacio, le confiere un carácter claramente identificable y clasificable; así, tendremos espacios de estructura formal con diferentes expresiones.

Tabla 8.5
Conceptualización del
espacio según el ámbito
estructural u
organizativo.

Según la estructura espacial
– compacto-unitario
– disgregado-fragmentado
– organizado con posibles modulaciones
– secuencial, con rimados
– amorfo, difícil comprensión de las dimensiones
– continuo o lineal (túneles, pasadizos, etc.)
– espacio de dominio vertical
– espacio de dominio horizontal
Etc.

Conceptualización de ámbito geométrico

Tabla 8.6
Conceptualización del
espacio según el
ámbito geométrico.

Forma según el ámbito geométrico
Rectangular
Circular
Irregular
Curvada
Compleja



Conceptualización de ámbito dimensional

Dimensiones características: son las dimensiones reales de los elementos delimitadores del espacio y coinciden con las medidas geométricas de las tres dimensiones: anchura, longitud, altura (a, b, h). La superficie como extensión y el volumen.

Según el ámbito dimensional	
ALTURA LIBRE	CONSTANDO Valores: * 3,00 / 3,05 4 4,00 / > 4,05 VARIABLE O HETEROGÉNEA
SUPERFICIE ÚTIL	DIMENSIONES APROXIMADAS

Tabla 8.7
Conceptualización del espacio según el ámbito geométrico.

Conceptualización de ámbito material

Según características y parámetros de ámbito material	
DE LOS ELEMENTOS DE CIERRE	PARAMENTOS OPACOS TECHO PAREDES SUELO
MATERIAL, RELIEVE, TEXTURA, RUGOSIDAD, COLOR	REFLECTANCIA GENERAL Y ESPECÍFICA A LOS COLORES
PARAMENTOS TRANSLÚCIDOS	EN TECHO, PAREDES Y OTROS PARAMENTOS, MATERIAL, TRANSPARENCIA, COLOR

Tabla 8.8
Conceptualización del espacio según el ámbito material.

8.3.2 Características del contenido

Según mobiliario y equipamiento (con uso continuo o esporádico)
FIJO O MÓVIL
DIMENSIONES, POSICIÓN
MATERIAL Y COLOR
EQUIPOS INFORMÁTICOS Centralitas o individuales, plóters, grandes escáners, etc.

Tabla 8.9
Gráfico resumen de las características básicas del contenido.

8.3.3 Características funcionales (del programa de funcionamiento)

Según funciones específicas
Básicas / Aleatorias / Esporádicas
INTELLECTUAL Escuelas, bibliotecas, museos
LABORAL Oficinas, entidades públicas
DEPORTIVAS Polideportivos, piscinas cubiertas, gimnasios, centros especiales
Otros

Tabla 8.10
Tabla de características funcionales según las funciones específicas del edificio.

DEFINICIÓN del edificio, de la propiedad y gestión, etc.

HORARIOS de funcionamiento

CALENDARIO meses de actividad, vacaciones, etc.

8.3.4 Características de los usuarios

Hay que definir los tipos de público usuario o visitante del edificio con el fin de ofrecer unos efectos visuales adecuados o proporcionales a sus conveniencias y capacidades perceptivas, tanto las físicas como las culturales.

Se muestra aquí una tabla para las consideraciones más convenientes:

Tabla 8.11
Tabla de condiciones
del observador para
la calidad
perceptiva.

Observador Usuario	Capacidad perceptiva	Sensibilidad corregida	Sensibilidad a los contrastes
1. Tipo físico	Campo visual	Por acomodación	
2. Fisiología /edad Salud	Reducida/ normal	Por defectos	
3. Actividad/útiles	Agudeza	Por adaptación	
4. Movimiento/velocidad			Por incapacidad o concentración
5. Actitud psicológica	Intencionalidad De observación		No atenta al en- torno
6. Efectos por tipo sociocultural	Nulo Medio Alto		Nulo Medio Alto
7. Duración de la observación	< 1 min Entre 1 y 5 min Entre 5 y 30 min		
8. Efectos de la duración	Deslumbra- miento Acomodación Fatiga visual 43		Posible Difícil Imposible

Técnicamente se menciona el factor de acentuación (FA). El concepto de iluminación de acentuación es parecido al de modelado, pero si bien este último se refiere principalmente a objetos volumétricos, personas, etc., la acentuación se utiliza para el contraste de niveles de iluminación para expresar el efecto de llamar la atención sobre un objeto dentro de un entorno superficial (normalmente para comercios y tiendas).

Hay una valoración establecida del factor de acentuación como parámetro que lo relaciona con los efectos perceptivos.

$$FA = \frac{E_{objeto}}{E_{entorno}}$$



Efectos según el factor de acentuación	
FA	Efecto
1	Sin efecto
2	Perceptible
5	Ligeramente teatral
15	Teatral
30	Dramático
0	Muy dramático

Tabla 8.12
Gráfico resumen de
los efectos según el
factor de
acentuación.

8.4 Una nueva propuesta metodológica para el proyecto lumínico en la arquitectura

La situación de la iluminación actual ha superado los planteamientos básicos de Richard Kelly y de W.M.C. Lam, y se sitúa en el territorio de los planteamientos estéticos y formales. En el campo de la arquitectura, la propuesta es que estos planteamientos conviene incorporarlos en el cuerpo central de la enseñanza, de forma integrada en la metodología del proyecto arquitectónico.

La metodología para el desarrollo del **proyecto lumínico en la arquitectura** contempla un estudio analítico, desarrollado en diversas fases o “estadios” secuenciales, y sigue el proceso de proyectación arquitectónica común a la disciplina de proyectos.

El **primer estadio** es el de *fase conceptual o creativa*, que consiste en definir el papel que la luz artificial tendrá en el proyecto arquitectónico. Se concretará en tres fases consecutivas:

- a) La primera consiste en la expresión escrita de las ideas lumínicas utilizando conceptos comprensibles, aprendidos a través de la experiencia o el conocimiento visual o cultural del lenguaje lumínico-arquitectónico, que serán el punto de partida del diseño posterior.
- b) La segunda contempla el diseño de los efectos escritos y gráficos que materializan las ideas anteriores conjuntamente con las imágenes espaciales (perspectivas, croquis, renders, fotografías, etc.) del espacio arquitectónico.
- c) La tercera recoge el diseño del sistema lumínico, que resolverá técnicamente los efectos representados y consecuentes con las ideas establecidas inicialmente, para definirlo formalmente y conjuntamente con el lenguaje arquitectónico. Esta fase no puede separarse de la fase de creación del proyecto y, por lo tanto, corresponderá al arquitecto la responsabilidad de llevarla a cabo para conseguir la unidad conceptual entre luz y arquitectura.

El **segundo estadio** corresponde a la *fase tecnológica* y desarrolla la fase conceptual anterior concretando y definiendo todos los elementos tecnológicos necesarios para hacer posible la iluminación diseñada y tendrá que estar sujeto totalmente a los parámetros de diseño definidos en la primera fase.



Para resolver esta fase podremos utilizar productos existentes en el mercado o fabricarlos expresamente, o bien las dos opciones conjuntamente.

No obstante, dada la enorme diversidad de productos y empresas luminotécnicas no siempre resulta fácil o posible encontrar la luminaria adecuada para conseguir un efecto concreto. Por otra parte, son muchos los ejemplos de luminarias diseñadas ex profeso para una obra arquitectónica que no ofrecen la calidad lumínica necesaria en proporción al esfuerzo utilizado.

Esta fase del proyecto requiere un profundo conocimiento de electrotecnia y luminotecnia, así como de normativas específicas de producción, de implantación y de prescripción de producto. Contar con el apoyo de las empresas fabricantes o distribuidoras así como su personal técnico es de gran ayuda para el arquitecto.

El documento del “proyecto de instalación” amplía hasta el límite expresado anteriormente el proyecto ejecutivo de arquitectura y recoge la definición exhaustiva de todos los elementos técnicos, a la escala adecuada (próxima a los proyectos de ingeniería E1:5/10/) para definir su implantación en la arquitectura, así como número, disposición exacta, tipo de elementos e infraestructuras que componen la totalidad del sistema lumínico.

El **tercer estadio** desarrolla la **fase de ejecución** y contempla el proceso de materialización del proyecto que, al igual que el proceso de ejecución arquitectónico, requiere un control técnico capaz de verificar la idoneidad entre proyecto y ejecución.

A menudo, la distancia temporal entre proyecto y ejecución comporta un periodo de tiempo en que es habitual una evolución o nueva aparición de productos que, en ocasiones, pueden resolver o mejorar alguna deficiencia técnica detectada durante la fase de proyecto; es posible introducir variaciones de algún producto durante la ejecución. En este caso, es importante verificar tanto los aspectos formales de diseño de efectos como los tecnológicos y de prescripción.

Es muy importante recoger en un documento final de ejecución todas las modificaciones realizadas, recordando que la vida de la instalación justo se inicia.

En esta fase es habitual la colaboración entre arquitecto y personal técnico de empresas para que los resultados se adecuen a los planteamientos conceptuales, de acuerdo con el proyecto inicial y también con las modificaciones propuestas en la fase de ejecución.

Dada la naturaleza de la instalación lumínica, resulta posible realizar pequeñas correcciones de algunos parámetros como el nivel lumínico, temperatura de color, deslumbramiento, etc., y se actuará sobre lámparas, luminarias y equipos de regulación, una vez finalizado el proceso de ejecución, para ajustar los resultados formales, lumínicos y perceptivos proyectados.

Es evidente que en las fases 2.^a y 3.^a se pueden detectar aspectos que modifican conceptos expresados en la 1.^a, así como en la 3.^a se corrigen algunos de la 2.^a. El



trabajo del arquitecto en el proyecto arquitectónico también está sometido a continuos *feedback* por motivos de adaptación de criterios a los planteamientos de la estructura, de los sistemas y materiales constructivos y de otros, por lo cual su proceso va incorporándolos sin que se modifiquen los criterios iniciales.

En el gráfico siguiente se ilustran las diferentes fases de la metodología para desarrollar el proyecto de iluminación en la arquitectura:

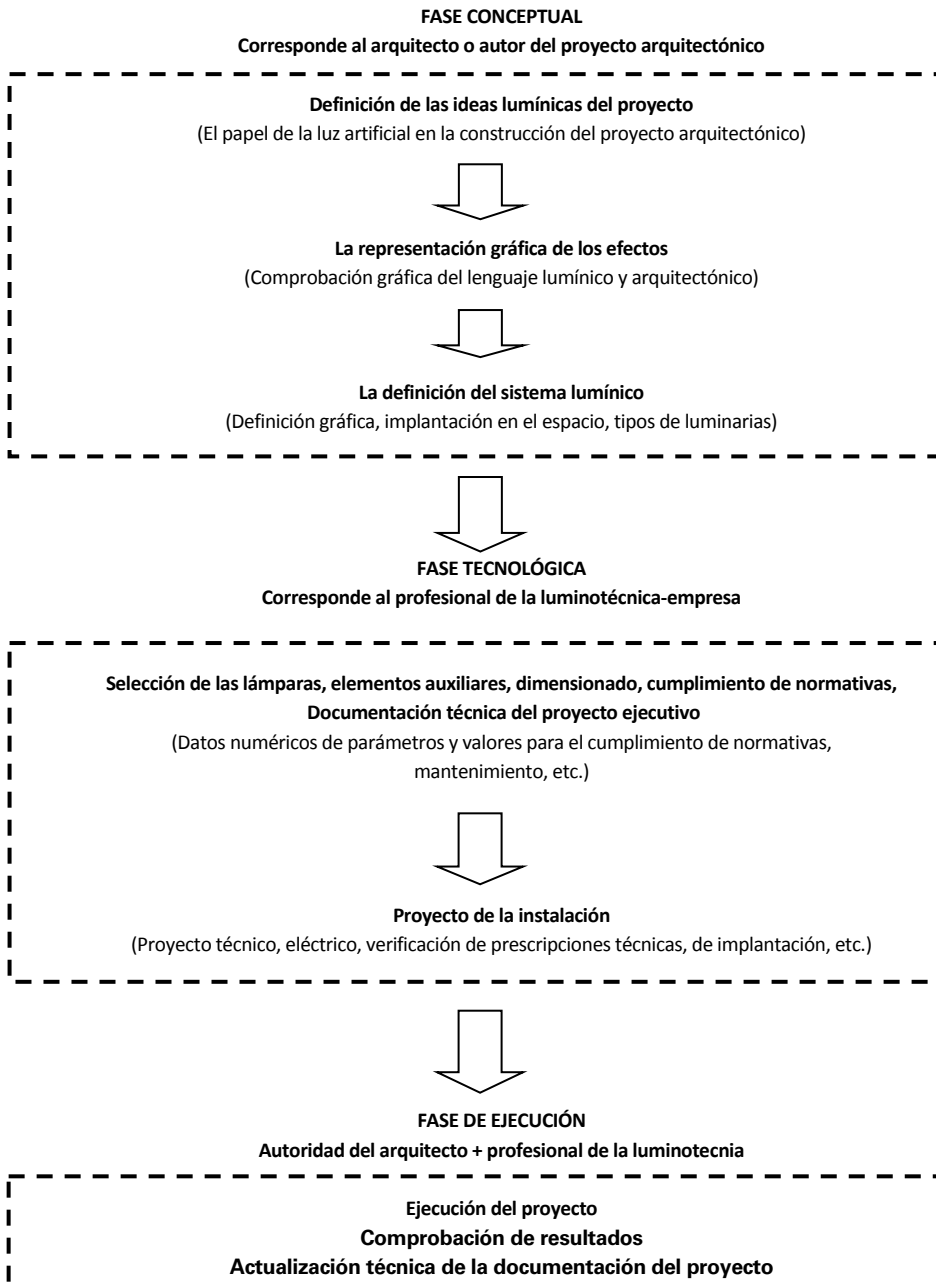


Fig. 8.11
Esquema metodológico para el desarrollo del proyecto e iluminación en la arquitectura.



8.5 Definición de las ideas lumínicas

Se trata de recopilar y utilizar aquellas expresiones que arquitectos y diseñadores de luminotecnia han ido acumulando a lo largo de su experiencia y que se utilizan habitualmente para explicar las cualidades lumínicas que se asignan al proyecto lumínico.

En definitiva, es la expresión con palabras de una idea que se pretende materializar y expresar mediante un lenguaje específico, propio de la iluminación artificial, asociado a la expresión conceptual de los espacios, propios de la arquitectura.

8.6 La representación gráfica de los efectos

La representación mediante dibujos o imágenes forma parte de la metodología arquitectónica y trata de transmitir las ideas lumínicas con el uso de diversas técnicas de representación, para ser evaluadas, verificadas o publicitadas antes de su ejecución.

Son también una herramienta de comprobación de la efectividad de las ideas planteadas, de la adecuación de los efectos y de los sistemas lumínicos a las exigencias visuales, perceptivas y estéticas del espacio arquitectónico.

Hay que analizar las diferentes técnicas y formatos de representación de la iluminación artificial para explicar las principales características y los aspectos significativos asociados a cada tipo de técnica.

Los diferentes formatos

El formato de los dibujos puede variar según las diferentes fases de realización del proyecto. Así, tenemos:

- El **boceto conceptual** al estilo de “Mendelshon”, que quiere expresar el concepto lumínico con un elevado grado de abstracción.
- El **dibujo en perspectiva**, que busca plasmar con mayor veracidad los efectos que tendrá el observador.
- La **representación planta**, para verificar sobre todo la relación existente entre el conjunto de efectos de un edificio o espacio, identificando contrastes, ritmos, secuencias, etc.
- El **dibujo en sección**, con indicación del reparto sobre los menajes verticales, indicando tipo de distribución de manchas, sombras, ritmos, etc.



8.6.1 El dibujo en blanco y negro

El croquis en blanco y negro ha sido, y es, una técnica muy utilizada por los pintores en bocetos y estudios preliminares. Especialmente clara e intuitiva es la forma de dibujar del pintor Georges Seurat, cuya sutileza en la definición del contraste y la difusión de la luz y la oscuridad con suaves degradaciones consigue representar la atmósfera lumínica con gran precisión. El croquis de la figura 8.21a de Hugh Ferriss, de la Hoover Dam de 1930, muestra un efecto lumínico característico de los rascacielos americanos. Se trata de una iluminación fuertemente direccional y de gran intensidad luminosa, que se puede apreciar en los paralelismos de las sombras proyectadas (figura 8.21b) y en el fuerte contraste entre los planos iluminados y los oscuros.

Otro ejemplo son los croquis realizados por Hugh Ferriss para la representación del proyecto de la General Motors, del arquitecto Eero Saarinen, en 1945. En el dibujo realizado del exterior, los gradientes de sombra están muy suavizados marcando la geometría del voladizo ligeramente curvada. Los límites entre las superficies iluminadas y el cielo están muy marcados, lo que no pasa con las manchas de luz sobre el pavimento, que se difuminan a medida que se alejan del foco luminoso interior.

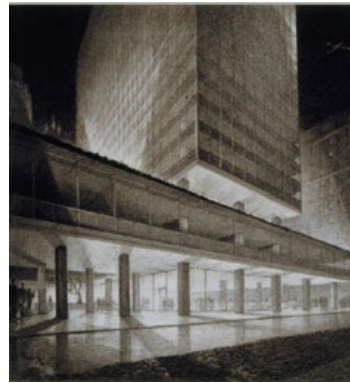
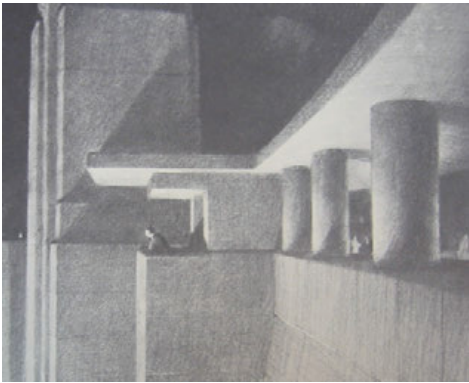


Fig. 8.12
Croquis de Hugh Ferriss
del edificio Hoover Dam,
de 1930.

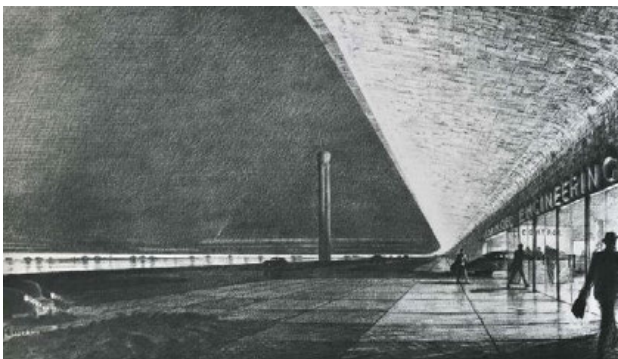
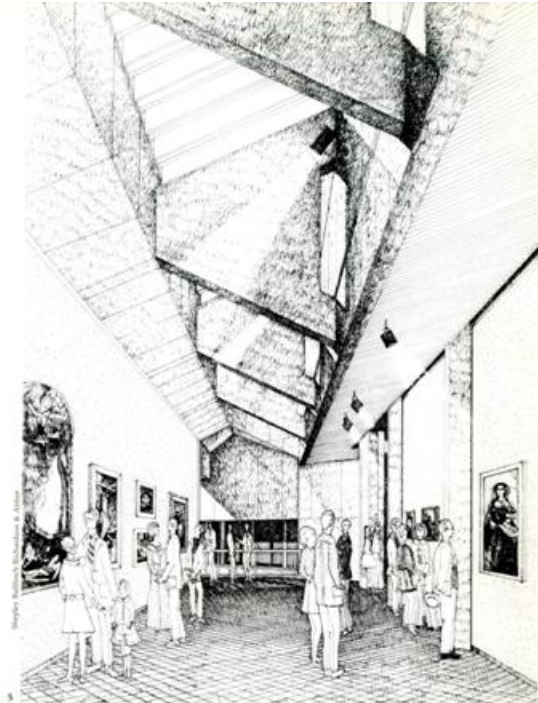


Fig. 8.13
Dibujo exterior de The
General Motors Technical
Centre. 1945, Hugh
Ferriss.



Los dibujos de W.M.C Lam, realizados para representar los efectos del sistema lumínico de la Walters Art Gallery de Baltimore, Maryland, 1974, más que expresar los efectos lumínicos refleja la presencia visual del sistema lumínico. De hecho, la mayoría de los croquis de Lam son la comprobación de una propuesta lumínica concreta, más técnica que efectista. Lam es un ingeniero que dibuja las propuestas para los proyectos que se le encargan. El planteamiento de la iluminación siempre es *a posteriori* del planteamiento arquitectónico.

Figura 8.14
Croquis de W.M.C.
Lam para la
iluminación de la
Walters Art Gallery
de Baltimore,
Maryland, 1974.



La técnica de dibujo en blanco y negro

La técnica del dibujo a mano alzada, en blanco y negro, se utiliza para representar los efectos de la iluminación según una escala de grises que va desde el blanco luminoso hasta la oscuridad del negro, con la cual podemos representar lo siguiente:

- La distribución de la luz sobre los objetos y el espacio, representada con manchas de color blanco o negro, que indican aspectos como la uniformidad o localización, ritmo y otros.
- La variación de la intensidad luminosa se representa con la variación de la escala de grises, tomando el blanco como el más luminoso y el negro como el más oscuro.



- La direccionalidad de la luz se expresa mediante el grafismo de las manchas luminosas, sombras propias y, sobre todo, sombras proyectadas.

Con los gradientes de grises podemos conseguir representar efectos de profundidad, diferenciar las superficies planas de las curvadas y las figuras lisas de las volumétricas.

La importancia de la mancha de luz y de la sombra predominará sobre la definición de los objetos y del espacio a través de líneas donde los límites de las figuras surgirán gracias a cambios de luminosidad, moviéndose siempre en la amplia frontera entre la luz y la oscuridad.

En cambio, en los dibujos de la fig. 8.24 con lápiz de carbón sobre cartulina blanca, el lápiz indica la oscuridad y el blanco la luz. En este caso, para representar escalas de luminosidad tenemos que jugar con la escala de grises, cuya degradación indicará la geometría de las superficies (ver degradaciones aceleradas en los pilares redondos y degradaciones uniformes en las estanterías o el techo plano).

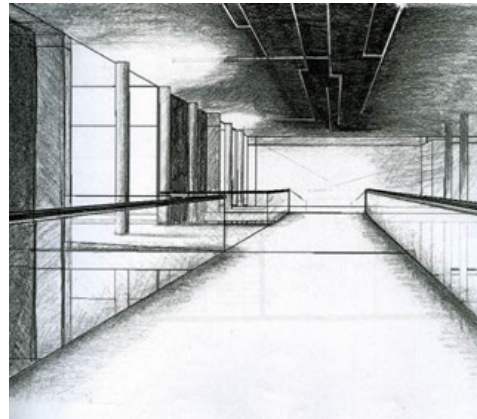
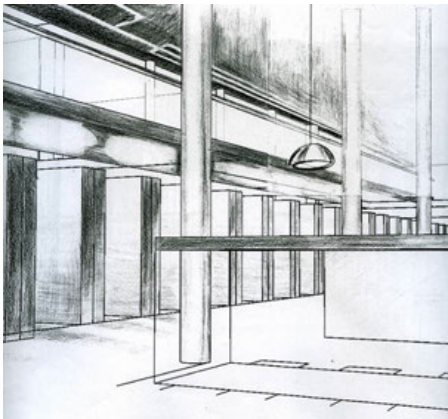


Figura 8.15
Dibujo en perspectiva.
Técnica de carbón sobre
cartulina blanca.

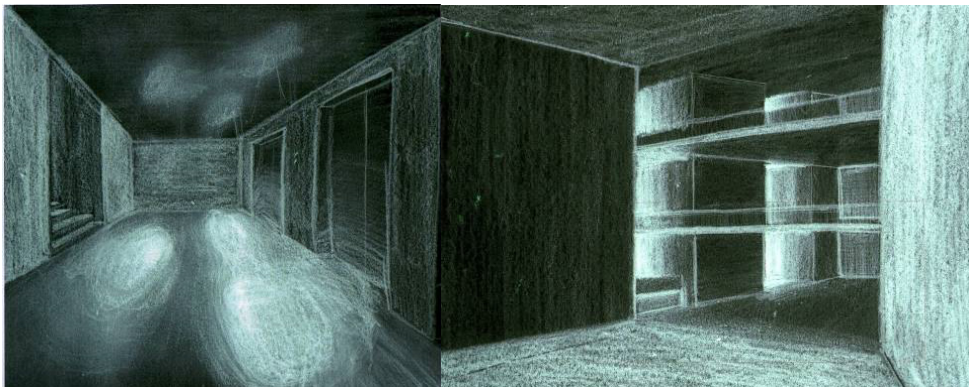


Fig. 8.16
Dibujo en perspectiva.
Lápiz blanco sobre
cartulina negra.

Si el dibujo se hace sobre una cartulina de color negro, el color del lápiz a utilizar es blanco o gris claro para expresar las manchas de luz. Especialmente significativas son las líneas y aristas que definen el encuentro y los cambios de planos, que al estar dibujadas con color blanco parecen tener una luminosidad propia (uno de los problemas característicos de los dibujos en negativo).

Problemas parecidos se dan cuando se dibuja con la previsión de hacer la copia imprimida invertida (blancos por negros), donde pueden aparecer grafismos incoherentes con los propios diseños.

8.6.2 La técnica del dibujo a color

La representación gráfica de los efectos lumínicos utilizando el color es una técnica más compleja que con el blanco y negro. Para ser fieles a la realidad hay que representar tanto los colores propios de los parámetros como los de la luz y las interacciones mutuas entre ambas. Los resultados son imágenes de un trabajo muy elaborado que podemos conseguir con las técnicas de render informático, tal como veremos más adelante.

En el proceso de proyectación *a priori*, que requiere una cierta agilidad, hay que acordar un simbolismo en el uso de los colores encaminado a representar efectos fácilmente comprensibles.

Una parte de la representación de los efectos se centra en las cualidades cromáticas de la luz artificial que, en términos generales, son la temperatura de color (K) y la capacidad de reproducción cromática (Ra). De estos dos parámetros, el primero permite una fácil representación dada la asociación psicológica existente entre tonalidades cromáticas y colores.

Así, podremos representar la temperatura de color de la luz de acuerdo con la clasificación básica de cálida, neutra y fría utilizando lápiz de colores cálido, frío o intermedio, tal como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 8.12
Relación entre
tonalidades de la luz y
lápices de colores.

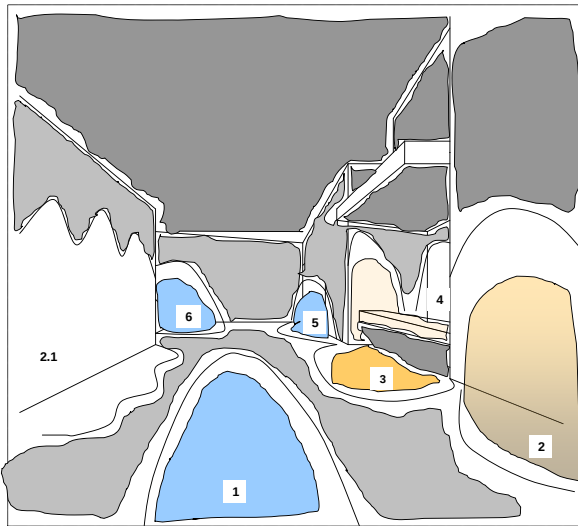
Tonalidades de la luz y de los lápices de colores	
K de la luz	Color del lápiz
LUZ CÁLIDA	NARANJA, AMARILLO
Hasta 3200K	ROJO, PÚRPURA
LUZ NEUTRA a CÁLIDA	GRISES MEZCLADOS CON
De 3.200 K en 3.500 K	AMARILLO, NARANJA
	ROJO, PÚRPURA
LUZ NEUTRA a FRÍA	GRISES MEZCLADOS CON
De 3.500 K en 4.500 K	VERDE, AZUL-VERDOSO
	AZUL
LUZ FRÍA	VERDE
> 4.500 K	AZUL-VERDOSO
	AZUL
	VIOLETA



Este croquis introduce al mismo tiempo una iluminación cálida combinada con la iluminación de luces de colores azul y rojo, y combina una imagen interior con exterior con tonalidades cálidas y frías.



Fig. 8.17
Representación de efectos con técnica de color.



Zonificación y efectos lumínicos

1. **Entrada y circulación básica.**
Dirigir hacia recepción, ascensores o escalera
2. **Espera**
Expresión de espacio secundario
- 2.1 **Acompañamiento lateral**
Refuerzo de direccionalidad
3. **Recepción**
Remarcar la caja del mostrador
4. **Armario buzones**
Refuerzo de estantería
5. **Ascensores**
Refuerzo de área, puertas y tierra
6. **Inicio de la escalera**
Refuerzo de peldaños y parte de la pared

Fig. 8.18
Composición de efectos lumínicos en un vestíbulo, de un edificio de oficinas.

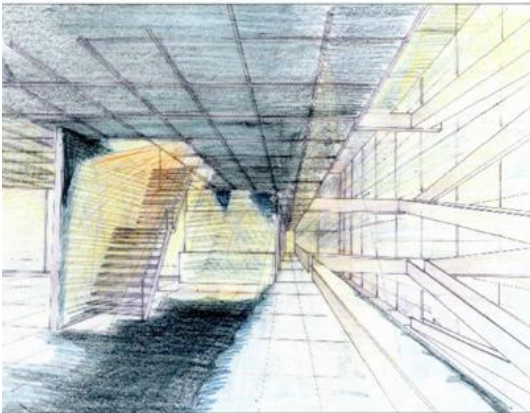
Resumen de formas, cromatismos básicos y temperatura de color

1. CIRCULACIÓN, DINÁMICA: FRÍA, 5.000 K
2. ESPERA, ESTÁTICA: CÁLIDA, 2.500 K
- 2.1 ACOMPAÑAMIENTO LATERAL: NEUTRO, 3.200 K
- 2.2 RECEPCIÓN, ESTÁTICA: CÁLIDA, 2.500 K
3. ARMARIO BUZÓN: NEUTRA, 3.200 K
4. ASCENSORES: DINÁMICA, FRÍA, 5.000 K
6. INICIO DE ESCALERA: DINÁMICA, FRÍA, 5.000 K

Estos croquis incorporan toda la gama de tonalidades de la luz. Utilizando todos los colores indicados, los blancos del papel parecen representar zonas con una mayor iluminación y quizás con blanco neutro.



Fig. 8.19
Dibujo en perspectiva a
color.

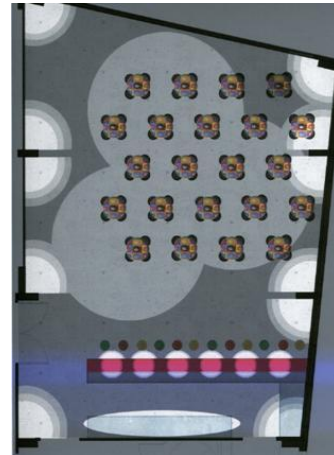
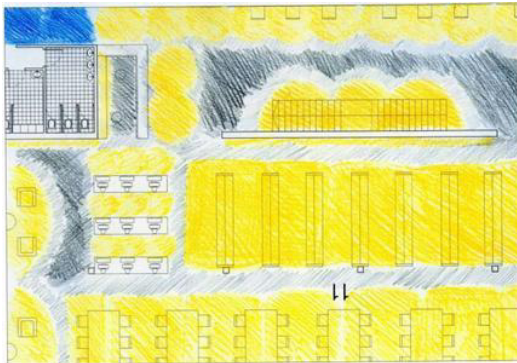


8.6.3 El dibujo en planta con la técnica de color

Según los criterios de la tabla 8.26, el dibujo en planta con color indica la distribución de las iluminaciones cálidas, neutras y frías en las diferentes áreas del proyecto.

Fig. 8.20
Dibujo en planta a
color manual.

Fig. 8.21
Dibujo en planta a
color con
ordenador.



La representación gráfica puede ser tanto de los efectos como de los parámetros:

De los efectos:

- Forma de las manchas de luz y sombras (con valores orientativos de E, líneas por los cambios fuertes)
- Sombreados manuales con gradaciones expresivas
- Dibujos en B/N y color
- Color de los paramentos y de los objetos (cromatismo de ambiente resultante)
- Maquetas, fotos e imágenes por ordenador



De los parámetros:

- Curvas de iluminancias (ISOLUX) en planos H, V, varios
- Con modulación de planta (rejillas)
- Con ángulos fijos
- Interpolaciones. Adición de valores desde varias fuentes
- Son valores normalmente de mínimos
- Se recomienda expresar los márgenes de variabilidad con alguna expresión elemental:

$$E = 500 \pm 10 \% \rightarrow 450 \div 550; \pm 20 \text{ lux}$$

$$\text{IRC} = 70 \div 80; \cong 80, \text{ etc. } G \leq 2$$

De colores (gamas cromáticas) azul (fría), blanco (neutro), naranja (cálido)

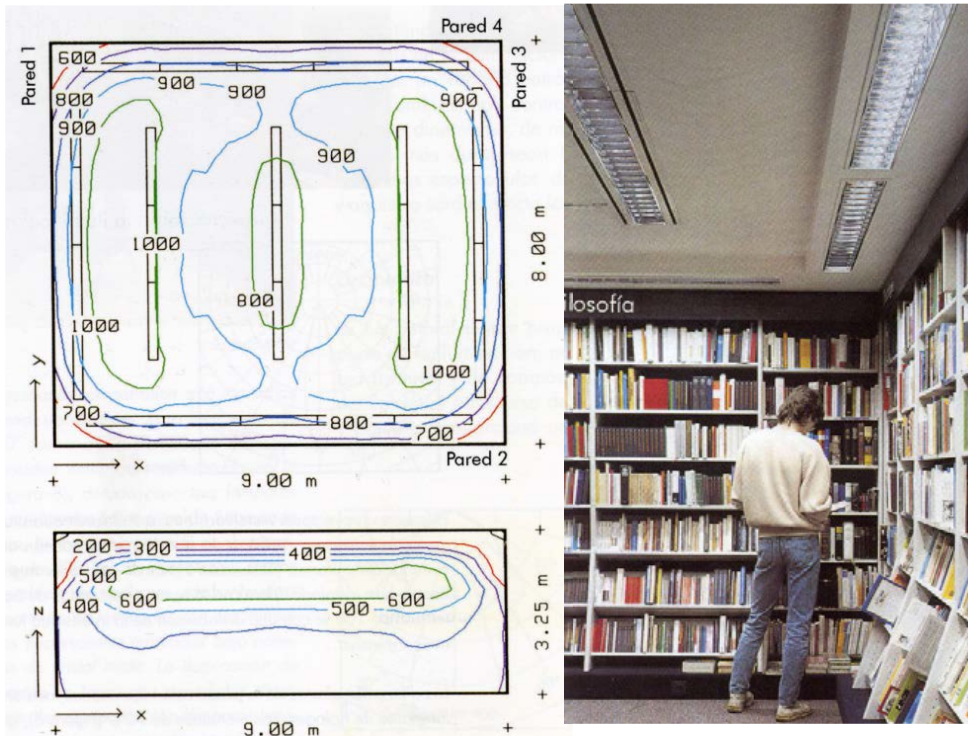


Fig. 8.22
a. Planta y sección,
grafismo expresivo de las
curvas isolux
(iluminancias E.)
en un local librería.

b. Foto de una librería.

8.6.4 El dibujo en sección con la técnica del color

Sigue el mismo criterio que el dibujo en blanco y negro, pero incorporando las indicaciones de la temperatura de color de la iluminación y la distribución sobre los paramentos verticales.



Fig. 8.23
Dibujo en sección,
técnica manual.

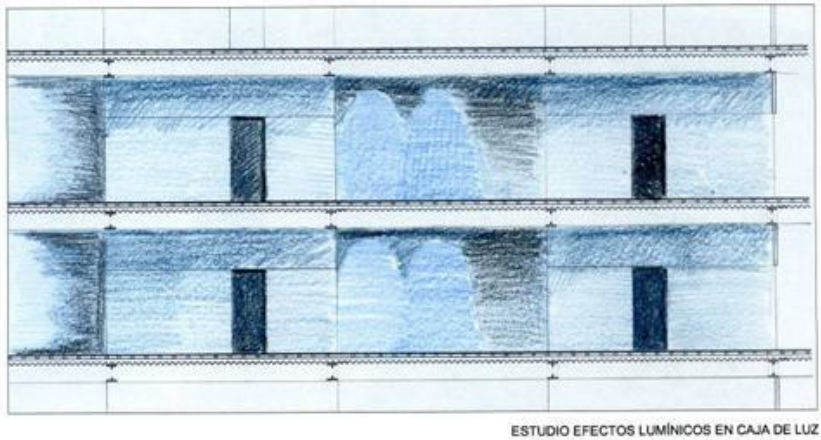
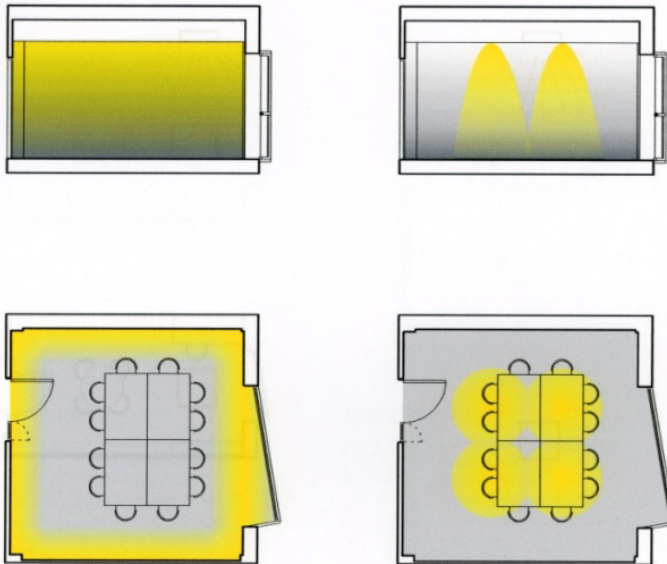


Fig. 824
Propuestas de efectos en
sala de reuniones (dos
escenas).



8.6.5 Las maquetas de luz

Una de las técnicas que permite obtener una visión bastante próxima a la realidad es la realización de maquetas a escala. Se trata de reproducciones a escala del orden de 1:20 de espacios donde se ha colocado una iluminación de características similares a la proyectada para visualizar los efectos resultantes. Es una técnica de comprobación de efectos en el espacio tridimensional que se pueden recoger en fotografía o vídeo.

A diferencia de las maquetas a escala, los *mock ups* son reproducciones a escala 1:1 de espacios para probar un sistema de iluminación artificial que se pretende colocar; por lo tanto, es una comprobación de la idoneidad del producto para la iluminación de un espacio.



Fig. 8.25
Ejemplos de maquetas
de iluminación.

8.6.6 Los renders informáticos

El término *renderización*, del inglés *render*, se utiliza para referirse al proceso de generación de una imagen desde un modelo. Es un proceso de cálculo complejo desarrollado por ordenador para producir una imagen en dos dimensiones a partir de una escena tridimensional. Por lo tanto, podemos decir que se trata de un proceso de interpretación que se aplica a la *infografía*, o campo de la informática visual.

Los renders son muy utilizados para animaciones, producciones audiovisuales y, en arquitectura, en programas de diseño en tres dimensiones. En infografía (imagen generada por ordenador), la renderización permite reproducir un espacio definido por estructuras poligonales, para una iluminación, para texturas, materiales y animación de forma veraz. Los motores de renderización, incorporados en los ordenadores, permiten aplicar técnicas complejas como la radiosidad para simular efectos de reflexión, refracción o iluminación general con el objetivo de ser muy exactos y obtener imágenes fotorealistas. Los modelos 3D tienen que ser muy exactos en términos de geometría y colores, lo que comporta mucha dedicación y trabajo previos.

En general, esta exigencia de exactitud en todos los parámetros del espacio para poder ofrecer una renderización realista hace que esta técnica sea más de presentación final del proyecto que de trabajo durante el proyecto. Una prueba de eso ha sido el uso masivo que se ha hecho de los renders en los concursos de arquitectura desde la década de 1990.

Algunas imágenes de renders de espacios interiores:



Fig. 8.26
Diferentes imágenes
renderizadas de
espacios interiores.

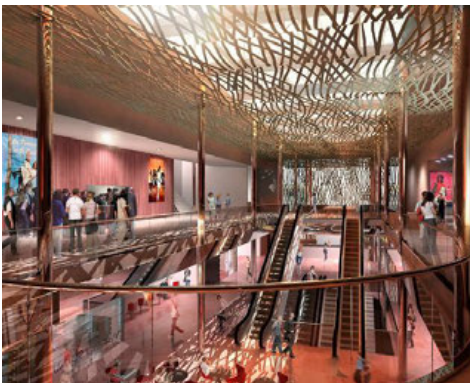
- a. Torre Pad.
James Law, arquitecto.
- b. Water cub, Pequín.
PTW Architects.
- c. Paul Andrew,
arquitecto.
- d. Edificio Niu, Pequín.
Herzog & de Meuron,
architectos.



a



b



c



d

Algunas imágenes de renders exteriores:

Fig. 8.27
Diferentes
imágenes
renderizadas de
edificios.

- a. Concurso F.C.
Barcelona.
N. Foster,
arquitecto.
- b. Huangpu sports
and
Bisnes Center.
PTW Architects.
- c. Concurso Estadio
Rico Pérez.
Estudio Lamela
arquitectos.
- d. Edificio Eggs Big.
James Law,
arquitecto.



a.



b.



8.6.7 Futuras formas de representación tridimensionales

Esta evolución de las técnicas de representación del espacio se dirige aceleradamente hacia la realidad virtual (RV), que establece una nueva forma de relación entre el espacio y el tiempo, superando las barreras tradicionales gracias a un entorno de comunicación e información accesible, a la vez que permite generar nuevos espacios de intercambio flexibles y no físicos.

Hay que distinguir, sin embargo, entre las técnicas que nos permiten experimentar espacios virtuales, que sustituyen totalmente la realidad, y las que nos permiten interactuar en un espacio real con elementos virtuales.

La realidad aumentada (RA) permite definir una imagen directa de un entorno físico existente incorporando elementos virtuales para conseguir una nueva realidad mixta en tiempo real. Consiste en combinar información virtual con información física gracias al uso de dispositivos tecnológicos sensoriales. La realidad aumentada es una forma de interactuar con el mundo real con la utilización de pantallas colocadas en la cabeza, un dispositivo virtual colocado en la retina que mejora la visualización y la construcción de ambientes controlados a partir de sensores y “actuadores”. Podemos decir que la realidad virtual aísla del mundo real al usuario mientras que la realidad aumentada completa la realidad existente con información añadida.

Las aplicaciones de esta nueva técnica se están derivando hacia diferentes ámbitos: la incorporación en los teléfonos móviles de última generación añade una gran información al mundo que podemos captar en cualquier lugar.



El diseño de los sistemas





Después de lo que se ha mencionado sobre los sistemas y las fuentes ahora hay que establecer las pautas para continuar con el proyecto, concretar la forma y expresión de los sistemas.

Es el proceso que conduce a la selección de todos los equipos del alumbrado, definir la manera de instalarlos y hacer el predimensionado de los elementos y su distribución geométrica en el espacio. Ya se han descrito las amplias posibilidades que nos ofrecen.

9.1 Aspectos estructurales y compositivos de los elementos

Son consideraciones a tener presente para la organización espacial de los propios elementos de los sistemas, tanto para la iluminación exterior como para la interior, de manera que se ordenen según la distribución, posición y forma de emisión bajo criterios de participación en el propio diseño del espacio.

Tienen que estar relacionados con la globalidad conceptual del sistema, con su estructura, estética, ambiente, composición, etc., y se compondrán y armonizarán con los requisitos generales del espacio a iluminar, atendiendo a:

- La estructura y composición de la iluminación resultante
- La estructura y composición de los propios elementos del sistema

La estructura del sistema con sus fuentes puede estar integrada formalmente en la estructura compositiva del espacio, o bajo otros criterios que pueden personalizar más fuertemente el propio sistema frente al conjunto.

Como ejemplos, en un aparcamiento cubierto las fuentes se distribuirán adaptadas al techo en las zonas de circulación de vehículos; en una oficina con falso techo modulado se acepta la incorporación de las fuentes empotradas adaptándose a los módulos propios; en una plaza porticada de un núcleo histórico la iluminación se situará bajo los porches y en el centro de la plaza pero no se colocarán luminarias sobre las fachadas de los edificios históricos, etc.

Al tener que tomar determinadas decisiones, pueden tenerse en cuenta unos aspectos formales para definir las intenciones. De entre muchas opciones del diseño mencionamos algunas.

Considerar las **fuentes de luz bajo la visión diurna**, y podemos decidir la conveniencia de su percepción o la ocultación por cualquier procedimiento.

Considerar la **percepción o la ocultación de las infraestructuras** de apoyo físico, de orientación o eléctrico y de los equipos auxiliares como los transformadores, cebadores, condensadores, etc.

Las **condiciones compositivas, dimensionales y constructivas del propio espacio** pueden ser tan complejas o tan simples que lleguen a condicionar la aceptación o el rechazo de los elementos propios de algún sistema.



Ejemplos: el techo de una sala polideportiva con estructura metálica espacial vista o el de una sala con techo artesonado barroco pueden condicionar directamente la selección de determinados sistemas, hasta el punto de diseñar la integración de estos elementos en el concepto del propio espacio o la composición formal del sistema con el equipamiento interior.

La proporción, las dimensiones y el color de las fuentes también incidirán en el diseño del espacio, de manera que habrá que considerarlas como un elemento propio de este.

En efecto, la iluminación con fuentes de gran tamaño colgadas, o un sistema de techo estrellado, la incorporación de objetos luminosos de gran tamaño como luminarias de pie o murales, o los pilones de luz urbanos son elementos de gran incidencia compositiva, no son producto de ningún cálculo ni de procesos lineales de un proyecto técnico.

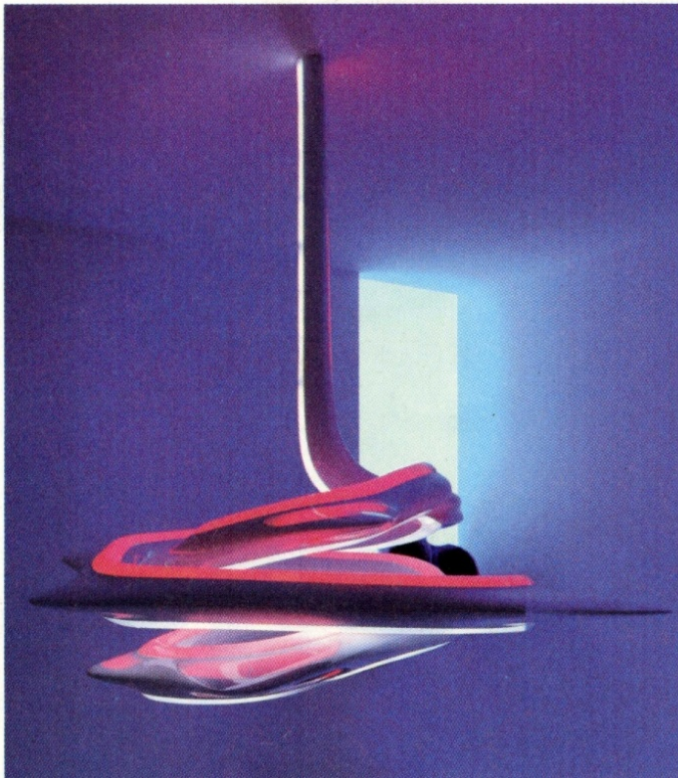


Fig. 9.1
Luminaria VORTEX,
Z. Hadid.

También se puede llegar a considerar que el diseño del sistema puede constituir el elemento compositivo principal del espacio, proyectar paneles difusores u ópticas específicas con elementos constructivos puede incidir de manera decisiva en la composición del proyecto arquitectónico.



Fig. 9.2
Vestibulo del Hotel
Hesperia Tower, con
sistema de fibra óptica.



Para diseñar un sistema de iluminación artificial hay que tener en cuenta principalmente los conceptos arquitectónicos y constructivos, que hay que resolver antes de decidir las fuentes.

9.2 La composición y formalización de los sistemas

La composición y formalización de los sistemas se concreta con las definiciones sobre:

- Forma con definiciones sobre:
 - o Disposición espacial
 - o Estructura formal compositiva
 - o Geometría
- Fuentes con las
 - o Luminarias
 - o Lámparas
- Infraestructuras
 - o Mecánica: de fijación, protección y orientación
 - o Eléctrica y electrónica para los controles
- Controles de funcionamiento, y de ahorro de energía
 - o Normal
 - o Compuesto
 - o Programable

Estos conceptos, ya presentados en el capítulo 5, Los sistemas y las fuentes de alumbrado artificial, se desarrollan a continuación.

9.2.1 La disposición espacial

No se trata de un elemento material, ya que es topológico y geométrico, pero es imprescindible para definir el sistema de iluminación.

La disposición es la manera de ubicar el sistema en el espacio a iluminar, y lo podemos considerar fijo o móvil, con disposiciones adosadas, empotradas o colgadas en techos, en paredes o en suelos; dentro de muebles o sobre muebles o equipos, integrados en otros elementos o estructuras específicas en su interior o exteriormente. Esta diversidad de posibilidades genera características tan específicas que pueden llegar a ser más importantes en la definición del sistema que la propia luminaria.

Si hacemos una consideración al respecto, entendiendo que la estética del espacio es un conjunto fuertemente interrelacionado de formas, elementos, colores, luz, etc., no podremos olvidar el papel que los propios sistemas de iluminación desarrollan dentro del conjunto.

Así, analizando la relación formal y estética de los sistemas con el espacio donde se ponen, podemos mencionar los siguientes conceptos según su expresión:

- De expresión formal del sistema
- De integración formal
- De ocultación formal

9.2.2 Estructura formal y compositiva

La estructura compositiva es la relación formal y dimensional de los elementos del sistema entre ellos y la forma del espacio. Podemos generar estructuras simétricas o asimétricas; con malla ordenada, con malla arbitraria o por elementos como puntos, líneas, superficies y volúmenes, estructura central, lateral, etc. La estructura condiciona los resultados lumínicos tales como el nivel, la uniformidad, el deslumbramiento, etc., así como los estéticos de coherencia formal y la integración arquitectónica.

9.2.3 Geometría

La geometría de la instalación se refiere a las dimensiones, su altura con respecto al suelo o al plan de trabajo, la distancia en el techo o en los paramentos, la interdistancia entre luminarias, etc., y condiciona también los resultados lumínicos y formales.



Ejemplos:

Líneas continuas según una separación ____ m, separación en paredes de ____ m, altura desde tierra ____ m.

Modulación de puntos de luz Ø ____ cm en malla cuadrada de ____ x ____ m, separación, altura, etc.

9.3 Clasificación de los sistemas según la disposición espacial

Si el sistema lumínico y el espacio no dialogan formalmente, es decir, ambos tienen estructuras, formas de organización y lenguajes propios y diferentes, el sistema se percibirá como un elemento único dentro del espacio y, en este caso, diremos que el sistema es **de expresión formal propia**.

En cambio, cuando el sistema lumínico y el espacio dialogan en un mismo lenguaje, se relacionan e interactúan formalmente siguiendo criterios similares, ya sean rítmicos, cromáticos, organizativos, compositivos etc., y, además, si la percepción y comprensión del sistema no son posibles fuera del espacio contenedor, diremos que el sistema es **de integración formal**.

Cuando el sistema lumínico se oculta detrás de elementos arquitectónicos como cornisas, voladizos, cavidades, etc., sin que se haya previsto en el proyecto con una intencionalidad formal, decimos que el sistema es **de ocultación formal**.

Clasificación de sistemas lumínicos según la expresión en el espacio		
Visible	de expresión formal propia	Cuando el sistema lumínico adquiere protagonismo como elemento arquitectónico específico dentro del espacio
Visible	de integración formal	Cuando el sistema lumínico está diseñado o se ha escogido con un lenguaje formal similar al del diseño arquitectónico
No visible	de ocultación formal	Cuando el sistema lumínico está oculto en los elementos del espacio, como cornisas, retranqueos, cavidades, voladizos, etc.

Tabla 9.1
Clasificación de los sistemas lumínicos según su expresión en el espacio.

Sistemas de expresión formal propia

Son aquéllos en los que el sistema lumínico adquiere un protagonismo importante como elemento arquitectónico específico dentro del espacio. A veces, cuando el espacio no presenta un especial interés podemos hacer que la estructura física y su diseño tengan la compositiva suficiente para coexistir como elemento de estética propia y calificador de la arquitectura del lugar. También

se pueden utilizar cuando el sistema tiene que adoptar una característica formal o estética propia, contrapuesta o singularizada dentro del espacio, o bien para crear una relación de ambivalencia, de contraste o de competencia.

Por ejemplo, a veces cuando se realizan intervenciones de restauración de edificios históricos con un gran valor arquitectónico conviene contraponer una estética moderna o de *high-tech* del sistema de iluminación, que puede dar mejores resultados que intentar reproducir un lenguaje próximo al del edificio. También es habitual en espacios que tienen geometrías y organizaciones complejas que dificultan colocar un sistema lumínico bien integrado o bien organizado en el espacio.



a



b

Fig. 9.3
a. Mediateca de Sendai.
2001, Toyo Ito,
arquitecto.
LPA. Kaoru Mende,
Lighting designer.

b. Hotel Kruisheren,
Maastricht, Holanda.
Ingo Maurer, arquitecto.



a



b

Fig. 9.4
Sistemas lumínicos de
expresión formal propia.

a. Hotel Hesperia Tower.
N. Foster, arquitecto.

b. Hotel Barceló, Málaga.
Jordi Torres, arquitecto.



Sistemas de integración formal

El sistema lumínico ha sido diseñado o escogido con un lenguaje formal similar al del diseño arquitectónico, o a los sistemas constructivos del espacio, para colaborar en la definición de su lenguaje formal.

Por ejemplo, en un edificio con estética minimalista caracterizado por espacios limpios y neutros, con poca ornamentación, un sistema lumínico que quiera integrarse tendrá que presentar formalmente elementos limpios y neutros.

Fig. 9.5
Ejemplos de sistemas de
integración formal.

a. Habitación del hotel
Puerta Nueva. Madrid
2006. Zaha Hadid,
arquitecta.

b. Morris Gift Shop.
Nueva
York, 1948.

F. Lloyd Wright,
arquitecto.



a



b

Fig. 9.6
Ejemplos de sistemas de
integración formal.

a. Hotel Puerta América,
Madrid. 2006
Kathrin Findlay, arquitecta.

b. Edificio MaXXI, Roma,
Zaha Hadid, arquitecta.



a



b

Sistemas de ocultación formal

Cuando no se pretende que el sistema lumínico forme parte de la percepción visual del espacio, se acostumbra a ocultar en los elementos propios del espacio como cavidades, falsos techos, elementos salientes, capiteles, etc., que lo permitan. En estos casos, la iluminación es de componente indirecto, se proyecta sobre las superficies y produce una iluminación por reflexión en el espacio.



a



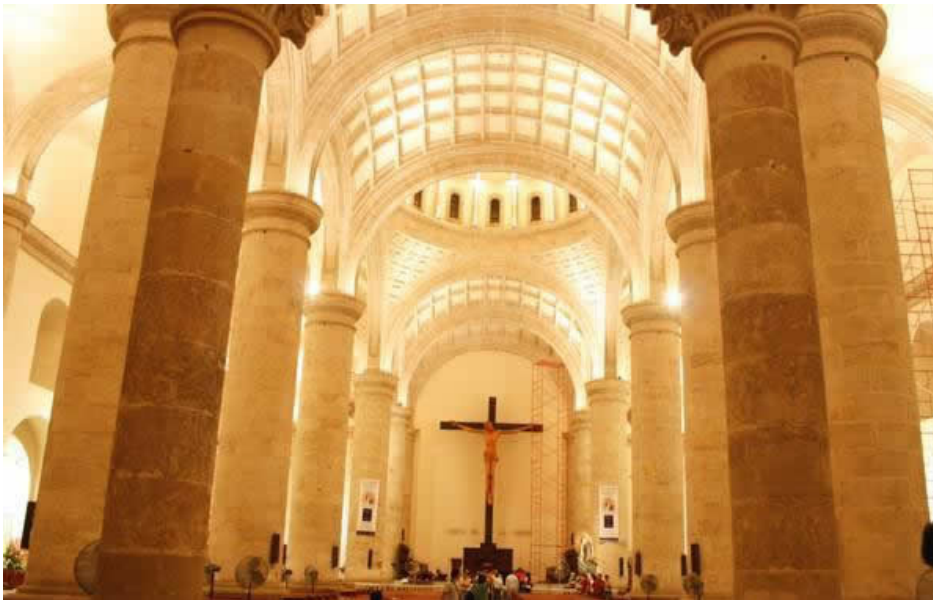
b

Fig. 9.7
Ejemplos de sistemas de
ocultación formal.

a. Detrás de un falso
techo.

b. En cornisas.

c. Catedral de Mérida,
México.



c



9.4 Clasificación de los sistemas según la forma, disposición y organización de las luminarias

En los sistemas de iluminación visible, la estructura compositiva se caracteriza por la forma de organización de las luminarias y de la relación con la propia organización formal del espacio.

9.4.1 Las formas de las luminarias

Las formas más utilizadas son puntuales, lineales, superficiales y volumétricas.

Tabla 9.2
Clasificación de los
sistemas según forma,
disposición y
organización de las
luminarias.

Forma			
Puntual	Lineal	Superficial	Volumétrica
			

9.4.2 Las disposiciones de las luminarias

Si los sistemas lumínicos están formados por luminarias que responden a las formas básicas anteriores, la forma de organizar o de componer todas las luminarias en un conjunto unitario podrá hacerse adoptando determinadas disposiciones.

Las leyes de la Gestalt nos ayudarán a comprender visualmente la relación entre las partes y el todo, y los análisis del lenguaje y la composición arquitectónica, la relación entre el sistema y el espacio.

Disposiciones lineales

Una disposición lineal se caracteriza porque las luminarias están dispuestas siguiendo una directriz lineal y separadas por una determinada distancia. El conjunto se lee unitariamente como una línea de luminarias.

Disposiciones agrupadas

Se da cuando un conjunto no muy numeroso de luminarias (normalmente inferior a 8) están dispuestas configurando una figura concreta y reconocible: axial, geométrica, abstracta o de cualquier forma, que por repetición puede llenar todo el espacio.

Disposiciones en malla o retícula

Esta disposición se da cuando las luminarias definen una malla geométrica o una retícula regular que responde a leyes geométricas propias. Su lectura no

es de elemento unitario, sino de estructura indefinida que puede abarcar por extensión cualquier espacio.

Disposición singular o estructuras propias

Esta disposición se caracteriza porque las luminarias forman una estructura propia, singular, que es percibida como una unidad compacta, no clasificable entre las anteriores formas de disposición y que mediante su repetición puede llenar todo el espacio.

Finalmente, es posible tener disposiciones que sean una combinación de las anteriores.

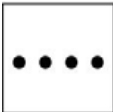
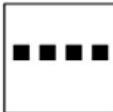
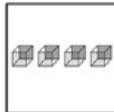
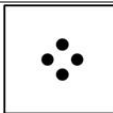
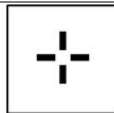
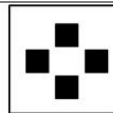
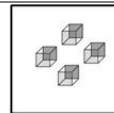
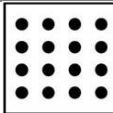
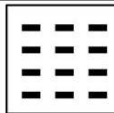
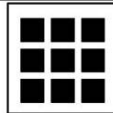
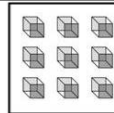
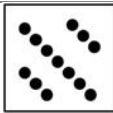
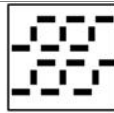
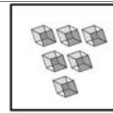
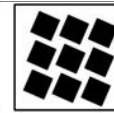
Disposición				
Lineal				
Agrupada				
Malla o retícula				
Singular o estructura propia				

Tabla 9.3
Clasificación de los
sistemas según la
disposición..

9.4.3 La organización de las luminarias

Considerando la disposición de las luminarias como un conjunto unitario, su organización puede responder a aspectos de simetría, de arbitrariedad o de orden.

Disposición simétrica

La encontramos cuando una de las disposiciones de luminarias anteriores se hace a través de un determinado eje de simetría. A menudo, este eje sirve para organizar las luminarias y para configurar la propia geometría del espacio.

Disposición arbitraria

Las disposiciones de luminarias anteriores se distribuyen en el espacio sin un criterio “racional”, sino que lo hacen de una forma arbitraria y ocasional.



Disposición ordenada

La disposición responde a un patrón identificable de organización y repetición, lo que permite su extensión a todo el espacio con facilidad.

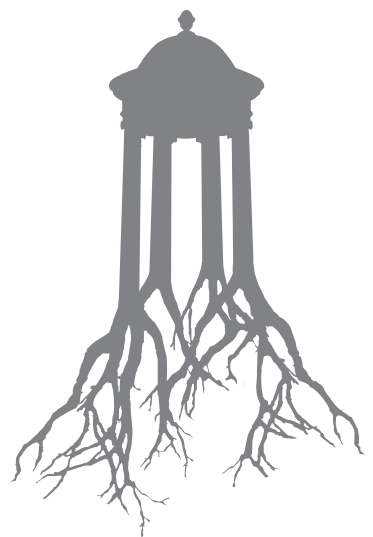
Cabe decir que la combinación de todas estas disposiciones genera un anchísimo grupo de posibles formas de expresión de los sistemas lumínicos.

Tabla 9.4
Clasificación de los
sistemas según la
organización..

	Organización			
Simétrica				
Arbitraria				
Ordenada				

Sin embargo, también se pueden reconocer en esta clasificación algunos criterios de organización espacial propios de la arquitectura.

De hecho, esta similitud es uno de los factores que nos permitirá establecer un análisis de idoneidad o de coherencia compositiva entre las formas de los sistemas y la de los espacios donde se ubican.





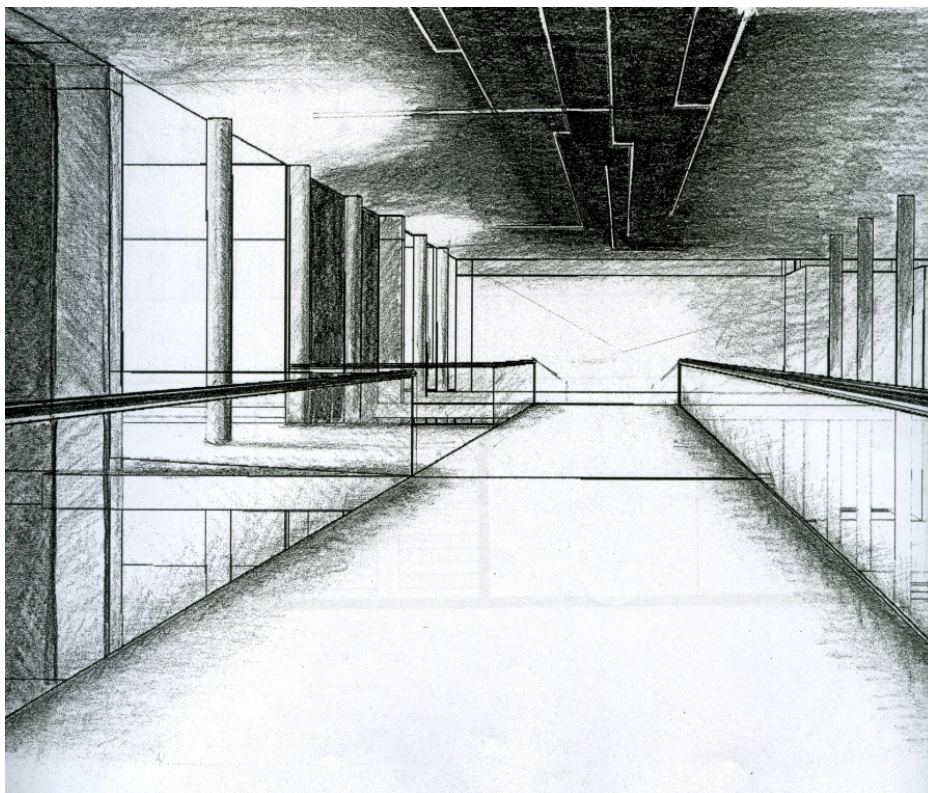
Tercera parte.

Del proyecto

→ 10



La elección de los sistemas lumínicos





10.1 La elección de los sistemas lumínicos

En el capítulo anterior se han fijado los criterios para diseñar los sistemas lumínicos y, ahora una vez definidas sus características formales, debemos definir sus componentes principales: las luminarias y las lámparas. Indicaremos en este capítulo algunos criterios que pueden ser de utilidad para ello.

10.1.1 La selección de las luminarias

La definición de las luminarias pasa por definir y concretar todas sus características. Actualmente, la mayoría de las luminarias son producidas industrialmente por empresas luminotécnicas, por lo tanto, podemos disponer fácilmente de una ficha técnica con todos sus datos, con imágenes, colores, equipos auxiliares etc. Esta ficha se puede incorporar con los detalles de implantación o en la memoria técnica del proyecto. En circunstancias muy especiales, y por voluntad expresa del arquitecto por diversos motivos (falta de un producto adecuado a las pretensiones formales y de los efectos planteados), se puede realizar un diseño específico de luminaria.

Criterios para la selección de las luminarias de acuerdo con las clasificaciones del capítulo 9

Tabla 10.1
Clasificación de los sistemas según la forma, la disposición y la organización de las luminarias.

Selección según el diseño de la luminaria desde la función	
Según la direccionalidad del flujo lumínico hacia el ámbito a iluminar	Directa-indirecta-mixta
Según la distribución del flujo lumínico emitido	Simétrica-asimétrica
Según la forma de la superficie emisora de la luminaria	Puntual-lineal-superficial-volumétrica

Tabla 10.2
Clasificación de las luminarias según la iluminación producida en el espacio.

Selección según la iluminación producida en el espacio	
Difusión translúcida	Envolvente translúcida de cristal sin decorar
	Envolvente translúcida de cristal decorado
	Envolvente translúcida de materiales orgánicos
	Envolvente translúcida de materiales sintéticos
Difusión controlada por formas ópticas	
De proyección directa	Proyección en el espacio Proyección en un área concreta
De proyección directa en reflectores	En reflectores fijos En reflectores móviles
De proyección de sombras y luces de colores	
De autor	Como lenguaje Como metáfora



Selección según su tipología o denominación comercial

Tabla 10.3
Clasificación de las
luminarias según
tipología o denomi-
nación comercial.

De interior	Apliques Adosadas al techo De suspensión, componibles y estructuras De pie De sobremesa Empotrables en cielo raso, <i>down-light</i> Regletas y pantallas fluorescentes Proyector comerciales deslizantes sobre carril de 230 V o 12 V Industriales, proyectores de descarga Descarga Versátiles y especiales. De múltiple funcionalidad, fibra óptica, etc. Con leds
De exterior	Columnas y báculos Candelabros y torres Proyectores De empotrar, murales y del suelo Balizas

Otros aspectos estéticos que también se tendrán que considerar son el color, los materiales de acabado y el lenguaje formal. Y también se tienen que tener en cuenta los aspectos de durabilidad, IP e IK, sin olvidar los económicos, etc.

A menudo, la selección de la luminaria se hace posteriormente a la selección de la lámpara. Así, si hemos escogido una lámpara de fluorescencia lineal o una lámpara de descarga, el campo de posibles luminarias a escoger se reducirá considerablemente. Hay que tener en cuenta que las luminarias se diseñan para equiparlas con unas determinadas lámparas y no otras, lo que, a menudo, viene especificado en los catálogos.

Con las posibilidades actuales de acceder en línea a los catálogos de los fabricantes de luminarias, nos resulta muy fácil recopilar toda la información de las luminarias que escogemos para el proyecto lumínico.

Local 7 - despatx / Lista de luminarias

6 Pieza iGuzzini 4285 OPTICA
 N° de artículo: 4285
 Flujo luminoso de las luminarias: 2400 lm
 Potencia de las luminarias: 35.0 W
 Clasificación luminarias según CIE: 100
 Código CIE Flux: 92 100 100 100 67
 Armamento: 1 x 1762 (Factor de corrección 1.000).

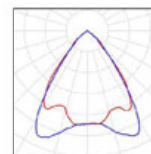


Fig. 10.1
Ejemplo de luminarias con
los datos de la lámpara.



De los fabricantes de luminarias

Hay que tener conocimientos sobre los productos que fabrica la industria lumínica. La consulta en sus webs es básica y no es necesario intentar reproducir en esta publicación todos los tipos y modelos de aparatos existentes en el mercado, sobre todo teniendo en cuenta que se modifican, se crean nuevos y se descataloga un gran número cada año.

Como referencias mínimas de las empresas más conocidas en este campo, o con productos de más calidad, y sin ser exhaustivos, ya que tenemos que referenciar más de cincuenta, hacemos aquí una breve relación con las direcciones para consultas de los catálogos y publicaciones de interés.

EMPRESAS DEL SECTOR DE LA ILUMINACIÓN

ADVANCED FIBER OPTIC	
AGABEKOV	
AMBIENCE LUMIERE	
ARTEMIDE Milano,	www.artemide.com
	www.ambientedirect.com
C&G CARANDINI, SA (Holophane, Socelec, etc.)	www.carandini.com
BD EDICIONS DE DISSENY	
BJC Fàbrica electrotècnica Josa, SA	
CRISTHER S.A. Luminarias de exterior (jardinería)	
DAB Diseño Actual Barcelona (David Abad)	
DAE Diseño Ahorro Energético, SA	
DIART Iluminación	
ERCO erco profesional → ERCO luminaria documents	www.erco.com
ESCOFET Divisió de mobiliari urbà	www.escofet.es
FABBIAN Illuminazione Spa Representaciones URREA, SL	www.fabbian.com
FREPI	www.frepi.com
GRUP FREPI	
ILTI LUCE	ilti@iltiluce.it
METAL SPOT S.P.A. COLL&ZZIONE 2010 (luminarias de diseño sofisticado)	marketing@frepi.com
ANTROX SRL	antrox@antrox.net a.bignetti@antrox.net
SBP	
ALDABRA	
ILTI LUCE – FIBRE OTTICHE MUSEUM	
PRISMA ARCHITECTURAL	www.prisma.com
DELTA LIGHT	
FUNDICION DUCTIL BENITO	www.fdt.es

Tabla 10.4
Listado de las empresas
más conocidas del sector
de la iluminación artificial.



EMPRESAS DEL SECTOR DE LA ILUMINACIÓN

GE LIGHTING-SYLVANIA (lámparas)	www.GELighting.com
HESS	
IEP Iluminación, SA	
IGUZZINI illuminazione – SIRRAH	www.iguzzini.com
INDALUX + SLUZ (05/2004)	www.grupoindal.com
LAMP ILUMINACIÓN-REGGIANI	www.lamp.es
LLEDÓ Iluminación, SA	www.lledosa.com
GRUPO LLEDÓ:	
ODEL-LUX	
STAFF	
BEGA	
LIMBURG	
ZUMTOBEL	
OVA	
LYTE INTERNACIONAL.CONCORD	
LUXO ESPAÑOLA, SA	www.luxo.es
www.bilumen.it	
MARSET ILUMINACIÓN, SA	www.marset.com
MARTIN ARCHITECTURAL LIGHTING	www.martin-spain.net
MARTINELLI LUCE	
M&B Producciones de diseño	
MUNDOCOLOR Internacional, SA	
OLIGO	
OSRAM S.A. lámparas OSRAM.INDEX	www.osram.es
PHILIPS LIGHTING (luminarias y lámparas)	www.es.lighting.philips.es
REGENT lighting	www.Saymalu.com
REGGIANI	
SANTA & COLE	www.santacole.com
SIMON, SA	
S.T.I. Sistemas Técnicos de iluminación, SA	
SOCELEC	www.socelec.es
TARGETTI	
VIBIA Illuminazione	
WILA	

10.2 La selección de las lámparas

En la misma definición de las luminarias es habitual que los fabricantes indiquen cuál o qué lámparas pueden colocarse en cada luminaria concreta. En caso de que puedan disponerse diferentes tipos de lámparas, conviene indicar



el tipo concreto con sus características de potencia, T°K e IRC, o bien añadir los datos técnicos de la lámpara aportados por el fabricante.

Las cualidades lumínicas de las lámparas tienen que poder cumplir los objetivos iniciales de calidad de la luz fijados en la fase de definición de los efectos lumínicos y las cualidades cromáticas proyectadas.

Es muy importante dejar claramente indicadas en el proyecto técnico las características de las lámparas correspondientes a cada luminaria para que, durante los procesos de sustitución fijados por el plan de mantenimiento del sistema, se mantengan las cualidades lumínicas inicialmente definidas.

10.2.1 Recomendaciones y criterios de selección de las lámparas. Recomendaciones para la selección de las lámparas de interior

Los tipos más recomendados tienen una cierta relación con las tipologías de los espacios (ver capítulo 5).

A grandes rasgos, se puede considerar que en ámbitos de pequeña entidad tales como vivienda, despacho personal, pequeño comercio o taller, el mismo usuario será capaz de sustituir las lámparas que fallen, que es más importante que muchas de las consideraciones tecnológicas y de ahorro de las normativas y recomendaciones de las entidades gubernamentales.

El fallo de cada lámpara o grupos –pequeños– de ellas costará el valor neto de la lámpara, y tengamos presente que el coste del industrial instalador que vendría a hacer el trabajo es muy superior al de la lámpara. A veces, la lámpara halógena o el fluorescente cuesta entre 4 y 7 € y la mano de obra contratada puede ser de hasta 35 € por una sola lámpara.

Las lámparas recomendadas para estos ámbitos son las menos sofisticadas y más económicas, de incandescencia normal, halógenas y fluorescentes estándar lineales o compactas integradas.

En los ámbitos de gran entidad se recomienda tener el sistema informático que detecte la conveniencia de sustituirlas todas de golpe, para reducir el coste unitario de la mano de obra sobre cada lámpara.

En estos, las lámparas recomendadas en lugares donde convenga una alta calidad cromática y un detallado control de la difusión o concentración de la luz son las halógenas. También serán útiles las fluorescentes lineales o las compactas no integradas, de eficacias media o alta (> 70 lm/W), de buenas cualidades cromáticas IRC, entre 80 y 90 según los colores de los materiales utilizados en el interior, y con vida útil superior a 15.000 h. Los balastos tienen que ser electrónicos adaptables a sistemas de programación tipo DALI.

En el caso de tener luz natural con un diseño esmerado para el aprovechamiento, las lámparas tendrán que ser regulables, con lo cual se dispone de suficientes tipos de las lineales pero no tantos de las compactas.

Si los espacios son de gran volumen y alturas libres superiores a 5 m, se pueden utilizar también lámparas de halogenuros metálicos, ya que se encuentran de una amplia gama de potencias y temperaturas de color, con buen IRC (> 80).

Igualmente, como se ha dicho en *Infraestructuras de los sistemas y luminarias, consideraciones según las tipologías arquitectónicas*, en los ámbitos de mediana entidad las decisiones son más difíciles ya que dependen de la importancia que pueda tener el ahorro energético.

Criterios de selección de las lámparas

Los principales factores que condicionan la selección de una lámpara son sus cualidades lumínicas, entre las cuales destacamos como prioritarias la K y el IRC. Otros aspectos de tipo económico, como su durabilidad y la eficacia, también condicionan la elección y, finalmente, aspectos formales y eléctricos así como la compatibilidad de colocación con las luminarias escogidas acaban de completar los parámetros de selección.

10.2.2 Por cualidades cromáticas: K e IRC

De manera sencilla, escogemos las lámparas por su K según tengan una apariencia de luz cálida, neutra o fría (estos grupos vienen ya definidos por los fabricantes con una nomenclatura específica). Es el tipo de sensación ambiental que queremos dar al espacio, así como el propio cromatismo de los materiales que lo forman, factores que influirán en la elección.

CRITERIOS CROMÁTICOS PARA LA SELECCIÓN DE LÁMPARAS			
Familia	Tipo	K. Apariencia	IRC-
INCANDESCENCIA	Estándar	2.600-2.800 (cálido)	100
	Halógena	3.000	100
FOTOLUMINISCENCIA	Fluorescencia lineal	2.600-6.500 (cálido-neutro-frío)	50-95
	Fluorescencia compacta	2.600-6.500 (cálido-neutro-frío)	50-95
DE LUMINISCENCIA	NEÓN		
	VAPOR DE MERCURIO (AP normal)	3.500	45
	id. HALÓGENA	4.800-6.500	45-65
	LUZ MEZCLA	3.600	60
	VAPOR DE SODIO BP	1.800	< 20
	id. AP	2.000-2.200...	25-65
	id. BLANCA	2.500 (blanco cálido)	80
DE INDUCCIÓN QL		2.700-6.500	80
ESPECIALES:			
LEDs			

Tabla 10.6
Características cromáticas de las diferentes familias de lámparas.



10.2.3 Por durabilidad

Tabla 10.7
Características de
durabilidad Vu y
supervivencia de
las diferentes
familias de
lámparas.

CRITERIOS DE DURABILIDAD PARA LA SELECCIÓN DE LÁMPARAS			
Familia	Tipo	Vu (vida útil en h)	Durabilidad (supervivencia en %)
INCANDESCENCIA	Estándar	1.000	100
	Halógena	2.000	100
FOTOLUMINISCENCIA	Fluorescencia lineal estándar	10.000	50
	Fluorescencia lineal electrónica	12.000	80
	Fluorescencia compacta	6.000-9.000	70
DE LUMINISCENCIA	VAPOR DE MERCURIO (AP normal)	16.000	85
	íd. HALÓGENA	9.000	72
	LUZ MEZCLA	6.000	79
	VAPOR DE SODIO BP	14.000	87
	íd. AP	2.000	87
	íd. BLANCA	16.000	80
DE INDUCCIÓN QL		60.000	80
LEDS		35.000	

10.2.4 Por eficacia

Tabla 10.8
Características de
eficacia de las
diferentes familias
de lámparas.

CRITERIOS DE EFICACIA PARA LA SELECCIÓN DE LÁMPARAS			
Familia	Tipo	Potencia (W)	Eficacia (lm/W)
INCANDESCENCIA	Estándar	15-1.000	6-18
	Halógena	60-2.000	14-24
FOTOLUMINISCENCIA	Fluorescencia lineal estándar	18-65	75-93
	Fluorescencia lineal electrónica	16-50	93-108
	Fluorescencia compacta	9-55	44-65
DE LUMINISCENCIA	VAPOR DE MERCURIO (AP normal)	50-1.000	40-60
	íd. HALÓGENA	75-2.000	68-96
	LUZ MEZCLA	500-2.800	26
	VAPOR DE SODIO BP	35-180	130-198
	íd. AP	50-1.000	70-150
	íd. BLANCA	50-100	43-48
DE INDUCCIÓN QL		55-85	64-71
LEDS		35.000	



10.3 Planteamiento para estructurar decisiones sobre los sistemas

Puede llegar a ser un vademécum del diseñador lumínico, pero probémoslo. Del más elaborado al más sencillo o al revés.

Por ejemplo:

En un espacio de pequeñas dimensiones, sin funciones laborales o específicas; en una sala de espera, por ejemplo.

- No hace falta una luz de globalización
- No hace falta un sistema de proyección
- Tampoco es necesaria luz indirecta

Se podría resolver con una luminaria de pie “de diseño”.

En un espacio amorfo, de dimensiones medias, sin funciones laborales o específicas, un espacio de transición o similar sin complejidades arquitectónicas relevantes. Podría hacerse con un sistema de luminarias de suspensión con imagen propia.

En espacios de gran superficie, como supermercados o tiendas de centro comercial, se iluminaría con un sistema dirigido de difusión, distribución uniforme, luminarias *downlight* o ahorcadas de fluorescencia compacta, o de tipo lineal ordenada, etc.

En espacios con objetos atractivos en el perímetro, como salas de exposiciones, librerías, estanterías de tiendas, etc., se puede pensar en sistemas perimetrales de luz bañadora, dirigida asimétrica (de techo en paredes).

En espacios con focalización visual cabe a un lado, como salones de actos.

Con sistemas diferenciados por diferentes zonas: el espacio de butacas, con techo de formas acústicas y posible sistema integrado indirecto, o con techo plano y distribución regular en malla ordenada, luminarias empotradas y luz regulable; el espacio del conferenciante, con diversas fuentes de proyección directa regulable, desplazable y orientable desde un posible carril electrificado.

En espacios de circulación, con sistemas de refuerzo lumínico de los pasillos laterales y del central, regulables.

De otros espacios, según la composición arquitectónica o de los reglamentos de seguridad y espectáculos públicos.

Siempre hace falta haber redactado el programa funcional del edificio, las condiciones de los usuarios y las premisas arquitectónicas. Tengamos en cuenta que un proyecto de arquitectura es de un prototipo único y casi sin



referencias anteriores aplicables, o sea, es un diseño experimental sin margen para la experimentación y pruebas previas, por lo cual los diseños de la luz también serán unos prototipos experimentales incorporados al prototipo arquitectónico y con el mismo lenguaje.

10.4 La representación del sistema lumínico

El sistema lumínico se entiende como la instalación que se tiene que representar en la documentación técnica del proyecto, con especial indicación de todos los elementos que lo configuran, indicando sus características técnicas propias, y todos los detalles de implantación en el espacio necesarios para su correcta ejecución.

Conviene explicar cómo se tiene que representar gráficamente el sistema lumínico, indicando los aspectos principales de la estructura, luminarias, lámparas, controles, etc.

Como estamos en una fase de proyecto básico, la representación del sistema recogerá los aspectos que inciden principalmente en la percepción formal y la implantación en el edificio. También es adecuado resolver con detalle aquellos aspectos de tipo constructivo necesarios para la correcta realización del proyecto.

10.4.1 La representación en planta cenital

La representación del sistema en los planos de planta nos da una idea de la disposición del sistema en el espacio. Es importante dibujar todos los elementos que definen el espacio como cierres, elementos estructurales y mobiliario e indicar las zonas que se consideran “de trabajo” o que se deben iluminar.

Dado que los planos están en una escala concreta, conviene representar las luminarias utilizando figuras geométricas con las verdaderas dimensiones dibujadas en la escala correspondiente. Así, evitamos los conflictos dimensionales o con otras instalaciones o elementos en el momento de la ejecución.

Para los sistemas complejos, podemos utilizar simbologías que indiquen el emplazamiento específico de las luminarias como altura del suelo, empotrado en mobiliario, colgamiento del techo, y también poner flechas para indicar el eje principal y la dirección del flujo.

Una consideración importante es que la representación del sistema lumínico en planta esté de acuerdo con los efectos lumínicos planteados en la fase inicial, lo que no significa necesariamente que tienen que coincidir las manchas de los efectos propuestos con la posición definitiva de las luminarias.

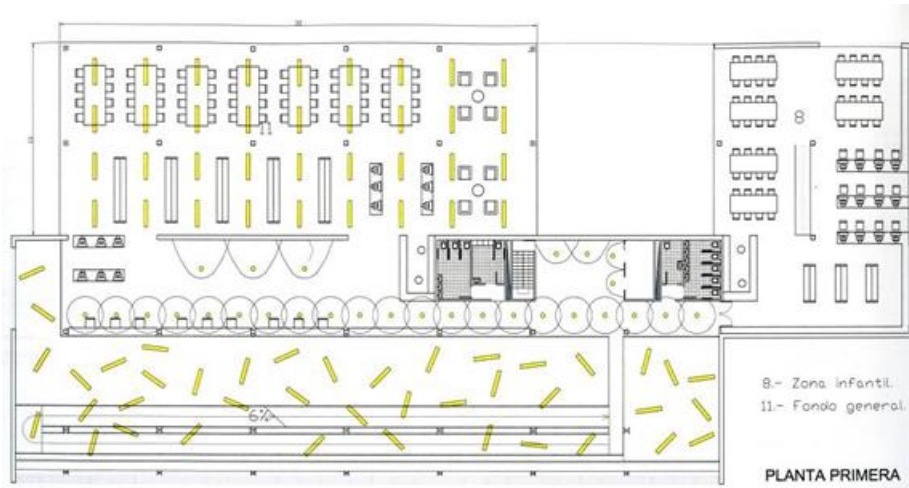


Fig. 10.2
Representación en
planta del sistema
lumínico.
Trabajo de curso.

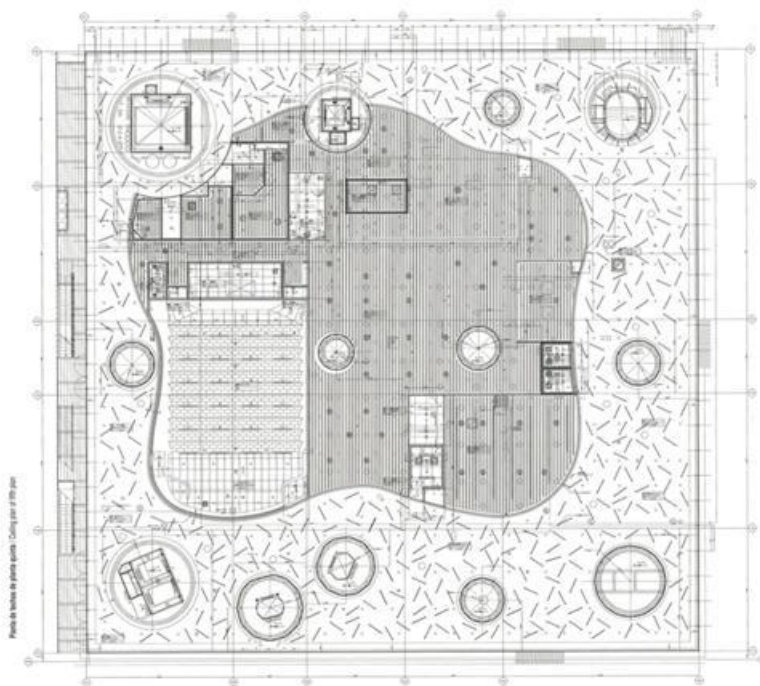
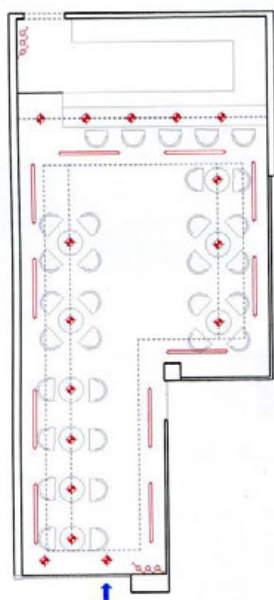


Fig. 10.3
Representación
esquemática del
sistema lumínico sobre
plano de planta.
Mediateca de Sendai,
Toyo Ito.

Para explicar mejor los aspectos de direccionalidad del flujo lumínico, podemos acompañar los dibujos de planta con secciones esquemáticas donde, de manera simple con líneas o flechas, representamos los conos de luz indicando el ángulo de abertura y el eje de proyección.



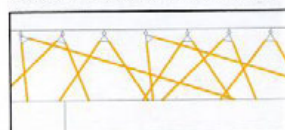
Fig. 10.4
Representación en
planta y sección
esquemática del
sistema lumínico.
Trabajo de curso.



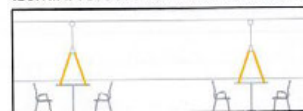
GLOBALIDAD LUMÍNICA



CARRIL ELECTRIFICADO- BARRA



ILUMINACIÓN PUNTUAL con carril electrificado



También resulta conveniente, para identificar fácilmente las luminarias, asignarles una referencia, gráfica o numérica, que las identificará en el plano correspondiente.

Fig. 10.5
Ejemplo de
referencia gráfica
para identificar las
luminarias del
sistema.
Trabajo de curso.





10.4.2 Los detalles de implantación

La posición de las luminarias en el espacio se tiene que concretar haciendo detalles locales a escalas comprendidas entre 1:5 y 1:20. Son especialmente importantes los detalles en sistemas integrados dada la implicación constructiva que representa.

Estos dibujos conviene incorporarlos en las secciones de detalle de proyecto dada la importancia que tienen en el proceso constructivo.

En este caso, sí que conviene tener las dimensiones reales de las luminarias utilizadas, indicar cómo se fijan en el espacio y cómo se orientan, si es necesario.

También nos permite conocer las implicaciones que tendrá su posterior mantenimiento, reposición o sustitución.

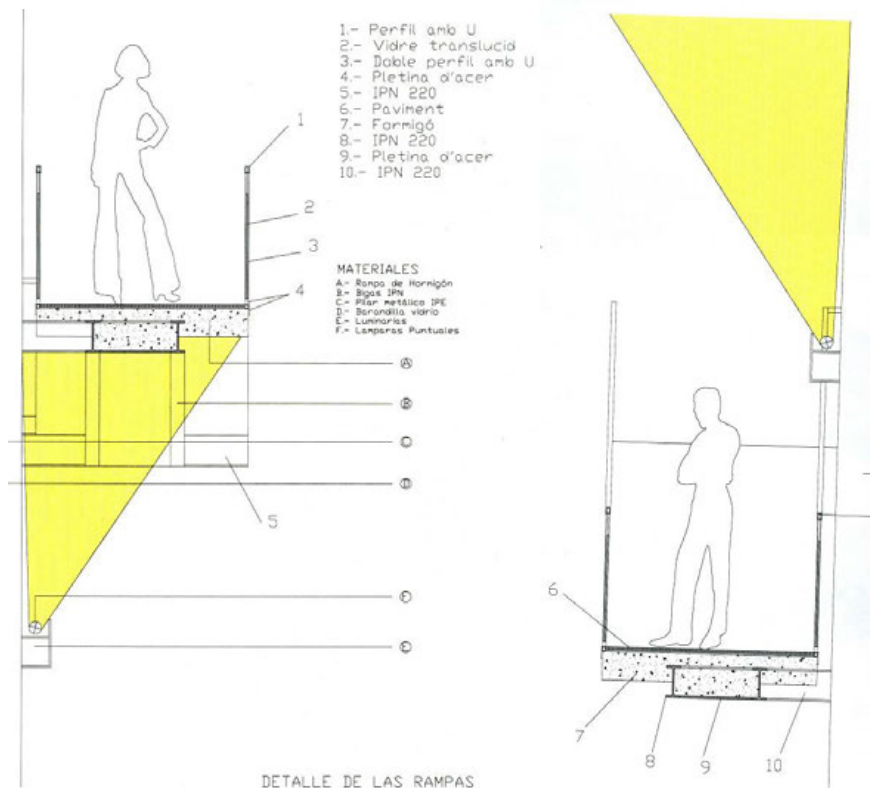


Fig. 10.6
Detalle de
implantación.
Trabajo de curso.



Cuarta parte. Cálculos básicos



Cálculos básicos

$$\begin{aligned} &= Cl \cdot Cl & \Phi_{nl} = W \cdot e & K = \frac{a \cdot b}{2/3 dt \cdot (a+b)} & E_p = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \theta}{d^2} \\ & & & E^*p = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos \theta \cdot m \cdot nL}{d^2} & E^* = \frac{n \cdot \Phi_{nl} \cdot u \cdot r}{S} \\ & E_p = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \theta}{d^2} & & & & E^*p = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \theta \cdot m \cdot nL}{d^2} \\ & & \Phi_{nl} = W \cdot e & m = Cl \cdot Cl & E_p = \frac{I_{\alpha} \cdot \sin \theta}{d^2} \\ & E^* = \frac{n \cdot \Phi_{nl} \cdot U \cdot \eta L \cdot m}{S} & & & E^*p = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos \theta}{d^2} \\ & E_p = \frac{I_{\alpha}}{d^2} & E^* = \frac{n \cdot \Phi_{nl} \cdot U \cdot \eta L \cdot m}{S} & m = Cl \cdot Cl \end{aligned}$$



11.1 Generalidades

Se explican algunos procedimientos de cálculo manual, como expresión de los que desarrollan los programas informatizados y como forma de obtener valores de iluminancias en situaciones poco complejas, en las cuales utilizar sistemas informáticos puede ser todavía más pesado.

Si conocemos el modo de hacerlo a mano, podemos comprender qué hace el ordenador o qué le podemos pedir.

Se trata del **método del flujo** o del nivel medio para el cálculo del nivel de iluminación media de un espacio interior, del **método del punto por punto** para determinados puntos de superficies u objetos situados tanto en el interior como en el exterior de un edificio, y también se mencionan algunos métodos rápidos de predimensionado.

Se debe tener en cuenta que, a menudo, se tienen que hacer estimaciones de aproximación a la realidad, así como adoptar coeficientes con valores experimentales. Estos cálculos, como cualquier otro, intentan plantear unos procesos lineales dentro de una serie de criterios que permitan obtener valores justificadamente aceptables. Para proceder a cualquier cálculo necesitamos tener definidos una serie de valores fotométricos de las fuentes así como los geométricos del local y las reflectancias de los paramentos.

Datos de las fuentes

Hay que disponer de los datos de potencia, eficacia, flujo, la manera cómo distribuye las intensidades y otros datos. El flujo nominal de la lámpara, dado por el fabricante o calculado a partir de la potencia multiplicada por la eficacia luminosa supuesta o conocida:

$$\Phi_{nl} = W \cdot e$$

El flujo nominal de la luminaria, función del número n de lámparas que tenga instaladas y de su flujo unitario:

$$\Phi_{nL} = \Phi_{nl} \cdot n$$

El flujo útil, también llamado flujo en servicio es el flujo nominal afectado por el rendimiento de la luminaria:

$$\Phi_u = \Phi_{nl} \cdot \eta L$$

El rendimiento de la luminaria ηL

Cualquier fuente de luz que dependa del comportamiento del armazón, de su óptica y del cierre o protección, genera una disminución inicial de la luz emitida

interiormente por las lámparas Φ_{nl} , frente a la que en realidad podría salir y dirigirse con eficacia hacia la superficie a iluminar. Se expresa con la relación entre el flujo en servicio de la luminaria y el de las lámparas instaladas.

En el caso de contener lámparas reflectoras con toda la emisión proyectada en el exterior del armazón, el rendimiento es 1.

La **distribución de intensidades** queda normalmente expresada en forma numérica con una matriz de datos o de forma gráfica con un diagrama de coordenadas polares o cartesianas, dada también por el fabricante. Hay que distinguir si los valores son expresados como intensidades de referencia J para lámparas del mismo tipo pero sin especificar potencia y para un flujo de 1.000 lúmenes, o bien son las I de la luminaria equipada con la lámpara específica y su potencia.

Hay que recordar que algunas gráficas dan la escala con un cierto número de lúmenes por división de los arcos y otros informan de los valores de cada división:

$$\eta L = \frac{\Phi_u}{\Phi_{nl} \cdot n}$$

El factor de mantenimiento

Como conceptualización numérica de la depreciación natural de las luminarias y lámparas, así como los efectos de la limpieza periódica según convenga por la contaminación del aire donde se instalan u otros factores.

Factor de utilización y utilancia U

En la iluminación interior, la luz que proviene de las reflexiones con las paredes, suelo y techo puede proporcionar un componente importante en la iluminación de la zona. Así, hay que entender este factor como el del comportamiento del local para dirigir la luz procedente de las posibles múltiples reflexiones en otras superficies hacia el plano que hay que iluminar.

Hay que recordar que el factor de utilización (u) ya incorpora la reducción por su rendimiento luminoso, y que el concepto de utilancia es similar pero distinto, ya que se refiere al de unos tipos de luminarias genéricas y sin la aplicación del rendimiento, ya que puede ser variable según cada fabricante.

En la tabla de utilancias (U) de la 2070 de Staff (hay valores superiores a 100) hace falta entrar con los valores de las reflectancias de las paredes (fila superior), escoger columna, entrar reflectancia del techo (segunda fila), escoger subcolumna y ver si la reflectancia del suelo (fila inferior) es válida para, con la fila del índice de local, definir el valor de U. Si hay que hacer dos entradas e interpolación de valores, se pueden hacer directamente sin buscar mucha precisión.

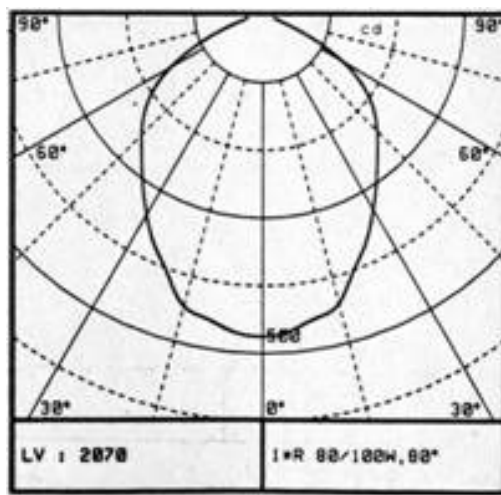


Tabla 11.1
Tabla de factores U
de un ejemplo de
luminaria.

	80	70	50	30	0
0	50	70	50	30	0
30	10	20	10	10	0
k	η				
0.60	50	48	60	48	40
0.80	62	58	70	59	51
1.00	70	65	77	66	58
1.25	80	73	85	75	68
1.50	87	79	90	81	74
2.00	95	85	96	88	82
2.50	101	90	100	93	88
3.00	106	93	103	97	93
4.00	111	96	105	101	97
5.00	115	99	108	104	101
LV : 2070		$k = \frac{a \times b}{h (a + b)}$			

Algunos fabricantes también publican otros datos. Por ejemplo, la gráfica de intensidades de la Ref. 2070 de Staff son datos de intensidades para lámparas incandescentes reflectoras de 80 o 100 W, con un flujo de 1.000 lm, o sea, intensidades de referencia J.

Fig. 11.1
Gráfica de
intensidades de una
luminaria.



También encontramos tablas del “diámetro del círculo luminoso” d , en función de las alturas h dentro del ángulo de proyección medio y los datos de las iluminancias mínimas, medias y máximas que se pueden obtener a aquellas distancias (alturas).

También consta el rendimiento de la luminaria $\eta = 1,00$, el ángulo de abertura del círculo luminoso real 95° (que difiere del nominal de 80°), la intensidad má-

xima lo 470 cd y datos de las clasificaciones según normas DIN, UTE, CIBSE, CIE, etc. Vemos también el indicativo que tiene una única curva por C0 - C180, o sea, que es de rotación.

h (m)	d (m)	E _{min} (lx)	E _m (lx)	E _{max} (lx)	η: 1.00 4: 95° 
1.0	2.2	72	178	470	
1.5	3.3	32	79	209	
2.0	4.4	18	44	117	
2.5	5.5	12	28	75	
3.0	6.6	8	20	52	
3.5	7.7	6	15	38	
4.0	8.8	5	11	29	
4.5	9.9	4	9	23	
5.0	10.9	3	7	19	
D DIN 5040 : R40					
F UTE : 1.00 D + 0.00 T					
GB CIBSE TMS : BZ 4					
B NBN : BZ 4					
CIE Flux Code : 51 82 96 100 100					
C0-C180			Φ : 1000 lm		
			I(0) : 470 cd		

Tabla 11.2
Tabla del "diámetro
del círculo luminoso".

En la gráfica de la figura 11.2 se expresan directamente valores de iluminancias en puntos situados en un plano vertical con entradas a diferentes alturas y distancias respecto de la vertical.

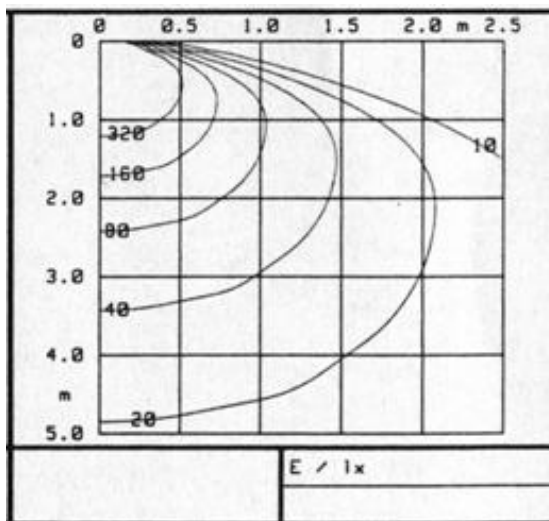
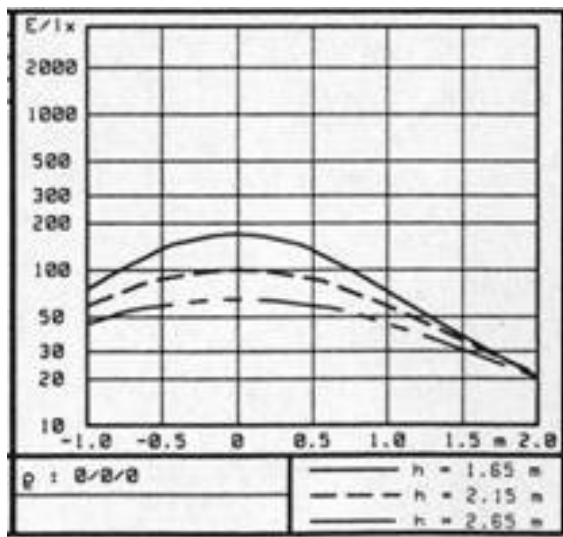


Fig. 11.2
Valores de
iluminancias en
puntos situados en
un plano vertical.

También podemos encontrar gráficas con curvas de luminancias para diferentes alturas (1,65, 2,15 y 2,65 m) y distancias o separaciones con respecto al eje de la fuente.

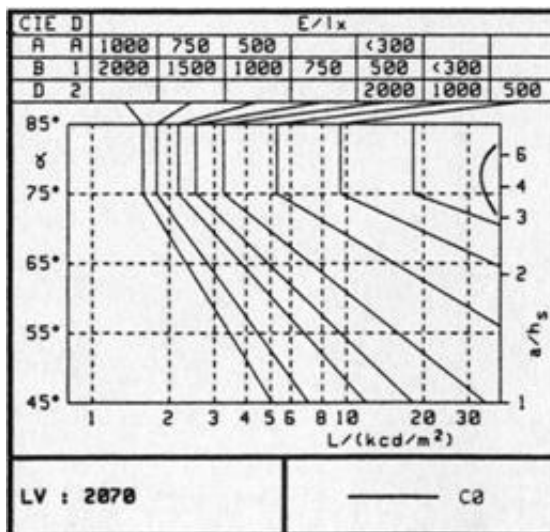


Fig. 11.3
Curvas de
iluminancias para
diferentes alturas.



Y la gráfica del comportamiento al deslumbramiento con sistema de curvas de limitación de la CIE, donde se aprecia el pequeño trozo de curva a la derecha de la gráfica, que significa que puede producir deslumbramientos fuertes (este método ha sido sustituido por el del UGR).

Fig.11.4
Curvas de limitación
del deslumbramiento.



Dado que las normas DIN 5035 y las UTE exigen la utilización de las utilancias, se adjuntan las tablas de estos valores, que son los únicos genéricos encontrados.



Observaciones

- Cuanto mayor es el índice de local, más grande resulta U.
- Cuanto más elevados son los coeficientes de reflexión, mayor resulta U.
- En locales grandes, a igual potencia instalada por metro cuadrado, con el mismo tipo de luminarias, el nivel E resultante es mayor que en locales pequeños.
- Algunos fabricantes indican las separaciones recomendables entre luminarias para garantizar la uniformidad lumínica del local.

Tablas de utilancias de procedencia: catálogo técnico de STAFF Iluminación, del Grupo Lledó, SA, como grado de rendimiento lumínico de locales.

		Techo	e_1	0,8					0,5			0,8			0,5			0,3		
		paredes	e_2	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3			
		Suelo	e_3	0,3														0,1		
Lámpara		Factor del local		k																
A1 Lámpara directa, fuerte dirigida proyectora		0,6	0,93	0,74	0,70	0,74	0,69	0,89	0,73	0,70	0,72	0,68	0,68							
		0,8	1,01	0,82	0,77	0,81	0,76	0,94	0,78	0,77	0,80	0,76	0,75							
		1	1,05	0,88	0,82	0,86	0,82	0,98	0,83	0,82	0,84	0,81	0,80							
		1,25	1,10	0,93	0,88	0,91	0,87	1,01	0,90	0,86	0,88	0,85	0,84							
		1,5	1,13	0,97	0,92	0,94	0,90	1,03	0,93	0,89	0,92	0,88	0,87							
		2	1,17	1,03	0,97	0,99	0,95	1,05	0,97	0,93	0,95	0,92	0,90							
		2,5	1,20	1,07	1,01	1,03	0,98	1,05	0,99	0,96	0,97	0,94	0,93							
		3	1,21	1,10	1,05	1,05	1,00	1,06	1,00	0,98	0,98	0,96	0,95							
A1.1 Lámpara directa, fuerte dirigida proyectora		4	1,24	1,15	1,10	1,08	1,03	1,06	1,02	1,00	1,00	0,98	0,97							
		5	1,25	1,17	1,13	1,10	1,06	1,07	1,03	1,01	1,01	0,99	0,98							
		0,6	0,82	0,69	0,56	0,61	0,56	0,78	0,60	0,55	0,60	0,55	0,54							
		0,8	0,93	0,72	0,66	0,70	0,65	0,87	0,70	0,65	0,69	0,64	0,64							
		1	1,00	0,79	0,72	0,77	0,71	0,93	0,76	0,71	0,75	0,70	0,70							
		1,25	1,06	0,86	0,79	0,83	0,78	0,97	0,82	0,77	0,81	0,76	0,75							
		1,5	1,09	0,90	0,83	0,87	0,82	0,99	0,86	0,81	0,84	0,79	0,79							
		2	1,14	0,97	0,90	0,93	0,88	1,02	0,91	0,86	0,89	0,85	0,84							
A1.2 Lámpara directa proyección vertical		2,5	1,17	1,02	0,96	0,97	0,92	1,04	0,94	0,90	0,92	0,88	0,87							
		3	1,20	1,06	1,00	1,00	0,95	1,05	0,97	0,93	0,94	0,91	0,90							
		4	1,23	1,11	1,05	1,04	1,00	1,06	0,99	0,97	0,97	0,94	0,93							
		5	1,24	1,14	1,09	1,06	1,02	1,06	1,00	0,98	0,99	0,96	0,95							
		0,6	0,72	0,48	0,42	0,47	0,42	0,68	0,47	0,41	0,47	0,41	0,40							
		0,8	0,85	0,61	0,54	0,59	0,53	0,80	0,59	0,53	0,58	0,52	0,52							
		1	0,94	0,69	0,62	0,67	0,61	0,87	0,67	0,61	0,65	0,60	0,59							
		1,25	1,01	0,78	0,71	0,75	0,69	0,92	0,75	0,68	0,73	0,68	0,66							
A2 Lámpara directa proyección vertical		1,5	1,05	0,83	0,75	0,80	0,74	0,96	0,80	0,73	0,77	0,72	0,71							
		2	1,11	0,91	0,84	0,87	0,81	1,00	0,86	0,80	0,84	0,79	0,78							
		2,5	1,15	0,97	0,90	0,92	0,87	1,02	0,91	0,85	0,88	0,83	0,82							
		3	1,18	1,02	0,96	0,96	0,91	1,04	0,94	0,89	0,91	0,87	0,86							
		4	1,21	1,09	1,02	1,02	0,96	1,05	0,97	0,94	0,95	0,91	0,90							
		5	1,23	1,12	1,06	1,04	1,00	1,06	1,00	0,96	0,97	0,94	0,92							
		0,6	0,63	0,39	0,33	0,39	0,33	0,61	0,38	0,34	0,37	0,33	0,32							
		0,8	0,78	0,53	0,45	0,51	0,45	0,74	0,51	0,45	0,50	0,45	0,44							
A2.1 Lámpara directa, proyección vertical		1	0,88	0,62	0,54	0,60	0,54	0,82	0,60	0,53	0,58	0,53	0,52							
		1,25	0,95	0,71	0,63	0,68	0,62	0,88	0,68	0,62	0,66	0,60	0,60							
		1,5	1,02	0,78	0,70	0,76	0,69	0,93	0,75	0,68	0,72	0,68	0,66							
		2	1,10	0,89	0,81	0,85	0,78	0,98	0,83	0,77	0,80	0,77	0,74							
		2,5	1,14	0,96	0,88	0,91	0,85	1,01	0,89	0,83	0,85	0,82	0,80							
		3	1,17	1,01	0,94	0,95	0,89	1,03	0,92	0,87	0,88	0,86	0,84							
		4	1,21	1,07	1,01	1,00	0,95	1,04	0,96	0,92	0,93	0,90	0,89							
		5	1,23	1,12	1,06	1,03	0,98	1,05	0,99	0,95	0,96	0,93	0,92							
		0,6	0,61	0,36	0,29	0,35	0,29	0,58	0,33	0,29	0,35	0,29	0,28							
		0,8	0,74	0,47	0,39	0,45	0,38	0,69	0,46	0,39	0,45	0,38	0,37							
		1	0,82	0,55	0,46	0,52	0,45	0,77	0,53	0,45	0,51	0,45	0,44							
		1,25	0,90	0,63	0,54	0,61	0,53	0,82	0,61	0,53	0,59	0,53	0,51							
		1,5	0,95	0,69	0,60	0,66	0,59	0,87	0,67	0,59	0,64	0,57	0,56							
		2	1,02	0,79	0,70	0,75	0,68	0,92	0,75	0,67	0,72	0,65	0,64							
		2,5	1,08	0,87	0,78	0,81	0,74	0,96	0,81	0,73	0,77	0,72	0,70							
		3	1,13	0,93	0,84	0,86	0,79	0,99	0,85	0,78	0,81	0,76	0,75							
		4	1,17	1,01	0,92	0,94	0,87	1,02	0,90	0,85	0,88	0,83	0,81							
		5	1,18	1,04	0,96	0,95	0,90	1,02	0,93	0,87	0,89	0,85	0,83							

Tabla 11.3
Tabla de utilancias
U, fuente: STAFF,
Grupo Lledó.

		Techo	φ_1	0,8				0,5				0,8			0,5		
		Paredes	φ_2	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3			
		Suelo	φ_3	0,3								0,1			0,3		
Lámpara	Factor del local	k															
A3 Lámpara directa proyección extensiva		0,6	0,51	0,23	0,17	0,24	0,16	0,48	0,23	0,18	0,22	0,16	0,16	0,16			
		0,8	0,65	0,36	0,27	0,36	0,28	0,61	0,34	0,28	0,34	0,28	0,28	0,28			
		1	0,76	0,47	0,36	0,45	0,37	0,70	0,44	0,37	0,42	0,36	0,35	0,35			
		1,25	0,87	0,57	0,48	0,54	0,46	0,80	0,55	0,47	0,52	0,45	0,44	0,44			
		1,5	0,95	0,66	0,56	0,62	0,55	0,86	0,64	0,55	0,60	0,53	0,52	0,52			
		2	1,05	0,79	0,69	0,75	0,67	0,94	0,75	0,68	0,72	0,66	0,66	0,66			
		2,5	1,11	0,88	0,79	0,83	0,76	0,99	0,82	0,76	0,79	0,74	0,72	0,72			
		3	1,15	0,94	0,86	0,89	0,82	1,02	0,87	0,81	0,83	0,78	0,77	0,77			
		4	1,20	1,03	0,95	0,95	0,89	1,04	0,93	0,88	0,89	0,85	0,84	0,84			
		5	1,23	1,09	1,01	1,00	0,94	1,05	0,96	0,92	0,92	0,88	0,88	0,88			
B2 Lámpara principalmente directa proyección vertical		0,6	0,51	0,30	0,22	0,26	0,21	0,48	0,29	0,23	0,26	0,21	0,20	0,20			
		0,8	0,62	0,36	0,29	0,34	0,27	0,58	0,35	0,30	0,33	0,27	0,26	0,26			
		1	0,70	0,43	0,35	0,39	0,32	0,64	0,41	0,35	0,38	0,31	0,30	0,30			
		1,25	0,76	0,50	0,41	0,44	0,37	0,70	0,48	0,40	0,43	0,36	0,34	0,34			
		1,5	0,82	0,56	0,47	0,48	0,42	0,74	0,54	0,45	0,47	0,40	0,37	0,37			
		2	0,90	0,65	0,56	0,55	0,48	0,79	0,61	0,54	0,53	0,47	0,42	0,42			
		2,5	0,95	0,72	0,62	0,60	0,53	0,83	0,67	0,60	0,57	0,51	0,46	0,46			
		3	0,99	0,77	0,68	0,64	0,57	0,85	0,71	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50			
		4	1,04	0,86	0,77	0,70	0,63	0,87	0,76	0,71	0,65	0,60	0,55	0,55			
		5	1,07	0,91	0,84	0,73	0,67	0,90	0,80	0,75	0,68	0,64	0,58	0,58			
B3 Lámpara principalmente directa proyección extensiva		0,6	0,53	0,27	0,22	0,27	0,21	0,51	0,27	0,22	0,26	0,21	0,20	0,20			
		0,8	0,66	0,39	0,32	0,36	0,30	0,62	0,38	0,31	0,35	0,29	0,28	0,28			
		1	0,75	0,47	0,39	0,43	0,36	0,69	0,46	0,38	0,42	0,36	0,34	0,34			
		1,25	0,82	0,55	0,46	0,50	0,43	0,75	0,53	0,45	0,48	0,42	0,40	0,40			
		1,5	0,88	0,61	0,52	0,55	0,49	0,80	0,59	0,51	0,54	0,47	0,45	0,45			
		2	0,96	0,72	0,63	0,64	0,58	0,86	0,67	0,60	0,61	0,56	0,52	0,52			
		2,5	1,02	0,80	0,71	0,70	0,64	0,90	0,73	0,67	0,66	0,61	0,55	0,55			
		3	1,05	0,85	0,76	0,74	0,68	0,92	0,77	0,71	0,69	0,65	0,60	0,60			
		4	1,09	0,92	0,84	0,79	0,74	0,94	0,83	0,77	0,74	0,70	0,65	0,65			
		5	1,12	0,97	0,89	0,83	0,78	0,96	0,86	0,81	0,76	0,73	0,68	0,68			
B4 Lámpara principalmente directa proyección libre		0,6	0,51	0,25	0,18	0,24	0,18	0,48	0,25	0,19	0,23	0,18	0,17	0,17			
		0,8	0,62	0,34	0,26	0,32	0,25	0,58	0,33	0,26	0,31	0,25	0,24	0,24			
		1	0,71	0,41	0,32	0,38	0,31	0,64	0,40	0,32	0,37	0,30	0,29	0,29			
		1,25	0,78	0,48	0,39	0,44	0,37	0,71	0,47	0,39	0,43	0,35	0,34	0,34			
		1,5	0,83	0,54	0,45	0,49	0,41	0,75	0,53	0,44	0,47	0,40	0,38	0,38			
		2	0,91	0,64	0,54	0,57	0,49	0,81	0,60	0,52	0,55	0,47	0,45	0,45			
		2,5	0,96	0,72	0,61	0,63	0,55	0,85	0,66	0,59	0,59	0,53	0,49	0,49			
		3	0,99	0,77	0,67	0,67	0,59	0,88	0,70	0,63	0,63	0,57	0,52	0,52			
		4	1,04	0,85	0,75	0,72	0,66	0,91	0,77	0,69	0,67	0,62	0,55	0,55			
		5	1,07	0,90	0,81	0,76	0,70	0,92	0,80	0,73	0,70	0,66	0,60	0,60			
C2 Lámpara uniforme proyección vertical y hacia arriba		0,6	0,51	0,27	0,21	0,23	0,18	0,48	0,27	0,20	0,23	0,19	0,18	0,18			
		0,8	0,62	0,36	0,29	0,32	0,26	0,58	0,34	0,28	0,31	0,26	0,24	0,24			
		1	0,70	0,44	0,35	0,38	0,32	0,64	0,41	0,34	0,37	0,31	0,28	0,28			
		1,25	0,77	0,50	0,41	0,43	0,37	0,70	0,48	0,41	0,42	0,36	0,33	0,33			
		1,5	0,83	0,56	0,47	0,47	0,41	0,75	0,54	0,46	0,46	0,40	0,36	0,36			
		2	0,91	0,66	0,57	0,55	0,48	0,80	0,62	0,55	0,53	0,46	0,41	0,41			
		2,5	0,96	0,74	0,64	0,60	0,54	0,84	0,68	0,61	0,57	0,51	0,46	0,46			
		3	0,99	0,79	0,69	0,63	0,58	0,87	0,72	0,66	0,60	0,55	0,48	0,48			
		4	1,04	0,87	0,78	0,69	0,64	0,90	0,78	0,72	0,64	0,60	0,53	0,53			
		5	1,07	0,92	0,84	0,72	0,67	0,91	0,80	0,76	0,67	0,63	0,55	0,55			
C3 Lámpara uniforme proyección extensiva		0,6	0,47	0,21	0,14	0,20	0,13	0,46	0,20	0,15	0,19	0,14	0,13	0,13			
		0,8	0,58	0,30	0,22	0,27	0,21	0,55	0,29	0,22	0,26	0,20	0,19	0,19			
		1	0,66	0,37	0,28	0,32	0,26	0,61	0,36	0,27	0,32	0,25	0,23	0,23			
		1,25	0,73	0,43	0,33	0,38	0,30	0,67	0,42	0,33	0,36	0,29	0,27	0,27			
		1,5	0,78	0,49	0,39	0,43	0,35	0,71	0,47	0,38	0,41	0,33	0,31	0,31			
		2	0,87	0,60	0,49	0,51	0,43	0,77	0,56	0,47	0,49	0,41	0,37	0,37			
		2,5	0,92	0,68	0,57	0,56	0,49	0,81	0,61	0,54	0,54	0,46	0,42	0,42			
		3	0,96	0,74	0,63	0,60	0,53	0,85	0,66	0,59	0,57	0,50	0,46	0,46			
		4	1,01	0,82	0,72	0,66	0,60	0,88	0,72	0,66	0,62	0,56	0,51	0,51			
		5	1,05	0,87	0,78	0,70	0,64	0,90	0,77	0,70	0,65	0,60	0,54	0,54			



Techo		ϱ_1	0,8				0,5		0,8			0,5			0,3
Paredes		ϱ_2	0,8	0,5	0,3		0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	
Suelos		ϱ_3	0,3				0,1								
Lámpara	Factor del local	k													
C4 Lámpara uniforme proyección libre		0,6	0,47	0,21	0,14	0,19	0,14		0,45	0,20	0,16	0,19	0,14	0,14	
		0,8	0,57	0,30	0,21	0,26	0,20		0,55	0,29	0,22	0,25	0,19	0,18	
		1	0,65	0,36	0,27	0,31	0,24		0,61	0,35	0,27	0,30	0,23	0,21	
		1,25	0,72	0,42	0,32	0,36	0,29		0,67	0,41	0,32	0,35	0,28	0,25	
		1,5	0,77	0,48	0,37	0,40	0,33		0,71	0,46	0,36	0,39	0,32	0,28	
		2	0,85	0,58	0,46	0,47	0,39		0,77	0,54	0,45	0,46	0,38	0,33	
		2,5	0,90	0,65	0,54	0,53	0,45		0,81	0,60	0,51	0,50	0,43	0,38	
D2 Lámpara principalmente indirecta proyección hacia arriba		0,6	0,47	0,20	0,14	0,17	0,12		0,42	0,20	0,15	0,17	0,12	0,11	
		0,8	0,55	0,28	0,21	0,24	0,18		0,52	0,27	0,21	0,24	0,18	0,16	
		1	0,63	0,36	0,27	0,29	0,23		0,59	0,34	0,27	0,29	0,22	0,20	
		1,25	0,70	0,43	0,33	0,34	0,28		0,65	0,41	0,33	0,33	0,27	0,24	
		1,5	0,76	0,49	0,39	0,39	0,32		0,69	0,47	0,39	0,37	0,31	0,27	
		2	0,84	0,59	0,49	0,46	0,39		0,74	0,55	0,48	0,44	0,37	0,31	
		2,5	0,90	0,67	0,57	0,51	0,44		0,78	0,61	0,54	0,48	0,42	0,35	
D3 Lámpara principalmente indirecta proyección extensiva		0,6	0,44	0,19	0,13	0,17	0,11		0,42	0,19	0,14	0,16	0,12	0,10	
		0,8	0,55	0,27	0,19	0,23	0,17		0,51	0,26	0,20	0,22	0,16	0,15	
		1	0,63	0,34	0,25	0,28	0,22		0,58	0,33	0,25	0,27	0,21	0,18	
		1,25	0,69	0,42	0,32	0,33	0,26		0,64	0,40	0,32	0,32	0,26	0,22	
		1,5	0,75	0,48	0,38	0,37	0,31		0,68	0,46	0,37	0,36	0,30	0,25	
		2	0,82	0,58	0,48	0,44	0,38		0,74	0,54	0,46	0,42	0,36	0,30	
		2,5	0,88	0,66	0,56	0,49	0,44		0,78	0,60	0,53	0,46	0,41	0,34	
D4 Lámpara principalmente indirecta proyección libre		0,6	0,43	0,17	0,12	0,16	0,095	0,41	0,17	0,12	0,15	0,10	0,095		
		0,8	0,53	0,25	0,17	0,21	0,14	0,49	0,24	0,17	0,20	0,14	0,13		
		1	0,61	0,31	0,22	0,25	0,19	0,55	0,30	0,21	0,24	0,17	0,16		
		1,25	0,68	0,38	0,28	0,30	0,23	0,61	0,36	0,27	0,29	0,22	0,19		
		1,5	0,72	0,43	0,33	0,34	0,27	0,65	0,41	0,32	0,33	0,26	0,22		
		2	0,80	0,53	0,42	0,41	0,34	0,71	0,50	0,41	0,40	0,33	0,27		
		2,5	0,86	0,61	0,50	0,46	0,39	0,76	0,56	0,48	0,44	0,38	0,31		
E2 Lámpara indirecta proyección hacia arriba		0,6	0,39	0,15	0,095	0,11	0,06	0,34	0,15	0,10	0,12	0,08	0,05		
		0,8	0,48	0,21	0,14	0,15	0,095	0,44	0,21	0,14	0,16	0,10	0,065		
		1	0,56	0,28	0,20	0,18	0,13	0,51	0,27	0,19	0,19	0,13	0,085		
		1,25	0,62	0,35	0,26	0,22	0,17	0,57	0,33	0,25	0,22	0,16	0,11		
		1,5	0,68	0,41	0,31	0,26	0,20	0,62	0,39	0,30	0,25	0,19	0,13		
		2	0,76	0,51	0,41	0,32	0,26	0,68	0,48	0,40	0,30	0,25	0,16		
		2,5	0,81	0,59	0,49	0,36	0,31	0,72	0,54	0,47	0,34	0,29	0,18		
E3 Lámpara indirecta proyección extensiva		0,6	0,41	0,16	0,08	0,13	0,06	0,36	0,14	0,085	0,13	0,06	0,05		
		0,8	0,49	0,21	0,12	0,16	0,085	0,44	0,21	0,13	0,15	0,095	0,065		
		1	0,55	0,27	0,17	0,19	0,12	0,50	0,26	0,17	0,18	0,12	0,08		
		1,25	0,61	0,32	0,23	0,22	0,16	0,56	0,31	0,23	0,21	0,15	0,10		
		1,5	0,66	0,38	0,28	0,25	0,19	0,60	0,36	0,28	0,24	0,18	0,12		
		2	0,73	0,48	0,37	0,31	0,24	0,66	0,43	0,37	0,29	0,23	0,15		
		2,5	0,79	0,56	0,45	0,35	0,28	0,70	0,49	0,43	0,33	0,27	0,17		



11.2 Cálculos de los niveles de iluminación (iluminancias)

11.2.1 Método del flujo o del nivel medio

Es el método utilizado normalmente para encontrar el valor medio de iluminación en un plano horizontal de una zona de geometría rectangular normal, o asimilable, con luminarias distribuidas uniformemente y situadas en un plano de montaje paralelo al de la superficie a iluminar, en función de la luz directa y de la indirecta reflejada en los paramentos del local.

Este método tiene la ventaja de que es muy rápido, pero solo permite obtener la iluminancia media en el plano de estudio.

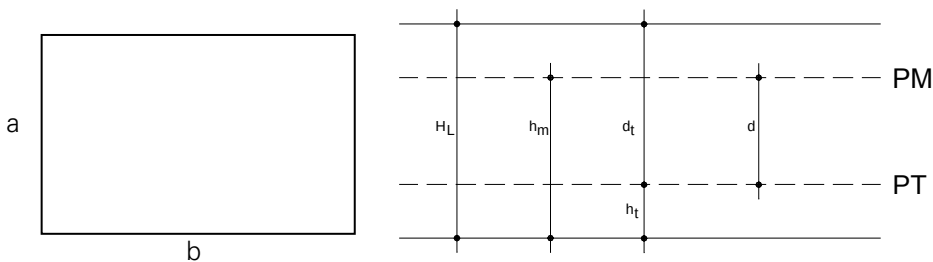
También lo utilizaremos para conocer el número de luminarias de un tipo pre-determinado, que hay que instalar en un local que deseamos iluminar con un nivel medio prefijado.

Hay que recordar que en la iluminación, la luz proveniente de las reflexiones con las paredes, suelo y techo puede proporcionar un componente importante a la iluminación de la zona.

Datos del local

De la representación en planta y en sección del local obtenemos todos los datos necesarios para el cálculo, de acuerdo con la representación siguiente:

Fig. 11.5
Planta y sección tipo
de un local con
indicación de los
diferentes
parámetros
geométricos.



a. Planta

b. Sección

De la planta

- a Largo del local
- b Ancho del local

De la sección

- PM** Plano de montaje, como plano, normalmente horizontal, de posición de las luminarias.

- PT** Plano de trabajo, es la superficie también normalmente horizontal donde se desarrolla la actividad principal o plano a iluminar.
- HL** Altura del local, es la total libre del local.
- h_m** Altura del montaje, tomada desde el PM en el suelo del local.
- h_t** Altura del PT, la de la superficie a iluminar con respecto a tierra.
- d** Distancia, como la altura entre las luminarias y el plano a iluminar o PT, que si este es el suelo coincide con h_m .
- d_t** Distancia desde el techo del local hasta el plano de trabajo, que si éste es el suelo coincide con **H_L**

Fórmula básica considerando el factor de utilización (u):

$$E^* = \frac{\Phi_{nl} \cdot n \cdot u \cdot m}{S}$$

Fórmula básica considerando la utilancia (U):

$$E^* = \frac{\Phi_{nl} \cdot n \cdot U \cdot \eta_L \cdot m}{S}$$

donde:

- E***: Iluminancia en servicio, en lux
- n**: Número de luminarias
- Φ_{nl}** : Flujo de las lámparas instaladas en una luminaria
- Φ_{nL}** : $n \cdot \Phi_{nl}$ número de lámparas multiplicado por su flujo nominal
- u**: Factor de utilización, a veces se expresa como F_u
- U**: Utilancia
- m**: Coeficiente de mantenimiento, a veces expresado como C_d
Coeficiente de depreciación de la instalación
- S**: Superficie del plano a iluminar, normalmente asimilada a la del local
 $S = a \cdot b$, en metros cuadrados.

Índice de local K

Para entrar en las tablas de coeficientes de utilización, o de utilancias, previamente hay que encontrar la manera de expresar el tipo de forma y geometría del local, ya que afectará a la luz recibida en el plano de trabajo por las reflexiones en los paramentos de cierre, a veces expresado como **i**.

Para los casos de luz directa o semidirecta, viene expresado por la siguiente fórmula:

$$K = \frac{a \cdot b}{d \cdot (a + b)}$$



Y con luz totalmente indirecta, por:

$$K = \frac{a \cdot b}{\frac{2}{3} dt \cdot (a + b)}$$

También se necesita conocer o fijar los coeficientes de reflexión o reflectancias **R** de los paramentos del local.

Estos valores solo son conocidos con exactitud en algunos casos. Para los cálculos se pueden aplicar valores de reflectancias aproximadas que no tienen que ser optimistas. En efecto, la luz que llega al suelo casi no afecta al nivel lumínico de un plano de trabajo elevado como en el caso de una mesa. Por este motivo, se adopta el valor de 0,1 para suelos oscuros y de 0,3 para los suelos claros.

Los techos también afectan poco al resultado, y se pueden tomar valores de 0,3 para colores claros o 0,5 para los blancos. Hay que exceptuar los casos con alturas del local pequeñas, entre 2,50 y 3,50 m con luz indirecta, fuerte reflexión desde las paredes y de color blanco, en que se puede tomar el valor de 0,7 y para los casos de alturas mayores, aunque tengan colores claros, se tomará 0,5.

Para las paredes, aunque sean blancas, la probable colocación de muebles, paneles, cuadros o pósteres lo reducirá y se tomarán valores de 0,3 para los casos con reflectancias bajas, de 0,5 para los colores claros o de 0,7 para el blanco sin posibles posteriores revestimientos más oscuros, consideraciones que, de manera básica, ya se incorporan al concepto de índice de local y a los valores de **U**. Así, el factor de **utilización u** pasa a depender de las fuentes utilizadas, de un factor geométrico del local y de las reflectancias de sus superficies. Insistimos que los factores de utilización ya incorporan el valor del rendimiento luminoso de la luminaria, **ηL**.

Tabla 11.4
Tabla para obtener el
factor de utilización u.

N° DE LUMINARIAS A 1000 lm, 100 lx											
m2	20	30	40	50	75	100	150	200			
h1=1.65	4.2	5.8	7.9	9.1	13.1	17.7	25.6	33.2			
h2=2.15	4.5	7.1	8.6	9.7	15.0	18.3	26.4	34.0			
h3=2.65	5.1	6.8	9.4	10.5	14.5	19.8	27.5	35.1			
FACTORES DE UTILIZACION %											
TECHO	70				50				0		
PARED	70	50			30	50			30	0	
SUELO	20	30	20	10	30	10	30	10	30	10	0
0.60	45	38	37	36	32	31	37	35	32	31	26
0.80	53	46	45	44	41	39	45	43	40	39	34
1.00	58	53	51	49	47	45	51	48	46	44	40
1.25	63	59	57	55	54	51	57	53	52	50	45
1.50	66	64	61	58	59	55	61	57	57	54	50
2.00	71	70	66	63	66	60	67	62	63	60	55
2.50	73	74	70	66	70	64	70	65	67	63	59
3.00	75	76	72	68	73	66	73	67	70	65	61
4.00	77	79	74	70	76	68	75	69	73	67	63
5.00	78	81	76	71	79	70	76	70	75	69	65

Factor de mantenimiento, m

También hay que considerar el valor del coeficiente (factor) de mantenimiento o de conservación general de las luminarias, en función de la depreciación a lo largo de su vida útil.

Este valor es el producto del coeficiente de depreciación luminosa de las lámparas instaladas CI y el de depreciación de la luminaria, que en realidad es del armazón con la óptica y el cierre CL , como coeficiente de pérdida luminosa según el tipo, las cualidades propias de los reflectores y difusores, y del ambiente donde se instalarán:

$$m = CI \cdot CL$$

Como ejemplos de referencia aproximados de CI , se mencionan los siguientes valores:

Tipo de lámparas	Valores CI
Incandescencia normal	0,85 -0,9
Incandescencia de halógeno	0,9 -0,95
Incandescencia de fluorescencia	0,75 -0,85
Vapor de mercurio AP	0,8 -0,85
Vapor de mercurio con halógenos	0,65 -0,8
Vapor de sodio AP	0,6 -0,65
Vapor de sodio BP	0,8 -0,85

Tabla 11.5
Tabla del coeficiente de depreciación luminosa de las lámparas (CI) según su familia.

Y de la depreciación luminosa de la luminaria CL :

DEPRECIACIÓN LUMINARIA CL		
Ambientes	sucios	limpios
Cerradas y con filtro	0,8	0,9
Herméticas	0,85	0,95
Abiertas y ventiladas	0,7	0,75
Abiertas normales	0,6	0,75

Tabla 11.6
Tabla del coeficiente de depreciación luminosa de las luminarias (CL) según su familia.



Para ilustrar prácticamente este método, reproducimos unos ejemplos sencillos:

Cálculo de la iluminancia. Método del flujo. Ejemplo

Calcular la iluminancia media, sobre el plano de las mesas del aula de la figura, únicamente con las luminarias existentes en el techo y un total de 30 tubos TLD 58 W - 33.

Datos del local

Dimensiones y superficie: $7 \times 15 = 105 \text{ m}^2$

Altura total del local: $3,00 \text{ m}$

Altura de las mesas de trabajo: $0,65 \text{ m}$

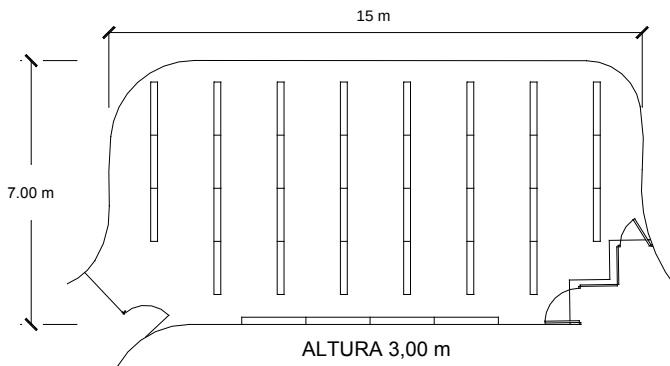
Datos de los paramentos y coeficientes de reflexión

Techo pintado de blanco mate, $R = 50$

Paredes pintadas de blanco, $R = 50$

Suelo de cerámica clara, $R = 10$

Fig. 11.6
Planta y sección del
aula con las
dimensiones básicas
de cálculo.
geométricos.



Datos de las fuentes

Luminarias del modelo: OD-5520, fabricadas por Odel-lux con armazón empotrado en el cielo raso, abierto, con reflector de chapa esmaltada en blanco, con un tubo fluorescente TLD de 36 W, color NW – 4.100 K, IRC 66, eficacia según catálogo de Philips 86 lm / W.

Flujo nominal de cada tubo:

$$36 \times 86 = 3.096 \text{ lm}$$

Coeficiente de depreciación estimado de las lámparas:

$$C_l = 0,8$$

Coeficiente de depreciación estimado de las luminarias:

$$C_L = 0,9$$

Factor de mantenimiento:

$$m = 0,72$$

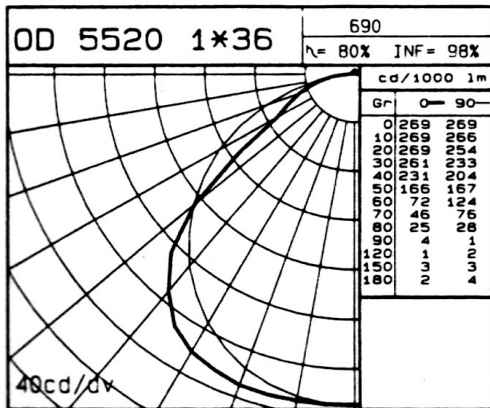


Fig. 11.7
Diagrama polar de
intensidades de la
luminaria.

Índice del local (k)

Fórmula

$$K = \frac{a \cdot b}{d \cdot (a + b)} = \frac{7.5}{2,35 \cdot (7 + 5)} = 2,03$$

Factor de utilización (u): $u = 0,65$

N° DE LUMINARIAS A 1000 lm, 100 lx										
m2	20	30	40	50	75	100	150	200		
h1=1.65	4.3	5.6	8.0	8.5	12.3	16.5	23.8	30.3		
h2=2.15	4.3	6.8	8.4	9.3	15.5	17.3	24.7	31.4		
h3=2.65	4.9	6.4	8.9	10.9	14.0	19.9	25.9	32.8		
FACTORES DE UTILIZACION %										
TECHO	70				50				0	
PARED	70	50			30	50		30	0	
SUELO	20	30	20	10	30	10	30	10	30	10
0.60	49	40	39	38	33	33	39	37	33	27
0.80	56	49	47	46	42	40	47	45	41	34
1.00	62	55	53	52	48	46	53	50	47	39
1.25	68	62	60	58	56	52	59	56	54	45
1.50	66	61	58	56	53	50	57	54	51	42
2.00	76	74	70	67	68	63	70	65	65	56
2.50	80	79	75	71	74	67	75	69	71	60
3.00	82	82	77	73	77	70	77	71	73	68
4.00	84	86	81	76	83	74	81	74	78	67
5.00	86	89	83	78	86	76	83	76	81	74

Tabla 11.8
Tabla del factor de
utilización (u) de la
luminaria.

Cálculo con aplicación de la fórmula:

$$E^* = \frac{\Phi_{nl} \cdot n \cdot u \cdot m}{S} = \frac{3.096 \cdot 0,65 \cdot 0,72}{105} = 413,97 \text{ Lux}$$

Resultado: Em = 414 Lux



11.2.2 Método del punto por punto

Es el método manual normalmente utilizado para calcular el nivel de iluminación en unos puntos determinados de un plano producido por la emisión directa de luz desde una o varias fuentes de luz principalmente de tipo puntual (proyectores) en cualquier posición relativa, de las cuales se conozca la forma de distribución de las intensidades emitidas.

Con fuentes lineales o superficiales, el cálculo tiene unos métodos especiales, que no se exponen en esta publicación.

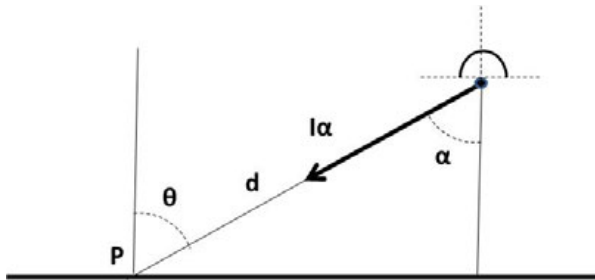
A causa de la meticulosidad de los cálculos gráficos necesarios, este método se aplica manualmente solo en el caso de desear los niveles en algunos puntos concretos tanto de iluminación interior como exterior.

Consiste en aplicar la ley del inverso del cuadrado de la distancia y la del coseno del ángulo de incidencia, operando con la fórmula:

$$E_p = \frac{I \alpha \cdot \cos \theta}{d^2}$$

En el caso de superficie perpendicular al eje de emisión, resulta $\gamma = \theta$

Fig. 11.9
Representación
gráfica del método del
punto por punto para
un punto P situado en
un plano horizontal.



Y siempre hace falta tener en cuenta la posición geométrica de la fuente con su eje principal de emisión en la gráfica de distribución de intensidades, para trazar las líneas de direcciones hacia los puntos a calcular.

Caso de superficie paralela al eje de emisión

Cuando la fuente luminosa tiene el eje de la emisión vertical y se quiere conocer el nivel de iluminación de un punto situado en un plano vertical, la fórmula se podrá tomar como:

$$E_p = \frac{I \alpha \cdot \sin \theta}{d^2}$$

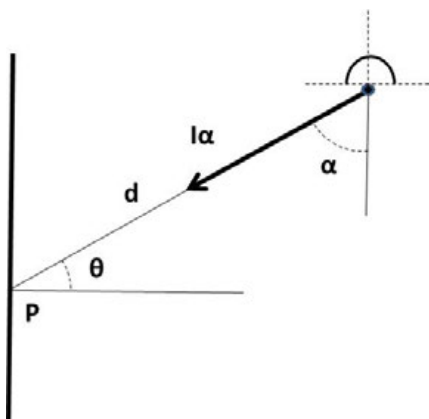


Fig. 11.10
Representación
gráfica del método del
punto por punto para
un punto P situado en
un plano vertical.

El coseno del ángulo θ entre la perpendicular en el plano y la dirección de la luz es igual al seno del ángulo α .

Caso de superficie perpendicular a la dirección de la luz

Si el plano es perpendicular a la dirección considerada, como $\theta = 0$ y el $\cos 0 = 1$, resulta:

$$E_p = \frac{l\alpha}{d^2}$$

Habría que aplicar también el coeficiente de mantenimiento **m**, para obtener el nivel real en servicio **E*** en los puntos considerados:

$$E^* = E \cdot m$$

$$E^*_p = \frac{l\alpha \cdot \cos\theta \cdot m}{d^2}$$

El coseno del ángulo θ entre la perpendicular al plano y el vector intensidad es el igual al seno de α .

También podemos utilizar las curvas isolux unitarias de la fuente, si el plano receptor es perpendicular al eje de emisión principal. Si el fabricante las ha publicado en su catálogo técnico, podemos ver ejemplos en la figura 11.2 y así encontrar directamente los valores de las iluminancias.

Para ilustrar prácticamente este método, reproducimos unos ejemplos sencillos:

Cálculo de la iluminancia. Método del punto por punto. Ejemplo 1

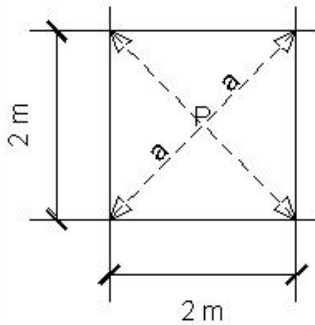
Encontrar el nivel de iluminación en un punto P de una superficie, iluminado directamente con 4 focos abiertos iguales y equidistantes según el croquis que hay a continuación, dirigidos hacia el punto P, y equipados con lámparas de incandescencia PAR 38-FLOOD de 80 W - 30°.



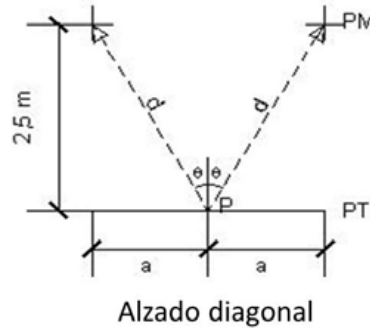
Nota: estas lámparas se están retirando del mercado, ya que su eficacia es inferior a los 20 lm/m².

De la geometría

Fig. 11.11
Representación
gráfica en planta y
sección de las
luminarias y del punto
del ejercicio de
cálculo.



Planta



Alzado diagonal

Sección

A partir de la geometría triangular obtenemos el valor del coseno y del ángulo real θ .

$$d = \sqrt{1,41^2 + 2,5^2} = \sqrt{8,24} = 2,87m \quad a = 1\sqrt{2} = 1,41m \quad a = 1\sqrt{2} = 1,41m$$

$$\cos \theta = \frac{2,5}{2,87} = 0,87$$

$$\theta = 29,42^\circ$$

De las fuentes

PAR 38-120 W - 30° con eficacia de 12,5 lm/ W.

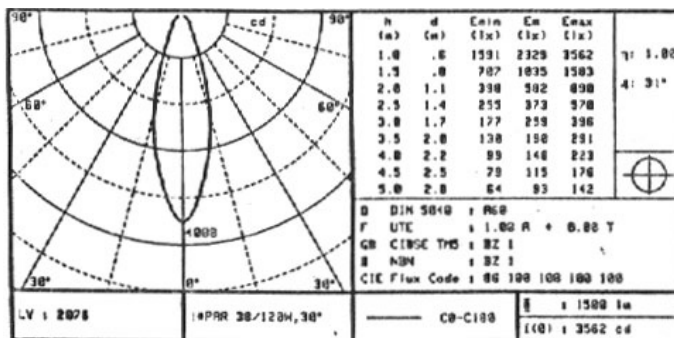
La intensidad máxima es $I_{\text{máx.}} = I_0 = 3.562 \text{ cd}$.

Y el flujo será $12,5 \times 120 \text{ W} = 1.500 \text{ lm}$.

Rendimiento de la luminaria: 100 % por ser con lámparas reflectoras.

$$\Phi_{nL} = W \cdot e$$

Fig. 11.12
Diagrama polar de
intensidades de la
luminaria.



Del sistema

Directo: 0/100

Factor de mantenimiento:

$$m = CI \cdot CL$$

Por CI incandescencia

0,9

Por CL ambiente limpio, luminaria abierta normal

0,75

$m = 0,675$

Aplicando la formulación:

$$E^*p = \frac{I\gamma \cdot \cos\theta \cdot m \cdot nL}{d^2} = \frac{3.562 \cdot 0,87 \cdot 1}{2,87^2} = 254 \text{ Lux}$$

Para cada proyector, y el total será de: $E^*p = 254 \text{ Lux} \cdot 4 = 1.016 \text{ Lux}$

Resultado: $E^*p = 1.016 \text{ Lux}$

Cálculo de la iluminancia. Método del punto por punto. Ejemplo 2

Enunciado

Calcular la iluminancia en los puntos 1, 2 y 3 del cuadro colgado en una pared, obtenida por la fuente escogida cuyo eje principal de emisión está dirigido hacia el centro del cuadro, punto 2.

De la geometría

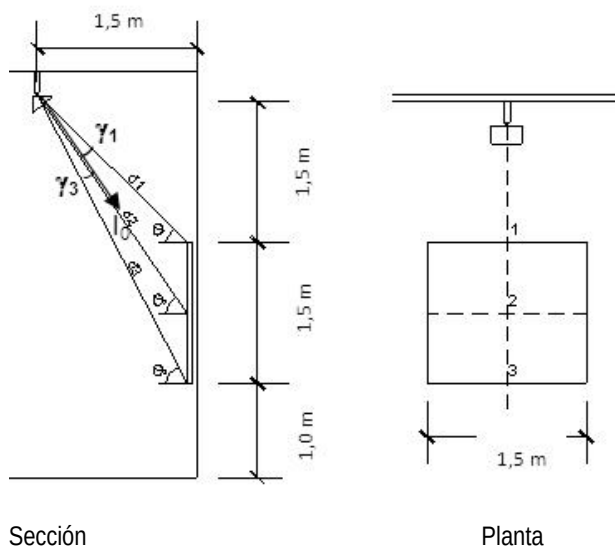


Fig. 11.13
Representación
gráfica en planta y
sección de la
luminaria y de los
puntos objeto del
cálculo.



A partir de la geometría triangular obtenemos los valores del coseno y los ángulos reales θ_1, θ_2 y θ_3 .

$$d_1 = \sqrt{2,25 + 2,25} = 2,12m$$

$$d_2 = \sqrt{2,25 + 5,06} = 2,70m$$

$$d_3 = \sqrt{2,25 + 9} = 3,35m$$

Los ángulos entre las líneas de emisiones y el eje de la luminaria son:

$$\gamma_1 = 11,5^\circ, \gamma_2 = 0^\circ, \gamma_3 = 4,5^\circ$$

Y los ángulos entre las emisiones y las normales al plano receptor son:

$$\theta_1 = 45^\circ, \theta_2 = 56,5^\circ, \theta_3 = 61^\circ$$

El valor de los cosenos de los ángulos es:

$$\cos 45^\circ = 0,707, \cos 56,5^\circ = 0,552, \cos 61^\circ = 0,484$$

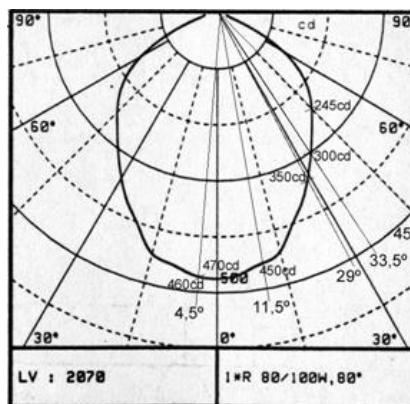
Datos de la fuente

Proyector Staff, serie Uno 100, equipado con lámpara de incandescencia normal reflectora de 80 W con curva de intensidades de referencia LV 2070, colgado en carril electrificado.

Se considera sistema directo 0/100 y luminaria abierta y ventilada.

Fig. 11.14
Izquierda, Proyector
Staff, serie Uno 100.

Derecha, Diagrama
polar de intensidades
del proyector.



La gráfica de distribución de intensidades de la figura es de referencia para 1.000 lm y sirve para las de 80 W y 100 W. La instalada es de 80 W con efica-

cia de 12 lm/W, tiene un flujo de 960 lm y permite asimilar la J a las I propias sin demasiado error.

Trazando los ángulos se encuentran las intersecciones con la curva y obtenemos los valores de:

$$(máximo) I_2 = I_0 = 470 cd.$$

$$I_1 = I_{1,5} = 450 cd$$

$$I_3 = I_{4,5} = 460 cd$$

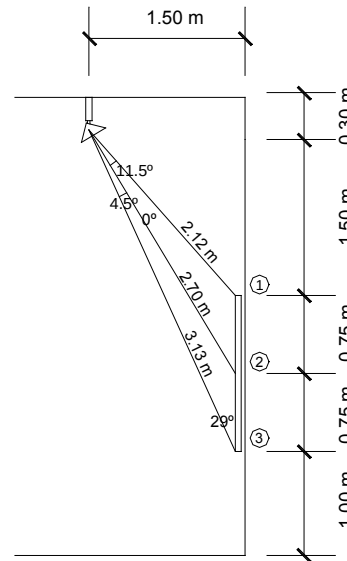


Fig. 11.15
Representación
gráfica en planta y
sección de la luminaria
y de los puntos objeto
del cálculo.
Con valores de
distancia (d).

Cálculos

Coefficiente de mantenimiento $m = CI \cdot CL$

$$CL = 0,75 \quad CI = 0,90 \quad m = 0,675$$

En nuestro caso, con el proyector orientado al punto 2, los ángulos de incidencia, los cosenos y las intensidades son los que se han calculado antes, y las iluminancias son:

$$E_p^* = \frac{I_y \cdot \cos \theta \cdot m}{d^2}$$

$$E_1 = \frac{470 \cdot 0,70 \cdot 0,675}{2,122} = 47,30 Lux$$

$$E_1 = \frac{450 \cdot 0,55 \cdot 0,675}{2,702} = 23,93 Lux$$

$$E_1 = \frac{460 \cdot 0,48 \cdot 0,675}{3,252} = 13,28 Lux$$

Comentario: se aprecia un resultado con poca uniformidad.



Como prueba de una variante y en el caso de tener el proyector vertical, los ángulos de la proyección serían:

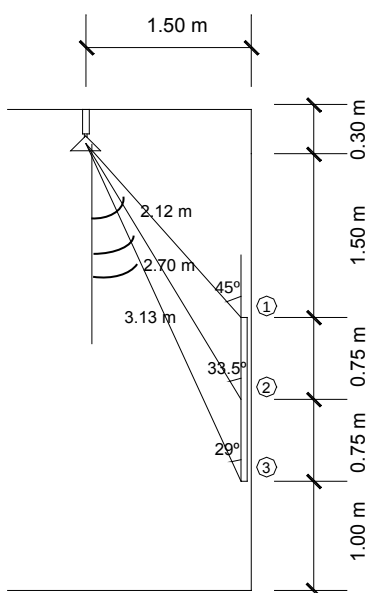
$$\gamma_1 = 45^\circ, \gamma_2 = 33,5^\circ, \gamma_3 = 29^\circ$$

Sus intensidades serían de:

$$I_1 = I_{45} = 245 \text{ cd}, I_2 = I_{33,5} = 300, \text{ cd} I_3 = I_{29} = 350 \text{ cd}$$

Los ángulos y cosenos de las direcciones con las normales en el plano receptor son los mismos, y las iluminancias resultantes son:

Fig. 11.16
Representación
gráfica en planta y
sección de la
luminaria y de los
puntos objeto del
cálculo.
Con valores de
ángulos (a).



$$E_1 = \frac{245 \cdot 0,70 \cdot 0,675}{2,122^2} = 25,75 \text{ Lux}$$

$$E_2 = \frac{300 \cdot 0,55 \cdot 0,675}{2,70^2} = 15,27 \text{ Lux}$$

$$E_3 = \frac{350 \cdot 0,48 \cdot 0,675}{3,35^2} = 10,10 \text{ Lux}$$

Los resultados de valor máximo son muy inferiores al anterior ya que la mayor parte de luz se proyecta hacia el suelo pero con una mejor uniformidad.

11.2.3 Cálculo de la luminancia (control de deslumbramiento)

El sistema UGR

No obstante, el sistema Söller, como ya se ha explicado en la introducción, tenía muchos detractores en otras partes del mundo. La razón principal es que solo se podía utilizar para sistemas de iluminación general. Además, la tecno-

logía de los reflectores de las luminarias ha evolucionado de una manera muy importante desde la década de 1960.

En vista de la necesidad de encontrar un método de mayor aceptación y adaptarlo a los nuevos tipos de ópticas disponibles en el mercado, la CIE empezó a trabajar en la década de 1960 para buscar un nuevo método.

El sistema UGR desarrollado por la CIE pretende incorporar elementos de los métodos de Söller y de IES. Esencialmente, el método UGR consiste en una fórmula a través de la cual, en una situación determinada, se puede calcular el valor de deslumbramiento UGR :

$$UGR = 8 \log \left[\frac{0,25}{L_b} + \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right]$$

Donde:

- Lb:** La luminancia de fondo ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) percibida por el observador (determinada por el nivel de luz indirecta recibida por el ojo que, en definitiva, depende de la reflectancia de las superficies de la estancia y de la relación de dimensiones del espacio).
- L:** La luminancia de las partes luminosas de cada luminaria en dirección del ojo del observador ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$).
- ω :** El ángulo sólido (Sr) determinado por la parte luminosa de cada luminaria desde el punto de vista del observador.
- p:** Índice de posición de cada luminaria individual (este índice se facilita en una tabla y depende de la posición de la luminaria respecto de la posición del observador).

En la práctica, el valor de UGR varía entre 10 y 30. Un valor elevado indica gran deslumbramiento y un valor bajo, deslumbramiento mínimo. Un valor de UGR 10 indicaría deslumbramiento nulo.

La norma EN-12.464 pide $UGR < 19$ para uso en una oficina.

El nuevo método tiene en cuenta las reflectancias de las superficies (paredes, techos y suelos) y la radiación luminosa en todas las direcciones, mientras que el sistema Söller (curvas CIE) consideraba únicamente las radiaciones en sentido longitudinal y transversal de las luminarias.

Es necesario el uso de un *software* específico para el cálculo del UGR, aunque se han desarrollado métodos específicos, con tablas o diagramas, que permiten seleccionar una luminaria de manera sencilla.



El nuevo sistema de limitación del deslumbramiento UGR no presenta diferencias significativas de clasificación de las luminarias respecto del sistema Söller hasta ahora utilizado, según se desprende del amplio análisis realizado con numerosos modelos de luminarias.

No obstante, el sistema UGR simplifica la selección de luminarias respecto del antiguo sistema de Söller, ya que permite automatizar su cálculo en el propio *software* de cálculo luminotécnico, o seleccionar la luz mediante la tabla UGR. Además, el parámetro de referencia UGR permite preseleccionar la luminaria más adecuada a cada aplicación.

Condiciones de referencia para determinar el UGR

La CIE, además de la fórmula anteriormente expresada, proporciona dos métodos derivados para determinar el UGR. Uno de ellos utiliza una tabla y el otro, un diagrama. Es muy importante saber que estos métodos son definidos bajo unas condiciones de referencia para la posición del observador y las de las luminarias.

La tabla UGR (como la presentada a continuación) se utiliza de manera frecuente para la selección de luminarias:

Tabla 11.8
Tabla del valor UGR
de una luminaria.

Valoración de deslumbramiento según UGR											
pTecho	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	30
pParedes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	30
pSuelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local X Y		Mirado en perpendicular al eje de lámpara				Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
2H	2H	18.6	19.6	18.9	19.8	20.0	20.5	21.4	20.7	21.6	21.8
	3H	18.5	19.3	18.8	19.6	19.8	20.3	21.2	20.6	21.4	21.7
	4H	18.4	19.2	18.7	19.5	19.7	20.2	21.0	20.6	21.3	21.6
	6H	18.3	19.1	18.7	19.3	19.6	20.2	20.9	20.5	21.2	21.5
	8H	18.3	19.0	18.6	19.3	19.6	20.1	20.8	20.5	21.1	21.4
	12H	18.3	18.9	18.6	19.2	19.5	20.1	20.8	20.5	21.1	21.4
4H	2H	18.5	19.3	18.9	19.6	19.9	20.3	21.1	20.6	21.3	21.6
	3H	18.4	19.1	18.8	19.4	19.7	20.1	20.8	20.5	21.1	21.4
	4H	18.3	18.9	18.7	19.2	19.6	20.1	20.6	20.5	21.0	21.3
	6H	18.3	18.7	18.7	19.1	19.5	20.0	20.5	20.4	20.9	21.2
	8H	18.2	18.7	18.6	19.0	19.4	20.0	20.4	20.4	20.8	21.2
	12H	18.2	18.6	18.6	19.0	19.4	19.9	20.3	20.4	20.7	21.1
8H	4H	18.2	18.7	18.6	19.0	19.4	20.0	20.4	20.4	20.8	21.2
	6H	18.1	18.5	18.6	18.9	19.4	19.9	20.2	20.3	20.7	21.1
	8H	18.1	18.4	18.6	18.8	19.3	19.8	20.1	20.3	20.6	21.1
	12H	18.0	18.3	18.5	18.8	19.3	19.8	20.1	20.3	20.5	21.0
12H	4H	18.2	18.6	18.6	19.0	19.4	19.9	20.3	20.4	20.7	21.1
	6H	18.1	18.4	18.6	18.8	19.3	19.8	20.1	20.3	20.6	21.1
	8H	18.0	18.3	18.5	18.8	19.3	19.8	20.1	20.3	20.5	21.0
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S =	1.0H	+1.9 / -6.4				+1.4 / -2.6					
	1.5H	+3.7 / -21.0				+3.1 / -26.8					
	2.0H	+5.7 / -26.6				+5.1 / -30.1					
Estándar-Tabla	BK00					BK00					
Corrección-corrección	-1.2					0.6					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 8200lm Flujo luminoso total											

Las condiciones de referencia establecen una posición del observador que resulta ser la más desfavorable posible: en el punto central de los dos lados de la estancia, con la pared en su espalda y una altura de los ojos de 1,2 m y con una dirección de visión horizontal.

El siguiente dibujo muestra la disposición del observador de referencia. La posición de referencia de las luminarias está fijada por su interdistancia en los dos ejes principales, que se establece como $0,25 \times H$, donde H es la altura de las luminarias respecto de la posición del ojo (1,2 m sobre el suelo). Esta pequeña interdistancia entre luminarias nos da un resultado lo más representativo posible de las condiciones medias en las cuales se puede encontrar el observador.

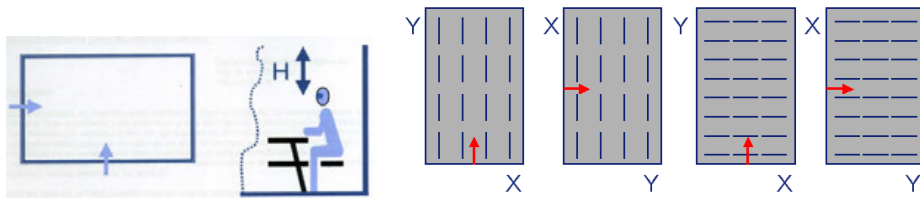


Fig. 11.16
Representación
gráfica en planta y
sección de las
luminarias y la
posición del
observador para el
cálculo del UGR.

UGR característico de una instalación de iluminación. El UGR

El parámetro UGR es un número que cuantifica directamente el deslumbramiento que existe en una instalación de iluminación. Para poder obtener un parámetro UGR de referencia para una determinada luminaria, se calcula lo mismo para dos situaciones estándar. Una se define como una oficina pequeña de ancho $2 \times H$ y alto $3 \times H$, y la otra, como una oficina diáfana de ancho $8 \times H$ y largo $12 \times H$.

Las reflectancias se consideran, en los dos casos, 0,7 para el techo, 0,5 para las paredes y 0,2 para el suelo. Para cada situación se calcula el UGR para las direcciones de visión anteriormente comentadas (paralelas en los ejes principales, según se muestra en el dibujo). El más alto de estos parámetros calculados, que representa la situación con mayor deslumbramiento, se toma como característica de esta luminaria, y se expresa como UGR.



Tabla 11.9
Tabla de valores de
UGR.

Denominació	valor UGR
Inapreciable	10
Casi apreciable	13
Apreciable	16
Casi aceptable	19
inaceptable	22
Casi incomfortable	25
incomfortable	28
Intolerable	31

11.2.4 Introducción a los programas de cálculo

En principio, todos los programas de las empresas son para utilizar las luminarias del fabricante editor, por lo cual hay que tener a mano y con agilidad los datos codificados de sus catálogos comerciales.

Permiten encontrar los niveles de iluminación sobre retículas de puntos en un plano de trabajo, paredes, suelo, etc., y en cualquier sección interior del espacio. Posicionando cada luminaria y dirigiéndolas en cualquier dirección, se obtienen las curvas isolux de todos los planos y la visión en tres dimensiones, así como los valores máximos, mínimos y de uniformidad.

Ahora bien, siempre son métodos donde el espacio tiene que ser de forma regular, paralelepípedica, es decir, con techo y suelo rectangulares, horizontales y paralelos, así como paredes verticales y rectangulares. En caso contrario, hay que insertar “objetos interiores”, como volúmenes en suelo, techo o paredes, para ocupar el espacio interior real.

Si los espacios son de dobles alturas parciales con escaleras, rampas o desniveles, como por ejemplo la parte del hall del ETSAB, con la escalera de bajada al sótano 1, hay que prever que el suelo del espacio es el del sótano y, a partir de este, hay que ir subiendo situando los volúmenes opacos, que son curvados y muy irregulares –asimilándolos con una múltiple subdivisión en planos verticales de pequeña anchura y alturas variables. No se podrá importar el dibujo en Autocad sin rehacerlo.

También se pueden incorporar variaciones parciales en las reflectancias del suelo, techo o paredes para simular objetos o cuadros “decorativos”, planos o volumétricos, y pueden ser muebles, sillas, mesas, armarios, etc., o partes de paredes con materiales o colores diferentes.

La tendencia a llenar de sillas la planta del local puede distorsionar los valores de iluminancias en los puntos de la trama del plano de trabajo.

Todos los programas de cálculo, desde los más antiguos hasta el último Calculux, están preparados para ser utilizados en oficinas de empresas industriales o comerciales para encontrar, de forma rápida, el presupuesto de los materiales, acompañado de los datos técnicos y los cálculos.

Breve historial de los primeros programas de empresas fabricantes

Programas informáticos ya hay muchos, y de los creados últimamente para las industrias con más difusión nacional mencionamos los siguientes.

En 1988, Philips publica el **LIDEC** versión 2.2 desde el DOS en dos disquetes flexibles o uno rígido, con partes para interiores, áreas y vial.

PIN y **PEX**, de Lledó Iluminación, SA, en 1989, basados en las lumbreras de ODEL-LUX, STAFF, BEGA, LIMBURG y BRENDDEL.

En 1990, **CARANDINI** ofreció unos programas que permiten encontrar el nivel de iluminación general de una superficie o de un punto, a partir de cualquier sistema homogéneo o no.

En 1991, INDALUX publicó sus programas de cálculo, **INDALUX** versión 2.1 y datos de las fotometrías de sus productos para el alumbrado público vial, alumbrado interior y de proyección. Editado con tres disquetes flexibles: *Alumbrado público*, *Alumbrado interior* y *Alumbrado mieda proyección*, y tres disquetes más para los datos fotométricos. Funciona desde DOS.

En 1991, Philips publicó los programas llamados **NEW C2 CALCULUX**: *Alumbrado interior*, *Alumbrado de áreas* (exteriores) y *Alumbrado viario*, con los datos INR de sus lumbreras. Calculan también el coste del montaje y del mantenimiento.

El 1993, Philips-Mazda, Ibérica de Alumbrado, publicó el programa **CANDELUX**, que permite calcular el nivel de iluminación y las luminancias en cualquier plano y posición, con luminarias situadas en cualquier orientación, inclinación y rotación, para obtener gráficas en los planos X/Z y Y/Z y los tridimensionales con curvas isolux horizontales y verticales. El 1993, I.E.P. edita el programa **S.A.N.** (*Sistema de Alumbrado Normalizado*), que funciona con un disquete comprimido, desde MS-DOS V. 3.2 o superior. El 1993, LAMP publicó el *Cálculo de alumbrado interior*, versión 3.1. con un disquete. Solo sirve para el método del flujo o nivel medio.

El 1995, Philips reforma los **CALCULUX** con un funcionamiento mejorado y desde el entorno Windows 3.1. Disponible con tres disquetes en el ETSAB y uno ampliado con 12 disquetes desde 1997. El 1996, INDALUX presenta el **INDALWIN 3.1**, que funciona con tres disquetes comprimidos, desde Windows 3.1 o Windows 95, válido para iluminación interior e industrial, de proyección, de fachadas, vial y alumbrado decorativo interior. Probado el 01/2002, No acaba de funcionar del todo bien.

El 1997, Lledó reforma y amplía su programa desde entorno Windows y en soporte CD. El 1998, **DISANO** Iluminación edita el DLux 3.5, que expresa las isolux con gradación de tramas y con la aplicación de Söllner. De 1998 en ade-



lante se consolida el **CALCULUX** como la opción más abierta y cómoda de trabajar, permite incorporar cualquier BD de otros fabricantes. La versión definitiva del CALCULUX Philips se consolida con la V 4.0. en el 2001.

Sobre el CALCULUX, programa de oferta libre de PHILIPS

Es un programa de cálculo rápido de luz artificial, aunque se puede “engañar” para calcular la luz natural de ventanas o claraboyas y tragaluces en el techo. Tarda unos cinco minutos en dar los resultados, con lo cual puede ser útil si se tienen que calcular diferentes soluciones para tener unas comparativas.

A continuación se muestran algunas imágenes de la información que facilita el programa:

Fig. 11.17
Hoja de datos
obtenidos mediante
el programa de
cálculo informático
Calculux..

Jose V. Muñoz / Jordi Piquero

Aula 4C E.T.S.A.B

Cálculo con todas las luces

Fecha: 16-01-1998

2. Resumen

2.1 Información general

Dimensiones del local		Superficie	Factor de reflectancia	Luminancia media total (cd/m2)
Anchura	6.70 m	Techo	0.50	49.9
Longitud	10.10 m	Pared izquierda	0.10	20.2
Altura	3.45 m	Pared derecha	0.70	127.3
Altura del plano de trabajo m	0.55	Pared frontal	0.70	131.9
		Pared posterior	0.40	109.4
		Suelo	0.30	106.4

Factor de mantenimiento general del proyecto: 1.00

2.2 Luminarias del proyecto

Código	Nº	Tipo de luminaria + Lámpara	Flujo de la lámpara (lumen)
A	2	NLD 100/158 NLL 3 + 1 * TLD 58W	5400
B	10	TMX 200/158 GMX 250/GGX 255 + 1 * TL-D 58W	5200
C	23	NLD 100/136 NLL 3 + 1 * TLD 36W	3450

2.3 Datos de calidad

Cálculo	Tipo de cálculo	Media (lux)	Min/Media	Min/Máx	Resultado
Plano de trabajo	Iluminancia en la superficie de un plano	1206	0.53	0.35	Totales
Pared posterior	Iluminancia en la superficie de un plano	815	0.47	0.22	Totales

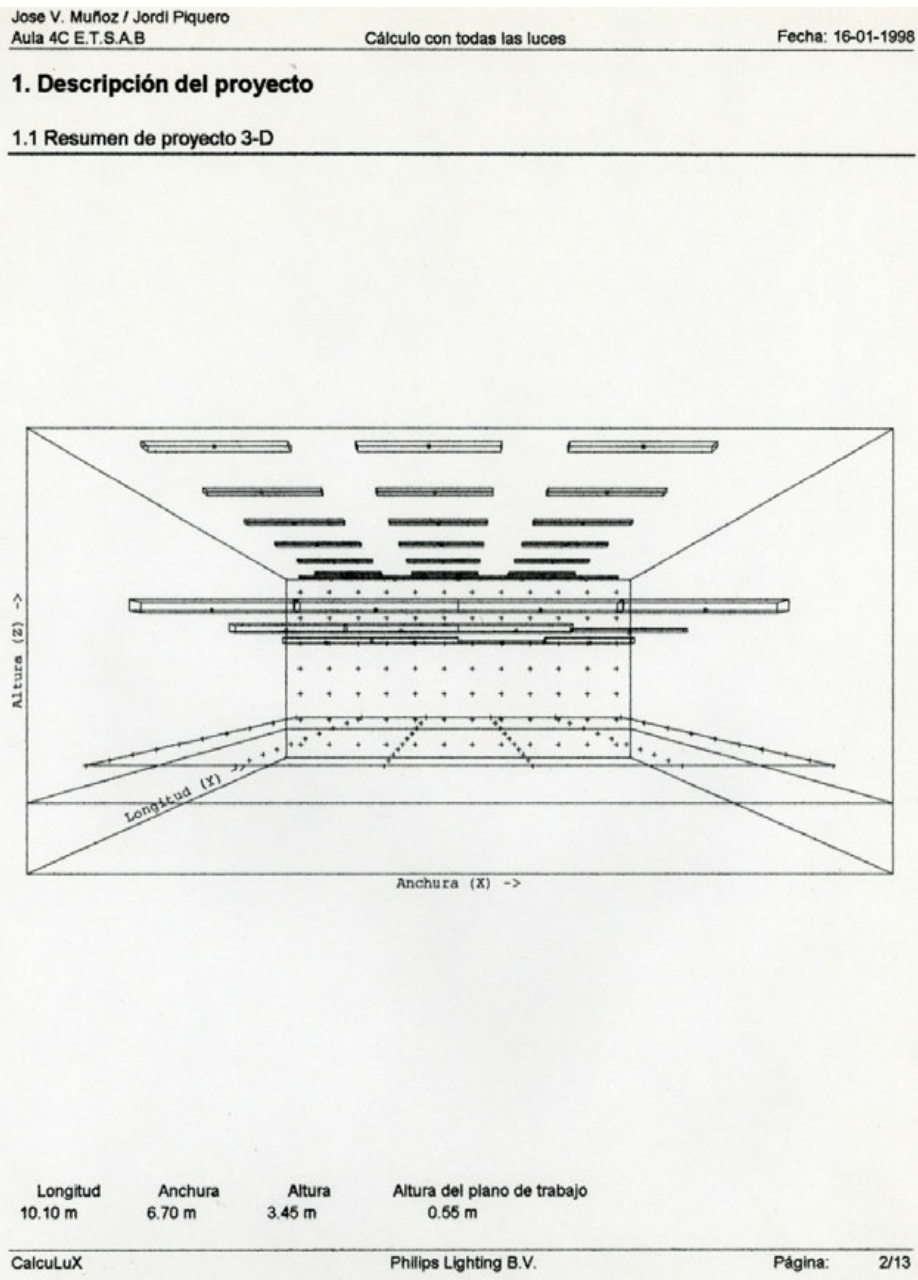
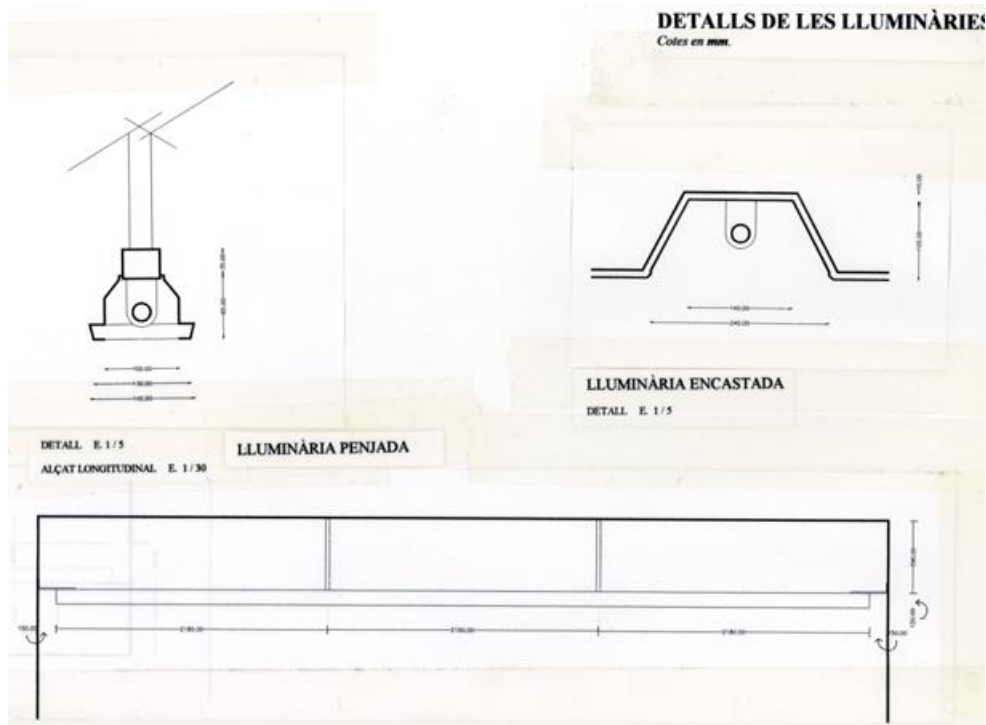


Fig. 11.18
Hoja de datos
gráficos del proyecto
de iluminación
obtenidos mediante
el programa de
cálculo informático
Calculux..



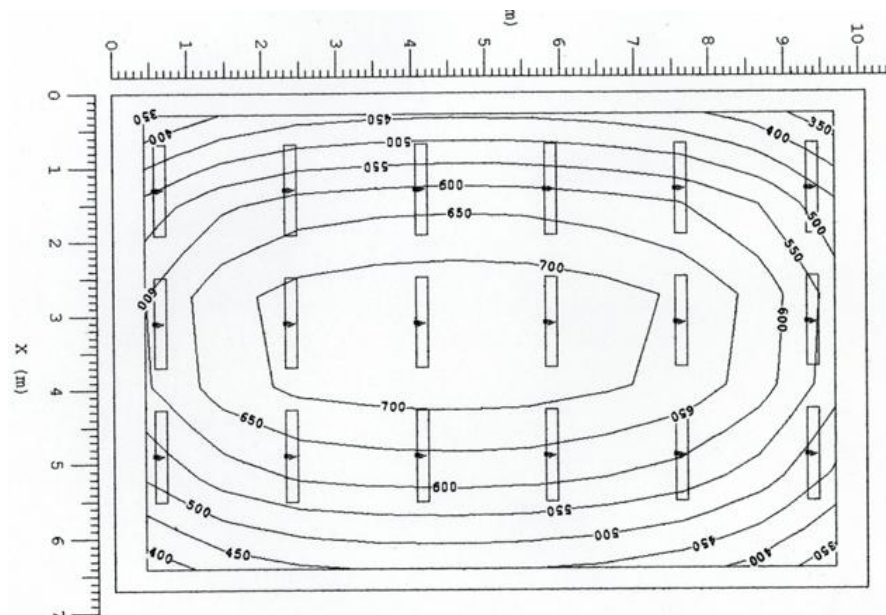
Ficha de detalle de las luminarias

Fig. 11.19
Detalles de la
luminaria.



Resultado de curvas isolux solo con la luminaria A

Fig. 11.20
Gráfica isolux
obtenida mediante el
programa de cálculo
informático Calculux
con la luminaria A..



Resultado de curvas isolux con la luminaria empotrada y la luminaria de pizarra

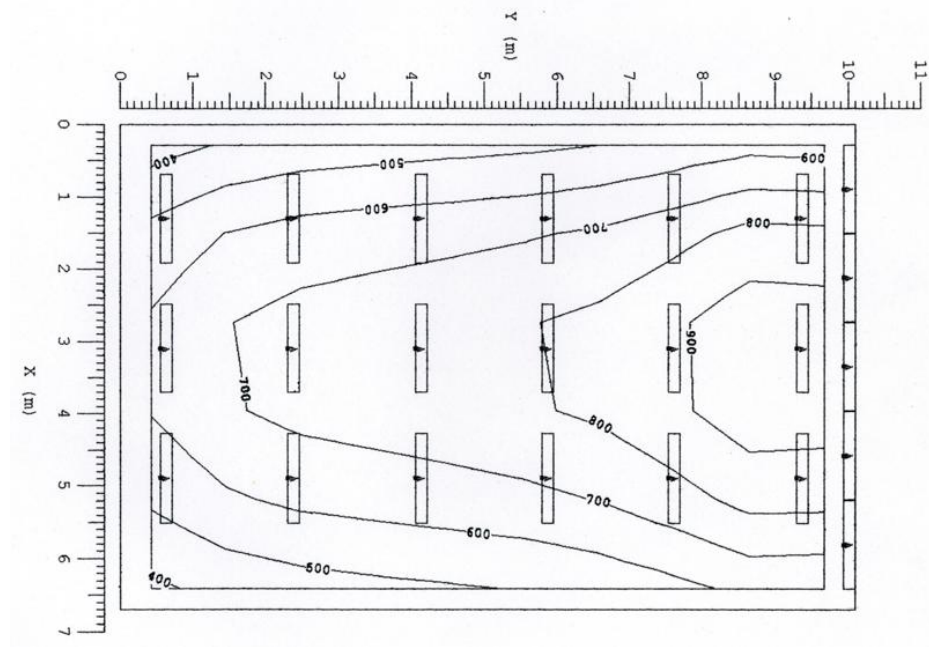


Fig. 11.21
Gráfica isolux
obtenida mediante el
programa de cálculo
informático Calculux
con la luminaria
empotrada y la de
pizarra..

Resultado de curvas isolux en el plano vertical solo con la luminaria de pizarra

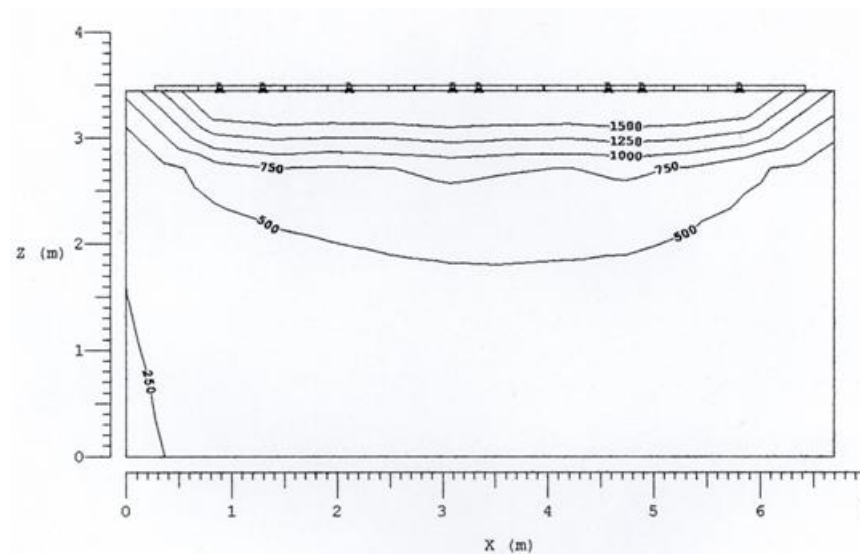


Fig. 11.22
Gráfica isolux
obtenida mediante el
programa de cálculo
informático Calculux,
para la luminaria de
pizarra en el plano
vertical.



Sobre el DIALUX, programa de oferta conjunta de varias empresas europeas

Planifica la iluminación para el cálculo y la visualización interior y exterior. *Software* completo y gratuito, permite la importación y exportación de dibujos de todos los programas de CAD en formato DXF y DWG y para la visualización fotorealista con el *Raytracer* integrado. Permite crear vídeos definiendo el camino y la dirección de vista de la cámara.

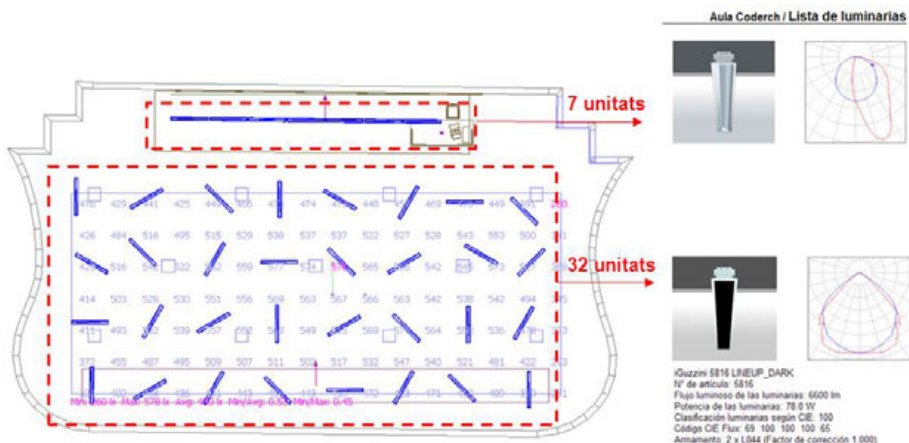
Permite seleccionar **luminarias** entre las de una amplia lista de fabricantes con sus plug-in para DIALUX, descargando e instalándolos en la propia base de datos. También permite buscar luminarias en catálogos e importarlas y anexarlas una a una en el DIALUX.

Es un programa medianamente sofisticado, ya que incluye la renderización del espacio y todos los resultados lumínicos con diferentes formatos de imágenes, así como las posibilidades de importar gráficos y bases de datos múltiples, de calcular con precisión la luz natural, el índice UGR, los consumos de electricidad y otros, lo que lo convierte en un excelente programa para el diseño de la luz o estudios promocionales o publicitarios del edificio. Ahora bien, tarda en torno a una hora a hacer sus cálculos, aparte del tiempo necesario para definir el local y las condiciones.

Se puede descargar en la página oficial www.dialux.com.

A continuación, mostramos algunas imágenes de la información que facilita el programa:

Fig. 11.23
Gráfica de
representación de las
luminarias utilizadas
mediante el
programa de cálculo
informático Dialux..



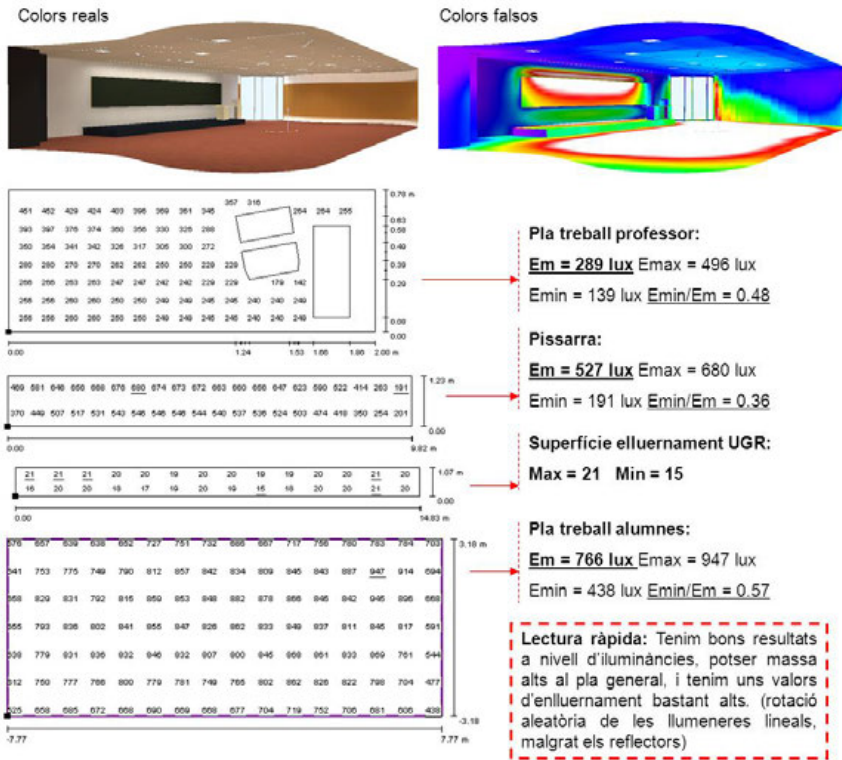
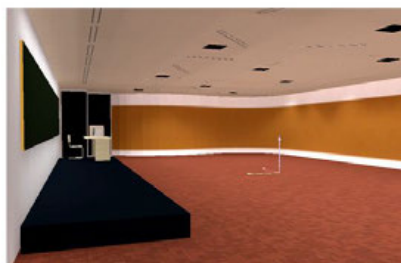
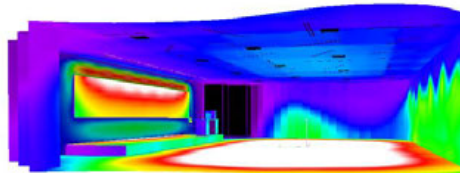
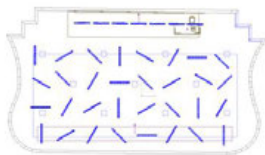


Fig. 11.24 Representaciones gráficas, tablas y valores obtenidos mediante el programa de cálculo informático Dialux..

Proposta 2 Només llum artificial:
Efectes:





Otras webs con programas especiales:

www.lightinganalyst.com, empresa americana de software para modelización y programas de cálculo.

www.optis.fr, empresa francesa de software para modelización y cálculo, simulaciones de sistemas ópticos con láser, desarrollo de fotometrías para vehículos y de otras aplicaciones.

Renderización

El programa Accurender

Renderización con tecnologías de Raytracing y Radiosity, creación de imágenes fotorealistas y animaciones a partir de AutoCAD, con cálculos de luz natural, radiación solar y luz artificial.

Precio 2003, 595 €; www.asuni.es/accurender, 933 196 868; versión demo en www.asuni.es

MUNDOLIGHTING edita el LITESTAR 9.00 actualizado en 07/2006; se puede bajar desde la web www.grupo-mci.com

Los programas de renderización con cálculo de luz

Los más sofisticados:

Para el método de RADIOSITAT, trabaja por descomposición en triángulos:

- 3D Studio Viz 4 en el ETSAB (último: Studio Viz 20011)
- 3D Studio Max. 8
- Lightscape en el ETSAB (hace el cálculo exacto de la luz)
- Módulos Mental Ray y Final Render

Para el método de MAPA DE FOTONES, trabaja con puntos:

- LightWave
- Maya
- Mental Ray (muy profesional) con el plug-in para Maya y Max

Desde el ACAD → Grabar en DWG e importar al Lightscape

Nota: los objetos no pueden sobrepasar otros (los armarios en tierra u otros, no).

Lightscape Autodesk: recomendable situar objetos en línea con las líneas de la malla.

Para la luz natural: 1.ª Radiación solar, 2.ª interacción de la bóveda del cielo.

Métodos orientativos

Una forma sencilla para conocer la necesidad de potencia eléctrica total necesaria para la iluminación de un local o de todo un edificio es la de utilizar tablas como la siguiente, válida para niveles de iluminación uniformes en planos de trabajo como oficinas, con acabados de las superficies de los paramentos normales y de color claro, dentro de geometrías rectangulares o similares y alturas de techo entre 2,50 y 3,00 m, para lámparas del tipo de incandescencia (normales o halógenas) o del tipo de fluorescencia normal o compactos, así como de descarga de vapor de mercurio, halogenuros metálicos, etc., aunque no con las de vapor de sodio, que precisarían una columna específica a causa de sus altas eficacias.

Conociendo el tipo de lámpara a instalar y su potencia, se puede encontrar el número de lámparas necesarias.

Tabla de potencias aproximadas recomendadas: W/m^2 (nueva, 12/2011).

TÍPUS DE LÀMPADA	SISTEMA DIRECTE				SISTEMA INDIRECTE			
	INCANDESCÈNCIA Normal Halògena		FLUORESCÈNCIA i Halogenurs M.		INCANDESCÈNCIA Normal Halògena		FLUORESCÈNCIA i Halogenurs M.	
EFICÀCIA $m/W \rightarrow$	12	20	60	100	12	20	60	100
IL·LUMINÀNCIES								
50	15	8	2,5	1,6	20	16	5	3,2
100	30	16	5	3,2	40	32	10	6,4
200	60	32	10	6,4	80	64	20	12,8
300	90	48	15	9,6	120	96	30	19,2
400	120	64	20	12,8	160	128	40	25,6
500	150	80	25	16,0	200	160	50	32,0

Tabla 11.10
Predimensionado de
potencias (W/m^2)
según el tipo de
lámpara, de sistema
y del valores del nivel
de iluminación.

Los W/m^2 por 100 lux mencionados para el cálculo con el VEEI se encontrarían en la fila de luminancia, $E = 100$.

Con valores máximos (con luz directa) del VEEI = 10 los W/m^2 serían los de la columna indirecto, fluorescencia, $e = 60$.

Con valores máximos (con luz directa) del VEEI = 5 los W/m^2 serían los de la columna directo, fluorescencia, $e = 60$.





Bibliografía

DE PONTE, Silvio; DIERNA, Salvatore: *Architetture di luce: luminoso e sublime notturno nelle discipline progettuali e di produzione estetica*. Ed. Gangemi, 1996.

DE LAS CASAS, J.M.; GONZÁLEZ, R.; PUENTE, R.: *Curso de iluminación integrada en la arquitectura*. COAM, Madrid, 1991.

FIEILL, Charlotte & Peter: *1000 LIGHTS*, 2005.

FISHER, JOACHIM: *Light*. Ed. H.F. Ullman, 2008.

FOLGUERA Caveda, Eduard: *Manual bàsic d'enllumenat artificial*. Apuntes docentes de la asignatura Condicionaments i Serveis III. ETSAB. Barcelona, 1998.

GANSLANDT, Rüdiger; HOFMANN, Harald: *Cómo planificar la luz*. Ed. ERCO.

JORGENSEN, Steen: *Luminosidad lógica. Poul Henningsen. Luz y lámparas*. Col·lecció d'Arquitectura. Ed. UPC, 2000.

KALFF, L. Calff. *Creative Light*. Lugar publicacion, Philips technical library, 1971,

KARCHER, Aksel; SCHIELKE, Thomas: *Un discurso de la luz. Entre la cultura y la técnica*. Ed. ERCO Gmb. Lüdenscheid, 2009.

LAM, William M.C.: *Perception and lighting as formgivers for architecture*. Ed. Buy Christopher Hugh Ripman. Ed. Macgraw-Hill, 1977.

MUROS ALCOJOR, Adrià: *La luz: de Herramienta a lenguaje. Una nueva metodología de iluminación artificial en el proyecto arquitectónico*. Tesis doctoral. UPC, 2012.

PANOFSKY, Erwin: *El significado de las artes visuales*. Ed. Alianza Editorial. Madrid, 1983.



PLUMMER, H.: *Masters of light*. A+U Publishing. Tokio, 2003.

TABOADA, J.A.: *Manual de luminotecnia*. Ed. Osram. Dossat. Madrid 4.ª Edición, 1983.

VALERO RAMOS, Elisa: *La materia intangible: reflexiones sobre la luz en el proyecto de arquitectura*. Ed. Generales de la Construcción. Valencia, 2004.

VALERO RAMOS, Elisa: *Diccionario de la luz*. Ed. General de Ediciones de Arquitectura. Valencia, 2004.

Revistas y varios

IDAE. Guías técnicas de Eficiencia Energética.

DAE. Cuadernos de Eficiencia Energética en iluminación, 1997.

CEI. Informes Técnicos.

ERCO, La fábrica de luz, 2002.

Guies d'aplicació iGuzzini.

Guies d'aplicació Philips.

LLEDO Iluminación. De la sombra al resplandor, 2000.

LIGHTING DESIGN.

LUCES-CEI.

LUX.

PHILIPS IBERICA, SA. Introducción al alumbrado, 2002.

Professional LIGHTING Design, EUA.

Revista internacional de luminotécnica.

STAFF-Lledó, SA. Luz y diseño. Sistemas de iluminación. Ed. Staff, 1990.

Tectónica nº 24. Iluminación artificial (I), 2007.

Tectónica nº 26. Iluminación natural (II), 2008.

Normativas

CTE DB HE3, eficiencia energética de las instalaciones de iluminación, 2006.

CTE DB SU4, seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada, 2006.

Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental de la iluminación para la protección del cielo nocturno. Generalitat de Catalunya, 2001.

UNE-EN 12464-1: Iluminación de lugares de trabajo en interior, 2003.

UNE-EN 12464-2: Iluminación de lugares de trabajo en exteriores, 2003.

UNE 12193: Iluminación de instalaciones deportivas.