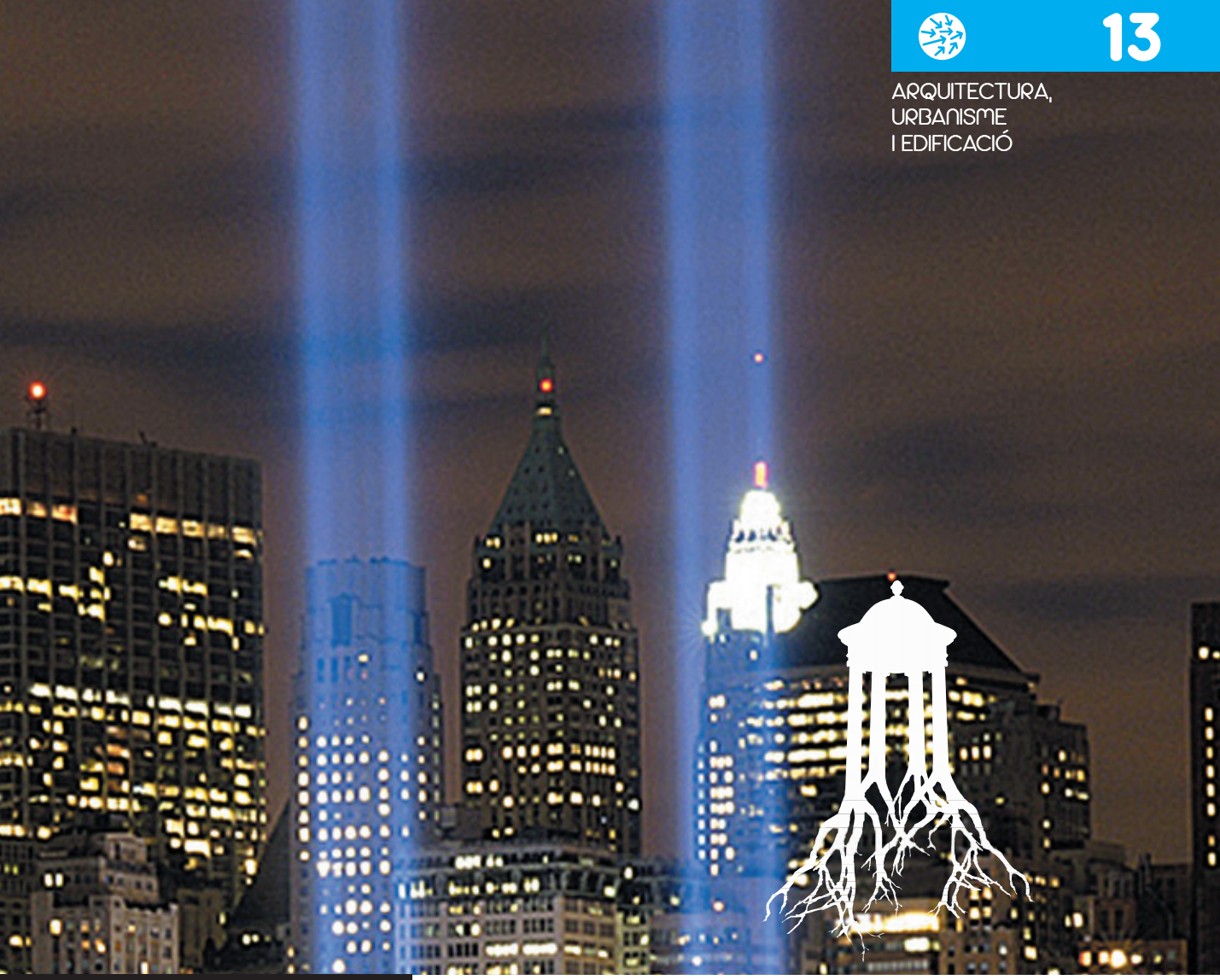


13

ARQUITECTURA,
URBANISME
I EDIFICACIÓ

UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

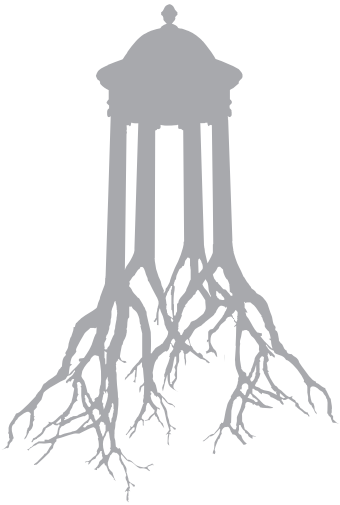
UPCGRAU

Il·luminació com arquitectura

Eduard Folguera Caveda
Adrià Muros Alcojor

13

ARQUITECTURA,
URBANISME
I EDIFICACIÓ



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

iniciativa
digital politècnica
Publicacions Acadèmiques de la UPC

UPCGRAU

Il·luminació com arquitectura

Eduard Folguera Caveda
Adrià Muros Alcojor

Primera edició: juliol de 2012

Disseny i dibuix de la coberta: Jordi Soldevila
Disseny maqueta interior: Jordi Soldevila

© Els autors, 2012

© Iniciativa Digital Politècnica, 2012
Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC
Jordi Girona Salgado 31,
Edifici Torre Girona, 1a. Planta, 08034 Barcelona
Tel.: 934 015 885 Fax: 934 054 101
www.upc.edu/idp
E-mail: info.idp@upc.edu

Dipòsit legal: B. 18841-2012
ISBN: 978-84-7653-938-5

Qualsevol forma de reproducció, distribució, comunicació pública o transformació diaquesta obra només es pot fer amb l'autorització dels seus titulars, llevat de l'excepció prevista a la llei.

Pròleg

Des de l'aparició de la llum artificial s'ha produït una evolució constant de factors relacionats amb aquesta que han contribuït a fer evolucionar l'arquitectura fins a la situació actual, en què la complexitat i les diferents veus i opinions que han sorgit fan convenient establir una metodologia per incorporar la il·luminació artificial en l'ensenyament de la mateixa arquitectura.

La llum artificial té aplicació en diferents camps com són l'art, el disseny de llumeneres o l'ensenyament teòric, que contribueixen a la seva incorporació definitiva en l'arquitectura i que, en la seva recerca constant de noves formes de representació i de transmissió d'idees i propostes, ens trobem amb el fet que la il·luminació artificial ofereix un llenguatge capaç de generar noves imatges i nous espais amb una expressivitat totalment innovadora.

Els plantejaments lumínics purament quantitatius que van marcar la incorporació de la il·luminació artificial en el primer moment van donar pas als qualitatius plantejats per Richard Kelly als anys setanta i als de la psicologia perceptiva de W.M.C. Lam als anys vuitanta. El segle XXI requereix afrontar la il·luminació des dels plantejaments de la conceptualització formal arquitectònica. La llum artificial ha deixat de ser definitivament una eina funcional per a convertir-se en un element fonamental del llenguatge arquitectònic.

Aquest llibre pretén contribuir, amb aquest nou plantejament, a la formació dels professionals de l'arquitectura, així com a enginyers, dissenyadors i altres professionals sensibilitzats amb la llum artificial, i amb una capacitat tècnica i creativa suficient per materialitzar els coneixements adquirits en les pròpies obres i realitzacions.

Aquesta visió, diferent de la il·luminació artificial arquitectònica, permetrà afrontar l'anàlisi crítica dels resultats i servir de guia en la presa de decisions d'arquitectes i professionals de la il·luminació, i sobretot evitar la banalització de la il·luminació artificial en l'arquitectura.

El llibre s'estructura en quatre parts que corresponen al procés de realització del Projecte Arquitectònic. La primera part recull els coneixements bàsics que han d'assolir els professionals que vulguin dedicar-se a la il·luminació arquitectònica i al disseny lumínic: la llum i la percepció, el comportament dels materials, el llenguatge de la llum, fotometria i percepció, els sistemes i les fonts d'enllumenat artificial, les instal·lacions auxiliars i complementàries i les normatives.

La segona part se centra en els necessaris criteris de disseny lumínic en Arquitectura i contempla el disseny d'efectes lumínics, la definició de les idees lumíniques, la representació dels efectes i el disseny formal dels sistemes lumínics.

La tercera part tracta el disseny tècnic i aporta criteris per a la selecció de llumeneres i làmpades i per a la representació gràfica dels sistemes lumínics.

La quarta part parla dels diferents mètodes de càlcul i de predimensionat, així com els programes informàtics d'aplicació.

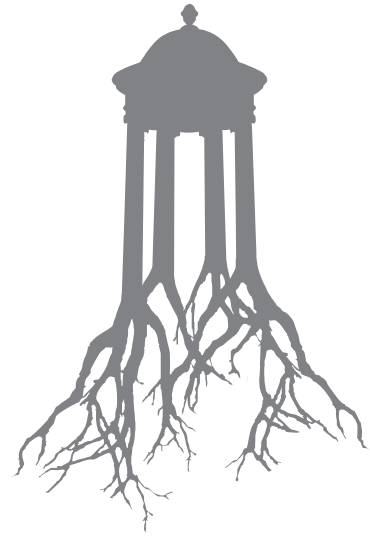
Amb aquesta proposta es desenvolupa un camí de progrés des d'unes bases més intel·lectuals fins a les definicions dels aparells i els càlculs ja més objectivables.

S'estudia el disseny de les llumeneres i es plantegen noves classificacions que ajudin a la seva elecció en els processos de projectació arquitectònica i en el disseny formal dels espais. S'analitza la definició lingüística i la conceptualització arquitectònica dels sistemes d'il·luminació artificial, així com les tècniques metodològiques de representació dels efectes lumínics, des del coneixement de les seves qualitats i singularitats; igualment, s'aborda l'estudi del llenguatge formal de l'arquitectura a partir d'una qualificació específica i pròpia de la il·luminació artificial.

També hi trobem un breu estudi dels aspectes associats a la dinàmica lumínica i perceptiva.

D'altra banda, aquest llibre recull continguts de diverses publicacions anteriors docents de les diferentes assignatures en què s'imparteixen matèries d'il·luminació artificial per als estudiants de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, així com una part de les principals aportacions de la tesi doctoral titulada "La Llum, d'eina a llenguatge. Una nova metodologia de il·luminació artificial en el projecte arquitectònic", realitzada per un dels autors.

Finalment, el seu plantejament conceptual afronta, voluntàriament, el repte d'incloure la disciplina de la il·luminació artificial en la de la projectació arquitectònica, des dels seus plantejaments compositius, formals i creatius, però sense oblidar els coneixements implícits en la llum artificial.





Índex

Índex 9

Primera Part. Introducció i conceptes bàsics 15

1. La Llum i la percepció 17

1.1 Generalitats 17
1.2 Utilitats de la llum artificial 18
1.2.1 Utilitats relacionades amb la il·luminació natural 19
1.2.2 Utilitats relacionades amb la generació d'efectes lumínics i perceptius 22

2. El comportament dels materials 37

2.1 El relleu, la textura, la rugositat i el color dels paraments 38
2.2 Comportaments dels objectes i de les superfícies a la reflexió i a la transmissió 43
2.2.1 Materials opacs 43
2.2.2 Materials translúcids 45

3. El llenguatge de la llum 49

3.1 La significació de l'entorn 50
3.2 La llum i el llenguatge arquitectònic 50
3.2.1 La llum com a complement i substitut de la llum natural 50
3.2.2 La llum com a símbol 51
3.2.3 La llum com a informació 53
3.2.4 La llum com a arquitectura 55
3.3 La llum i el disseny arquitectònic 58
3.3.1 De les exigències de mínims a la composició formalista 58
3.3.2 L´edifici com espai obert a l´exterior, o com espai exterior 59
3.3.3 Els espais interiors transparents entre ells 59

3.3.4 Condicions dels espais, dels objectes i de la llum per a l'harmonització o contrast 60
3.3.5 Del concepte d'edifici i llum, imatge de dia i de nit....62
3.3.6 La llum de nit als espais arquitectònics exteriors....65

4. Fotometria i percepció....71

4.1 Paràmetres físics....72
4.2 Paràmetres luminotècnics....72
4.3 Paràmetres visuals....74
4.4 Colorimetria i lleis bàsiques de fotometria....77
4.4.1 Colorimetria....77
4.4.2 Lleis bàsiques de fotometria....83

5. Els sistemes i les fonts d'enllumenat artificial....87

5.1 Generalitats, introducció i caracterització dels sistemes lumínics....88
5.2 Composició bàsica dels sistemes....88
5.2.1 Elements físics....88
5.2.2 Elements estructurals i organitzatius....88
5.3 Classificació dels sistemes lumínics per establir un lèxic comprensible i útil per al desenvolupament dels projectes d'il·luminació en l'Arquitectura.89
5.3.1 Classificació dels sistemes lumínics segons la direccionalitat del flux lluminós....90
5.3.2 Classificació dels sistemes lumínics segons la distribució del flux lluminós....93
5.3.3 Classificació dels sistemes segons la seva percepció visual....96
5.4 Els sistemes especials i específics....97
5.5 Evolucions i característiques formals dels sistemes....98
5.6 Les fonts de llum (llumeneres i làmpades)....99
5.7 Les llumeneres....100
5.7.1 Definició i composició....100
5.7.2 Característiques luminotècniques de les llumeneres....102
5.7.3 El disseny de les llumeneres des de la funció....108
5.7.4 Criteris de classificació de les llumeneres des de la funció....108
5.7.5 Classificació de les llumeneres segons la direccionalitat del flux lumínic....110
5.7.6 Classificació de les llumeneres segons la distribució del flux lumínic emés.....114
5.7.7 Classificació de les llumeneres segons la forma bàsica de la superfície emissora de la llumenera.....117
5.7.8 Les llumeneres de disseny d'autor....122
5.7.9 La forma de la llumenera com a llenguatge....123
5.7.10 La llumenera com a metàfora....123
5.7.11 Les llumeneres d'autor segons la il·luminació de l'espai....124
5.7.12 Les llumeneres segons la seva tipologia o denominació comercial....134
5.8 Les làmpades....136
5.8.1 Característiques físiques....136
5.8.2 Característiques elèctriques i electròniques....141

5.8.3 Introducció general a les famílies o tipus genèrics 141
5.8.4 Làmpades d'incandescència..... 143
5.8.5 Làmpades de luminescència 148
5.8.6 Làmpades de fotoluminescència (fluorescència i fosforescència) 154
5.8.7 Làmpades d'inducció..... 162
5.8.8 Les làmpades leds..... 163
5.8.9 *Lamp Designation System* 166

6. Instal·lacions auxiliars i complementàries (dels sistemes)..... 171

6.1 Infraestructura mecànica: de fixació, protecció i orientació 172
6.2. Infraestructura elèctrica i electrònica 174
6.2.1 Dels sistemes..... 174
6.2.1 Equips auxiliars de les llumeneres 176
6.2.3 Equips auxiliars de les làmpades..... 177
6.3 Controls de funcionament..... 179

7. Les normatives 183

Segona Part. Criteris de disseny lumínic en Arquitectura 187

8. El disseny lumínic en l'Arquitectura..... 189

8.1 Antecedents i principis..... 190
8.2 Objectius i mètodes 191
8.3 El plantejament del projecte lumínic en l'arquitectura 195
8.3.1 Característiques físiques de l'espai..... 195
8.3.2 Característiques del contingut..... 197
8.3.4 Característiques dels usuaris..... 198
8.4 Una nova proposta metodològica per al projecte lumínic en l'arquitectura 199
8.5 Definició de les idees lumíniques..... 202
8.6 La representació gràfica dels efectes 202
8.6.1 El dibuix en blanc i negre 203
8.6.2 La tècnica del dibuix a color..... 206
8.6.3 El Dibuix en planta amb la tècnica del color..... 208
8.6.4 El dibuix en secció amb tècnica de color..... 209
8.6.5 Les maquetes de llum 210
8.6.6 Els renders informàtics..... 211
8.6.7 Futures formes de representació tridimensionals..... 213

9. El disseny dels sistemes..... 215

9.1 Aspectes estructurals i compositius dels elements 216
9.2 La composició i formalització dels sistemes 218
9.2.1 La disposició espacial 219
9.2.2 Estructura formal i compositiva..... 219
9.2.3 Geometria..... 219
9.3 Classificació dels sistemes segons la disposició espacial..... 220

9.4 Classificació dels sistemes segons la forma, disposició i organització de les llumeneres 224
9.4.1 Les formes de les llumeneres 224
9.4.2 Les disposicions de les llumeneres 224
9.4.3 L'organització de les llumeneres 225

Tercera Part. Del projecte 229

10. El disseny del sistemes lumínics 231

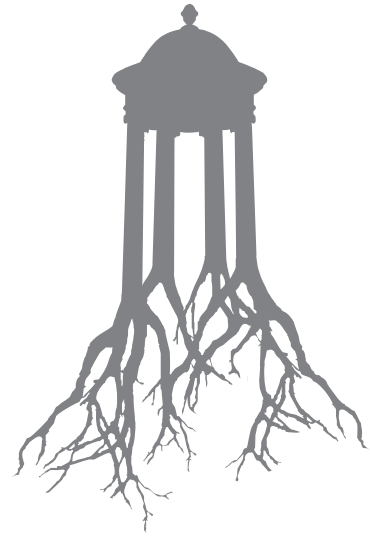
10.1 La selecció de les llumeneres 232
10.2 La selecció de les làmpades 235
10.2.1 Recomanacions i criteris de selecció de les làmpades 236
10.2.2 Per qualitats cromàtiques: K i IRC 237
10.3. Plantejament per estructurar decisions sobre els sistemes. 239
10.4. La representació del sistema lumínic 240
10.4.1 La representació en planta zenital 240
10.4.2 Els detalls d'implantació 243

Quarta Part. Càlculs bàsics 245

11. Càlculs bàsics 247

11.1 Generalitats 248
11.2 Càlculs dels nivells d'il·luminació (il·luminàncies) 256
11.2.1 Mètode del flux o del nivell mitjà 256
11.2.2 Mètode del punt per punt 262
11.2.3 Càlcul de la luminància (control d'enlluernament) 268
11.2.4 Introducció als programes de càlcul 271
11.2.5 Mètodes orientatius 281

Bibliografia 283



Primera Part
Introducció i conceptes bàsics



La Llum i la percepció

1.1 Generalitats

La il·luminació artificial està present en totes les construccions actuals. Allà on calgui desenvolupar una activitat, per qualsevol usuari dins un "espai" definit per elements materials, serà necessària la utilització de la il·luminació artificial.

La llum artificial té un paper qualificador que permet transformar una "construcció" en "arquitectura". Aquesta capacitat de la llum artificial per configurar l'espai arquitectònic caldrà analitzar-la a fons des del punt de vista de la percepció visual i des de la cultura-estètica arquitectònica, així com analitzar les característiques dels diferents elements que intervenen en el procés de la percepció visual: la llum, l'espai arquitectònic i l'observador.

Amb la llum artificial podrem decidir i controlar els valors màxims, mitjans i mínims de diferents paràmetres lumínics com: (E) il·luminància, (L) luminància, (K) temperatura de color, (IRC) qualitat de reproducció cromàtica, (Φ) flux, (I) intensitat, direcció, (α) angle de concentració de l'emissió, etc. Actualment existeixen suficients tipus de fonts de llum (llumeneres i làmpades) per a complir amb les necessitats d'il·luminació de qualsevol espai o objecte.

Per a determinar les necessitats bàsiques de confort i funcionament podem consultar diferents llistats de recomanacions així com Normes i Reglaments amb el valor dels diferents paràmetres lumínics (*vegeu capítol 7 Les normatives*).

La capacitat de controlar els paràmetres i els efectes permet dissenyar tota mena d'imatges, de contrasts, d'alteracions i de provocacions visuals, entenent-los com a **disseny d'efectes**.

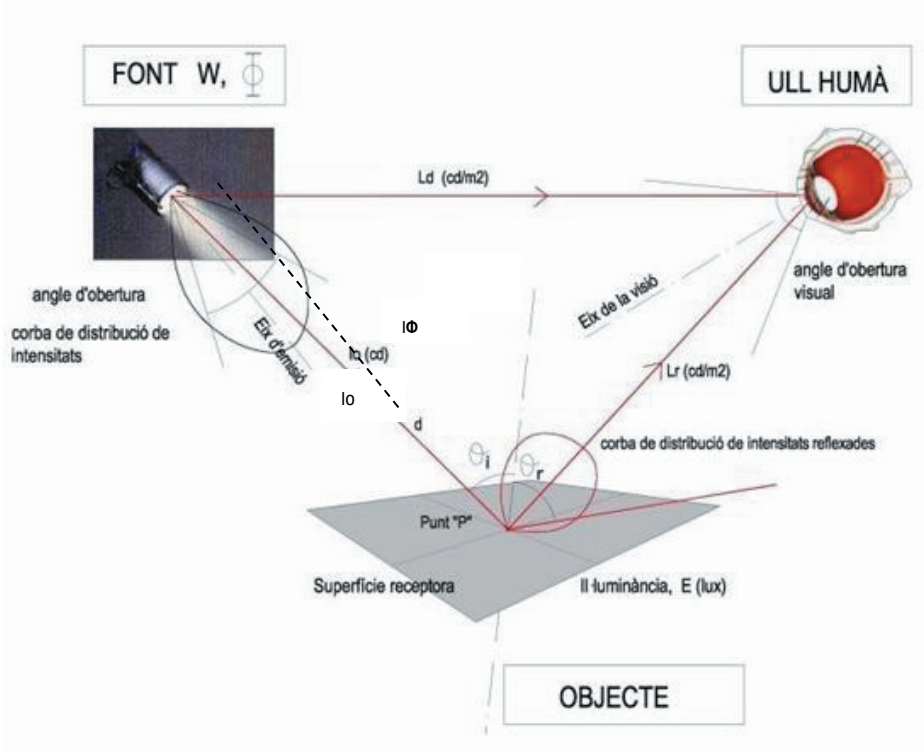


Fig. 1.1
Esquema del procés de la percepció visual

D'altra banda, també podem realitzar el **disseny de sistemes** entès com elements arquitectònics de composició de l'espai, i el **disseny de llumeneres** enteses com a objectes tècnics o artístics en si mateixes (vegeu mes endavant: L'estètica de la percepció de les fonts).

En síntesi, realitzar una il·luminació artificial significarà cobrir unes necessitats de confort i dissenyar alhora uns paisatges visuals per a cada circumstància de l'individu i d'acord amb les característiques pròpies de cada espai, per la qual cosa les aplicacions luminotècniques han depassat les missions funcionals per a integrar-se en el disseny arquitectònic i estètic, com a objectes o com a resultats.

1.2 Utilitats de la llum artificial

Avui dia la il·luminació artificial té un ampli ventall de possibilitats d'utilització que abasta camps tan diferents com l'art, l'oci, els espectacles, el paisatgisme, l'urbanisme, l'arquitectura, etc. En el camp de l'arquitectura en general tenim com a opcions bàsiques especials més interessants les utilitats següents:

1.2.1 Utilitats relacionades amb la il·luminació natural

Compensació de les oscil·lacions de la llum natural

La llum artificial es pot adaptar a les variacions de la llum natural, variable d'intensitat, color, direcció, etc., amb sistemes de variació progressiva o instantània de manera que aquelles no afectin excessivament a la capacitat visual.

Transició i adaptació a les condicions nocturnes

La llum artificial pot crear uns nivells i qualitats de transició de manera que, amb determinats tipus de llums, es puguin crear els efectes similars a la llum natural durant un temps i que ja de nit permetin servir a les necessitats previstes bàsiques o del disseny.

Acomodació per les transicions interior-exterior, de dia i de nit

En situació dinàmica de l'usuari entrant o sortint d'un espai interior, és convenient resoldre l'acomodació visual en la transició entre aquests espais que tenen nivells d'il·luminació molt diferenciats.

Com a exemple podem veure a la figura 1.2. una gràfica dels nivells existents a diferents llocs d'un edifici d'oficines en un recorregut específic, i les oscil·lacions en situació diürna o nocturna, així com en el recorregut fins les sales d'exposició en un museu representat a la figura 1.3.

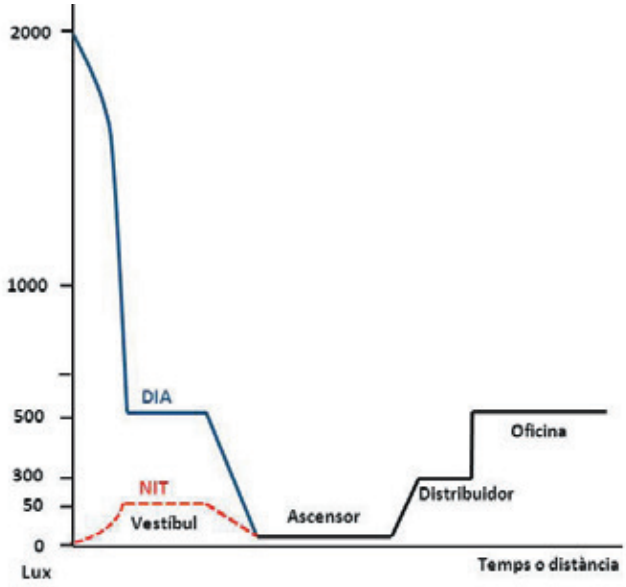


Fig. 1.2
Exemple de transició de dia i de nit en un edifici d'oficines

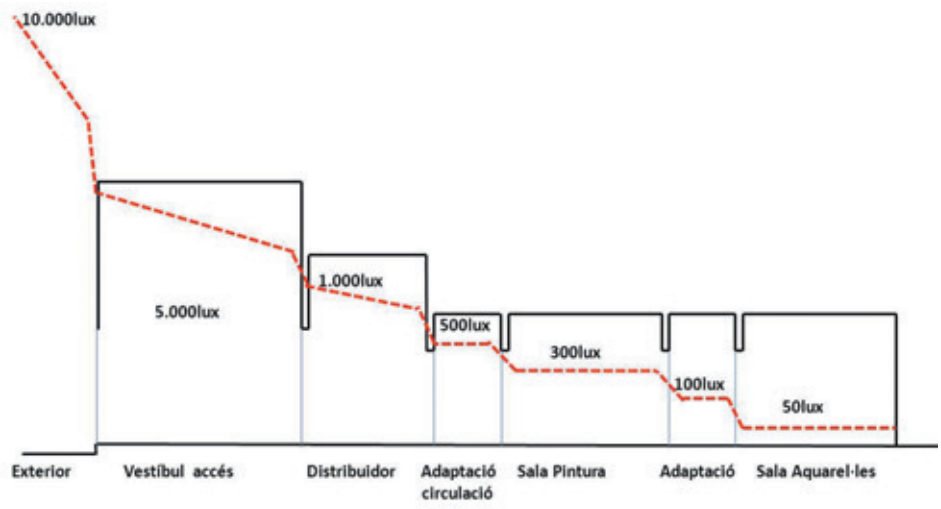


Fig. 1.3
Exemple de transició de dia en els espais d'un museu

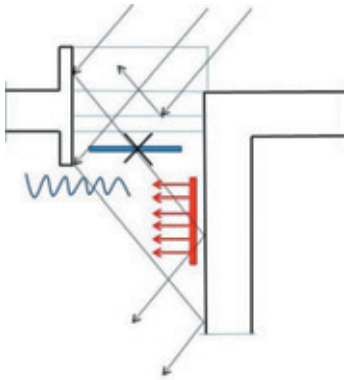
Generació d'il·luminacions similars a la produïda per la llum natural

Encara que sigui obvi, cal esmentar que a l'exterior és impossible reproduir la llum del dia amb fonts artificials. Però als interiors dels espais construïts podem reproduir l'entrada de llum natural en les seves formes verticals o horitzontals integrant-hi la llum artificial de reposició. Per aconseguir-ho caldrà tenir cura de les formes, dimensions i colors dels paraments reflectants propers a les superfícies emissores.
Amb fonts difusores situades al sostre i amb emissió vertical es podrà generar la similitud a la llum natural des de lluernaris. I amb les situades a les parets la similitud a la llum de finestres.

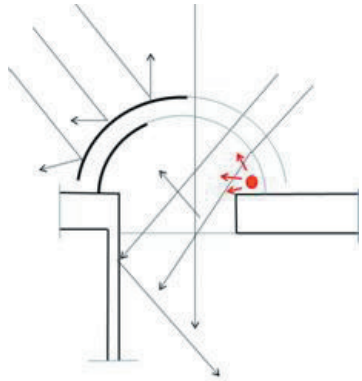
A la fig. 1.4a tenim un exemple de generació de similitud a la llum natural en un lluernari protegit de la radiació solar, tipus amb entrada de llum natural horitzontal amb finestres, balconades, murs vidrats, etc. i opcions per reproduir-la amb fonts artificials. A la fig. 1.4b. tenim la generació de similitud a la llum natural des de l'interior de un lluernari. A la fig. 1.4c tenim la generació de similitud a la llum natural des de l'exterior d'un lluernari.

A la fig. 1.5. Alvar Aalto incorporà una il·luminació artificial des de l'exterior dels lluernaris en el M.I.T. Senior Dormitory a Cambridge (Massachusets) de 1947-48. Aquesta juxtaposició entre il·luminació natural i artificial la repetirà més tard al vestíbul de l'edifici d'oficines de la companyia Rutatalo a Hèlsinki, de1953-55.

També F. Ll. Wright intentà reproduir amb llum artificial els mateixos efectes de la llum natural incorporant làmpades a dins del tubs de vidre Pyrex que conformen el sostre de l'edifici Johnson & Johnson.



a



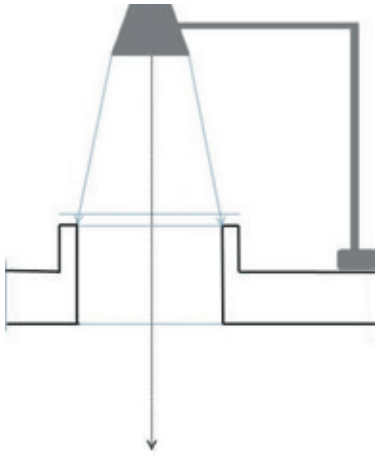
B

Fig. 1.4
Exemples d'il·luminació artificial per la generació de similituds amb la llum natural

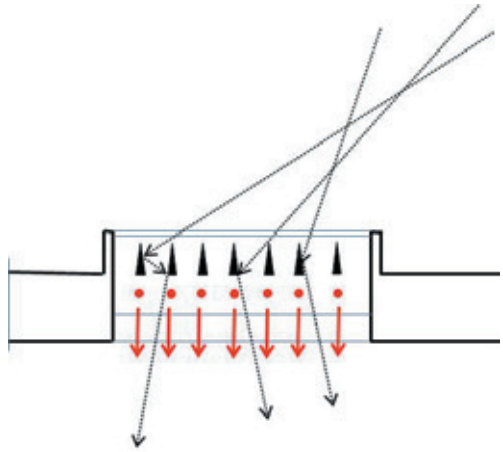




Fig. 1.5
Llumeneres i lluernaris de la companyia Rutatalo a Hèlsinki. 1953-55.
A. Aalto



c



d

Fig. 1.6
Similitud d'il·uminació natural de lluernaris

c. Des de l'exteiror

d. Des de la càmera interior del propi lluernari



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

1.2.2 Utilitats relacionades amb la generació d'efectes lumínics i perceptius

Generació de contrastos

Cal tenir present que els contrastos de les il·luminacions, de les brillantors i dels colors són convenients o necessaris en molts casos per a la millor percepció accentuada d'ambients o d'objectes. La manca de contrastos obligaria l'individu a forçar l'agudesa de la visió per no perdre els detalls.

Aquests contrastos per a la percepció instantània es consideren segons les diferents parts del camp visual. La qualitat de percepció millora amb l'augment de la il·luminació, però també i sobretot amb l'augment del contrast de les brillantors.

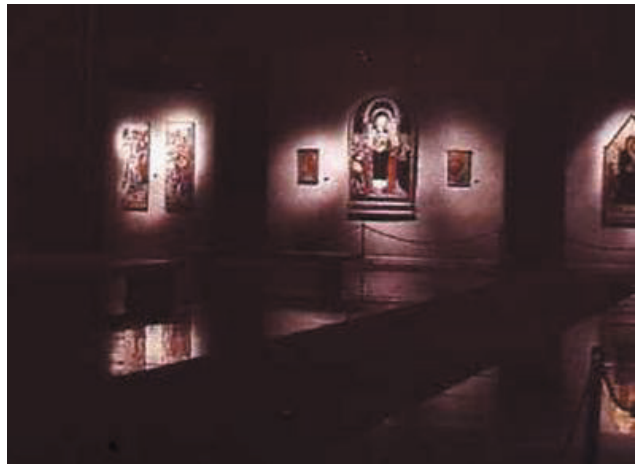


Fig. 1.8
Sala museu amb fort contrast obra-fons 50-5 lux. Procedència: LIGHTING IN MUSEUMS

La provocació visual

L'acomodació de l'ull humà a l'ambient lluminós i la visió dels objectes per la seva activitat en correctes condicions poden determinar uns valors dels paràmetres lumínics que permetin oferir un nivell de confort visual acceptable.

Però no sempre és adequada aquesta actitud enfront al disseny perceptiu. Sovint la millor percepció dels espais, les formes i els colors dels objectes s'aconsegueix creant àrees de llum i d'ombra amb forts contrastos, tant d'il·luminàncies com de luminàncies (nivells de llum i brillantors), fins i tot superant els valors recomanats com a màxims o mínims.

La provocació visual així es pot entendre com la generació d'impactes visuals amb punts, línies, superfícies i volums, fortament contrastats amb la resta d'espais o objectes dins el camp visual, i són els que dissenyen el paisatge del nostre entorn, perquè el cervell humà capti les imatges desitjades i les mantingui a la seva memòria.



Fig. 1.9
Contrastos de provocació al passadís de l'Hotel Puerta de América. Madrid.
David Chipperfield, Arq.

Efectes de la direcció de la llum

Segons la manera d'incidir sobre els espais i els elements, la llum crearà uns efectes específics, formes i taques, ritmes, ombres, etc... També podem generar efectes especials de deformacions o modelatge si projectem llum fortament direccional amb direcció propera a l'horitzontal o amb llum vertical de procedència inferior, ja que aquestes situacions no són normals amb la llum natural i ens sorprenen.



Fig. 1.10
Enllumenat d'objectes de vidre. Efectes segons direcció de la llum. Aspreys, London. Proc. LIGHTING IN MUSEUMS

Un dels efectes de la direcció de la llum quan incideix en superfícies i objectes és l'aparició d'ombres. **L'ombra** és el contrapunt de la llum. Entre la foscor absoluta i la llum cegadora es troba l'escala interminable de matisos i de penombres que permeten qualificar lumínicament els espais i definir els objectes. Existeixen dos tipus d'ombres: les ombres pròpies i les ombres projectades.

Les ombres pròpies se situen directament sobre els objectes i els paraments de l'espai, depenen de la seva forma, textura, orientació espacial i distància de les fonts de llum. També ens informen de les qualitats volumètriques i superficials dels objectes, i la seva duresa explica la intensitat de la llum incident.

Les ombres projectades són les que un objecte o element projecta sobre un altre, representa una imposició i una interferència d'aquest en la integritat visual de l'objecte que rep l'ombra. Ens donen informació tridimensional, fixen la posició de l'objecte en l'espai o respecte d'altres objectes, alhora que informen de la seva posició relativa respecte de la font de llum.

Segons si la llum és natural (cas de la radiació solar directa o difosa amb núvols) o artificial, les característiques de l'ombra seran diferents; les ombres produïdes per la llum solar tenen una projecció simètrica i les línies paral·leles dels objectes projecten línies d'ombra paral·leles. També en un objecte o un espai, vist en perspectiva, les seves ombres es disposaran seguint els mateixos criteris de fuga dels propis objectes. La duresa de l'ombra serà variable depenent de la intensitat de la radiació solar i de l'estat de l'atmosfera.

Les ombres produïdes per fonts de llum artificial es caracteritzen per tenir un punt focal, del qual en forma cònica divergent es projecten les diferents línies d'ombra.

Aquesta divergència es veurà augmentada o reduïda per efecte de la perspectiva, segons la posició relativa entre objecte, font de llum i observador. La duresa de l'ombra serà constant i dependrà de la intensitat de la llum emesa per la font de llum, així com pel tipus d'òptica de la llumenera.





Fig. 1.11
Ombres produïdes al Pavelló oficial d'Alemanya a l'exposició internacional de Barcelona de 1929

Esquerra.
Ombres produïdes per llum natural, foto de 1932

Dreta
Ombres produïdes per llum artificial, foto de 2010

El límit entre l'ombra i la llum pot tenir diferents gradients: un gradient suau indicarà la presencia d'una llum difosa (procedent d'una cel ennuvolat o d'un sistema lumínic difús), mentre que un gradient brusc (accelerat) indicarà la presència d'una llum molt direccional (procedent de la llum solar directa o d'un sistema lumínic fortament direccionat).

Una ombra amb un límit suau defineix i modela els volums de l'objecte, mentre que una ombra amb gradient brusc pot distorsionar l'objecte i dificultar la seva comprensió, com també ho causarà la superposició d'ombres procedents de diferents objectes.



Fig. 1.12
Efectes de llum projectada des de terra.
Beauty and Wellness Centre. Hotel New York Palace, Budapest, dissenyador Simon Micheti arch. llumeneres EGO 3, Leds, Artemide

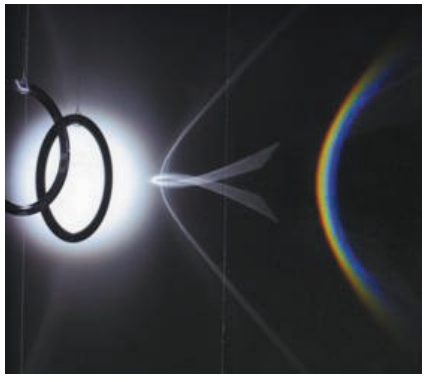
La inversió i deformacions perceptives dels espais també es podran generar amb terres lluminosos totals o parcials, així com des de fonts puntuals es poden crear formes rectangulars, circulars, ovoides, etc. independents o connectades, dibuixant corones, logotips, rètols, etc. sobre uns paraments. Les projeccions poden combinar taques de llum i d'ombra, amb situacions que poden ser fixes o dinàmiques.

També es podran generar efectes específics segons la rugositat de les superfícies receptores. Així, obtindrem qualitats molt diferenciades emprant llum rasant o llum dirigida sobre paraments reflectants o absorbents. Podrem aconseguir l'eliminació de parts de l'àmbit perceptiu o dels objectes si les deixem a les fosques o amb fort contrast d'iluminàncies.

Fig. 1.13

(Esq.) Instal·lació llum sensorial Olafur Eliasson a la Fundació Miró. 11/2008.

(Dret.). Modulador de llum i ombra.
Lazlo M. Nagy, 1930.





Efectes del color de la llum i dels objectes

El color de la llum és un concepte associat a la distribució espectral de l'energia lluminosa emesa per una font; l'emissió conté diferents colors (corresponents a les diferents longituds d'ona de l'espectre) que, en conjunt, tenen una aparença de llum blanca.

Si bé podem utilitzar llums monocromàtiques en il·luminació per diferents motius, el més habitual és utilitzar la llum blanca amb la caracterització de la seva temperatura de color en graus Kelvin (ºK) i que en forma molt simplificada però pràctica poden classificar-se en: llum càlida, neutra i freda. L'observador distingeix les tonalitats cromàtiques per comparació.

Els materials que configuren l'espai tenen colors propis característics que també es poden agrupar en gammes de càlids, neutres i freds. Sobre els objectes i l'ambient podrem generar la potenciació o l'anul·lació d'alguns colors.

El color que percep l'observador d'un espai o d'un objecte és el resultat de la interacció entre el color propi emès per les fonts de llum i els objectes o paraments sobre els quals incideix. Aquesta relació cromàtica entre colors dels materials i de la llum produirà diferents sensacions en els observadors de

l'espai. Així, parlarem de reforçament cromàtic, esmorteïment cromàtic, imposició cromàtica i coherència cromàtica, que tot seguit definirem.

El reforç cromàtic

Es produeix quan s'utilitzen fonts de llum que ofereixin la màxima eficàcia en aquells colors propis dels objectes, és a dir, amb colors concordants amb els de les superfícies u objectes il·luminats. Aquest reforç pot ser parcial (sobre elements concrets) o global (sobre tots els elements en conjunt). Una il·luminació de reforç cromàtic genera també un reforçament perceptiu dels elements il·luminats i posa en valor els materials que configuren l'espai al potenciar el seu color i la seva presència.



Fig. 1.14
Reforç cromàtic dels materials (fred i càlid).Temple de Kofu. Egipte

L'esmorteïment cromàtic

Es produeix per l'emissió directa amb fonts que no ofereixin els colors propis dels objectes, és a dir, quan els colors de la llum no concorden amb els dels materials i es generi una disminució en la seva perceptibilitat, fins a l'extrem que es poden deixar com de color gris o invisibles.

Poden donar-se diferents graus de relació cromàtica entre el color de la llum i el color del material; des d'una reducció cromàtica que disminueix el cromatisme propi fins l'anul·lació cromàtica (aparença de gris), passant per l'esmorteïment cromàtic parcial o total.

A la figura 1.15 es pot veure la il·luminació dels pilars de la planta baixa del N.A.I. (Nederlands Architectuur-instituut) de Rotterdam, realitzats amb formigó vist (els dos pilars de la part central de la fotografia mostren el seu color propi) i la resta apareixen tenyits de diferents colors gràcies a un sistema d'il·luminació de fluorescència RGB.



Fig. 1. 15
Pilars de formigó vist acolorits amb fluorescents RGB, N.A.I. Rotterdam





Fig. 1.16

Il·luminació de color sobre elements vegetals. (Lit up Palm Trees). by Diego P. Canossa.

Procedència de la imatge:

panoramio.com.

La imposició cromàtica

Es produeix quan en un espai caracteritzat per materials de colors blancs (o neutres), el color resultant que percep l'observador serà l'imposat pel color de la llum emesa per les fonts, tant si són llums blanques com si són llums monocromàtiques.

En aquest cas els materials propis no tenen la significació de l'espai que vindrà donada pels colors de la llum que pigmenta l'espai.



Fig.1.17
Leonardo glas cube.

Un cas concret d'imposició cromàtica és el que succeeix quan es produeix **per l'alteració cromàtica per reflexió**, és a dir, quan l'emissió de llum sobre paraments de determinats colors crea una difusió de llum en l'ambient amb els colors dominants dels paraments receptors. El resultat és que els objectes estaran il·luminats amb el color resultant, i es veuran d'aquest color si el tenen com a propi i segons la seva intensitat. En cas contrari es veuran com a grisos.



Fig.1.18
La columna i l'esfera blanques es veuen tenyides del blau del local. Schow Room d'ERCO

La coherència cromàtica en il·luminació consisteix en la valoració cromàtica global de l'espai perceptiu, resultat de l'anàlisi cromàtica del conjunt dels materials configuradors i de la seva jerarquia formal, estructural i estètica. Té l'objectiu d'establir el valor cromàtic global de la llum a utilitzar. Altres factors com la presència de llum natural, la significació de l'espai o el discurs arquitectònic condicionen els criteris cromàtics utilitzats.



Fig. 1.19
Imatge interior del Mercedes Benz Museum, Stutgart

La percepció de les qualitats cromàtiques de la llum es fa per comparació. Així, distingirem entre una llum càlida i una freda si les veiem alhora, així com una llum neutra ens semblarà més càlida o més freda segons la llum amb què la comparem.



Fig.1.20
Diferent percepció cromàtica de la il·luminació interior segons el color de la llum exterior

Efectes de la composició del nivell d'il·luminació i el color de la llum

Existeix una relació entre el color de les fonts de llum i els nivells d'il·luminació d'un espai amb què determina la sensació psicològica de benestar perceptiu.

Analitzada per Kruithof, es representa a la figura 1.21. i estableix que la llum amb tonalitats càlides i amb temperatures de color entre 1.800 i 2.500 K resulten agradables en ambients intimistes amb nivells de llum de entre 10 i 200 lux; mentre que els tons freds amb temperatures de color entre 3.500 i 5.500 K resulten vàlids per a llocs d'activitats intel·lectuals i de treball amb nivells de llum entre 500 i 2.000 lux .

Aquesta relació, comprovada estadísticament, s'haurà de tenir present en la il·luminació de tots els espais, especialment en aquells on el temps de permanència de l'usuari sigui major. El color de la llum i de les superfícies que conformen l'espai determinaran finalment la sensació cromàtica ambiental.

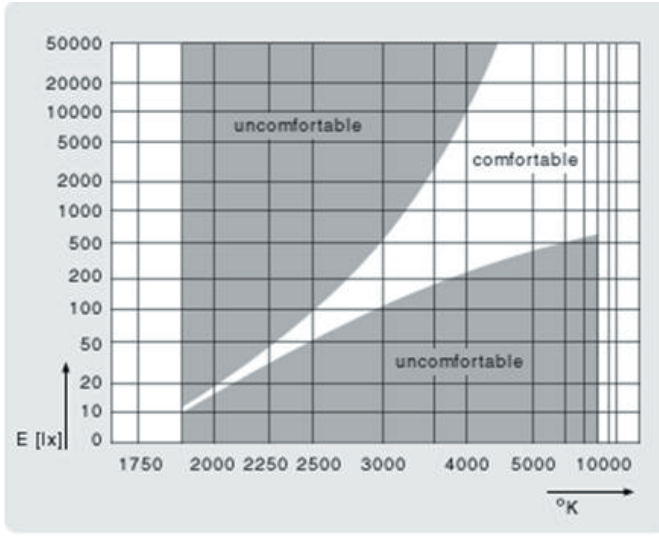


Fig.1.21
Experiment de Kruithof. Gràfica amb les zones de confort i de desconfort

L'estètica de la percepció de les fonts

L'inici de la luminotècnia va ser amb la instal·lació de grans fonts de llum penjades per a ser exhibides, com a element artístic amb capacitat per il·luminar globalment tot l'espai, i aquesta opció encara s'està utilitzant.



Fig.1.22
Vestíbul Biblioteca Nacional, Madrid. Amb llumeneres Berlino i reflectors, Renzo Piano. iGuzzini

S'ha continuat la mateixa tendència d'exhibir la font per il·luminar un parament o un objecte concret, emprant aplics, plafons, làmpades de peu, de sobretaula, etc.



Fig.1.23
(Esq.) Llumenera ARCO, A.i Pier Giacomo Castiglioni. Floss
(Dret.) Llumenera PIPE, Herzog & de Meuron

Arribem a l'exhibició de la font de llum com element mecànic d'enginyeria del metall, el vidre i els plàstics, igualment capaç d'il·luminar globalment l'espai o de concentrar la llum sobre un parament o un objecte. Aquest plantejament ha representat un fort desenvolupament industrial del disseny de llumeneres.

La indústria ha generat sèries de llumeneres amb gran varietat d'accessoris que ofereixen capacitats per a diferents aplicacions i efectes.



Fig.1.24
Llumenera LINGOTTO, Renzo Piano, iGuzzini

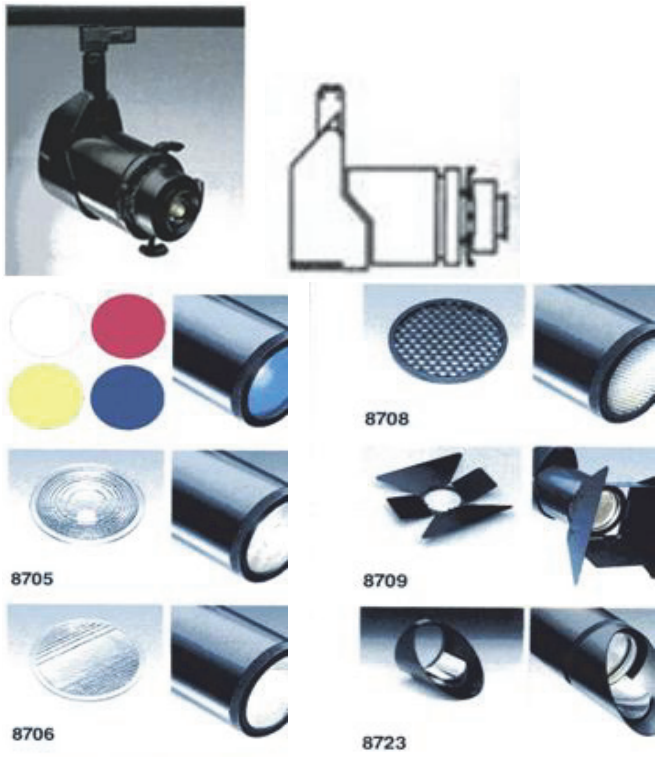


Fig.1.25
Projector Shutle,
diferents accessoris,
iGuzzini

També ens trobem en un període on es poden generar dissenys de lluminàries com a objectes artístics en si mateixos per a ser vistos encesos o apagats, sense tenir de complir la seva missió, i que la poden complir bé o malament, però que resten reconeguts socialment com a dissenys luminotècnics històrics.





Fig.1.26
Llumeneres com a objecte

a..Llumenera de suspensió,
Alvar Aalto, 1953

b. Llumenera
PROTOTIPOS,
J. A. Coderch , 1956

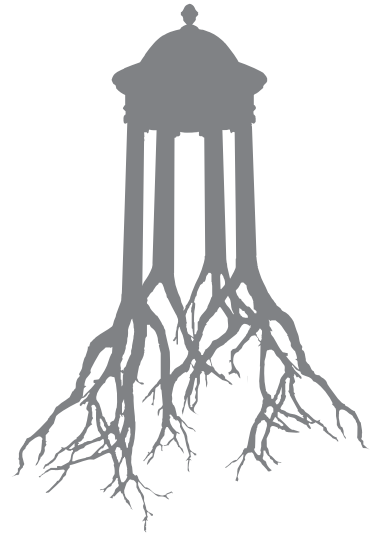
També es generen dissenys lumínics incorporats a elements constructius tals com baranes, mobles, murs, etc. o objectes domèstics.



Fig.1.27
Cubitera luminosa, de polietilè, disseny D. Venlet

Per tot plegat, les aplicacions luminotècniques han depassat les missions funcionals per a integrar-se en el disseny estètic com a objectes o com a resultats

(*vegeu Capítol 8, El disseny dels efectes*).



→2

El comportament dels materials



2.1 El relleu, la textura, la rugositat i el color dels paraments

Els cossos i les superfícies tenen uns comportaments diferents respecte a la llum incident que podem controlar amb el coneixement de la seva forma, opacitat, relleu, textures, rugositat i colors, dels quals obtindrem les seves reflectàncies o transmitàncies a la llum que reben.

RELLEU	de la superfície
TEXTURA	de la composició dels seus materials
RUGOSITAT	del material en si
COLOR	unitari o compost de diversos

En l'arquitectura els paraments són el material envoltant que defineix l'espai, tant l'interior habitable com l'exterior o façana, i estan formats per elements materials diferents amb característiques pròpies respecte a la radiació lluminosa.

El comportament de la llum sobre els diferents paraments defineix la percepció de l'espai arquitectònic, tant interior com exterior, i la seva anàlisi ens portarà a parlar dels conceptes de rugositat, textura, relleu i color, com factors principals en la percepció arquitectònica.

En aquest sentit cal fer la següent consideració: els paràmetres de rugositat i color estan exclusivament associats als materials unitaris que conformen els paraments i la textura i relleu, i tenen a veure amb la composició formal i volumètrica del conjunt dels paraments.



Fig.2.1
Color i rugositat d'un material ceràmic

La rugositat és una característica específica de la superfície d'un material, es pot definir com el conjunt d'irregularitats consistents en errors de forma, petites ondulacions de la superfície, protuberàncies etc. En el Sistema Internacional la unitat de mesura de la rugositat és *la* ***micra*** (1*micra*= 1 μm = 0,000001 m = 0,001 mm).

El color d'un material és una característica pròpia relacionada amb el comportament respecte a les radiacions lluminoses incidents i l'espectre cromàtic de les radiacions reflectides o emeses.

Així, la capacitat de reflectir la llum d'un material (reflectància) serà el producte de la reflectància del material segons la seva rugositat i de la reflectància segons el seu color.

La textura d'un parament fa referència a la composició dels materials que el conformen. Normalment els paraments estan formats per diferents materials (fusta, pedra, vidre, alumini, etc.) que tenen característiques superficials pròpies i diferents. La textura de les superfícies i elements que defineixen l'espai influeixen enormement en el resultat lumínic i en la percepció visual de l'observador.



Fig. 2.2
Paraments amb textures diferents

En arquitectura considerem **el relleu** com l'atribut d'un parament relatiu a la seva composició volumètrica formal. Es pot entendre com la volumetria particular d'una façana, dels tancaments interiors d'una sala de concerts, d'una coberta, etc.

En canvi, en l'art el relleu es refereix a un tipus de **tècnica escultòrica** en què les **formes modelades** o tallades ressalten respecte d'un entorn pla. A diferència de les **escultures** volumètriques, els relleus estan integrats generalment en un **mur**.



Fig. 2.3
Edificis amb façanes de relleus diferents

a. Façana amb relleu molt llis
b. Façana amb relleu acusat
c. Façana amb relleu molt acusat

Davant la llum, el relleu determinarà l'ombra de la façana de manera inversa. Així, els relleus molt llisos o llisos provoquen ombres molt suaus o imperceptibles, mentre els relleus acusats i molt acusats provocaran ombres importants. Al mateix temps la presència d'ombres provocarà el contrast de luminàncies, necessari per qualificar perceptivament l'arquitectura.

La textura també és aplicable a la composició volumètrica dels espais i edificis, i dóna com a resultat espais lumínicament diversos. No tan sols s'ha de considerar com aspecte propi del material sinó com a composició i tractament superficial del conjunt d'un espai.

La decisió d'utilitzar un material amb una determinada rugositat i color s'ha de prendre de forma conscient amb previ coneixement del comportament lumínic sobre aquest i, per extensió, sobre l'espai perceptiu.



Fig. 2.4
Espais amb paraments de relleu i textures diverses

a. Paraments amb relleu suau i textura variada

b. Paraments amb relleu acusat i textures uniformes



Fig. 2.5
Espais amb materials de reflexió diversa.

a. Materials amb reflexió especular

b. Materials amb reflexió difusa

En general podem dir que els efectes de la llum seran més perceptibles quan utilitzem materials foscos (poc reflectants de llum) en lloc de materials clars

(molt reflectants). Això incideix fortament en la percepció de l'espai i, conseqüentment, en la seva comprensió formal i estètica.

Podem considerar que la il·luminació artificial d'un espai amb materials clars recrea els efectes lumínics pròxims al produït per la volta celeste durant el dia (fig.2.6 a), en què el paper de les ombres té gran importància; en canvi, quan els materials són foscos recrea els efectes pròxims als produïts a la nit (fig.2.6 b), en què les taques de llum i lluminàncies són molt importants.

Podem dir que el dia és el regne de les ombres i la nit és el regne de la llum. En el mateix sentit J. Quetglas diu que la llum pertany a l'interior i l'ombra a l'exterior dels edificis (arquitectura). L'opció d'utilitzar materials clars o foscos en l'interior d'un espai és una decisió que ens acostarà a un dels dos mons anteriors.

En general els efectes lumínics i les llums directes tindran més presència perceptiva en espais amb materials foscos (índex de reflexió baix) i augmentaran el valors de lluminàncies a mesura que les superfícies siguin més polides. El seu nombre augmentarà quan la rugositat de l'espai sigui major, alhora que finalment la comprensió de la globalitat de l'espai es farà més difícil.



Fig. 2.6
Espais amb diferent color o reflectàncies.

a. Espais amb materials clars

b. Espais amb materials foscos



Fig. 2.7
Textura de Manhattan de dia i de nit.

a. Manhattan, imatge de dia: colors clars

b. Manhattan, imatge de nit: colors foscos

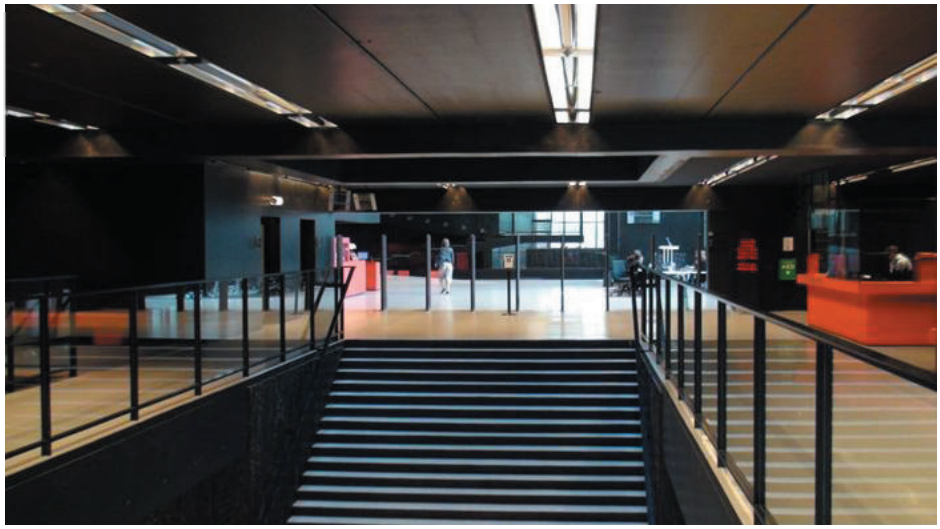


Fig. 2.8
Biblioteca de la Universitat d'Utrech. Holanda. Wiel Arets, Arq.

Fig. 2.9
Taula de relació entre color, textura, rugositat i relleu amb la percepció dels efectes i la comprensió de l'espai

Colors propis dels materials (atenent a la luminancia cromàtica clars-foscos, no a la saturació o color predominant)		
Materials foscos	entremitjos	clars
Textura superficial dels materials		
"especulars"	polits	mates
Rugositat espacial de l'espai		
Elevada o molt elevada	mínima	Baixa o molt baixa
Luminàncies percebudes		
Elevades en valor i nombre	Intermèdies o suaus	molt baixes o mul·les
Grau de presencia perceptiva dels efectes lumínics		
Molt important	Relativa,	Molt baixa
Grau de percepció de l'espai (entorn arquitectònic)		
Molt dèbil o difícil	Dèbil o suau	elevada, important, fàcil

2.2 Comportaments dels objectes i de les superfícies a la reflexió i a la transmissió

La luminància és la llum que l'observador percep de l'espai, conseqüència directa de la reflexió de la llum emesa per les fonts i que incideix sobre els diferents elements materials que configuren l'espai. Respecte al seu comportament davant la llum incident, els materials podran ser opacs o translúcids.

2.2.1 Materials opacs

Tots els materials opacs tenen un determinat factor de reflexió o reflectància (r) que depèn de les seves característiques materials, com ja s'ha explicat, així com també de la seva textura superficial, rugositat i del seu color propi. Per orientar sobre les reflectàncies de diferents materials segons la seva textura i colors, es poden prendre les de les taules següents:

Taula 2.1
Taula de reflectàncies dels materials.

MATERIALES segons textura	**REFLECTÀNCIES**	
Alumini òptic gris clar brillant	0,96	
Alumini anoditzat	0,75	variant segons color
Acer inoxidable polit	0,80	
Acer inoxidable mat (difusor)	0,75	
Mirall de vidre-plata	0,85	
Pintura plàstica o estuc planxat en calent, brillant	0,70	variant segons color
Id. Setinat	0,60	id.
Id Mat	0,55	id.
Ceràmica esmaltada	0,70	id
Ceràmica d'obra vista	0,35	id
Fusta o suro vernissats brillant	0,60	id
Id motlle de fusta o de morter	0,35	
Pedra gres	0,35	

Com a factor complementari a les textures amb materials de diferents colors, cal aplicar els següents coeficients, orientatius segons el color del parament:

Taula 2.2.
Taula de reflectàncies segons color

REFLECTÀNCIES SEGONS COLOR			
COLOR	CLAR	MITJÀ	FOSC
Groc	0,70	0,50	0,30
Beix	0,65	0,45	0,25
Marro	0,50	0,25	0,08
Roig	0,35	0,20	0,10
Verd	0,60	0,30	0,12
Blau	0,50	0,20	0,05
Gris	0,60	0,35	0,10
Blanc	0,80	0,75	-
Negre	-	0,07	0.00

Així, la reflectància resultant d'un parament o objecte serà el resultat de multiplicar la reflectància del material i textura per la corresponent al color.

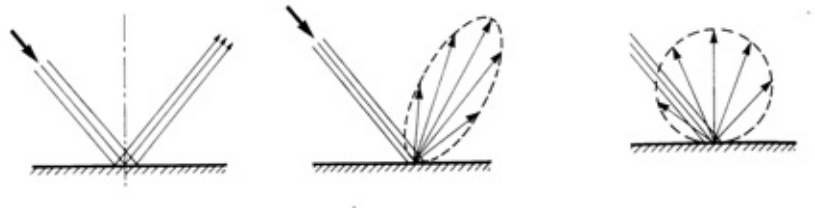
Com a exemple, a l'alumini anoditzat de color blanc clar li correspon una reflectància final de R = 0,75 x 0,8 = 0,6.

Superfície especular, mixta o dispersa i perfectament difusora

Sempre que la llum incideix en una superfície es produirà la reflexió d'una part del flux incident, que dependrà de factors com l'angle d'incidència i el tipus de superfície del material. En general les superfícies planes tindran un reflexió que podrà ser especular (a), mixta o dispersa (b) i perfectament difusora (c).

Geometria de les reflexions sobre superfícies planes

Fig. 2.9
Gràfic reflexions a superfícies planes segons reflectàncies

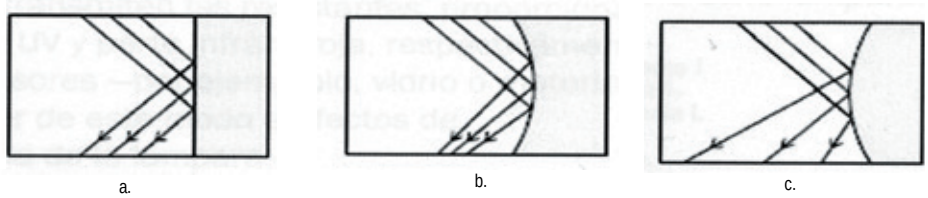


a. b. c.

La corba d'emissió des d'una superfície dispersa no es pot conèixer sense proves reals en laboratori. No hi ha gràfiques ni taules de valors genèriques.

Geometria de les reflexions sobre formes planes i corbades

Fig. 2.10
Geometria de les reflexions



a. b. c.

Observem la reflexió brillant de rajos de llum, que incideixen en paral·lel sobre superfícies planes (a, camí òptic paral·lel), sobre superfícies convexes (b, camí òptic convergent) i sobre superfícies còncaves (c, camí òptic divergent).

La utilització de superficies reflectores especulars és especialment utilitzada en el disseny d'òptiques per llumeneres, que gràcies a diferents formes geomètriques distribueixen el flux lumínic en l'espai segons una forma predeterminada.

La llumenera de la figura 2.12 està equipada amb làmpades LED i disposa de superfícies reflectores que generen una distribució lluminosa asimètrica, tipus banyadora.

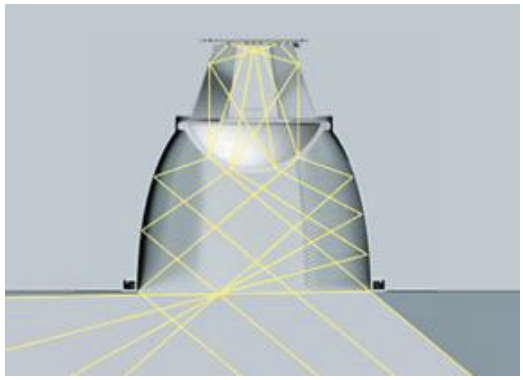


Fig. 2.11
Reflectores Darklight d'ERCO

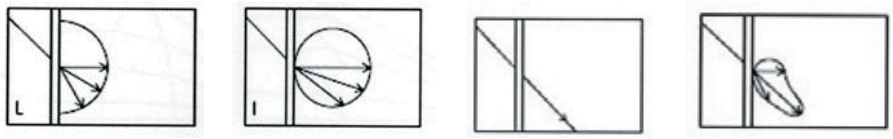
2.2.2 Materials translúcids

En el cas de materials que deixen passar el flux lumínic a través d'ells, la transmitància o el coeficient de transmissió de la llum determinarà el percentatge que el travessa.

A la taula 2.3 s'indiquen de manera aproximada, per a materials transparents o semitransparents, absolutament nets i sense color, els valors de la transmitància.

El cas de l'aigua és especial ja que segons el gruix o profunditat de la massa i si és dolça, salada, i/o amb pol·lució, variarà el seu comportament

Vegem la distribució d'intensitats lluminoses I (b), la distribució de luminància L (a) amb transmissió difusa, la distribució lluminosa amb transmissió mesclada (c) i la transmissió regular a través de materials clars (d). La distribució de luminàncies és igual des de tots els angles visuals.



a b c d

Fig. 2.12
Formes de distribució lluminosa al travessar un material.

Taula 2.3
Transmitàncies de materials translúcids.

MATERIAL	TRANSMITÀNCIA
Vidre transparent	1,00
Vidre gravat a l'àcid	0,60
Vidre opalí	0,70
Policarbonats d'una planxa (opalí)	0,70
Policarbonats reticulars una cambra	0,60
Metacrilats transparents	0,90

Comportament de difusors i lents especials

Sovint les superfícies difusores acostumen a tenir un tractament superficial que modifica el comportament de la transmissió segons determinats criteris, generalment dirigits a concentrar, dirigir o difuminar el flux lumínic.

Vegem el típic camí òptic de llum que incideix en paral·lel per una superfície prismàtica asimètrica (a dalt esquerra), per una superfície prismàtica simètrica (a dalt dreta), en la lent Fresnel (a baix esquerra) i en lents condensadores (a baix dreta):

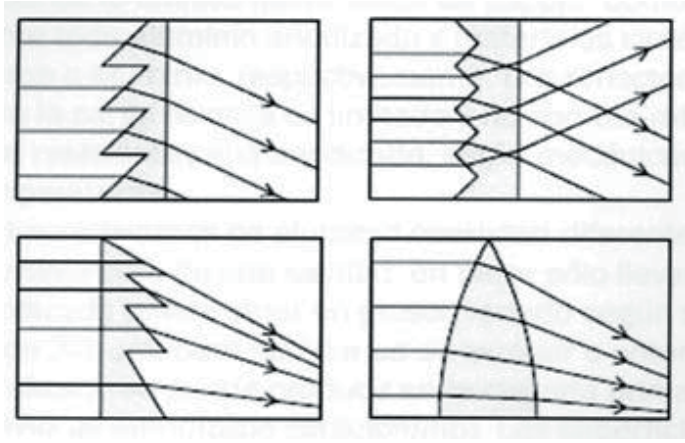
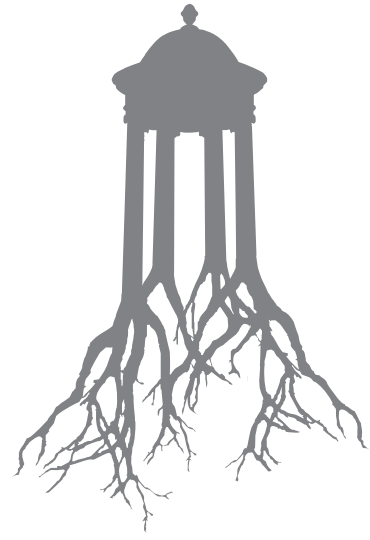


Fig. 2.13
Comportaments de difusors i de lents especials.



→3

El llenguatge de la llum



3.1 La significació de l'entorn

Coneixem el món mitjançant els nostres sentits, vista, oïda, olfacte, gust i tacte. Per mitjà d'ells percebem la realitat del món que ens envolta, la forma, tamany i color dels objectes, així com la seva distància i moviment. De tots els sentits que posseeix l'home, la vista és probablement el més important per al desenvolupament de les seves activitats. A través dels ulls arriba la majoria d'informacions i l'ús de la llum permet crear el paisatge visual.

La qualitat del nostre entorn està condicionada per la manera en què la llum ens el defineix i com estem preparats per apreciar-lo. La llum pot crear-nos uns paisatges naturals o artificials segons els que necessitem veure en aquell moment, ens parla del que tenim al nostre entorn amb les seves característiques potenciades segons la seva manera d'expressar-les. Per tant, no es tractarà solament d'enllumenar, cal dissenyar espais amb la llum i que ens expressin un missatge.

I cal recordar que de nit és la llum el que estructura l'espai. "La nit és el regne de les llums" i "El dia és el regne de les ombres".

De la llum l'aspecte considerat més important és que la dinàmica visual està basada en la percepció dels contrasts dels nivells d'il·luminació existents sobre els objectes, així com dels colors, i sobretot de les brillantors procedents des dels objectes fins als nostres ulls, per la qual cosa haurem de tenir presents aquests aspectes al dissenyar-la.

La sensibilitat màxima de la visió-percepció sempre es refereix a la percepció dels contrasts de brillantors (luminàncies).

3.2 La llum i el llenguatge arquitectònic

Finalment les idees lumíniques assignaran, prèviament, un determinat paper o categoria a la il·luminació utilitzada dins el projecte arquitectònic. Podem enunciar que les principals categories són:

Taula 3.1
Categories d'il·luminació dins el projecte lumínic

La llum com a complement i substitut de la llum natural
La llum com a símbol
La llum com a informació
La llum com a arquitectura

3.2.1 La llum com a complement i substitut de la llum natural

Un dels motius de l'existència de la llum artificial és intentar suplir la manca de llum natural ja sigui perquè és de nit o perquè no pot arribar a determinats espais dels edificis, soterranis, espais interiors, etc.

Ja vam veure que aquesta era una de les utilitats de la llum artificial (vegeu apartat 1.1) i que tenia diferents aplicacions concretes.

Aquesta substitució es caracteritza perquè el seu objectiu prioritari és dotar d'uns nivells d'il·luminació suficients per desenvolupar una activitat. Per tant, els plantejaments funcionalistes seran els determinants.

També en espais que disposen de llum natural convé, quan els nivells lumínics aportats per aquesta no són suficients, que la llum artificial pugui aportar el suplement lumínic per assolir els valors mínims necessaris per a l'ús previst.

És impossible aconseguir amb llum artificial les mateixes qualitats i efectes d'il·luminació que amb la llum natural, n'hem de saber utilitzar les virtuts de cada una sense voler confondre-les.

Mentre que la llum natural presenta una enorme variabilitat de tots els paràmetres (nivells d'il·luminació, K, direccionalitat) sense possibilitat de control o modificació, la llum artificial pot ser controlada i modificada a voluntat per l'arquitecte i l'usuari.

3.2.2 La llum com a símbol

Del símbol primitiu del foc considerat com a primera llum artificial passant per la simbologia religiosa fins arribar al símbol commemoratiu de l'11-S a Nova York, al llarg de l'existència humana la llum s'ha utilitzat per representar els déus, els mites, les pors i els desitjos de l'home.

La llum de forma singular i autònoma sempre ha estat associada a tota mena de símbols: als déus i als dimonis per igual; a la bondat i a la maldat, al plaer i al dolor, etc. És un element tan potent emocionalment que s'ha utilitzat indiscriminadament per a moltes simbologies, moltes vegades oposades.

Ara bé, quan aquesta llum es relaciona amb l'arquitectura i amb l'espai que és percebut per l'home es transforma en il·luminació, en matèria compositiva i qualificadora de l'espai, que permet dotar l'arquitectura del simbolisme atribuït a un arc de triomf romà o a una catedral gòtica.

La llum artificial utilitzada per les seves qualitats en l'èmfasi de la simbologia dels espais no s'ajustarà als paràmetres quantitatius i tindrà una important dependència de la simbologia atribuïda a l'espai arquitectònic. Podrà plantejar-se dins la globalitat del projecte o de forma totalment autònoma en alguna part específica dins l'edifici.

La llum com únic element contraposat a la foscor de la nit és un continu referent simbòlic. El monument anomenat *Imagine Peace Tower*, Far per la pau, realitzat el 2007 a l'illa islandesa de Videy, és una escultura de llum concebuda per l'artista Yoko Ono, un símbol vertical i infinit perceptible des de la capital, Reyjavik, i que simbolitza el concepte de "la Pau al món".





Fig. 3.1
Imagine Peace Tower,
Far per a la pau,
Videy, Islàndia,
PK ,Arq. 2007





Fig. 3.2
Tribute in light,
Monument a les víctimes
de l'11-S de 2001,
Nova York

La commemoració dels atacs a les torres bessones a l'11 S a Nova York es fa amb dues simbòliques torres lluminoses que mitjançant un conjunt de més de 70 projectors de llarg abast i molta direccionalitat, situats resseguint el perímetre des de les dues torres, generen una potent imatge visual en l'*Skyline* de la ciutat, un autèntic tribut lluminós a les víctimes de l'atemptat.

També el simbolisme de la llum és l'únic element existent en l'espai construït del monument a les víctimes de l'11-M realitzat a l'estació d'Atocha de Madrid pels arquitectes Estudi FAM.

El monument està format per dos elements diferents: una gran escultura de vidre buida interiorment col·locada a l'exterior i una sala subterrània col·locada a sota de l'escultura. Dos elements diferents: un per ser vist des de fora i l'altre per ser vist des de dins.

Les idees principals de la simbologia del projecte són *lleugeresa, transparència*, i *permeabilitat*, que s'apliquen a la construcció de l'escultura cilíndrica de vidre. A la sala inferior, però, predominen els conceptes d'espai buit, silenciós, amable i discret.

Veiem, doncs, que la llum es considera un símbol al que li atribueixen molts i variats conceptes, se la considera capaç de materialitzar-se en objectes o edificis i que, en el moment d'incorporar-se a un espai arquitectònic, té la capacitat de qualificar-ho i d'erigir-se en l'únic protagonista de l'espai.





Fig.3.3
Monument a les víctimes de l'11-M. Madrid. Estudi FAM, Arq. 2007.

3.2.3 La llum com a informació

També la llum es pot utilitzar com un element de comunicació visual, abastant aspectes de comprensió i orientació en l'espai com els introduïts per Lam, d'informació dels usos a què està destinat, o informació complementària o de caràcter cultural.

Un exemple del simbolisme de la llum associat a la "comunicació visual" és la il·luminació de l'estadi de futbol Allianz Arena a Munich, dels arquitectes Herzog & De Meuron. L'estructura externa de l'estadi està formada per 2874 panells romboïdals metàl·lics de ETFE (Etilè-tetraflouretilè), que es poden il·luminar de manera independent de color blanc, vermell o blau. La il·luminació resultant informa, segons els diferents colors, de l'equip que està jugant: vermell el FC Bayern, Blau el TSV 1880, i blanc quan juga la selecció Alemanya.

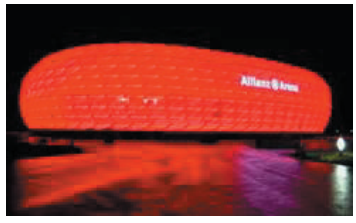






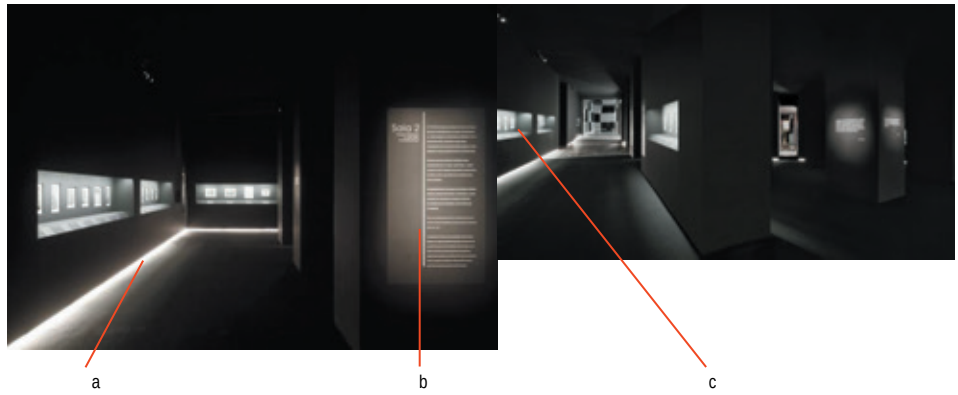
Fig. 3.4
Foto. Allianz Arena, Munich. Herzog & de Meuron, Arq

La primera incorporació de la llum artificial a la senyalització estàtica dels rètols lluminosos a les pantalles de vídeo o retro-il·luminades, fins les façanes "mass-media", són exemples d'utilització de la llum artificial com a símbol de comunicació dins i fora de l'espai arquitectònic.

Aquesta informació pot abastar aspectes diversos com l'organització de l'espai intern, la seguretat, la personalització o la singularització de múltiples paràmetres. També pot estar integrada en "artefactes" o disposar-se sobre els paraments de l'arquitectura.

La seva eficàcia rau en la utilització d'un llenguatge (escrit o gràfic) acceptat i conegut per l'usuari.

Fig. 3.5
Muntatge Exposició sobre Escher. C. Ferrater Arq.



A la figura 3.5. es mostra una fotografia del muntatge de l'exposició sobre Escher realitzada per l'arquitecte Carles Ferrater en què observem com la llum artificial ens aporta diferents tipus d'informació. En primer lloc, una informació destinada a satisfer les necessites d'orientació i comprensió dels espais de l'exposició, consistent en una llum baixa (a), lineal i continua situada en la unió entre terra i paret. Una segona llum (b) ens permet centrar l'atenció visual sobre el cartell que dona accés a la sala i que ens informa del contingut de la mateixa.

I una tercera llum (c) ens permet la percepció dels dibuixos sense modificar la comprensió del seu contingut introduint aspectes de confort i qualitat cromàtica,

Les múltiples combinacions de les diferents lluminàries leds instal·lades a totes les finestres de la *Torre Dexia* permeten, mitjançant un patró formal i de color, informar de les variacions climatològiques i atmosfèriques segons la predicció de l'institut meteorològic belga del temps amb un patró lumínic visual.

Un conjunt de patrons geomètrics vectorials són els que permeten representar les condicions de precipitació (pluja, calamarsa, neu, etc.) i direcció del vent. Un patró de línies verticals sempre assenyala la transició entre aquests indicadors del clima.

Fig. 3.6
Les torres Dexia, Brussel·les, Arq. *Philippe Samyn & Partners, M & J.M. Jaspers–J. Eyers & Partners. Instal·lació. Jason Bruges 2006.*



3.2.4 La llum com a arquitectura

La llum artificial, utilitzada com a llenguatge qualificador de l'espai arquitectònic, és capaç de transmetre les idees de la pròpia arquitectura d'acord amb una elevada coherència formal i conceptual amb el projecte arquitectònic.

Considerar la llum com element de l'arquitectura ens portarà a relacionar qualitats arquitectòniques i lumíniques i a reconèixer les característiques lumíniques que millor s'associen als diferents estils arquitectònics.

Finalment, ens preguntem si és possible definir com hauria de ser una il·luminació racionalista, expressionista, neoplasticista, minimalista, orgànica, etc., és a dir, si és possible revisar tots els qualificatius atribuïts a la imatge lumínica des de l'atribució de l'estil arquitectònic.

Posarem alguns exemples per avançar en els conceptes anteriors i obrir una possible línia d'investigació en la relació il·luminació i arquitectura:

Il·luminació expressionista

La il·luminació expressionista es caracteritza per l'ocultació visual de les lluminàries, per l'aparició de la llum relacionada sempre amb els elements superficials de l'espai. Parets, terres, murs, etc., i l'espai sencer estan il·luminats pels propis elements configuradors.

La llum apareix com a reforç dels ritmes i les modulacions geomètriques, les qualitats de la llum són partícips de les qualitats dels materials en què es reflecteix. La utilització de la llum de color serà secundària i tindrà valor el reforç cromàtic mitjançant la reflexió de la llum sobre les superfícies de l'espai.

El material imposa la seva jerarquia de color a la llum.



Fig. 3.7
Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona.
J.A. Coderch

Il·luminació neoplasticista

La llum neoplasticista és una llum fragmentada, delimitada, plana i sotmesa a una configuració geomètrica que delimita la seva procedència. La utilització del color de la llum i els jocs geomètrics, igual que en pintors com Mondrian, es converteix en un dels seus principals elements definidors.

El projecte dels arquitectes Architect: 3XN crea un atri central que conté un conjunt de passarel·les i escales en ziga-zaga que tenen una il·luminació amb led's RGB integrades. La llum aporta diferent cromatisme i crea composicions de plans de colors que canvien dinàmicament.

L'artista Steven Scott ha realitzat aquesta intervenció lumínica a l'atri de l'edifici de la companyia Deloitte, a Copenhaguen, Dinamarca. Scott realitza un reconegut homenatge a l'obra de Dan Flavin i Piet Mondrian.

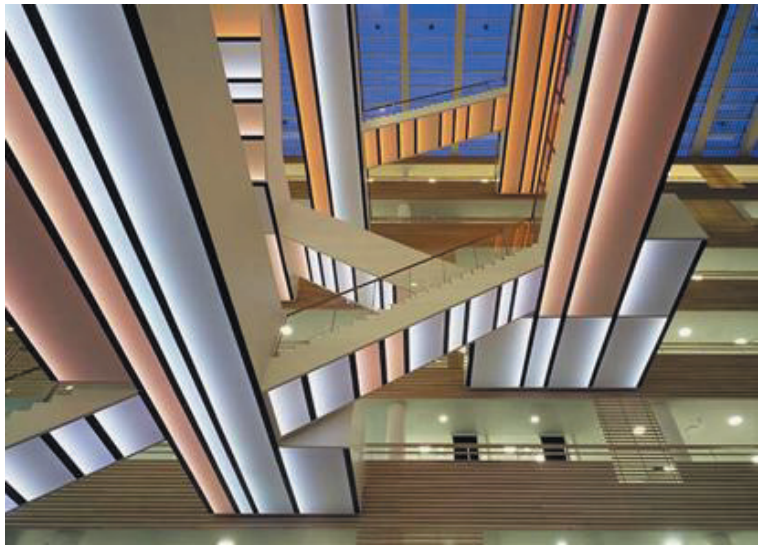


Fig. 3.8
Deloitte, HQ. en Copenhagen, Arq. 3XN
Artista Steven Scott.
2003-05.

Il·luminació funcionalista

Quan la il·luminació respon a criteris de distribució que atenen únicament al compliment dels requeriments quantitatius, sense entrar a considerar aspectes de definició o reforç formal de l'espai sobre les zones conegudes com "zones de Treball" podem afirmar el seu caràcter "funcionalista".

L'arquitectura funcionalista planteja la funció com a paràmetre bàsic de la configuració arquitectònica, i en el mateix sentit la il·luminació funcionalista atén al compliment de les necessitats lumíniques principals.



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

Il·luminació Art Déco

La il·luminació Art Déco es podria caracteritzar per la utilització d'una llum filtrada a través de superfícies translúcides, amb presència de color.

La il·luminació general és difusa i global, sense la presència de llum dirigida ni accents lumínics. És una llum homogènia i poc direccional en què les superfícies cromàtiques adquireixen gran protagonisme.



Fig. 3.10
Hulpverlingscentrum
Moen&Van Oosten, Arq.

Il·luminació impressionista-modernista

És una il·luminació amb una aparent expressió visual de les fonts de llum, amb una llum brillant, amb accents i brillantors, en què el sistema lumínic es mostra de forma aparent i està perfectament integrat en el disseny formal de l'espai.

Les lluminàries són visibles i adquireixen una important presència visual que caracteritza l'espai.



Fig. 3.11
Chapel of Sant Ignacius.
Steven. Holl, Arq.

En la mateixa línia de treball podríem continuar amb la definició de les característiques de la il·luminació de l'estil constructivista, racionalista, orgànic, conceptual, hig tech, etc...

Deixem obert aquest camp de recerca per a futurs estudis que de ben segur contribuiran a fixar un lèxic capaç de relacionar amb una major intensitat els conceptes de la il·luminació i de l'arquitectura des d'aspectes relacionats amb l'estil o la tendència arquitectònica.

3.3 La llum i el disseny arquitectònic

3.3.1 De les exigències de mínims a la composició formalista (promoció del projecte)

La idea de simplement obtenir un nivell d'enllumenat que compleixi amb les normes ha estat depassat per la utilització de la llum com a justificant de determinades formes dels edificis. Això significa la incorporació de conceptes arquitectònics que tinguin presents els efectes de la llum, tant en l'exterior com a l'interior.

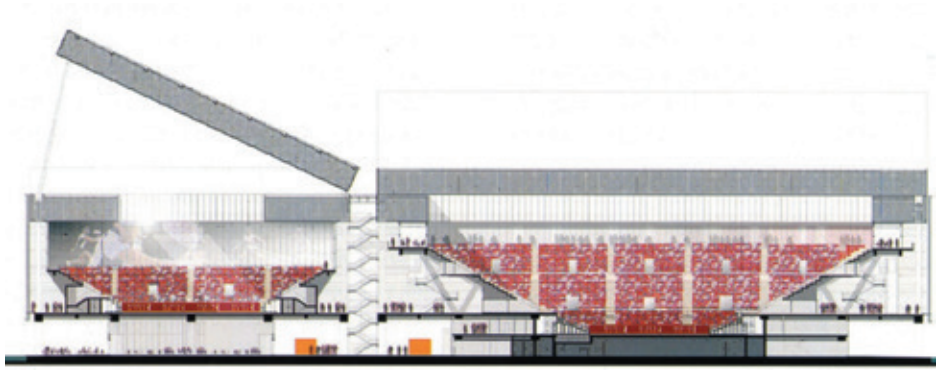


Fig. 3.12
Centre Esportiu Parque Manzanares.
Les cobertes practicables i desplaçables incideixen en el disseny de l'edifici

3.3.2 L´edifici com espai obert a l´exterior, o com espai exterior

Podem dissenyar espais en els quals l´exterior perceptivament penetra dins l'edifici, i arribar a confondre els límits. Però serà la llum la que ens doni la imatge correcta, amb la qual cosa l'orientació, color i textures dels paraments seran fonamentals.



Fig. 3.13
Foto Exterior National Gallery, Berlin, Mies Van der Rohe

3.3.3 Els espais interiors transparents entre ells

Podem generar seqüències visuals i lumíniques amb les formes i dimensions dels connectors, així com amb les transparències totals o parcials dels materials.

Les permeabilitats horitzontals i els sistemes de passar la llum a través de forats alts, baixos, amb formes allargades vertical o horitzontalment, etc., ens donaran pas de llum i pas de visió. També podem emprar formes òptiques arquitectòniques i materials reflectants o absorbents, de determinats colors que dispersaran o concentraran la llum i corregiran la cromaticitat dels espais.

Ídem. a les **permeabilitats verticals,** com el cas dels patis de parcel·la, soterranis amb patis especialitzats, conductes de llum, etc.



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

3.3.4 Condicions dels espais, dels objectes i de la llum per a l'harmonització o contrast

Del concepte de l'espai com a volum net i buit deduïm la conveniència de percebre'n una visió global, sense poder captar exactament les dimensions reals. Això requerirà la condició de llum global.

Del concepte **d'espai com a volum definit i tancat** en deduïm la conveniència de la visió clara dels paraments, la seva posició, límits, textures i les dimensions. Això pot demanar una llum dirigida o rasant, amb possibles uniformitats de llum en alguns dels paraments.

Del concepte de **l'espai com inexistent**, només obtenim la percepció precisa dels objectes interiors amb la seva posició, distància, dimensions, color, forma i textures. O la deformació intencionada d'alguna d'aquestes característiques, o la ocultació total de l'objecte. Això pot representar la conveniència d'emprar llums direccionals i contrastades.



Fig. 3.15
Sala amb sostre lluminòs Museu Louisiana. Humlebaek, D.



Fig. 3.16
Trienale de fotografia a Milà.



Fig. 3.17
Foto Museu d'Història de Catalunya. Sala amb diorames

Del concepte de **la llum com a definidora d'intencions formals en si mateixes** o de simular l'existència de paraments o imatges només com efecte visual, en deduïm l'ús de miralls, vidres transparents o elements semitransparents.



Fig. 3.18
Bany Hotel Puerta de América, Ron Arad

3.3.5 Del concepte d'edifici i llum, imatge de dia i de nit

L'edifici ple de llum: de dia permet sentir l'exterior com part de l'interior i de nit, la transparència de la façana contribueix a crear un efecte de "llumenera" de l'edifici que il·lumina l'exterior immediat.



Fig. 3.19
(Esq.). Exterior Kunstmuseum Art, Stuttgart, 2005
(Dre.) .Mediateka de Sendai Toyo Ito, 2005

L'edifici amb llum i ombres: des de l'interior, durant el dia, es poden sentir les evolucions –sovint negatives- de la radiació solar. La imatge exterior està composada per plans il·luminats i taques d'ombres, ja siguin forats d'obertures, escletxes o espais intersticials entre volumns. El moviment solar introdueix un dinamisme dels efectes lumínics interiors i de les images exteriors.

La nit mostra una imatge d'un objecte sòlid del qual, a través de perforacions, excletxes o plans oberts, surt la llum interior. Sovint les parts opaques exteriors estan lleugerament il·luminades per la pròpia llum interior o per l'enllumenat exterior, per reduir-ne el contrast.

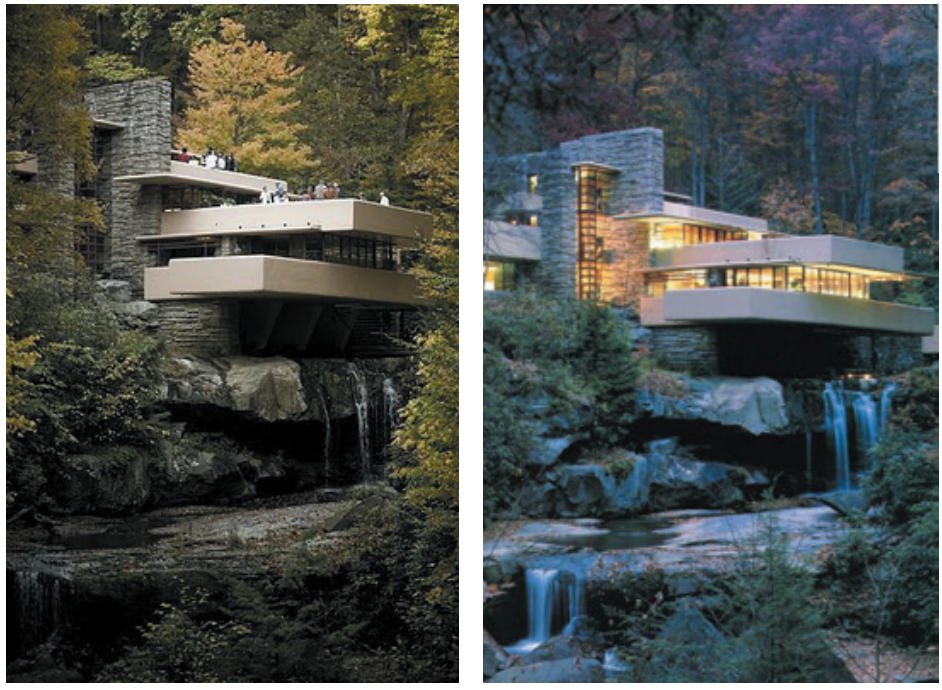


Fig. 3. 20
Imatge diürna i nocturna de la casa Kaufman, Falling Water. F. LL. Wright.

L'edifici buidat per la llum interna: de nit, la imatge des de l'exterior apareix com un pla de façana fosc amb diferents perforacions de les quals surt la llum interior. Les taques lluminoses es perfilen segons les formes de les obertures i es crea la imatge d'un mapa de taques de llum geomètriques sobre el fons negre de la silueta de l'edifici.

Fig. 3. 21
Denver Art Museum, 1971
Gio Ponti, Arq.



L'edifici modificat per la llum interna: sovint la llum interna crea una imatge de l'edifici durant la nit amb gran similitud formal amb la que l'edifici ofereix durant el dia, fins al punt que es converteix en la imatge més identificativa.

De nit, i des de l'exterior, es possible la visió de parts de l'interior, tot i que les superfícies vidriades sovint tenen una certa opacitat (o bé disposen de filtres) que permeten mantenir la imatge lluminosa invariable. D'aquesta manera no es veu afectada pels espais interiors i els seus canvis.

Fig. 3. 22
Fotografia comparativa de la façana de dia i de nit





L'edifici com caixa de llum opaca a la visió de l'interior: de dia o de nit i des de l'exterior es manté una imatge constant i invariable de l'edifici. No existeix intecanvi visual entre l'interior i l'exterior.



Fig. 3. 23
Edifici Kursaal,
San Sebastian,
Rafael Moneo, Arq.



Fig. 3. 24
Vista interior del Centre d'Estudis Islàmics,
Paris,
Jean Nouvel

Imatge de dia i de nit
b. Imatge de l'interior

3.3.6 La llum de nit als espais arquitectònics exteriors

La imatge nocturna d'un edifici ha de considerar l'enllumenat del seu entorn urbà immediat: carrer, avinguda, jardí, plaça, etc. En edificis públics és habitual la projectació conjunta de l'edifici i l'espai públic pròxim.

Des del projecte lumínic es pot intervenir en ambdós àmbits i donar una imatge de globalitat lumínica mitjançant solucions unitàries en l'edifici i l'entorn. També l'enllumenat urbà de vialitat existent s'haurà de considerar en el plantejament del projecte.

Aquest espais exteriors actuen com a espai de transició entre la ciutat i l'edifici, i es converteixen en un vestíbul públic extern; és la primera imatge lumínica que es té de l'edifici.

Altres aspectes com la significació i la funcionalitat, així com la sostenibilitat i la contaminació lumínica, han de tenir també un paper principal en el seu disseny lumínic.

Fig. 3.25
Espais exteriors pròxims a l'Edifici del Ministeri d'Exteriors d'Israel a Jerusalem

Façana d'alabastre



La imatge de l´edifici i la relació amb el seu entorn urbà

En aquesta imatge de l'entorn urbà pròxim al Kursaal de Sant Sebastià es pot observar com el cromatisme i la distribució de llum per difusió de l'enllumenat urbà es traslladen a la il·luminació de l'edifici, de manera que el converteixen en una gran llumenera urbana.

Fig. 3.26
Espais exteriors pròxims a l'Edifici del Kursaal de San Sebastià

.



L'enllumenat urbà és una pre-existència que cal considerar al plantejar el paper lumínic que jugarà el nou edifici; seran moltes les opcions lumíniques, que aniran des de la integració absoluta fins a la màxima diferenciació i singularitat.

La diferenciació lumínica es podrà aconseguir a través de canvis en els valors lumínics d'il·luminància i luminància, tot i que els canvis cromàtics i tipològics poden tenir un major impacte diferenciador.

Sovint hi ha aspectes com el posicionament singular o el tamany que confereixen a l'edifici una especial rellevància respecte del seu entorn pròxim i llunyà. En aquests casos l'enllumenat adquireix gran singularitat i el fa aparèixer com una "fita" de referència en l'entorn.



Fig. 3.27
Imatge nocturna de la ciutat de Toledo



Fig. 3.28
Imatge nocturna de la ciutat de Toledo. La Catedral i el Alcázar apareixen com a fites lluminoses.

El paisatge lumínic

La il·luminació urbana ja no contempla únicament aspectes de funcionalitat sinó que reconeix el concepte de paisatge lumínic com a identificador i qualificador de l'entorn i de les ciutats.

Per tant, cal que els urbanistes i arquitectes que hi treballen incorporin en els seus projectes la il·luminació artificial des de l' òptica del disseny qualitatiu. En aquest sentit la figura del dissenyador lumínic urbà (*Urban lighting planner*) està prenent cada vegada més rellevància.

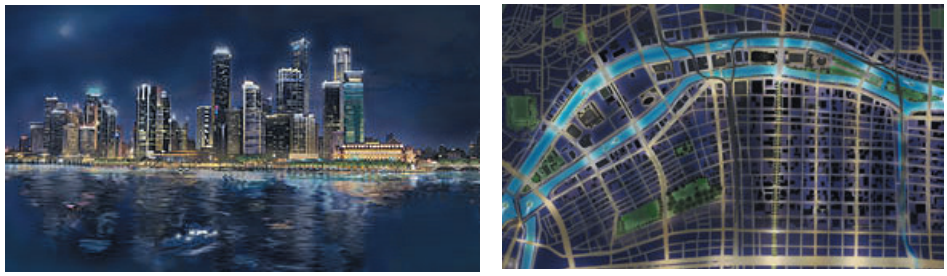


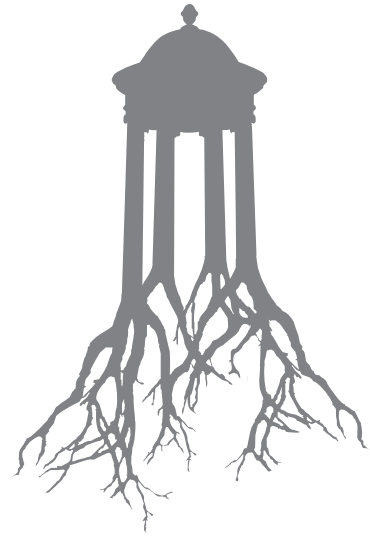
Fig. 3.29
a. Imatge del projecte lumínic urbà per a Singapur. LPA Inc.

b. Pla lumínic per a la ciutat d'Osaka, Japó. LPA Inc.

En les ciutats emergents del sud d'Àsia com Shangai, Singapur, així com Abu Dhabi i Dubay als països àrabs, la imatge nocturna de la ciutat es converteix en el principal símbol publicitari i de poder econòmic. Aquesta imatge defineix el seu "Skiline" de manera que es fa necessari fer plantejaments globals que aportin qualitat i coherència al conjunt.

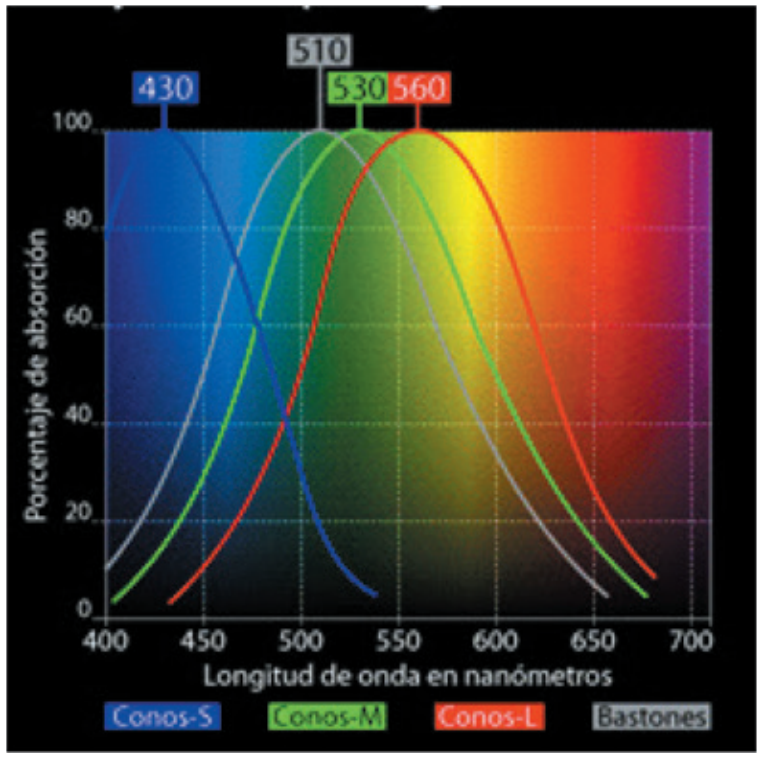


Fig. 3.30
Skiline nocturn d'Abu Dhaby.





Fotometria i percepció



4.1 Paràmetres físics

Els paràmetres físics principals que tenen similitud amb els luminotècnics son els següents:

- Energia radiant **Er** (Joules)
- Flux radiant **Φ** (W)
- Potència **W** (watts)

Radiància L (w/str.m^2)
Intensitat de radiació I (W/str)
Irradiació E (w/m^2)

4.2 Paràmetres luminotècnics

Flux lluminós **Φ** (*lúmens*) és la quantitat d'energia lluminosa total emesa per unitat de temps i que pot produir una impressió en l'ull humà. El flux lluminós màxim teòric que pot emetre una font d' 1 watt llum per a λ = 555 nm és de 680 lm.

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

Un **lumen** (lm) és el flux emès per una font uniforme puntual amb intensitat d'una candela i també és el rebut en una superfície.

Intensitat lluminosa **I** (*candela*) és la densitat d'energia lluminosa emesa per una font de llum en un determinat angle sòlid (ω). El seu simbol és I, i la unitat és la candela (cd). El valor límit de Φ/ω quan l'angle sòlid s'aproxima a zero és denominat intensitat lluminosa i la fòrmula és:

$$I = \lim \Phi/\omega \quad \omega \text{ - } >0$$

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

La forma en què el flux lluminós de la font està distribuït en el espai és de considerable importància, ja que permet coneixer la part de llum dirigida cap als objectes o superfícies desitjats; per això resulta necessari medir els valors del flux lluminós en diferents direccions i expressar-los en una certa unitat.

Una **candela** és el valor del vector d'intensitat en la direcció de l'emissió.

Els diagrames polars són un tipus de representació gràfica de la distribució d'intensitats d'una font lluminosa, en els quals podem diferenciar els valors específics i calculables de:

- *Io* Intensitat en l'eix d'emissió de la font
- I_M Intensitat amb el valor màxim -en qualsevol direcció-
- I_θ Intensitat per a una direcció específica segons l'angle θ
- *J* Intensitat de referència per a un flux de 1.000 lúmens

Segons si els diagrames estan realitzats pel flux corresponent a la font o per un flux de referència tindrem dos tipus: els diagrames nominals i els diagrames de referència. Generalment aquests últims es corresponen amb un flux de 1Klm (1000lm).

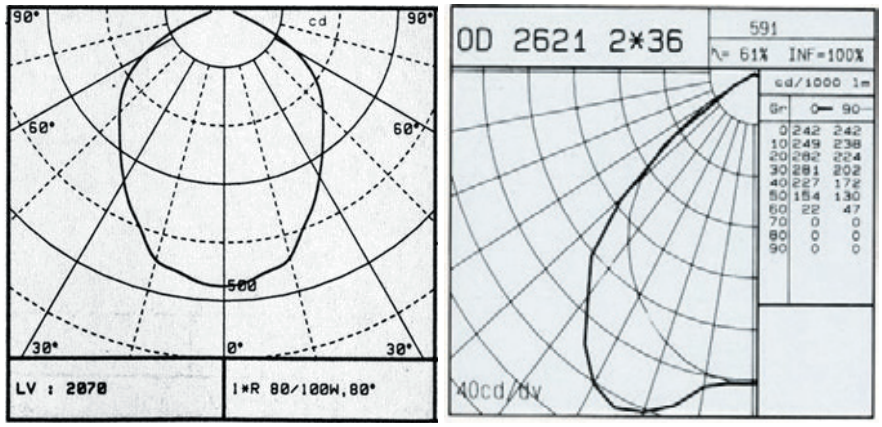


Fig. 4.1
Diagrama polar nominal. Gràfica de distribució d'intensitats I d'una fontamb Io = I_M = 480 cd, i on podem veure que per exemple I_{30} és ~ 330 cd.

Diagrama polar de referència .
Gràfica d'intensitats de referència: J en cd/1000 lm d'un projector simètric sense definir làmpada. L'escala queda definida per 40 cd/dv.

Il·luminància o nivell d'il·luminació és la relació entre el flux incident sobre un pla dividit pel valor de la seva superfície en m^2. També és la il·luminància produïda per la intensitat d'una candela en un punt situat a una distància d'1 m. Es representa pel símbol E, i la seva unitat és el lux, que és el valor dels lúmens per metre quadrat rebuts en una superfície: 1 lux = 1 lm / m^2

$$E = \Phi(lm) / S(m^2)$$

Normalment caldrà conèixer diferents valors d'E en un espai o superficie, així com la forma en què varien, segons gradacions escalars o exponencials.

Els contrastos d'Il·luminàncies es poden referir als màxims referents als mitjans.

Les Uniformitats es refereixen a àrees i l'Equilibri es refereix com a volumètric.

Luminància o brillantor (L ò B) és la intensitat lluminosa que rep l'ull humà procedent d'una font lluminosa o reflectida des d'una superfície. El seu símbol és L i la seva unitat és el nit en cd/m2.

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

$$L = I / S \text{ rebuda o emesa per una font o una superfície}$$

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

Es podria aplicar per a conèixer valors de:

- L directa, emesa des de la font fins a l'ull de l'observador
- L reflectida, en una superfície reflectora i emesa a l'ull
- L ambiental, com efecte global en l'espai

De vegades cal conèixer valors del Factor d'il·luminació.

F_i = L reflectant / L difusora $L = E \cdot F_i / \pi$ (en superfície no difusora)

Els valors màxims s'estudien per conèixer el grau d´enlluernament com a qualitat del sistema a l´enlluernament davant de possibles molèsties.

Es disposa del sistema C.I.E de les corbes de limitació (Söllner), actualment ja substituït pel sistema CIE UGR del CTE.

Els efectes es classifiquen en: molest, pertorbador i incapacitant, segons condicions sovint subjectives (vegeu 4.2, Càlculs de les brillantors).

4.3 Paràmetres visuals

El tercer grup d'aspectes a considerar en la percepció és el relacionat amb el subjecte observador. Des del punt de vista del disseny arquitectònic resulta complex tenir en consideració certs aspectes de caire psicològic, emocional o cultural durant la fase de disseny d'un espai.

La naturalesa de l'ull determinarà els aspectes fisiològics que són comuns a tots els observadors, a partir dels quals podem fixar relacions respecte la il·luminació i els materials. Aquells aspectes de naturalesa estrictament personal, no comuns estadísticament, acabaran afectant la percepció individual segons el tipus i/o estat psicològic propi de cada individu.

El color percebut de l'objecte és el resultat de la combinació del color de la llum, el color propi de l'objecte i el color dels altres paraments de l'ambient. El cromatisme ambiental seria el resultat cromàtic global com a tendència esperada.

Sabem que per a aconseguir una **òptima comoditat perceptiva** es necessiten un nivell suficient de il·luminació (E mín.), un nivell màxim de luminància (L màx.), i una coherent qualitat cromàtica de l'ambient. Això cal entendre-ho amb uns marges de variabilitat importants i depenent de molts factors o aspectes.

L'agudesa visual és la capacitat per discriminar els més petits detalls d'objectes molt propers. Depèn principalment del nivell d'il·luminació i pot variar en funció de múltiples factors lumínics, psicològics i fisiològics com la luminància ambiental, els colors, l'estat psíquic, l'edat, etc.

L'adaptació o capacitat de modificar el diàmetre de l'iris segons la luminància rebuda permet regular la intensitat de la resposta en funció de la magnitud de

l'estímul. L'Iris modifica el diàmetre de l'obertura ocular (pupil·la) en funció de la lluminositat (luminància).

L'**acomodació** és la capacitat d'ajustar automàticament la distancia focal quan es miren objectes situats a distàncies diferents. Mitjançant la variació de la curvatura del cristal·lí podem situar l'objecte observat directament sobre la retina.

La **sensibilitat als contrastos** o diferències entre il·luminàncies o luminàncies és la capacitat que permet establir les diferències perceptives dins el camp visual. La manca de contrastos, tant de la il·luminància com de la luminància, obliga l'individu a forçar l'agudesa de la visió.

El contrast d'il·luminàncies i de luminàncies és necessari per millorar la qualitat perceptiva, que millora amb l'augment de la il·luminació. D'altra banda, un excessiu contrast pot produir enlluernament, estat de la visió amb molèsties i dificultats.



Fig. 4.2
Figures amb diferent contrast de luminàncies respecte el seu fons.

El **contrast de luminàncies** entre dos objectes o superfícies (veure fig.4.2) ens dóna el valor del contrast relatiu (c) d'acord amb l'expressió C=L1-L2/L1, i la sensibilitat al contrast (Sc) és el valor invers de l'anterior d'acord amb l'expressió Sc = L1/L1-L2.

El **contrast d'il·luminàncies** ens dóna els graus d'uniformitat en l'enllumenat d'una superfície, que normalment es pren amb el valor G1 = Emín/Emitjà, tot i que resulta més còmode utilitzar l'expressió G2 = Emín/Emàx.

L'enlluernament és una condició de la visió que, com a conseqüència que les luminàncies d'àrees situades dins el camp visual superen determinats valors, produeix molèsties o es redueix la visibilitat, o ambdues coses.

Diem que l'enlluernament és **molest** quan produeix molèsties sense reduir implícitament la visibilitat ni la percepció dels objectes observats. És **pertorbador** quan es redueix parcialment la capacitat perceptiva, sense causar molèsties; i **incapacitant** quan queda anul·lada la capacitat perceptiva, temporalment o permanentment

L'ull necessita un temps d'adaptació en passar d'un espai a un altre amb valors de il·luminància diferents. Aquest temps varia segons si el canvi es fa d'un espai il·luminat a un espai fosc o al revés. L'adaptació es produeix més ràpidament de la foscor a la llum que al revés.

Fig. 4.3
Temps d'adaptació a la transició entre espais de diferents il·luminàncies.



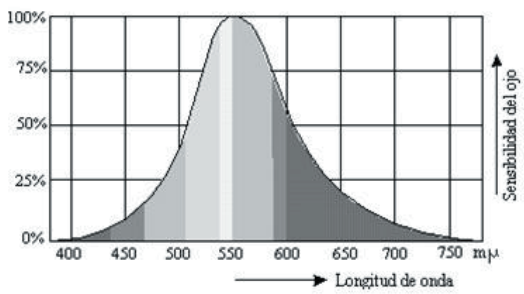
Aquest aspecte és molt important a l'hora de dissenyar espais de transició, on els canvis d'il·luminàncies es realitzen de forma gradual al llarg d'un recorregut temporal.

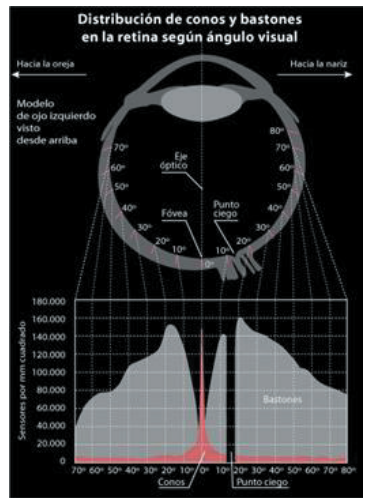
La **fotosensibilitat** és la capacitat de les cèl·lules receptores de l'ull de ser sensibles davant les radiacions lluminoses de l'espectre visible. Els cons són responsables de la visió dels colors durant el dia (visió fotòpica) i els bastons en la visió nocturna (visió escotòpica) en blanc i negre. La disposició dels cons i bastons en la superfície de la retina no és uniforme, els primers es concentren en un petit cercle al costat de la fòvea i els segons es reparteixen per tota la resta de la retina d'acord amb la figura 4.4b.

Fig. 4.4

a. Corba de sensibilitat espectral relativa de l'ull.

b. Distribució de les cèl·lules fotosensibles en la retina.





La sensibilitat de les cèl·lules receptores a les radiacions lluminoses de diferent longitud d'ona no és constant sinó que varia d'acord amb les corbes representades en la figura 4.3a, que té forma de campana de Gauss.

Cada longitud d'ona produeix una impressió de color en l'ull. Per acord internacional es prenen franges de 10nm per color, encara que no se'ls anomena. El color al qual l'ull és més sensible es correspon amb una longitud d'ona de 555nm (corresponent al groc verdós) o radiació de Langley.

4.4 Colorimetria i lleis bàsiques de fotometria

4.4.1 Colorimetria

El color

El concepte "color" es pot referir a diferents conceptes, com ara el color percebut d'un objecte, que és el color percebut instantàniament com a resultat de la interacció de diversos factors com:

– . Les característiques de l'objecte
– . Les característiques de l'entorn
– . Les característiques de la llum incident
– . La direcció de l'observador
– . La pròpia adaptació de l'observador

Taula 4.1
Factors que determinen el color percebut d'un objecte.

El color propi d'un objecte és el color de la llum reflectit o transmès per un objecte quan s'il·lumina amb una font de llum patró incident.

El color pur és la descripció de la llum en termes de quantitats de potència radiant de les diferents longituds d'ona de l'espectre visible.

La percepció dels colors és una capacitat específica de l'ull, discriminatòria i variable d'acord amb una escala de sensibilitats segons colors i luminància. Aquesta radiació lluminosa pot provenir d'una font lluminosa emissora (làmpada) o d'una superfície que reflecteix la llum que hi incideix.

Les qualitats de les substàncies absorbents de colors que configuren els materials modifiquen la composició espectral de la llum reflectida. Els materials tenen un color propi i característic i els sistemes de classificació de colors són pròxims als de la representació de paletes pictòriques.

El sistema Munsell o la taula de colors DIN, el sistema CIE o el sistema RGB ens permeten classificar els colors segons diferents paràmetres i obtenir paletes cromàtiques diverses.

El color segons la teoria Munsell

El sistema de color Munsell fou elaborat pel pintor i professor d'art Albert Henry Munsell en el seu llibre "*Atlas of the Munsell Color System*" en 1915.

Es basa en una disposició ordenada en un sòlid tridimensional format por tres eixos corresponents al "to" (la longitud d'onda dominant del color i la qualitat que el distingeix dels altres), al "valor" (claredat o foscor) i a la "saturació" (intensitat o puresa).

En la pràctica el sistema s'utilitza en la fabricació de pintures, que prenen les mostres publicades per l'autor com a punt de referencia.

El sistema Munsell considera 10 tons de color diferents amb 5 tons principals: vermell (R), groc (Y), verd (G), blau (B) i porpra (P), disposats en un cercle equidistants; i 5 tons entremitjos: Groc-vermell (YR), verd-groc (GY), blau-verd (BG), porpra-blau (PB), i vermell-porpra (RP).

La mescla dels colors adjacents forma una gamma d'intensitats diferents; per exemple barrejant el verd i el groc s'obté tota l'escala entre aquests dos i així amb tots els colors i en qualsevol posició. D'aquesta forma es defineix un cercle cromàtic com el de la figura 4.5b.

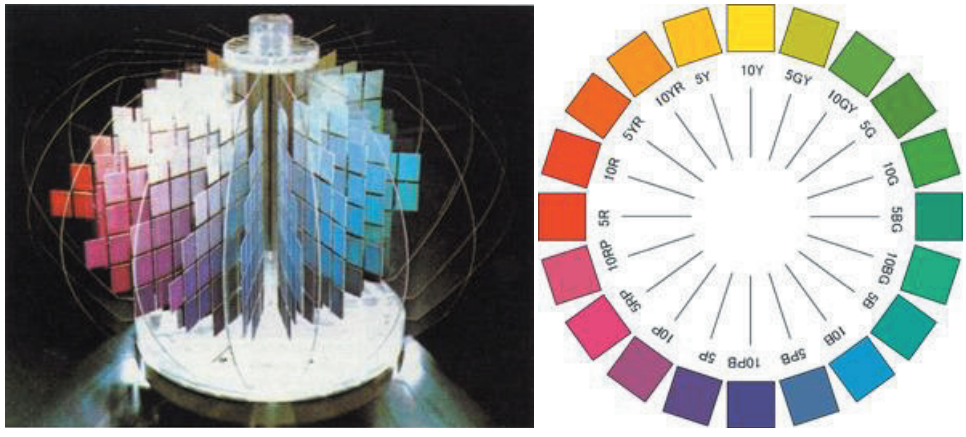


Fig. 4.5
a. Sólid de Munsell.

b. Cercle cromàtic de Munsell.

El to o matís és el que anomenen diferencialment "color", com vermell, verd, groc, etc. El terme "to" està tret de la terminologia musical i expressa major o menor intensitat, mentre que el terme "matis" es refereix a la seva qualitat diferencial amb els altres.

El blau, per exemple, sempre el distingirem del taronja per ser de matisos complementaris.

La brillantor o **valor** és la qualitat que té tot color per la qual es pot equiparar a la família dels grisos. El valor té una escala de 0 a 10 que va del negre pur al blanc pur. En aquest sentit el blau sempre serà més negre que el groc. I dintre del matís blau, un blau celeste estarà més pròxim al blanc i per tant amb més "brillantor".

El "valor" o "brillantor" depèn de la il·luminació de l'estímul, que perceptivament és relativa d'acord amb la sensibilitat espectral de l'ull humà.

La **saturació** o **intensitat** és la sensació de força o debilitat d'un color, o la seva major o menor participació del blanc. El blanc sempre serà un color menys saturat que el rosa. La intensitat depèn quasi sempre de la homogeneïtat de l'estímul**.**

Colors càlids i freds, lluminosos i foscos.

Els colors (a l'igual que la llum) també es poden agrupar segons els conceptes de càlid i fred. També des del punt de vista de la luminància es poden agrupar en colors lluminosos o foscos d'acord amb els gràfics següents:



Fig. 4.6
Colors segons la tonalitat i la lluminositat.

Els **colors freds** són el verd, el blau verdós, el blau i el violeta, i els **colors càlids** són el groc, el taronja, el vermell i el porpra. Els **colors lluminosos** són el verd blavós, el verd, el groc i el taronja, i els foscos el blau, el violeta, el porpra i el vermell.

La teoria tricromàtica de la CIE

En el sistema colorimètric de la CIE (*Comission Internationel de l'Eclariage*) no es classifiquen els colors no auto-lluminosos i colors de la llum en el marc d'un catàleg de pigments, sinó que ho fan segons la composició espectral del tipus de llum emesa per una font.

La representació es fa en l'anomenat "triangle tricromàtic" que conté els colors saturats en el perímetre, mentre que a l'interior del triangle es troba el

punt de saturació més baix anomenat punt blanc o acromàtic. Totes les categories de saturació d'un color es troben en la recta que uneix el punt anterior i el color totalment saturat situat el perímetre i les mescles possibles entre dos colors es troben en la recta que uneix els colors saturats mesclats.

En l'interior del triangle està representada la llum blanca en una línia anomenada "corba de Planck", corresponent als diferents colors d'una làmpada incandescent patró. Aquesta corba es subdivideix en colors blancs càlids per temperatures inferiors a 3300ºK, en blanc neutre entre 3300ºK i 5000ºK i en blanc fred per a temperatures superiors a 5000ºK.

El sistema CIE es basa en les pautes físiques de longitud d'ona, puresa d'excitació e intensitat lluminosa, que representen variables específiques i universals.

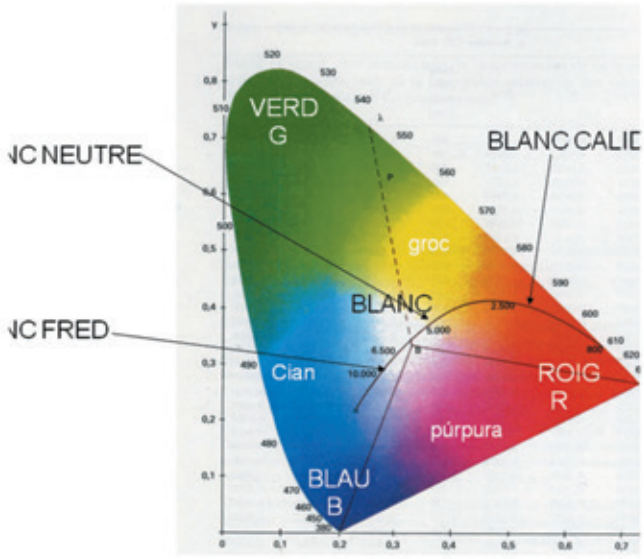


Fig. 4.7
Triangle tricromàtic de la CIE.

El sistema RGB

La descripció RGB (de l'anglès *Red, Green, Blue*; "vermell, verd, blau") d'un color fa referència a la composició del color en termes de la intensitat dels tres colors primaris amb què es forma: el vermell, el verd i el blau. És un sistema basat en la síntesi additiva, amb la qual és possible representar un color mitjançant la mescla per adició dels tres colors primaris.

El model RGB no defineix exactament el vermell, verd o blau, per la qual cosa els mateixos valors RGB poden mostrar colors notablement diferents segons els dispositius que usen aquest model de color.

Per a indicar la proporció de la mescla s'assigna un valor a cada un dels colors primaris, el valor 0 significa que no intervenen en la mescla i, a mida que el valor augmenta, s'entén que aporta més intensitat a la mescla.

De manera usual, la intensitat de cada un dels components es mesura segons una escala que va del 0 al 255 bits.



Fig. 4.8
Model additiu de colors RGB vermell-verd-blau.

La il·luminació amb leds utilitza aquest sistema per la producció de llums de colors, així el vermell s'obté amb una barreja RGB de valor (255,0,0), el verd amb (0,255,0) i el blau amb (0,0,255), de manera que en cada cas s'obté un color monocromàtic. L'absència de color o el color negre s'obté quan els tres components RGB tenen els valors següents: (0, 0, 0).

La combinació de dos colors a nivell 255 amb un tercer a nivell 0 dóna lloc a tres colors intermedis. D'aquesta forma el groc és una barreja RGB de valor (255, 255, 0), el cian (0, 255, 255) i el magenta (255, 0, 255).

Òbviament, el color blanc es forma amb els tres colors primaris al seu màxim nivell (255, 255, 255).

La psicologia dels colors

Psicològicament els colors produeixen diferents sensacions en les persones i de forma general tenen associats els següents trets:

Els colors càlids es consideren intimistes i sovint estimulants, alegres i fins i tot excitants, i els colors freds són tranquils, relaxants i en alguns casos depriments

El **groc** es relaciona amb **el sol** i significa llum radiant, alegria, estímul, poder, arrogància, alegria, bon humor, voluntat; se'l considera estimulant dels centres nerviosos.

El vermell està relacionat amb el foc i suggereix calor, excitació, passió, violència, activitat, impuls i acció; suggereix moviment i vitalitat.

El blau és el color del cel i l'aigua i és serenitat, infinitat, fredor, intel·ligència, veritat, saviesa, recolliment, espai, immortalitat, i també pau. Provoca calma i mesclat amb blanc forma un matís celeste que expressa puresa i fe.

El taronja, barreja de groc i vermell, té les qualitats d'ambdós i, en menor grau, significa entusiasme, ardor, incandescència, eufòria. Barrejat amb blanc constitueix un rosa carn que té una qualitat molt sensual.

El verd, color de l'herba, és fresc, tranquil i reconfortant, i significa repòs, esperança, primavera, joventut i suggereix aire lliure i frescor. Aquest color allibera l'esperit i equilibra les sensacions.

El violat és maduresa, i en un matís clar expressa delicadesa. Significa profunditat, misticisme, misteri, malenconia, i en la seva tonalitat porpra, reialesa, sumptuositat i dignitat.



Fig. 4.9
La utilització del color en una sala de radiodiagnòstic de l'hospital oncològic.

Aquests colors bàsics contenen una enorme varietat de matisos obtinguts per barreja entre ells i el blanc i el negre; cada una d'aquestes variacions participa del caràcter dels colors de que procedeixen, amb predomini d'aquell que intervé en major proporció.

Altres colors no primaris tenen els següents significats:

- El blanc és puresa i candor.
- El negre, tristesa i dol.
- El gris, resignació.
- El bru, maduresa.
- L'or, riquesa i opulència.
- El plata, noblesa i distinció.

Són molts els artistes que també han realitzats obres o instal·lacions lumíniques que exploren els aspectes psicològics relacionats amb el color de la llum i dels ambients. La instal·lació de Bruce Nauman *Green light corridor*, de 1970, o la proposta d'Olafur Eliasson "*room of one colour*" exploren la saturació dels receptors òptics especialitzats en el color groc.



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

4.4.2 Lleis bàsiques de fotometria

Llei del quadrat de la distància

Estableix que "La il·luminació en un punt de un pla perpendicular a la línia que uneix el punt i la font és igual a la intensitat lluminosa de la font en direcció al punt, dividida pel quadrat de la distància entre el punt i la font":

$$E = I / d^2$$

Quan la I = 1 cd i la d = 1 m, tindrem que E = 1 lux, d'on s'obté aquesta altra definició de lux:

Aquesta llei ens indica la importància que té la distància entre una font de llum i el punt o superfície a il·luminar.

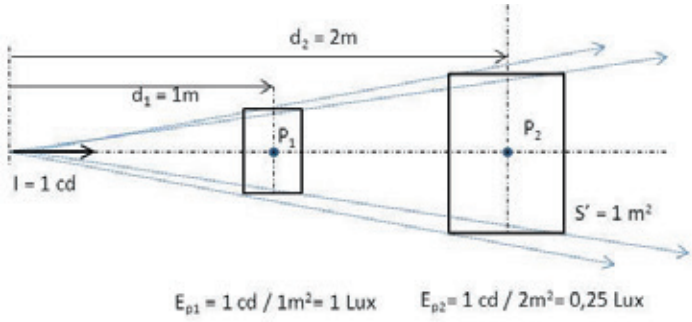


Fig. 4.11
Representacio gràfica de la llei del quadrat de la distància.

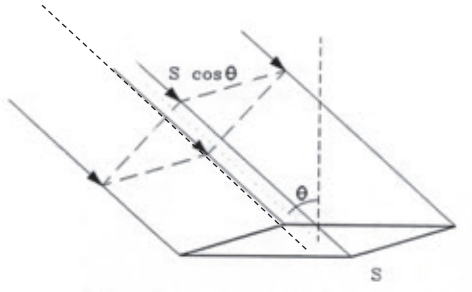
Llei del cosinus de l'angle d'incidència

En el que s'ha descrit en el paràgraf anterior s'ha suposat que la superfície il·luminada S és normal a la direcció dels feixos lluminosos. Ara bé, si la superfície és S´ i està inclinada en un angle θ, tal i com es veu a la figura, el flux es conserva l'interior del conus que limita la superfície il·luminada, i en aquest cas la il·luminació resultant és ara E' = Φ/S'

De la figura es desprèn clarament que: S' = S / cosθ, llavors E' = E · cosθ

Resultant que: $E = I\theta \cdot \cos\theta / d^2$

Fig. 4.12
Representacio gràfica del cosinus de l'angle d'incidència.



Llei de Lambert

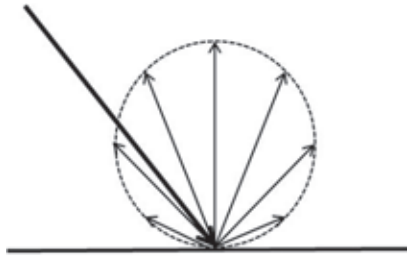
Quan aquesta direcció és perpendicular a la superfície lluminosa, i si aquesta superficie es plana, s'ha de prendre simplement l'àrea real per a la fòrmula de descripció de la luminància:

$$L = I / S$$

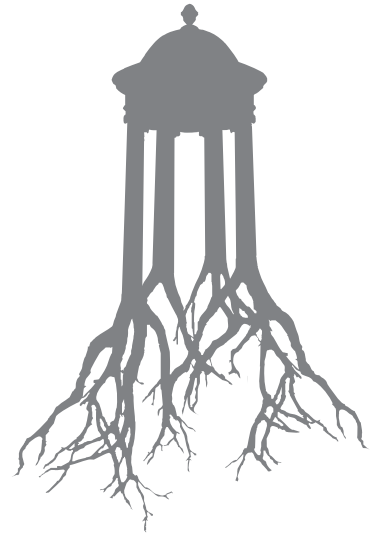
"Si una superfície té la mateixa luminància en totes direccions (cas de superfície perfectament difussora, vegeu figura 4.12.), la seva intensitat lluminosa en una direcció donada és igual a la intensitat lluminosa perpendicular al pla (I_o), multiplicada pel cosinus de l'angle format entre aquesta direcció i la normal al pla". Així, l'expresió matemàtica de la Llei de Lambert és:

$$I_\theta = L_\theta \cdot S \cdot \cos_\theta$$

Fig. 4.13
Representacio gràfica de la llei de Lambert.

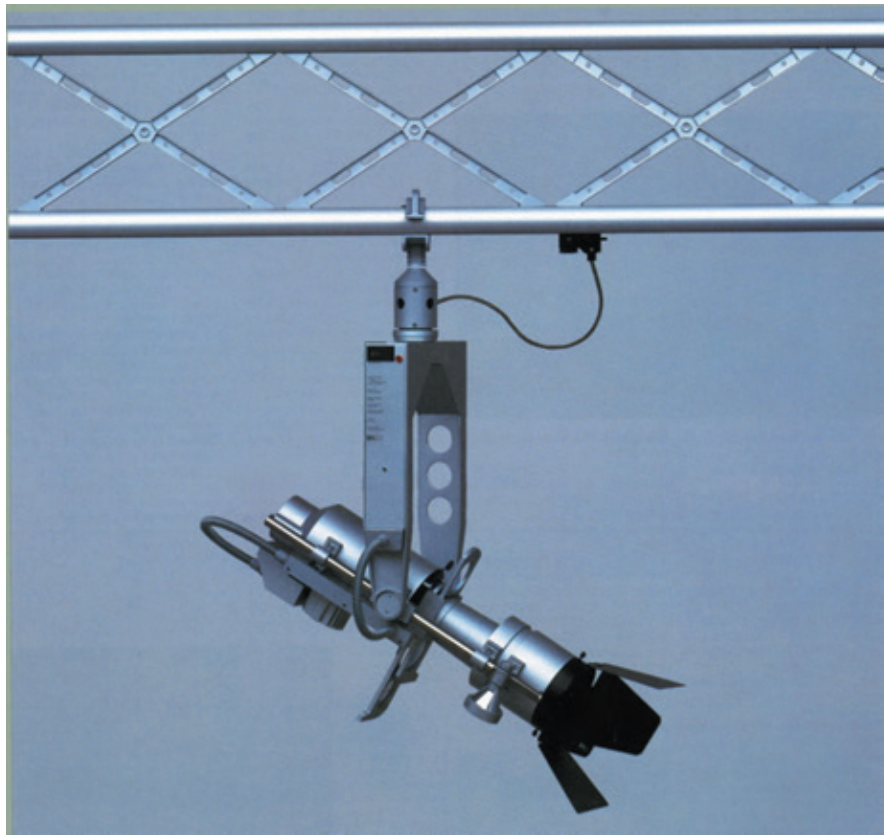


No hi ha fonts lluminoses que compleixin totalment la llei de Lambert, però aquestes fonts hipotètiques proporcionen bases molt útils per a arguments teòrics. Les fonts lluminoses d'aquest tipus es denominen fonts uniformement difusores.



→5

Els sistemes i les fonts d'enllumenat artificial



5.1 Generalitats, introducció i caracterització dels sistemes lumínics

Un sistema d'enllumenat es considera com el conjunt d'elements físics que permeten el funcionament d'uns emissors de llum cap a uns espais, superfícies o objectes, tant per als interiors de locals com per als àmbits exteriors. El sistema lumínic es projecta per a aconseguir els efectes lumínics plantejats gràficament d'acord amb les idees conceptuals proposades incialment.

La complexitat d'un sistema d'enllumenat dependrà en gran mida de les necessitats lumíniques, de l'espai, dels usuaris i de les possibilitats tècniques i econòmiques disponibles. Està format pels següents elements: les llumeneres equipades amb les làmpades i els seus equips i accessoris, les infraestructures mecànica i elèctrica, i els sistemes de regulació i control.

Existeixen sistemes lumínics extraordinàriament complexos amb gran quantitat, disposició i control dels seus elements, així com sistemes extraordinàriament simples amb un únic element.

5.2 Composició bàsica dels sistemes

En general podem considerar que un sistema d´enllumenat artificial està format pels elements següents:

5.2.1 Elements físics

Els elements físics són els objectes que hem de col·locar en l'espai, connectats entre ells elèctricament i que són:

Fonts lluminoses:	Llumeneres i làmpades
Infraestructura mecànica	Tots els elements físics mecànics necessaris per a la fixació, orientació I protecció
Infraestructura eléctrica i electrónica	Elements elèctrics i electrònics necessaris per al funcionament i control de sistemes
Controls	Com a subsistemes elèctrics i electrònics d'accionament i control. N'hi ha de menor a major complexitat: normals, compostos i programambles.

(vegeu 6.3, Controls de funcionament)

5.2.2 Elements estructurals i organitzatius

L'organització compositiva dels elements anteriors, especialment de les llumeneres, té molta importància en la percepció de l'espai i intervé en el disseny arquitectònic global.

- **Forma** amb les definicions sobre**:**
- **Disposició** a l'espai o manera d'ubicar-hi el sistema
- **Estructura compositiva** com relació formal entre el sistema i la forma de l'espai
- **Geometria** de les posicions, dimensions i alçàries, direccionalitats de la llum

(vegeu detalls al Capítol 9, Disseny de Sistemes*)*

5.3 Classificació dels sistemes lumínics per establir un lèxic comprensible i útil per al desenvolupament dels projectes d'il·luminació en l'Arquitectura

Es poden establir diferents classificacions dels sistemes d'enllumenat atenent a conceptes com la forma de distribució del flux i la seva direccionalitat, l'aparença del sistema, criteris de disseny, etc.

Les condicions i peculiaritats a considerar com específiques en els enllumenats d'exteriors i d'interiors fan que els sistemes siguin ja totalment diferents i requereixen també una classificació específica en cada cas. Però necessitem partir d'una base clara per a tots.

S'han donat diferents classificacions i definicions, i fins i tot s'ha arribat a anomenar els sistemes segons el tipus de làmpades emprades a l'interior de la llumenera. Així ens trobem qui parla de sistema de fluorescència sense saber distingir si són tubs dins plafons o làmpades compactes dins projectors; o sistemes d'halògens simplement perquè empren aquestes làmpades sense distingir si són de descàrrega amb halogenurs metàl·lics difusores o són fonts concentradores amb làmpades incandescents halògenes de molt petit tamany.

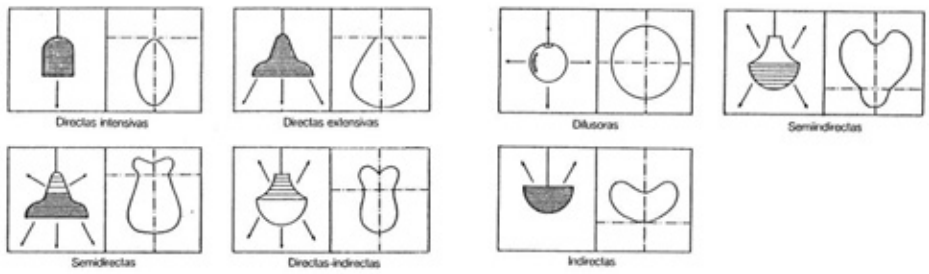
En l'actualitat el sector de la il·luminació per a l'arquitectura marca una clara divisió entre dos tipus de productes: els dirigits a una il·luminació de tipus "arquitectònic" caracteritzada per productes on predomina del disseny tècnic i qualitatiu dels efectes lumínics, amb implantacions encastades, adossades i/o en estructures; i els anomenats productes d'il·luminació "decorativa", caracteritzats pel predomini del disseny formal i dels efectes de l'objecte amb implantacions superposades, penjades i adossades.

A vegades la separació entre aquestes dues tipologies de producte es fa difícil i ambigua. Els productes "decoratius" els acostumen a definir per tenir una presència singular (de pocs elements) mentre que els "arquitectònics" els defineixen perquè es col·loquen de forma repetitiva (amb un gran nombre d'unitats) en l'espai.

La manera tradicional de classificar els sistemes d'interiors és la de *Segons la direccionalitat del flux lluminós* o forma de distribuir el flux de les fonts de llum,

o sigui en funció de la part de llum que la font envia directament cap als elements a il·luminar i la part que anirà cap a d'altres superfícies. Aquesta classificació coincideix amb la de *la Comissió International de l'Eclariage* que contempla els tipus següents: *Directa intensiva, Directa extensiva, Semidirecta*, *General difusa* (també anomenada Directa-Indirecta), *Difusora, Semiindirecta*, i *Indirecta*.

Fig. 5.1
Classificació de la CIE.



Aquesta classificació genera confusions en fer referència a la manera d'emetre la llum les llumeneres i no als propis sistemes, així com a classificar-los amb noms que expressen graus de direccionalitats, que pot ser una característica de les llumeneres però no dels sistemes. Per si de cas, però, les podem resumir en les **directes, indirectes i mixtes.**

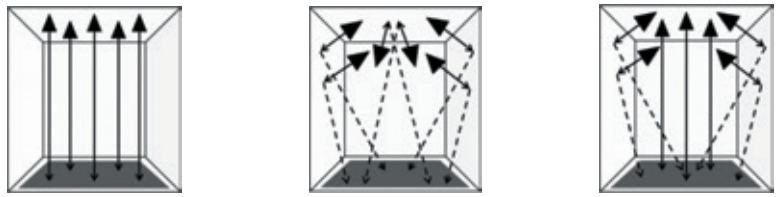
Tornant als sistemes i per simplificar conceptes, proposem una classificació genèrica i elemental que, tot definint els aspectes fonamentals dels sistemes, pugui englobar altres classificacions. La classificació se centrarà exclusivament en els sistemes lumínics constituïts amb productes de tipus "arquitectònic".

Els principals conceptes que determinaran les diferències entre els sistemes lumínics són la forma d'introduir el flux lluminós en l'ambient segons la **seva direccionalitat, segons la distribució** del flux en l'àmbit a il·luminar (sovint anomenat àmbit o pla de treball) i **segons la seva percepció visual** (dels elements del sistema lumínic).

5.3.1 Classificació dels sistemes lumínics segons la direccionalitat del flux lluminós

Considerant la globalitat del flux que surt del sistema lumínic (és a dir, de totes les llumeneres) i segons la direccionalitat i forma d'incidir sobre el pla de treball o una superfície concreta, tindrem la següent classificació:

Fig. 5.2
Classificació dels sistemes lumínics segons la direccionalitat.
Sistemes Directes
Sistemes Indirectes
Sistemes Mixtos



Sistemes directes

Són aquells en què el flux lluminós que surt de les llumeneres incideix directament i sense que s'hi interposi cap element entre elles i l'objecte, i per tant sense reflexions amb altres elements de l'espai, per la qual cosa dirigeix tota la llum sobre l'element a enllumenar.

Les seves principals característiques lumíniques són:

- És un sistema eficient i econòmic perquè no es perd energia per reflexió amb altres superfícies abans d'incidir en el pla de treball.
- S'aconsegueix fàcilment un elevat nivell d'il·luminació.
- Permet una modelització elevada de les figures perquè pot generar contrastos i projectar ombres.
- Donada la forta direccionalitat del flux, pot provocar enlluernament ambiental i/o puntual per contrast o per reflexió.
- La visió directa de les superfícies emissores de la llum i els paraments reflectors pot enlluernar per contrast (més important en els colors foscos o poc reflectants).



Fig. 5.3
Exemple de sistemes directes

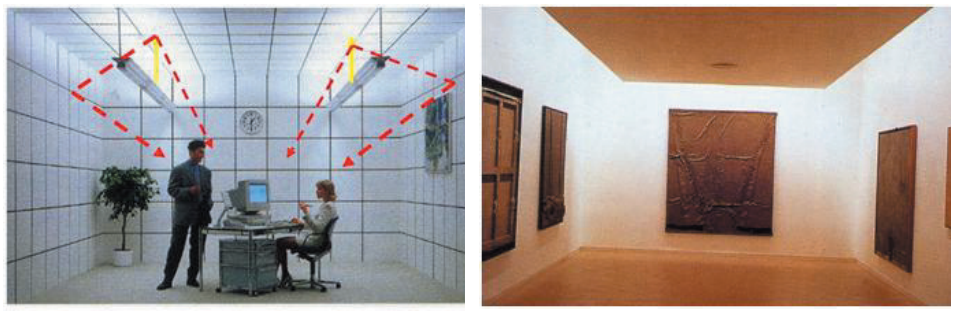
Sistemes indirectes

Quan el flux lluminós de les llumeneres es projecta cap a un determinant element o superfície que actua com a receptor, reflecteix la llum en direcció al pla o element a enllumenar, així com també cap a altres superfícies o elements, de vegades sense ser necessari.

En general els sistemes indirectes s'utilitzen per produir una il·luminació que expressi algun valor dels paraments reflectors o bé es desitja produir alguna sensació de globalitat lumínica (encara que no són els específics per a aconseguir-ho). És freqüent la il·luminació indirecta des del sostre tant perimetralment com centralment.

– Les principals característiques lumíniques són:
– No resulta econòmic per a necessitats de nivells d'il·luminació més elevats que amb els directes.
– El contrast que es pot produir entre els nivells de les superfícies reflectores (clares) i de les fosques pot produir enlluernament, així que la definició de les figures i objectes volumètrics resulta més dèbil.
– Redueix l'enlluernament directe però cal controlar el contrast de luminàncies a les superfícies reflectores i no reflectores.
– El color de les superfícies reflectores té una gran influència en el resultat cromàtic de la il·luminació de l'ambient.
– Emfasitza la definició espaial i volumètrica de l'espai.

Fig. 5.4
Exemples de sistemes indirectes.



Sistemes mixtos

En moltes ocasions la llum arriba al pla de treball de manera directa i indirecta alhora. Els sistemes d'il·luminació poden ser simples o molt complexos, però és molt habitual l'existència de sistemes mixtos que combinen il·luminacions directes i indirectes.

Les principals característiques lumíniques comparteixen els avantatges i els inconvenients d'ambdós sistemes.

Fig. 5.5
Exemples de sistemes mixtos.



5.3.2 Classificació dels sistemes lumínics segons la distribució del flux lluminós

Per clarificar conceptes, creiem convenient encetar una classificació genèrica o elemental que, definint els aspectes fonamentals dels sistemes, tant per a interiors com a per exteriors, pugui englobar d'altres classificacions. I la manera més eficaç d'anomenar-los és **segons la uniformitat lumínica produïda.** Sabem que quan la llum surt de les fonts i incideix sobre una superfície defineix uns nivells lumínics determinats. Llavors, la relació entre els diferents valors màxim, mínim i mitjà produïts defineix el concepte d'uniformitat lumínica.

I en relació amb aquest concepte podem parlar dels sistemes uniformes, dels sistemes localitzats i dels sistemes mixtos,

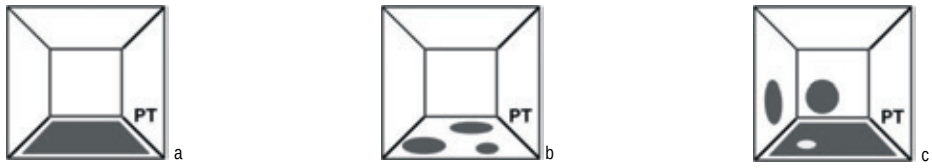


Fig. 5.6
Classificació de sistemes segons la distribució del flux lluminós en el pla a enllumenar.
a. Sistemes uniformes
b. Sistemes localitzats
c. Sistemes mixtos

Sistemes uniformes

També anomenats *per difusió.* La superfície o l'espai il·luminat (àrea o pla de treball, així com qualsevol altre parament encara que no sigui de treball) amb aquests sistemes presenta uns nivells d'il·luminació sensiblement iguals en tots els punts de la seva superfície. En general la uniformitat lumínica està condicionada per la conveniència d'uniformitat funcional dels espais (recordem que la uniformitat en tots els paraments i objectes de l'espai s'anomena "globalitat lumínica").

Les principals característiques lumíniques són:

- Tot el pla de treball o superfície específica té el mateix nivell d'il·luminació.
- La definició de les figures i objectes resulta més dèbil i imprecisa, sense gaire accent i poc detallada.
- La llum pot globalitzar l'espai sense provocar cap diferenciació.
- Permet una gran mobilitat dels llocs de treball o exposició en tot l'espai.
- L'enlluernament pot aparèixer per contrast cromàtic de les superfícies o per reflexions en materials altament reflectants.



Fig. 5.7
Exemple de sistema Uniforme.

Sistemes Localitzats

També anomenats *per projecció*. Emprats quan un espai no necessita ser enllumenat de manera uniforme, pel fet que existeixen unes zones concretes i localitzades que necessiten diferents valors o qualitats lumíniques, sinó establint diverses zones amb uns valors lumínics molt diferents. La il·luminació localitzada produeix uns graus d'uniformitat molt baixos i està associada al reforç o èmfasi d'un element o àrea concreta, que vol destacar-se gràcies al contrast lumínic dins l'espai.

Les principals característiques lumíniques són:

- Els nivells d'il·luminació varien considerablement en tot l'espai.
- La il·luminació accentua els elements i objectes de l'espai.
- La modelització de figures i objectes pot ser molt precisa**.**
- El contrast lumínic dins el camp visual és elevat, per la qual cosa es poden provocar enlluernaments per reflexió i contrast de luminàncies.
- La variabilitat lumínica afavoreix la distracció visual.

Cal tenir en compte que els colors dels materials de l'espai influiran en el contrast cromàtic, en el contrast de luminàncies i en la presència visual de la il·luminació.



Fig. 5.8
Exemple de sistema localitzat.

Sistemes mixtos

La complexitat actual d'usos i espais fa que sigui freqüent la presència de sistemes que combinen la il·luminació uniforme amb la localitzada. Les actuals tecnologies de regulació i control permeten una gran diversitat d'escenes lumíniques fins i tot des d'un únic sistema, cosa que permet donar resposta a necessitats variables i canviants de manera versàtil.

Les principals característiques lumíniques dels sistemes mixtos comparteixen els avantatges i els inconvenients d'ambdós sistemes.

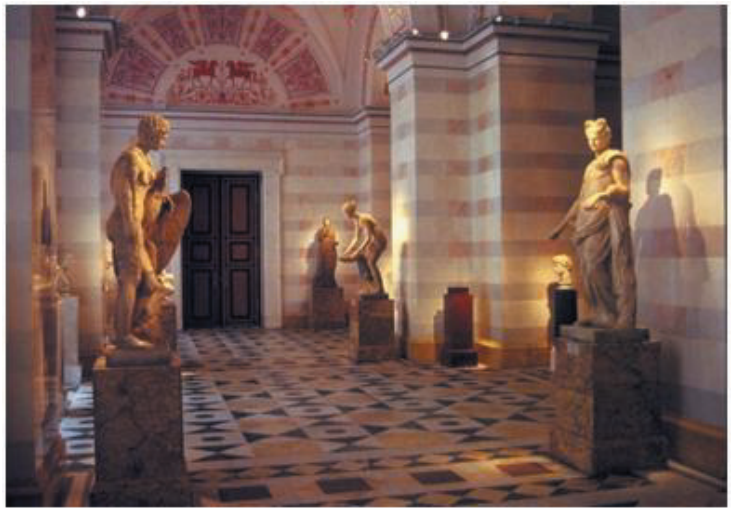


Fig. 5.9
Exemple de sistema mixt.

5.3.3 Classificació dels sistemes segons la seva percepció visual

En general els sistemes lumínics tenen una important presència visual en l'espai arquitectònic; per tant, és convenient analitzar-los en funció d'aquesta presència física així com de la visió de les seves superfícies emissores.

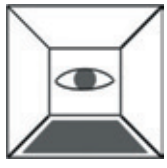
Les llumeneres (amb visió o no de la superfície emissora de llum) són els elements normalment visibles i principals del sistema, caracteritzats pels seus aspectes formals, dimensionals, cromàtics, estètics, etc.

L'estructura organitzativa de les llumeneres i la relació amb els aspectes definidors de l'espai hauran d'estar presents en la seva selecció des del primer moment del procés projectual.

Considerant la capacitat de ser vistos per l'observador, els sistemes es poden classificar en **visibles** i **no visibles**. En aquesta classificació només ens referirem a les llumeneres, tot i que també es podrien distingir, entre la percepció parcial dels diferents elements del sistema lumínic, les llumeneres, les estructures de suport, els cablejats, els equips auxiliars, etc.

Els sistemes no visibles poden ser-ho per trobar-se ocults o amagats entre elements de l'espai com sortints, cornises, cavitats, racons, etc., o afegits, bé per estar col·locats en llocs previstos inicialment en el disseny de l'espai, és a dir expressament, o integrats amb els elements que constitueixen l'espai com els murs, els sostres, els elements de mobiliari, els revestiments, etc. La classificació dels sistemes proposada pel professor Norbert Lechner estaria inclosa en la classificació dels sistemes no visibles que plantegem.

Fig. 5.10
Classificació dels sistemes segons la seva percepció visual.



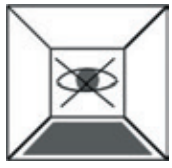
VISIBLE

Els sistemes lumínics (especialment les llumeneres), tenen una presència visual molt important en l'espai.

La seva estructura organitzativa, la composició, el ritme etc., tenen especial importància en la visió que hom té de l'espai i finalment en la seva definició global.

El seu propi llenguatge formal i el de l'espai es fan evidents i necessiten un plantejament que els relacioni.

L'accessibilitat al sistema és normalment fàcil per al manteniment i la reposició de les seves parts.



NO VISIBLE

El sistema lumínic no es fa perceptible visualment, predomina l'efecte de la llum en l'espai, en les seves superfícies i elements, que adquireixen un determinat paper de "llumeneres" reflectant la llum.

El color, la textura, la forma, en definitiva, l'espai definit per l'arquitectura són els principals elements que apareixen banyats per la llum procedent d'un sistema lumínic ocult.

OCULTS	L'ocultació implica la disposició d'espai per les llumeneres i la il·luminació indirecta del pla de treball o del parament. El protagonisme del llenguatge arquitectònic es potencia amb la llum.
INTEGRATS	Quan el sistema lumínic està col·locat de forma solidària amb elements constitutius de l'espai com sostres, murs, paviments, etc. Normalment formen part del projecte des de les primeres decisions formals. La seva posició és fixa i difícilment movible.

Fig. 5.11
Classificació dels sistemes *no visibles*.

Però no sempre es pren la decisió d'integrar els sistemes lumínics en el projecte arquitectònic sinó que també s'adopten d'altres formes de col·locació com adossats, suspesos o encastats de forma visible i aparent.

Els sistemes vistos adoptaran formes diverses atenent a la seva disposició espacial, així com pel fet d'estar formats per elements amb formes i característiques molt variables, donada l'extensa varietat de productes existents al mercat i la diversitat dels espais i usos de l'arquitectura actual.

Una classificació exhaustiva des d'aquest punt de vista resultaria impossible i a més seria molt limitadora, tot i que de forma conceptual seria possible agrupar-los considerant la relació que el sistema adopta vers l'espai contenidor.

5.4 Els sistemes especials i específics

També hi ha sistemes que compleixen missions molt específiques dins d'un projecte i d'altres que no s'inclouen en l'àmbit del disseny lumínic. Amb aquest qualificatiu genèricament acceptat des del caràcter tècnic ens referim a uns tipus determinats que tenen per missió emetre llum en circumstàncies de funcionament especials o per a la seguretat.

- Emergència
- Senyalització
- Reemplaçament
- Seguretat i vigilància
- Neteja
- Específics del projecte de l'edifici

Per últim, cal atendre a les qualitats d'expressió d'unes premisses bàsiques, com ara: **"tecnològic"**, generant sistemes i fonts de llum d'alta sofisticació i

qualitat tecnològica, o bé "de disseny", a l'emprar les fonts o les infraestructures com a objecte autònom prioritzant l'expressió formal.

Hi ha alguns especials tipificats com a tals com sostre estrellat, sostre lluminós, terra, paret o columna lluminosa, de línia continua, indirecte de perímetre, indirecte central, grans llumeneres espacials, etc. I també d'exteriors com globus sobre columna, pilones lluminoses, d'abalisament, etc.

5.5 Evolucions i característiques formals dels sistemes

Les fortes evolucions dels components dels sistemes i la sensibilitat social ha potenciat una evolució important dels sistemes del enllumenat artificial. Aquesta evolució es remunta a un període de temps molt pròxim i pràcticament podem considerar l'aparició dels sistemes lumínics amb el desenvolupament de la indústria luminotècnica produït a principis del segle XX.

El concepte de sistema, tal com l'entenem actualment, és molt recent i ha estat objecte d'estudi a partir de quan les fonts de llum i les lluminàries han assolit un nivell de qualitat molt elevat. Hem passat de sistemes amb pocs elements i control manual, a sistemes amb una gran complexitat d'elements i regulació informatitzada; i de sistemes que només oferien un servei lumínic, a sistemes que incorporen d'altres serveis com climatització, comunicació, detecció, seguretat, so, etc.

Quant a la relació dels sistemes lumínics amb l'espai, l'evolució ha estat encaminada a la realització de instal·lacions integrades en els elements definidors dels edificis o els espais exteriors. En efecte, els nous sistemes d'enllumenat estan formats per uns elements materials que units entre si defineixen una estructura física, amb formes i dimensions molt diverses, i que generalment incideixen fortament en la percepció que té l'usuari de l'espai.

La darrera evolució ha significat el pas dels sistemes exclusivament projectats per complir una missió funcional i que eren pocs i fàcilment definibles, a sistemes que poden entendre's en funció dels efectes produïts, i per tant amb moltes possibilitats de diversificació difícilment classificables.

Expressió formal

Si fem una consideració al respecte, entenent que l'estètica de l'espai és un conjunt fortament relacionat de formes, elements, colors, llum, etc., no podrem oblidar el paper que els propis sistemes d'enllumenat desenvolupen dins el conjunt.

Així, analitzant la relació formal i estètica dels sistemes amb l'espai en què són encabits, podem esmentar els següents conceptes segons la seva expressió: d´expressió formal, d'integració formal i d'ocultació formal.



Fig. 5.12
Sistema d'integració formal en bany amb mur de mirall.
Hotel Puerta America.
Disseny: Ron Arad.

.

5.6 Les fonts de llum (llumeneres i làmpades)

Les fonts de llum són els elements productors de llum, autònoms o dependents d'un subministrament d'energia, normalment electricitat, i amb possibles accessoris auxiliars per al funcionament i el control de l'emissió de llum.

La majoria de les fonts de llum estan compostes per la LLUMENERA i la o les LÀMPADES que incorpori. En el projecte luminotècnic, un cop decidit el sistema més adequat a l'espai, cal definir el tipus -encara que genèric-, de llumenera a incorporar i de les làmpades que contindran. Compositivament, es considera que la importància de la llumenera és prèvia a la selecció de les làmpades, tot i ser de vegades més important la decisió sobre la "bombeta" perquè afecta les qualitats lumíniques de la llum. Per la qual cosa cal explicitar primer els conceptes bàsics sobre les llumeneres i a continuació els de les làmpades.

5.7 Les llumeneres

5.7.1 Definició i composició

La llumenera és el producte de la indústria de la luminotècnia que permet la incorporació de la il·luminació artificial en els espais, ja siguin interiors o exteriors. Segons la EN 60598-1: 2008 és "*Un aparell que distribueix, filtra o transforma la llum emesa per una o més làmpades i que inclou, excepte les làmpades pròpiament dites, tots els components necessaris per a fixar i protegir-les i, on procedeixi, els circuits auxiliars, així com els medis necessaris per la connexió a la xarxa elèctrica d'alimentació*".

En general està formada pels següents elements: (1) l'evolvent externa (carcassa) que li dóna la seva imatge visual com a objecte. A l'interior de la carcassa se situen: les làmpades (5), els elements elèctrics i/o electrònics de funcionament i protecció (3) (equips), els elements òptics de reflexió de la llum cap a l'exterior d'aquesta (2) (òptiques) i els elements de protecció de les làmpades (4) i dels elements òptics i (difusors). Per a la seva col·locació sobre el suport la llumenera disposa d'elements de fixació, orientació i mobilitat (6).

Fig. 5.13
Elements d'una llumenera d'exterior .

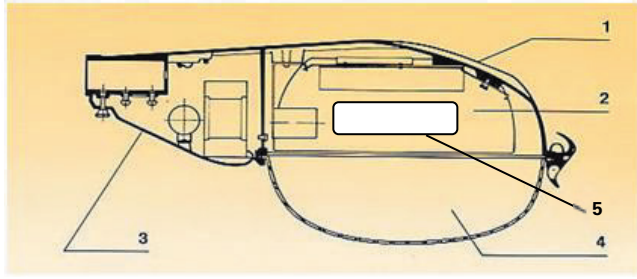
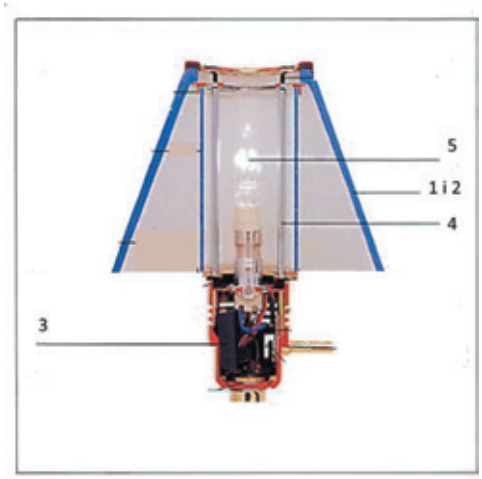
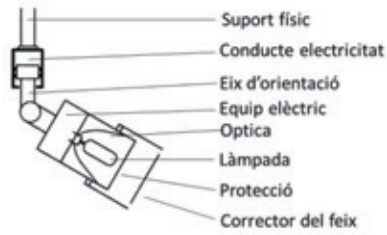


Fig. 5.14
Detalls d'una llumenera de sobretaula, interior.

Fig. 5.15
Croquis de llumenera d'interior, projector fixat a carril electrificat.

Fotografia d'un Projector UNO-100, STAFF amb IR 80º, 100 W, 230 V.





També cal atendre a unes característiques pròpies dels materials i prestacions dels aparells.

Per a les **carcasses,** els materials més emprats són els de xapa d'acer, xapa d'alumini, alumini extrussionat, fosa d'alumini, fosa de ferro, llautó polit o esmaltat, termoplàstics, etc. Han de poder ser tractats superficialment per millorar les seves prestacions a l'oxidació i facilitar el manteniment.

Els **difusors o correctors** *exteriors de l'emissió*: poden incorporar filtres de colors, d'UV, concentradors o difusors, lents de Fresnel, pantalles orientables exteriors, reixetes antienlluernaments, pantalles difusores, etc.

Els materials més emprats són el vidre normal, fos, tensat, termoplàstics, etc., i els metalls i plàstics per als accessoris antienlluernaments.

Les **òptiques,** com a superfícies interior reflectores i que poden dirigir el flux en la direcció desitjada, simètricament o no, concentrant-lo o dispersant-lo. S'utilitza l'alumini anoditzat llis o gravat i el de qualitat especular per a la màxima eficàcia, encara que també poden incorporar òptiques de xapa metàl·lica esmaltada en blanc.

Les **proteccions** per als cops, contactes elèctrics, pols, humitat, aigua, vandalisme, explosions o incendis, etc., normalment cuidant la resistència de la carcassa i del vidre que tanqui la zona de l'emissió amb juntes elàstiques i fixadors de pressió.

La nomenclatura emprada per definir els graus de protecció és amb les lletres IP seguides de tres xifres IP _ _ _. La primera per a la protecció de contactes elèctrics accidentals, la segona per a l'estanquitat a la pols i aigua, i la tercera per al vandalisme.

Els **sistemes de fixació i orientació** poden ser pinces, plaques de paret o de sostre, ròtules de fixació a braços, columnes, bàculs, cables suspensors, tubs rígids de suspensió, lires orientables, nimbus de graduació, punts fixos memoritzables, elements per encastar o fixar al cel ras, etc. Els materials emprats són l'acer, acer inoxidable, llautó, termoplàstics, alumini, etc.

Els **sistemes de connexió elèctrica i electrònica duen** la incorporació dels portalàmpades adequats, el cablejat, el possible equip d'alimentació amb el transformador, balast, condensador, regulador o programador amb bus de senyals, incorporats a la llumenera, etc.

I d'altres elements específics per a determinats tipus especials de llumeneres.

5.7.2 Característiques luminotècniques de les llumeneres

Rendiment òptic ηLB.

Amb notable importància per a l'aprofitament del flux que generen les làmpades al seu interior.

És el quocient entre el flux que realment surt del projector i el de la/les làmpades instal·lades.

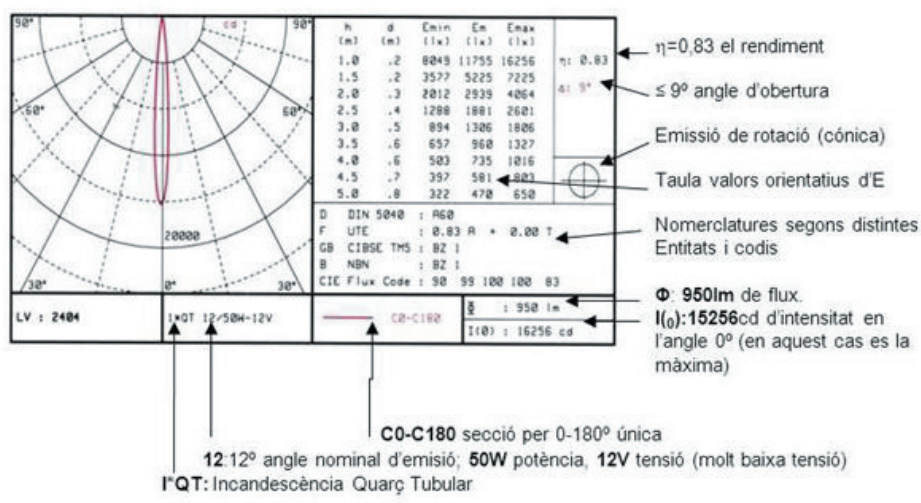
$$\eta LB = \frac{\Phi L}{\Phi l}$$

En el cas de contenir làmpades reflectores amb tota l'emissió projectada a l'exterior de la carcassa, el rendiment òbviament és 1. Tots els fabricants publiquen els rendiments de les seves llumeneres en els catàlegs tècnics.

Vegeu també a la taula de dades de la font de l'exemple, característiques tals com tipus de làmpada, diàmetre de la làmpada, l'angle nominal de projecció, el flux nominal, la intensitat en la direcció 0^0, el rendiment i l'angle real de projecció. El cercle encreuat significa el funcionament en qualsevol posició; la línia única amb l'expressió C0 - C180 expressa l'emissió simètrica i igual en els plans 0 i 180 -en graus sexagesimals-.

A CIE Flux Code es donen dades de IRC, emissió inferior/superior, rendiment, i altres.

Fig. 5.16
Dades de fabricant sobre una llumenera amb làmpada coneguda i explicacions.



Depreciació lluminosa CL

És el coeficient de pèrdua lluminosa de la llumenera segons el tipus, les qualitats pròpies dels reflectors i difusors i l'ambient on s'instal·laran.

TIPUS LLUMENERA	AMBIENTS BRUTS AMBIENTS NETS (pols, greix, o amb neteja precària)	AMBIENTS NETS (o amb neteja acurada)
Hermètiques	0,85	0,95
Tancades i amb filtres	0,8	0,90
Obertes i ventilades	0,70	0,75
Obertes normals	0,60	0,75

Taula 5.1
Taula de coeficients de depreciació de les llumeneres.

La depreciació és variable en funció del temps passat des de la instal·lació original i el manteniment que es faci i es pot expressar mitjançant les corbes de depreciació de cada cas.

Vegeu com amb neteja cada 3000h remunta la possible pèrdua de llum, però no arriba mai al 100%. El deteriorament de la làmpada dóna la corba límit de depreciació.

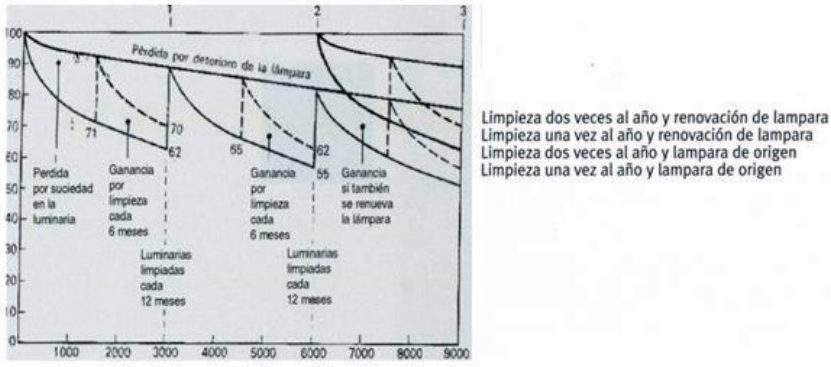
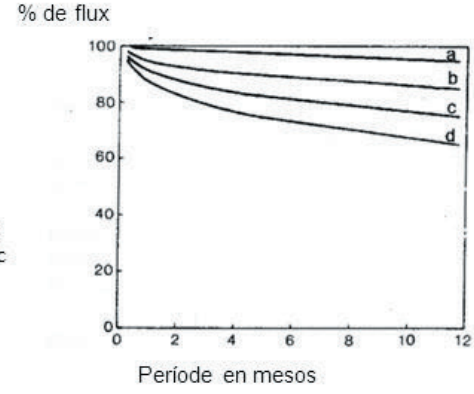


Fig. 5.17
Gràfica de depreciació de l'emissió llumenera i làmpada segons manteniment.



a. **Llumenera ventilada** amb conductes i ventilador d'extracció d'aire del local.
b. **Llumenera amb difusor obert** a l'aire el local.
c. **Llumenera no ventilada** sense circulació d'aire, natural ni mecànica.
d. **Llumenera d'enllumenat indirecta** en llocs integrats en elements constructius amb poc moviment d'aire (màxima depreciació).

Fig. 5.18
Gràfic de corbes de depreciació segons tipus de capacitat de dispersió tèrmica de la lluminària. Explicació dels conceptes.

Factor de manteniment, m

La composició dels dos coeficients, CI (de depreciació de la làmpada) i el CL de la llumenera ens dóna el factor de manteniment general de la font de llum (m), com a pèrdua d'emissió lumínica per l'envelliment i depreciació del conjunt de làmpada i llumenera.

La neteja i la substitució de les làmpades, combinades amb la de les llumeneres poden millorar els valors de depreciació.

$$m = CI \times CL$$

Factor de pèrdua de llum

És la relació entre la il·luminació prevista al projecte i la inicial obtinguda amb la instal·lació nova.

La prevista al projecte pot ser el valor mínim corresponent a després de netejar les làmpades o canviar-les, o bé el valor mitjà previst durant tota la seva vida o "il·luminació de servei". La inicial de la instal·lació nova sempre serà quelcom superior a la del projecte.

El valor nominal del flux que donen les làmpades de descàrrega i les fluorescents s'acostuma a prendre pel que donen a les 2000 hores de funcionament. D'aquesta manera ja s'inclou la pèrdua normal en el projecte.

Índex específic de luminància (SLI)

Les llumeneres tenen el seu propi valor per al control d'enlluernaments i és independent de la posició i alçada de muntatge.

És la característica indicativa del grau d'enlluernament que pot causar una llumenera i que la CIE va definir com: I limitat, II moderat, III intens.

En un altra convenció europea es varen definir uns altres valor de qualitats de les llumeneres: A, B, C, D, E, i la S, que significa sense possible enlluernament.

Les correspondències entre totes aquestes són les següents:

Taula 5.2
Correspondències entre valors de SLI entre sistema CIE i G.

	Qualitats internacionals	graus CIE	graus G
Súper	S		0,8
Molt alta	A	I	1,15
Alta	B	II	1,5
Mitjana	C		1,85
Baixa	D	III	2,2
Molt baixa	E		2,55

Encara que a cada país es van considerar lleugeres variants respecte a les equivalències i categories de les instal·lacions, el criteri d'Alemanya, vàlid per a Espanya, i per aplicació dels diagrames de Söllner (actualment no contemplat en la normativa de CTE), és el següent:

Graus CIE		Sistema alemany
. Qualitat I	Per a exigències molt elevades	B
. Qualitat II	Per a exigències mitjanes	D
. Qualitat III	Per a exigències baixes	E

Taula 5.3
Correspondències de valors de SLI entre CIE i Sistema alemany.

Control de l'emissió

Caldrà obtenir dades de la distribució d'intensitats, en funció de les diferents làmpades que s'hi puguin instal·lar, mitjançant les seves gràfiques, o bé intentant assimilar-les a corbes tipificades més semblants. També cal conèixer el percentatge de l'emissió inferior, els angles d'obertura de les directes i simètriques pels quals s'emet el 50% del flux total, o els angles per on s'emet el 90% del seu flux total (per al cas de làmpades amb reflector incorporat).

Denominació	Angle emissió
. Intensiva	0-30
. Semi intensiva	30-40
. Dispersora	40-50
. Semi intensiva	50-60
. Extensiva	60-70
. Hiper extensiva	70-90

Taula 5.4
Denominació de l'emissió lluminosa segons l'angle.

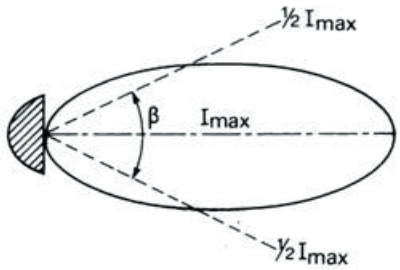


Fig. 5.19
Angle mitjà d'emissió del flux.

La resta del flux emès es dispersa amb angles més o menys oberts, però sense un control exacte ja que depèn de la qualitat geomètrica i material de l'òptica o de la propia làmpada.

També es poden definir segons la proporció de llum emesa cap a la part inferior o la superior del seu pla de muntatge, tant per entendre si pertanyen a tipus directa, indirecta o mixta (directa-indirecta) pel cas de les d'interior, com per si difonen part del flux cap a l'hemisferi superior, que està regulat per la llei de protecció de l'ambient naural.

Als catàlegs tècnics d'alguns productes es publiquen taules del **Diàmetre del cercle lluminós**, en funció de les distàncies **d,** i dins de l'angle de projecció mitjana, amb dades sobre les il·luminacions mitjanes, màximes i mínimes que es poden obtenir a aquella distància.

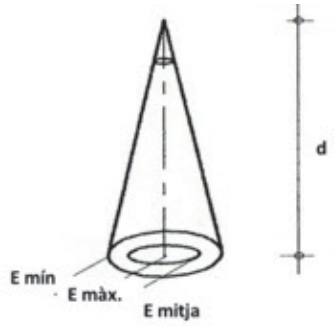


Fig. 5.20
Diàmetres del cercle iluminós amb els valors corresponent d'il·luminàncies màxima, mínima i mitjana.

$E = (E_M + E_m) / 2$
E: mitjana
E_M : màxima
E_m : mínima

Eix de l'emissió

És la línia central de l'angle sòlid determinat per les direccions per on s'emet com a mínim el 90% de la intensitat màxima d'una llumenera.

Divergència de l'emissió

És l'extensió angular en un pla que contingui els valors vectorials d'intensitats superiors a una fracció del seu màxim.

Normalment és del 50% a Europa, i als EUA del 10%.

Angles de projecció mitjana (o de concentració)

Per a les simètriques amb $\beta = 0$ és l'angle mesurat sobre la meitat de la intensitat màxima (a Europa).

Factor d'utilització, u

Al ser un paràmetre de càlcul de la il·luminància en un espai s'ha desenvolupat al Capítol 4, Càlculs bàsics.

L'eficàcia d'una font lluminosa -quocient entre el flux emès i la potència consumida-, característica evident del rendiment de una llum, té una traducció similar al parlar de lluminàries.

Es denomina factor d'utilització d'una lluminària, al quocient entre el flux útil -flux lluminós rebut per una de les cares de la superfície de referència-, i el flux emès per les làmpades.

Representa el percentatge del flux inicial emès per una llumenera que arriba a una superfície, i ja incorpora la reducció pel seu rendiment òptic, ηLB,

Els valors concrets els ha de donar el fabricant de la llumenera amb una taula que els relacioni amb l'índex del local i les reflectàncies dels paraments.

No s'ha de confondre aquest terme amb la utilància U.

El concepte d'utilància U

És similar però representa la relació entre el flux útil rebut per la superfície i un nominal emès per la llumenera per un valor de referència de 1.000 lúmens distint del flux real de servei quan aquest no es coneix, i sense l'aplicació del seu rendiment.

És el valor per a les fonts de les quals no es coneix el flux que emeten les làmpades i es considera que al no conèixer el factor d'utilització, s'ha de buscar a les taules –genèriques- d'utilàncies amb el tipus de llumenera amb emissió aproximada a la nostra.

(vegeu aquestes taules al capítol 5, Càlculs bàsics).

Si no tenim a disposició la taula de factors d'utilització i sí el valor del rendiment, o bé el podem suposar, emprarem les Utilàncies:

$$U = \Phi_u / \Phi_L$$

I com que les normes DIN 5035 i les UTE exigeixen la utilització de les utilàncies, al capítol de Càlculs s'adjunten les taules d'aquests valors que són els únics de genèrics existents.

Aquests conceptes tenen les relacions següents:

- Factor de utilització $= \Phi_{útil} / \Phi_{làmpada}$
- Factor de utilització = utilància x rendiment òptic.
- Rendiment òptic $= \Phi_{luminaria} / \Phi_{làmpada}$

Definició dels consums per llumenera equipada i regulada com a suma del consum de les làmpades i dels equips propis o externs.

(vegeu Capítol 6, Instal·lacions auxiliars i complementàries)

Limitacions de l'enlluernament com a qualitat contra visió de la font de llum, per la forma de l'òptica i la làmpada, els vidres o plàstics difusors i els protectors, reixetes o lames per al control de la sortida de la llum.

Els fabricants donen el grau de qualitat enfront a l'enlluernament de les seves llumeneres (per al càlcul vegeu UGR: Unified Glare Ratio, o Índex d'enlluernament unificat), tot plegat aplicable només en sistemes per a uniformitat ambiental, amb llumeneres difusores i per a locals de treball amb formes paral·lelipèdiques i per a il·luminar un pla de treball paral·lel al pla de muntatge (horitzontal) del sistema.

Existeix una tipologia de llumeneres pensades per a la il·luminació general d'àrees o superfícies, ja siguin horitzontals de treball o verticals com a paraments interiors i façanes.

Són llumeneres que cal preveure en els projectes d'arquitectura, que es col·loquen preferentment encastades o adossades al sostre, paret i terra, tot i que també poden penjar-se o col·locar-se en carrils electrificats o amb estructures.

No es tracta ja de peces úniques sinó de peces fabricades de forma industrialitzada en grans quantitats, que per repetició conformaran els sistemes d'il·luminació. La forma organitzativa d'aquestes sistemes serà objecte d'estudi en el capítol 9.

Ara simplement intentarem agrupar-les segons la forma de distribució del flux lumínic en l'espai, segons la forma de projecció del flux per la llumenera i per la forma en què es col·loquen.

Aquest grup són les anomenades inicialment "llumeneres industrials" i que en l'actualitat els fabricants de llumeneres anomenen "arquitecturals o "arquitectòniques", potser també erròniament.

5.7.3 El disseny de les llumeneres des de la funció

En el disseny de les llumeneres funcionals es prioritza el control de la llum emesa enfront de l'estètica formal de l'objecte, tot i que la qualitat material, la tecnològica i també l'estètica són avui dia paràmetres totalment integrats en la seva fabricació.

Generalment la seva col·locació està estretament relacionada amb els elements de l'arquitectura i s'han d'incorporar en el projecte arquitectònic per garantir uns nivells d'il·luminació mínims, necessaris per a l'adequada utilització funcional dels espais.

Sovint els fabricants les anomenen erròniament llumeneres "arquitectòniques", "d'àrees" o "d'integració arquitectònica", ja que el terme "integració" vol dir quelcom més que una simple definició o col·locació i en el llenguatge arquitectònic o compositiu té significats molt més complexos.

També els fabricants s'han especialitzat en un producte concret, dirigit a aplicacions funcionals segons usos específics de l'espai com: administratiu, comercials, museístic, teatral, oci, etc., difícil especialització ja que aquests espais no sempre es dissenyen amb tanta neutralitat i especificitat com ells creuen.

El cert és que el camp d'aplicació és tan divers com les tipologies possibles que l'arquitectura actual pot adoptar.

5.7.4 Criteris de classificació de les llumeneres des de la funció

Des del punt de vista de la il·luminació de l'espai podem agrupar les llumeneres funcionals d'acord amb els diferents criteris:

El primer és segons la direccionalitat dels flux lumínic vers l'àmbit a il·luminar, que conté els subgrups següents:

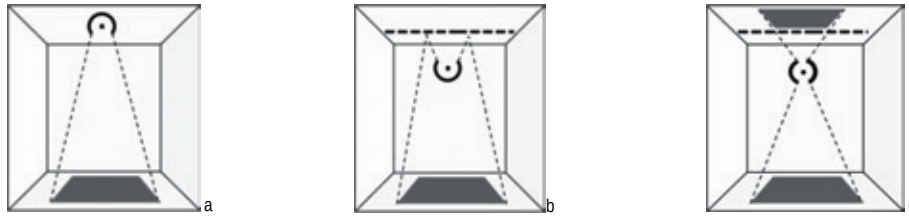


Fig. 5.21
Classificació de les llumeneres segons la direccionalitat del flux lumínic.
a. Projecció directa
b. Projecció indirecta
c. Projecció mixta

Observació. Els fabricants anomenen les de projecció mixta com "directa-indirecta"

El segon és segons la distribució del flux lumínic emès, que conté els subgrups següents:

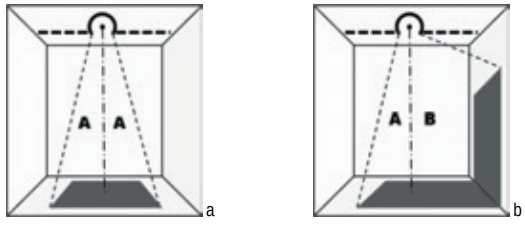


Fig. 5.22
Classificació de les llumeneres segons la distribució del flux emès.
a. Distribució simètrica
b. Distribució assimètrica

Observació: Sovint els fabricants anomenen les asimètriques com "banyadores", i freqüentment trobem "banyadores" que no banyen correctament el parament receptor. Alguns tenen la cura de distinguir-les.

El tercer és segons la forma bàsica de la superfície emissora de la llumenera.

Una preocupació exclusiva per la forma exterior ha marcat un llarg període, fins que la llum en si mateixa i amb les combinacions d'efectes en l'espai ha adquirit un valor estètic propi.

A qualsevol projecte s'hauran de seleccionar les llumeneres d´entre les existents a la indústria, o bé dissenyar-les per aconseguir el resultat lumínic i estètic previst.

En relació a la forma de la superfície per on emeten la llum, es classifiquen en:



Fig. 5.23
Classificació de les llumeneres segons la forma bàsica de la superfície emissora.
a. Puntual
b. Lineal
c. Superficial
d. Volumétrica

Normalment incorporen els accessoris per a la fixació al suport i poden ser preparades per encastar, penjar, orientar, etc. D'aquesta manera sovint es defineixen segons unes tipologies diferenciades entre les d'interior i d'exterior.

A partir del 2008 les llumeneres per a leds han pres una difusió comercial molt important, per la qual cosa cal atendre-les amb cura ja que es presenten com les del futur immediat, substitueixen l'àmplia majoria de fonts tradicionals i automàticament es modifica el concepte de superfície emissora, ja que en la pràctica són agrupacions de diversos punts de tamany molt inferior a les puntuals.

Com que les fonts leds són aparells electrònics amb unes condicions òptiques i unes necessitats físiques molt especials, s'ha considerat oportuna la inclusió de la seva tipologia específica.

Aquesta classificació de les llumeneres funcionals segons la forma bàsica de la seva superfície emissora també ens servirà per a la classificació dels sistemes lumínics segons la seva expressió formal i el tipus de llumenera utilitzat en la seva composició.

També és molt habitual que un mateix model de llumenera pugui adoptar diferents possibilitats de col·locació en l'espai (gràcies a les petites modificacions realitzades pel fabricant).

Seguidament posarem alguns exemples significatius d'aquestes llumeneres seguint les classificacions proposades. Generalment totes les llumeneres funcionals estan dissenyades per a col·locar-se en l'espai segons una determinada disposició (que generalment acostuma a ser fixa), amb diverses possibilitats com ara encastades, adossades, suspeses, amb estructures, de peu, integrades a elements i muntades a carrils.

5.7.5 Classificació de les llumeneres segons la direccionalitat del flux lumínic

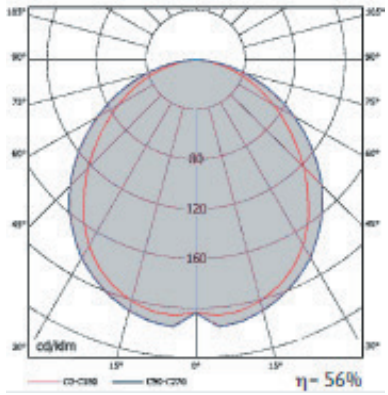
Llumeneres de projecció directa

Aquesta classificació correspon a aquelles llumeneres que estan dissenyades perquè el seu flux lumínic estigui dirigit, de forma directa, cap a l'àmbit a il·luminar. És a dir, no es produeixen interaccions amb cap element o superfície del flux que surt de la llumenera.

Una llumenera de projecció directa també es pot utilitzar per enllumenar un àmbit de forma indirecta, però cal dir que aquesta classificació proposada fa referència a la llumenera en si, i a l'aplicació bàsica per a la qual s'ha dissenyat originàriament.

Deixarem de banda d'altres possibilitats, que en qualsevol cas produirien d'altres efectes lumínics o formes d'enllumenar àrees, l'estudi de les quals correspon al capítol 6 i als sistemes lumínics en concret.

Totes les llumeneres de projecció directa tindran un diagrama d'intensitats concentrat en un determinat angle, generalment inferior a 180º i poden arribar a concentrar-se en angles molt petits de fins a 5º.



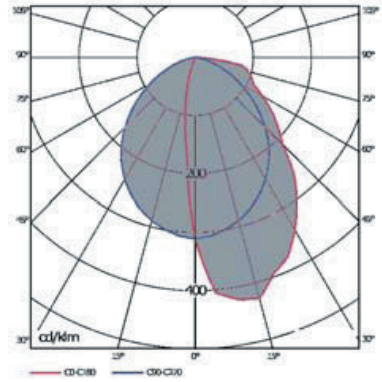


Fig. 5.24
Diagrames polars de llumeneres de projecció directa.

Alguns exemples de llumeneres que responen a aquest grup són la llumenera Oseris D'Erco (Fig. 5.42), dissenyada per l'enllumenat museístic i la llumenera Zylinder per a l'enllumenat d'àrees de forma directa.

Les principals empreses disposen de sèries de llumeneres fabricades per anar col·locades en carrils. La flexibilitat en el posicionament, juntament amb l'orientació variable de la llumenera, així com les diferents obertures del feix lluminós, fan que aquests sistemes siguin molt adequats per a aplicacions on la mobilitat dels punts a il·luminar sigui una característica bàsica. Galeries d'exposició, museus i centres comercials són espais adequats per a les llumeneres de projecció amb carrils.

Llumeneres de projecció indirecta

Es tracta de llumeneres que estan dissenyades per a la il·luminació d'àmbits de forma indirecta, és a dir, mitjançant la il·luminació d'una superfície, element o parament que actua com a reflector il·luminant alhora l'àmbit o l'espai.

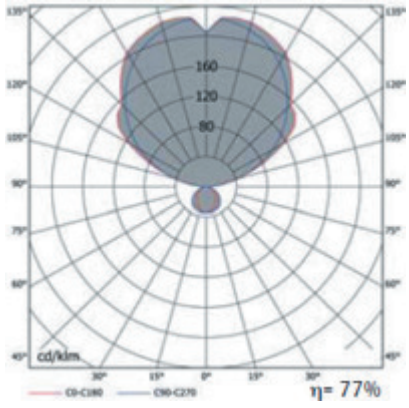


Fig. 5.25
Diagrama polar de llumenera indirecta.

Aquestes llumeneres poden col·locar-se de formes molt variades, tant suspeses en els sostres com adossades a parets o encastades al terra i al mobiliari. Sempre projectaran el flux lumínic sobre una superfície que el reflectirà sobre l'àmbit que es vol il·luminar.

Quan es col·loquen suspeses del sostre ho fan a una determinada distància, dirigint el flux superiorment, de manera que el sostre es converteix en la superfície emissora de llum. La llumenera sempre apareix visualment en "contrallum" respecte del sostre, la seva presència és molt aparent.

Per exemple, el producte d'Artemide Surf-System (Fig. 5.26) està format per una llumenera indirecta pensada per a l'enllumenat d'àrees de treball que poden adoptar diferents organitzacions.



Fig. 5.26
Model SURF SYSTEM.
Artemide.

Les llumeneres anomenades banyadores o "*Wall Washer*" estan dissenyades per a l'enllumenat directe i uniforme de parets des d'una col·locació preferent en el sostre. Ara bé, en la figura 5.27 tenim un exemple d'aplicació d'un model Wall Washer d'Erco per a l'enllumenat d'un passadís; es tracta d'una il·luminació indirecta.



Fig. 5.27
Llumenera model Wall Washer d'Erco.

Normalment són els paraments de l'espai com el sostre i les parets els que s'utilitzen com a reflectors per a la projecció del flux de les llumeneres indirectes. En ocasions també s'utilitzen elements reflectors especulars, miralls o superfícies òptiques.

Les llumeneres adossades de projecció indirecta són adequades per a l'enllumenat de sostres de sales de dimensiones no gaire amples, ja que és fàcil assolir un enllumenat superficial de tot el sostre des del perímetre o de les parets des del sostre. El disseny de les òptiques permet establir la interdistància entre elles i el grau d'uniformitat que es vol obtenir.

La llumenera Lingotto dissenyada per Renzo Piano, especialment quan va realitzar el projecte de rehabilitació de l'edifici de l'automobilística Fiat a Torí l'any 1982 per la firma Atemide, té una clara vocació d'enllumenat indirecte d'espais, amb un disseny formal molt tecnològic. També pot adoptar d'altres posicions com penjada o de peu o mòbil.



Fig. 5.28
Llumeneres model LINGOTTO.
Aplic de paret, de peu i de sostre.
IGuzzini & Renzo Piano.

Llumeneres de projecció mixtes

Quan una llumenera projecta alhora el seu flux lumínic directament sobre l'àmbit a il·luminar i contra una superfície, element o parament que, per reflexió, també il·lumina l'àmbit, aquestes llumeneres s'anomenen de projecció mixta: serà de component directe cap l'àmbit a il·luminar i directe sobre una superfície reflectora (indirecte sobre l'àmbit a il·luminar). Com s'ha esmentat a 5.9, aquestes són anomenades pels fabricants com "directa-indirecta".

Quan el sostre és l'element reflector no poden estar encastades sinó penjades, amb estructures pròpies o col·locades adossades a la paret, fins i tot poden estar de peu o damunt de les taules.

El seu diagrama polar d'intensitats es distribueix en l'hemisferi superior i l'inferior, amb valors variables. La norma DIN 5040 T2 de 1976 alemanya o la UTE C71-121 francesa classifiquen les llumeneres segons els percentatges de llum dirigida als dos hemisferis de l'espai.

La llumenera Esperit d'Artemide representa clarament aquesta voluntat d'enllumenar en els dos hemisferis de l'espai.

Fig. 5.29
Diagrames polars de llumenera directa-indirecta.

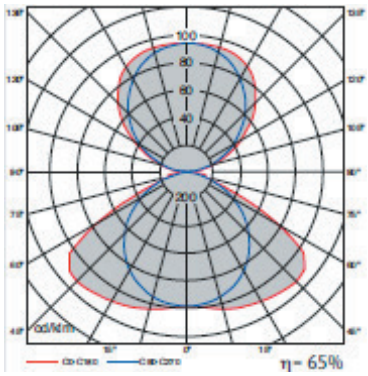
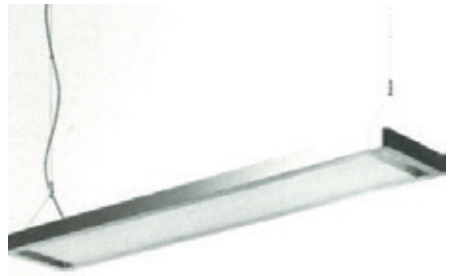


Fig. 5.30
Llumenera ESPRIT, Artemide.

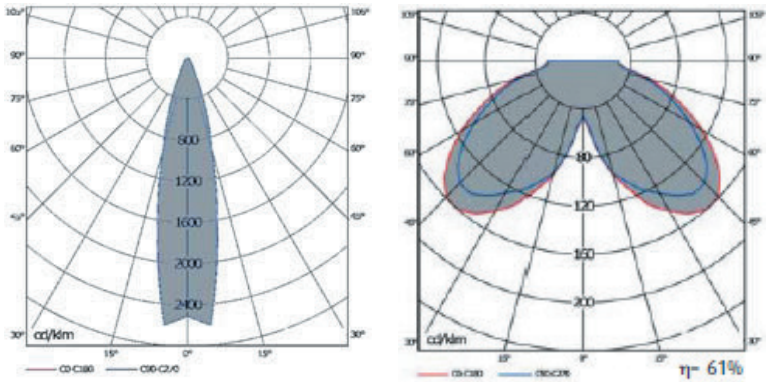


5.7.6 Classificació de les llumeneres segons la distribució del flux lumínic emés.

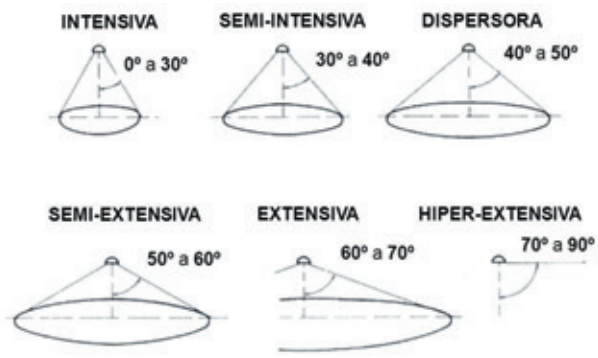
Llumeneres de distribució simètrica

Considerem que una llumenera de projecció és simètrica quan tot el flux lumínic que surt de la llumenera ho fa d'acord amb un diagrama polar de revolució respecte d'un eix de simetria. La majoria de llumeneres puntuals són de projecció simètrica.

Fig. 5.31
Diagrames polars de llumeneres directa i simètrica.



Les llumeneres de projecció anomenades "simètriques", és a dir, que la distribució d'intensitats és idèntica en qualsevol pla, també es classifiquen, segons l'angle d'obertura pel qual emet més del 50% del flux total, o els angles per on s'emet el 90% del seu flux total (per al cas de les làmpades amb reflector incorporat), de la següent forma:



Intensiva	0-30
Semiintensiva	30-40
Dispersora	40-50
Semiextensiva	50-60
Extensiva	60-70
Hiperextensiva	70-90

Fig. 5.32
Classificació de les llumeneres de projecció simètrica segons l'angle d'obertura.

Per a les llumeneres lineals equipades amb làmpades fluorescents lineals, la consideració de distribució simètrica té en compte el diagrama polar resultant del pla perpendicular a la làmpada 0-180; i el considerem simètric d'acord amb l'eix vertical. En aquestes llumeneres el control òptic i la distribució del flux lumínic es fa sempre atenent al pla perpendicular de les làmpades, no al longitudinal, encara que sempre s'usa la corba del longitudinal (90-270) com a expressió de la sortida de llum pels seus dos extrems.

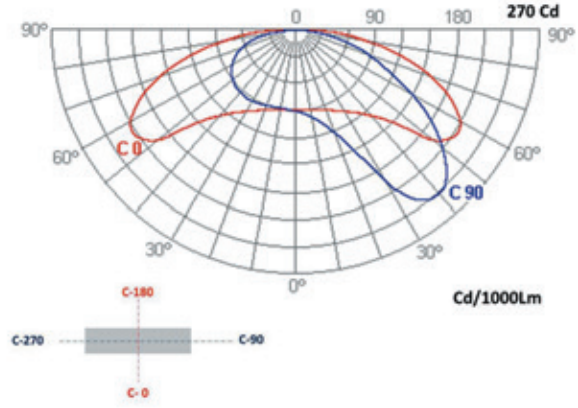


Fig. 5.33
Diagrames polars d'intensitats d'una llumenera amb indicació dels plans 0-180 i 90-270.

Normalment a les llumeneres simètriques l'eix de simetria dels diagrames polars coincideix amb l'eix 0-180º, és a dir, l'eix perpendicular a la llumenera (l'eix vertical, la majoria de vegades).



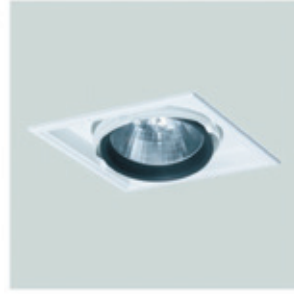


Fig. 5.34
Llumenera model OD-3658 QM Odel-lux.

Llumeneres de distribució asimètrica

Quan el flux lumínic es distribueix de forma no simètrica respecte l'eix perpendicular, el resultat és una llumenera de projecció no simètrica.

Un exemple són les llumeneres anomenades "Banyadores" o "Wall washer", que projecten el flux contra la paret de forma que aconsegueixen una il·luminació resultant bastant uniforme en el pla vertical.

Un altre cas són les llumeneres de vialitat, que projecten el flux lumínic segons dos eixos diferenciats, 0º-180º i 90º-270º, corresponents a l'eix longitudinal i a l'eix tranversal del carrer.

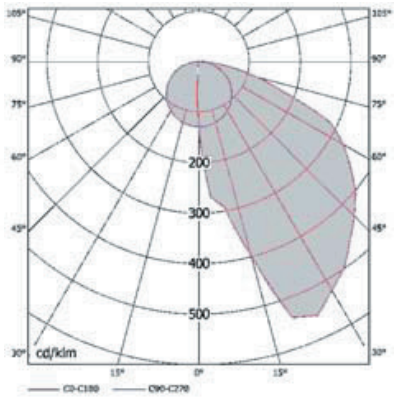




Fig. 5.35
Diagrama d'intensitats asimètric i vista de la llumenera.

A la foto inferior es pot veure un espai il·luminat amb una llumenera asimètrica model Wall Washer. Model OD-3931.



5.7.7 Classificació de les llumeneres segons la forma bàsica de la superfície emissora de la llumenera.

Les llumeneres puntuals

Són les que tenen una forma geomètrica regular com un cercle, un quadrat, un petit rectangle, etc., amb unes dimensions visibles molt reduïdes respecte l'espai (generalment inferiors a 30cm). Les principals diferències entre elles radiquen en els acabats emprats, en els angles de concentració del flux i en el tipus de làmpades que utilitzen.

La llumenera *Rastaf* d'Artemide (fig. 5.36) és un exemple de forma puntual, circular, per a una disposició encastada en fals sostre. Un altre exemple de llumenera puntual és la llumenera *Trion* d'Erco (fig. 5.36), per a una col·locació adossada a la paret i per a una il·luminació dirigida a l'hemisferi superior.

Un exemple de llumenera puntual per anar col·locada penjada del sostre és la *Berlino* d'iGuzzini (fig. 5.36), que disposa de diferents models de projecció directa i de projecció mixta. Quan les llumeneres estan col·locades en rails electrificats o en estructures, poden adoptar posicions diferents en l'espai, de manera que s'adapten més fàcilment a les necessites lumíniques gràcies a la flexibilitat i mobilitat que el suport els ofereix, com és el cas de la llumenera *Le Perroquet*(fig. 5.36).



a b c d

Fig. 5.36
Diferents llumeneres amb superfície emissora de forma puntual.
a. Model RASTAF Artemide.
b. Model BERLINO, Guzzini
c. Model TRION, Erco.
d. Model LE PERROQUET, IGuzzini.

Les llumeneres lineals

Són aquelles en què una de les dimensions és molt superior a l'altra (pot servir de referència una relació entre els costats visibles major de 5 a 1). Normalment estaran equipades amb làmpades lineals, tubs fluorescents, de neó o incandescents lineals, i també poden estar equipades amb leds i làmpades de xenó. Generalment es dissenyen per a l'enllumenat d'àmbits superficials i no d'elements puntuals.

Poden tenir una distribució simètrica o asimètrica. La llumenera LINEUP d'iGuzzini (fig. 5.37) és un exemple de llumeneres lineals per a una disposició encastada en fals sostre, amb diagrames polars simètric o asimètric. En la mateixa línia hi ha la llumenera de la sèrie Talo d'Artemide (fig. 5.37), amb opció de col·locació penjada del sostre i distribució del flux directe i indirecte, sempre amb diagrames polars simètrics. Amb l'opció de penjar del sostre o d'encastar-se, i

amb la possibilitat de realitzar línies de longituds especials, també tenim la llumenera de l'empresa Catalana Grup Lledó OD-2971/7 (fig. 5.37).



a b c

Fig. 5.37
Diferents llumeneres amb superfície emissora de forma lineal.
a. Model LINEUP iGuzzini.
b. Model TALO Artemide.
c. Model OD-2971/7 Lledó.

Les llumeneres superficials

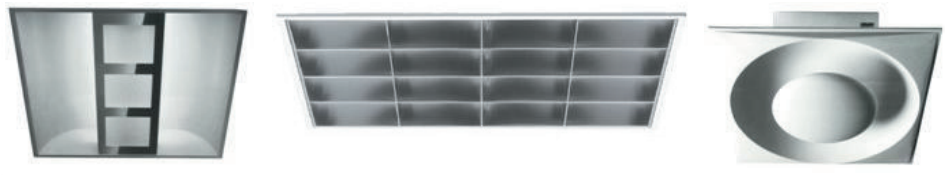
També tenen una forma geomètrica regular (cercle, quadrat, rectangle o paral·lepípede en general) amb unes dimensions visibles superiors a 30 cm. (pot servir de referència per les proporcions rectangulars inferiors de 3 a 1 entre els seus costats).

Quan l'àrea sobre la qual projecten el seu flux és àmplia i en conjunt l'àrea que cal il·luminar coincideix o s'aproxima a tota l'àrea del local, les llumeneres serveixen per a enllumenar àrees i no punts concrets.

Aquestes llumeneres són adequades per a espais de treball com oficines i aules, però també espais comercials i sales d'ús públic etc. Poden tenir formes circulars de diàmetres superiors a les concentradores, pel fet d'estar equipades amb làmpades de fluorescència o descàrrega, i també formes rectangulars o quadrades, sovint amb mides proporcionals als falsos sostres de plaques prefabricades.

La llumenera Bolero d'Artemide (fig. 5.38.a) és un exemple de llumenera superficial quadrada per a una disposició encastada en fals sostre. Sovint les dimensions s'ajusten a sistemes modulars i prefabricats de plaques de fals sostre. La llumenera del grup Lledó OD-3581 Plus (fig. 5.38.b) disposa de lamelles per al control del flux i la reducció de l'enlluernament i té unes dimensions rectangulars i una disposció encastada.

La llumenera Solar d'Artemide (fig. 5.38.c) és un exemple de llumenera superficial per a una disposició encastada i la superfície emissora de llum de forma circular .



a b c

Fig. 5.38
Diferents llumeneres amb superfície emissora de forma superficial.
a. Model BOLERO Artemide.
b. Model OD-3581 Plus Lledó.
c. Model SOLAR Artemide.

La llumenera OD-D6550 (fig. 5.39 a) està dissenyada per adoptar una disposició penjada del sostre amb una forma rectangular. També trobem llumeneres superficials amb col·locació de peu o de sobretaula, que estan associades a l'enllumenat de zones o àrees reduïdes. Són adequades per emfatitzar zones o posar accent lluminós en mobiliari i també per l'enllumenat de taules i zones de lectura. No és habitual utilitzar aquest tipus de llumeneres per enllumenar zones o àrees extenses com oficines, tot i que en alguns casos com despatxos reduïts és una possibilitat per a l'enllumenat de les taules de treball. També poden ser de projecció directa o mixta.



a b c

Fig. 5.39
Diferents llumeneres amb superfície emissora de forma superficial.

a. Model Y LIGHT Grup Lledó.

b. Model D-6550 Artemide.

c. Model CHOCOLAT iGuzzini.

Les llumeneres volumètriques

Són aquelles que emeten llum en totes direccions i apareixen en l'espai com a volums de llum clarament visibles.

En aquest apartat es podran incloure moltes de les llumeneres d'interiors analitzades en la primera part del capítol, així com moltes d'especials o dissenyades per a un espai concret. Preferentment adoptaran una disposició penjada del sostre o de peu i no podran estar encastades.

Les llumeneres proposades per Jordi Torres a l'Hotel Barceló de Màlaga són un exemple de llumeneres volumètriques.



Fig. 5.40
(Esq) Llumenera volumètrica. Hotel Barceló, Málaga. Sala d'actes,. (Dre.) Vestíbul. Jordi Torres.



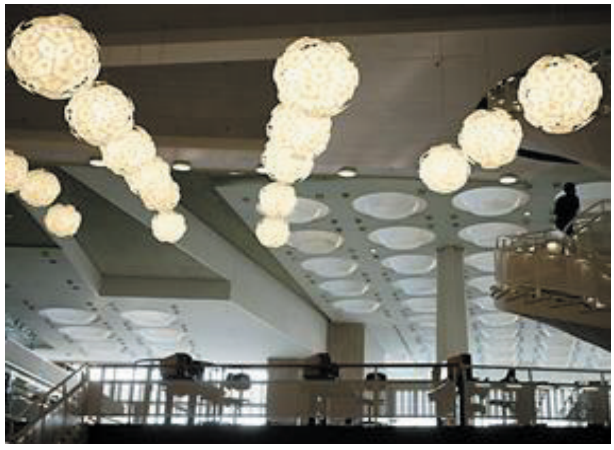


Fig. 5.41
(Esq.) Llumenera volumètrica Horn Floor, dissenyada per Ayala Serfati
(Dre.) Llumenera volumètrica a la Biblioteca de Berlín. Hans Scharoun, Arq.

També aquestes llumeneres col·locades a la Biblioteca de Berlín de Hans Scharoum serveixen d'exemple, com la llumenera *líquid* dissenyada per Harri Koskinene o la llumenera *Taraxacum* d'Achile Castiglioni i moltes més.

La llumenera *Horn Floor* dissenyada per Ayala Serfati és un altre cas de llumenera volumètrica, que està destinada a anar col·locada de peu a terra(fig. 5.40).

Com a resum d'aquest capítol cal indicar que resulta del tot impossible organitzar totes les llumeneres del mercat de la luminotècnica donada la seva enorme quantitat així com la constant aparició de nous models i propostes.

Aquesta classificació és un primer intent de posar una mica d'ordre en les classificacions o, més ben dit, "denominacions" actuals de les llumeneres per part dels fabricants, als quals animem a sumar esforços per aproximar-se a una proposta única i vàlida, que sens dubte ajudarà molt els estudiants, arquitectes, dissenyadors i professionals de la il·luminació a l'hora d'haver d'escollir-les per a l'elaboració dels seus projectes.

Grup	Subgrup		
SEGONS LA DIRECCIONALITAT DEL FLUX	Projecció directa		 Oseris d'Erco
	Projecció indirecta		 Lingotto
	Projecció mixta		 Esprit
SEGONS LA DISTRIBUCIO DEL FLUX	Distribució simètrica		 Le perruquet
	Distribució asimètrica		 Wall Washer

Fig. 5.42
Taula proposta de classificació de les llumeneres funcionals.

Fig. 5.43
Taula de classificació de les llumeneres segons la forma bàsica de la superfície emissora.



5.7.8 Les llumeneres de disseny d'autor

Arquitectes i dissenyadors han creat llumeneres desenvolupant treballs i experimentacions singulars que, per les seves característiques físiques i lumíniques, són difícils de classificar. Normalment segueixen corrents artístiques, arquitectòniques o estils personals amb els quals s'emmarquen els autors.

Més que llumeneres es tractarà d'objectes que incorporen la llum com a pretext, moltes considerades actualment obres d'art i la majoria el resultat de produccions limitades o úniques. La il·luminació de l'espai és un fet subsidiari i circumstancial, la percepció es concreta en la visió de l'objecte com si fos una obra d'art, fins i tot apagada.

La poètica, la metàfora, la crítica i la ironia seran alguns dels arguments utilitzats per al seu disseny i en poques ocasions la necessitat d'il·luminació de l'àmbit o espai a qual pertany. L'autor analitzarà l'obra com un element aliè a l'espai, apte per a posicionar-se en qualsevol lloc.

5.7.9 La forma de la llumenera com a llenguatge

Considerar les llumeneres com un objecte físic en què la forma és el principal objectiu del disseny serà un dels primers plantejaments. La utilització de materials i la seva composició definirà formalment l'objecte i la llum serà un element ocasional, casual i de segon ordre. Les llumeneres produïdes dins de *l'Art Nouveau* i *l'Art Déco*, tot coincidint amb l'aparició de la il·luminació elèctrica, en seran un clar exemple.

No obstant això, a partir dels experiments creatius de la Bauhaus es començarà a forjar una concepció moderna del disseny de les llumeneres que anirà íntimament lligada a la creació arquitectònica. Seguint la idea de "disseny total", els arquitectes que van iniciar el moviment modern a Europa i Amèrica dissenyaran les llumeneres seguint els mateixos criteris formals emprats en les seves obres, també aplicats al mobiliari i l'ornamentació interior.



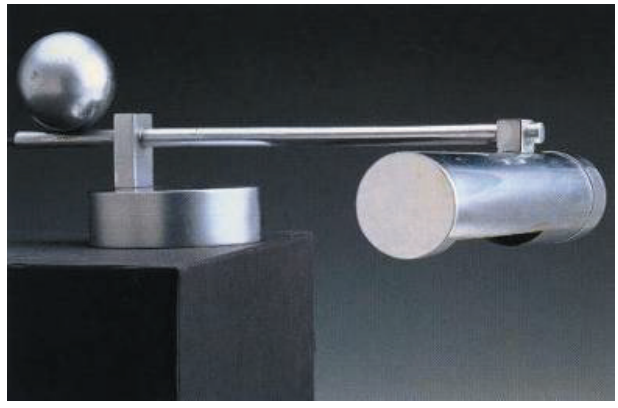


Fig. 5.44
Llumeneres amb llenguatge formal .

(Esq.) Llumenera de suspensió. 1922., Gerrit Rietveld.

(Dre.). Llumenera .1927, J.J.P. Oud.

5.7.10 La llumenera com a metàfora

La llumenera, tant com a objecte formal i com a productor de llum, permet utilitzar el discurs de la metàfora per definir les seves creacions; estaria relacionat amb les obres d'artistes conceptuals com Bruce Nauman**,** on la llum i el missatge són metàfores plàstiques d'una mateixa realitat.

En especial l'obra d'Ingo Maurer recull peces que es presten a aquest format conceptual i metafòric, obres com *Porca Miseria*, *Flamingo*, o *Wo bist du,… Edison?* Aquesta última es tracta d'una llumenera que utilitza hologrames per crear la imatge d'una bombeta estàndard d'Edison. És la metàfora de la llum que crea l'objecte que la produeix, un homenatge a Edison com a creador de la primera làmpada elèctrica realitzat per la mateixa llum, des d'una abstracció conceptual.



Fig. 5.45
Llumeneres com a metàfora.

(Esq.) Wo bist du Edison? 1997, Ingo Maurer.

(Dre.) Light shade shade 1999.

5.7.11 Les llumeneres d'autor segons la il·luminació de l'espai

Sens dubte, totes les llumeneres produeixen una determinada il·luminació de l'espai, en canvi no és habitual intentar classificar les llumeneres d'autor segons aquesta. Considerant els dos aspectes següents, la forma de distribució del flux lumínic en l'espai i els materials emprats atenent a la seva afectació respecte al color de llum de les làmpades, tindrem la classificació de la taula inferior.

CLASSIFICACIÓ DE LES LLUMENERES SEGONS LA IL·LUMINACIÓ DE L'ESPAI

Grup	**Subgrup**
Difusió Translúcida	Envolvent translúcida de vidre sense decorar Envolvent translúcida de vidre decorat Envolvent translúcida de materials orgànics Envolvent translúcida de materials sintètics
Difusió controlada per formes òptiques	
De projecció directa	Projecció en l'espai Projecció en una àrea concreta
De projecció directa a reflectors	A reflectors fixos A reflectors mòbils
De projecció d'ombres i colors	

La difusió translúcida

Consisteix a interposar una superfície evolvent que permet ocultar la visió de la làmpada i difuminar el flux lumínic en tot l'espai; com si es tractés d'un amplificador superficial de les fonts. La superfície envoltant té un tamany major que la làmpada i un grau de transparència no gaire elevat, fet que redueix la luminància de la llumenera i per tant l'enlluernament que provoca.

Les llumeneres de difusió translúcida s'agrupen segons el tractament de l'envoltant en: **Llumeneres d'embolcall de vidre translúcid sense decorar** i **Llumeneres d'embolcall de vidre translúcid decorat.** És important aquesta distinció pel que representa en la il·luminació ambiental i la percepció visual: la presència de colors transforma les tonalitats cromàtiques pròpies de la llum elèctrica incandescent i condiciona la percepció cromàtica resultant dels materials i de l'espai.

Llumeneres d'embolcalls de vidre translúcid sense decorar

De la mateixa forma que les "*camises de gas*" van millorar la lluminositat i van reduir la molèstia de la visió directa de la flama, les pantalles translúcides milloraran la llum produïda per les primeres bombetes incandescents. Els vidres, tractats de forma diversa (gravat, opalí, sorrejat, vaselina, etc.) i materials com la porcellana, la ceràmica, l'alabastre o el marbre permeten controlar els efectes lumínics plantejats.

Són llumeneres de qualitats altament decoratives, tot i que d'escassa preocupació pel control de la llum produïda. Adoptaran formes diverses i múltiples posicions de col·locació en l'espai com de sobretaula, de sostre, de peu o aplics murals (classificació que continua fins avui dia, essent vàlida per a la seva identificació comercial).



a



b



c

Fig. 5.47
Llumeneres d'embolcalls de vidre translúcid sense decorar.

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

b. Llumenera Cestello, fusta de cierre i pantalla opal blanca. 1964, Miguel Milà.

c. Llumenera Tara-xacum, vidre trasnlúcid. 1988, Achille Castiglioni.

Des del punt de vista de la il·luminació produïda en l'espai, les llumeneres de difusió amb vidre translúcid, no modifiquen el color de la llum produïda per la bombeta (generalment incandescència color càlid 1800-2100ºK, encara que últimament també bombetes de fluorescència compacta).

La difusió de la llum es produeix mitjançant el fenomen de la "transmissió" a través del material utilitzat, i depèn de la forma de l'embolcall que generalment serà puntual, cilíndric i/o lineal.

El tamany no és gaire gran a causa del tamany reduït de la pròpia bombeta, tot i que la combinació de múltiples pantalles pot donar exemples d'un gran tamany

Llumeneres d'embolcall de vidre translúcid decorat

La decoració de les envoltants de vidre farà que la il·luminació de l'espai es vegi modificada pel cromatisme de les pantalles, que actuaran com a filtre de color variant el color de la llum emesa per la làmpada, que impregnarà definitivament l'espai.

L'aspecte ornamental de les llumeneres d'interior farà que la visió de la llumenera tingui un component perceptiu predominant sobre la il·luminació de l'espai. No serà fins als anys seixanta que els efectes lumínics començaran a predominar sobre la imatge física de la llumenera.

Les diferents tècniques de tractaments decoratius, els materials utilitzats, les làmpades, juntament amb les formes i temàtiques decoratives seran els aspectes que diferenciaran aquest tipus de llumeneres.

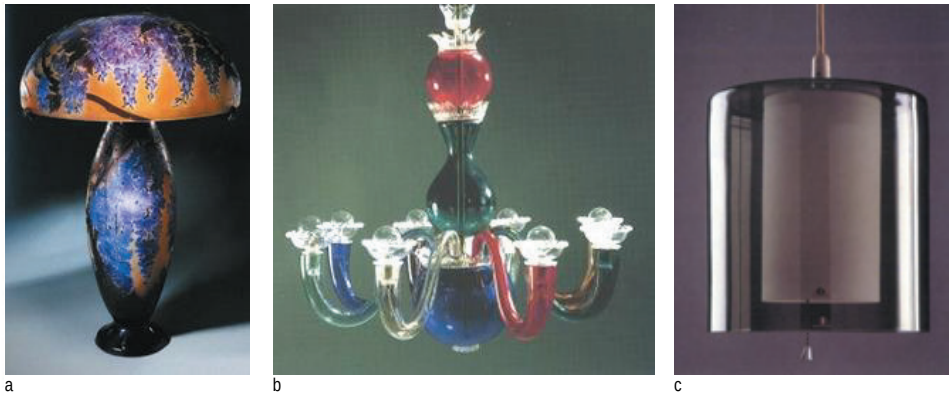


Fig. 5.48
Llumeneres d'embolcalls de vidre translúcid decorat.

a. Llumenera Wisteria,.1920, Émile Gallé.b. Llumenera de sostre. 1946, Gio Ponti.

c. Llumenera Model nº66-051.1961, Tapio Wirkkala.

a b c

Llumeneres d'embolcall de materials orgànics

Mentre que *l'Art Nouveau* i *l'Art Déco* van explorar les possibilitats creatives dels metalls nobles, el vidre i els marbres translúcids, els moviments posteriors van inaugurar l'avantguarda amb el trencament amb els conceptes artístics anteriors. Els moviments posteriors experimentaran la utilització de nous

materials per incorporar-los al disseny de llumeneres, amb les possibilitats formals i lumíniques que això representarà.

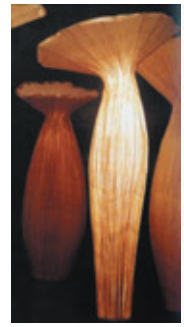
La utilització de materials naturals com el paper i la fusta en les pantalles de llumeneres marcarà l'inici de la nova experimentació, que no sols afectarà els materials utilitzats en la construcció de llumeneres, sinó també aspectes de funcionalitat, de versatilitat, de producció i seriació.



a



b



c

Fig. 5.49
Llumeneres d'embolcalls de materials orgànics.
a. Llumenera de sobretaula Bambú. 1995. Fernando i Humberto Campana.
b. Llumenera de suspensió. 1954, José Antonio Coderch.
c. Llumenera Morning Glory. 1994, Ayala Sarfaty.

Llumeneres d'embolcall de materials sintètics

Durant el període de la segona postguerra, l'experimentació amb nous materials es potenciarà i traslladarà al camp del disseny, especialment a les llumeneres. S'introduiran materials nous com els plàstics i els seus derivats per a substituir les pantalles de materials tradicionals com el vidre, alabastre, ceràmica etc.

L'experimentació amb nous materials s'iniciarà amb l'interès especial mostrat pel moviment Constructivista i la Bauhaus, que utilitzaran l'alumini, l'acer, els plàstics i els seus derivats per a la fabricació de llumeneres. Als anys 60, amb el *Pop Art* nord-americà, el *Minimal Art* i *l'Arte Povera,* els seus principals representants exploraran les possibilitats estètiques dels nous materials. La indústria evolucionarà cap a la seriació i producció mecànica, mentre que els anys de la depressió accentuaran la preocupació per la reducció de costos i simplificació dels processos de fabricació.



a



b



c

Fig. 5.50
Llumeneres d'embolcalls de materials sintètics.
a. Llumeneres de la sèrie Brezza. 2000, Andrea Anastasio.
b. Llumenera Tara-xacum. 1960, Achille & Pier Giacomo Castiglione.
c. Llumenera Styrene. 2002, Paul Cocksedge.

Llumeneres de difusió controlada per formes òptiques

La difusió controlada distribueix el flux de la làmpada utilitzant els fenòmens de la reflexió superficial, en ocasions combinada amb una transmissió parcial de la llum a l'espai de forma no controlada o directa evitant en la majoria dels casos la visió directa de la làmpada i l'enlluernament. En aquest cas el comportament lumínic del material i les possibilitats de donar-li formes complexes seran els factors que determinaran la seva elecció.

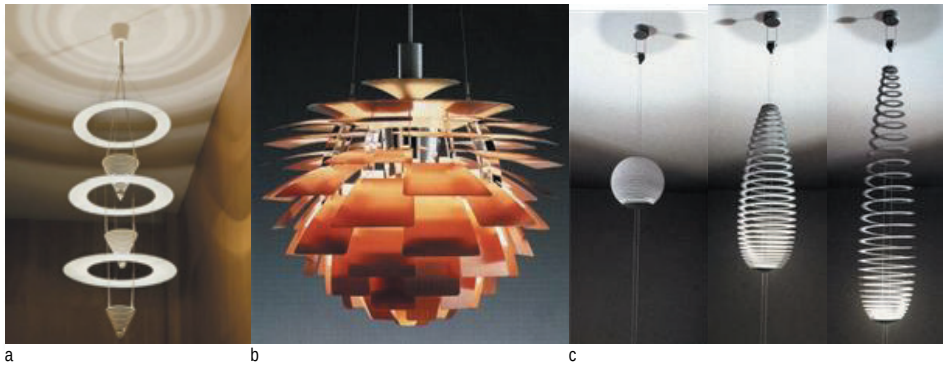
El tamany de l'espai o objecte a il·luminar condicionarà el tamany de la llumenera, la quantitat a col·locar-ne i la posició; els materials utilitzats li conferiran aspectes cromàtics que modificaran la percepció final de l'ambient mentre que les formes físiques s'adaptaran a les tendències estètiques del moment.

Un dels principals problemes de les llumeneres amb làmpades de filament incandescent era l'enlluernament produït per la seva visió directa. Les llumeneres de difusió translúcida resolen parcialment aquest problema però no permeten una distribució controlada del flux lluminós.

Aquests dos aspectes, control de l'enlluernament i control de la distribució són les premisses bàsiques dels dissenys de llumeneres que agrupem sota el nom de llumeneres de difusió controlada per les formes òptiques.

L'experimentació actual continua endavant, considerant no sols les qualitats pròpies dels materials una vegada construïts, sinó que es tenen en compte tots els processos relacionats amb ells, construcció, deformació, destrucció, etc.

Sense cap mena de dubte, però, podem dir que l'arquitecte i dissenyador Poul Henningsen serà el màxim exponent en l'experimentació d'aquesta tipologia de llumeneres.



a b c

Fig. 5.51
Llumeneres d'embolcalls de materials sintètics.

a. LLumenera penjada, Eileen Gray.

b. Llumenera Artichoke, Poul Henningsen .

c. Llumenera Ge-off Sphere, Ron Arad.

Llumeneres de projecció

Les llumeneres de projecció produiran una il·luminació totalment diferent en l'espai que les de difusió. Els seus dissenys busquen el control del flux de les làmpades i la seva distribució en una direcció determinada i sota angles específics de concentració.

Existirà una relació molt més definida entre la llumeneres i l'espai que il·lumina, i això afectarà els valors lumínics característics com el nivell d'il·luminació i la uniformitat, també el modelatge de figures i la definició de les ombres. Considerant això estableixen dos grups de llumeneres de projecció: les de **projecció en l'espai** i les de **projecció en l'àmbit de treball.**

Les primeres buscaran una il·luminació localitzada de l'espai de forma directa projectant un feix ampli de llum, mentre que les segones buscaran la il·luminació intensa d'un àmbit concret, generalment associat a una activitat "de treball" on la percepció global de l'espai resulta secundaria.

Llumeneres de projecció en l'espai

Quan van aparèixer les primers làmpades d'arc, la forta lluminositat que donaven calia dirigir-la a les zones a il·luminar i per això es van dissenyar pantalles reflectants col·locades en la part superior de les làmpades quan es volia que la llum es dirigís cap avall o a l'inrevés.

L'especialització i tecnificació dels productes pensats per a una integració arquitectònica donarà lloc a una gamma de llumeneres de projecció en l'espai molt variada, tant de projecció directa com indirecta i mixta. La il·luminació de l'espai amb valors de gran uniformitat i globalitat comportarà la utilització d'un gran nombre de llumeneres que tindran una forta incidència en l'espai i que requeriran una distribució del flux lumínic de forma concreta.



a b c

Fig. 5.52
Llumeneres de projecció en l'espai.

a. Llumenera Model HE 78B. 1926, Marianne Brand, Bauhaus.

b. Llumenera halògena. 1970, Joe Colombo.

c. Llumenera The Radial system, Iguzzini.

Són molts els fabricants que desenvolupen una línia de producte pensat exclusivament per a la il·luminació de zones o àrees de superfície extensa; les analitzarem més endavant quan parlem de les llumeneres d'"integració arquitectònica", en el sentit que estan pensades per anar encastades en els elements arquitectònics com els sostres, paviments, mobiliari i parets.

Llumeneres de projecció en l'àmbit de treball

Des dels seus inicis, la relació entre la llumenera i la zona de treball ha condicionat les propostes i dissenys al llarg dels temps.Tota la seva evolució anirà relacionada amb canvis per aconseguir millorar la il·luminació, la flexibilitat i la qualitat i confort dels usuaris. Lentament es produiran invents que aniran en la línia de millora i perfeccionament, alhora que la relació de proximitat i la forma de col·locació també evolucionaran considerablement.



a b c d

Fig. 5.53
Llumeneres de projecció en l'àmbit de treball.
a. Llumenera Desk Light. 1927, Edouard-Wilfred Bouquet
b. Llumenera Mod Nº 1208 Anglepiose .1933, George Carwardine.
c. Llumenera Tolomeo. 1986, Michele de Lucci.
d. Llumenera Serie Eclipse. 1986. Mario Bellini.

Lluminosament aquests tipus de llumeneres es caracteritzen per disposar de pantalles que envolten les làmpades i que concentren el flux lumínic en la zona de treball, normalment una taula de despatx, d'estudi o taller. El nivell d'il·luminació vindrà determinat per les característiques de la làmpada i per la distància o separació respecte a la taula, i normalment la zona il·luminada serà de dimensions reduïdes

LLumeneres de projecció directa amb reflectors

La utilització de reflectors incorporats que distribueixen el flux segons la geometria i les característiques materials del reflector és la característica lumínica d'aquest grup de llumeneres.

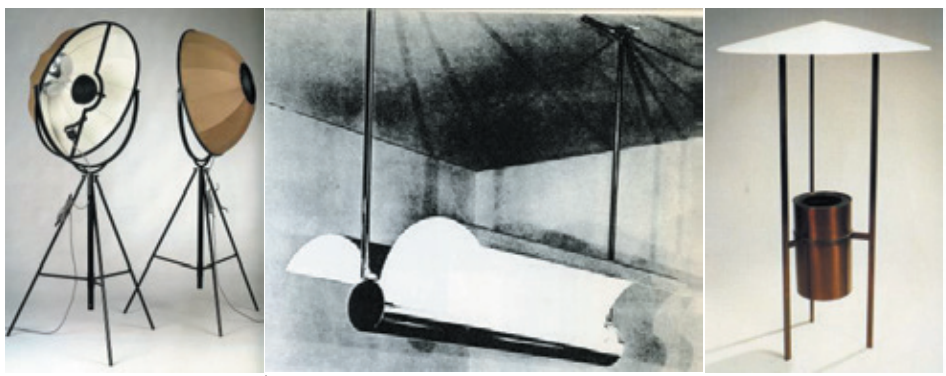
Visualment la màxima luminància es donarà en el reflector i aquest apareixerà contraposat a les superfícies que l'envoltin, mentre que el reflector tindrà la mateixa consideració lumínica que les superfícies emissores de difusió. La visió de la làmpada quedarà normalment oculta reduint els problemes d'enlluernament. La llumenera adquireix així una major importància com a objecte lluminós pel fet de tenir una part fortament il·luminada.

Inicialment els reflectors eren fixos i mantenienpermanent l'efecte lumínic. La possibilitat de modificar la posició i els angles permetrà aconseguir una varietat d'efectes lumínics que produirà una major diversitat i una personalització lumínica.

En general les llumeneres de projecció amb reflectors ocupen un sector altament decoratiu, tot i que els últims anys s'han utilitzat per enllumenar espais de gran alçada com aeroports i centres comercials, façanes i també en l'enllumenat urbà, com la llumenera *Lampeluna* d'Elias Torres.

Llumeneres de projecció amb reflectors fixos

Un dels primers a treballar el disseny de llumeneres amb reflectors serà Mariano Fortuny i Madrazo. El seu interès per la il·luminació escenogràfica el portarà a investigar els sistemes d'il·luminació indirecta per reduir els efectes de la visió directa de les làmpades d'arc. El 1903 dissenyarà una llumenera de taula que disposarà de dues pantalles de llautó cromades. La inferior oculta la làmpada i projecta la llum contra la superior, de major tamany, que distribuirà la llum inferiorment sobre la superfície horitzontal de la taula.



a b c

Fig. 5.54
Llumeneres de projecció amb reflectors fixos.

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

b. Llumenera de suspensió. 1929, René Herbst.

c. Llumenera de tres potes. 1953, Philip Jonson & Richard Kelly.

Llumeneres de projecció amb reflectors mòbils

Quan les llumeneres permeten variar la relació entre el reflector i la làmpada és possible projectar la llum en direccions diferents i produir il·luminacions singulars i molt variades sense moure la llumenera de lloc.

La mobilitat dels reflectors aproxima la llumenera a l'usuari i li permet gaudir de llibertat i personalització dels efectes. Aquesta circumstància condiciona la posició de l'objecte en zones de fàcil accessibilitat, normalment en taules o aplics de paret accessibles, i descarta les llumeneres de sostre. La majoria de llumeneres d'aquesta classificació seran de tamany petit i les diferències vindran donades per les formes dels reflectors i els mecanismes de mobilitat utilitzats.



a b c

Fig. 5.55
Llumeneres de projecció amb reflectors mòbils.
a. Llumenera Claritas serie, floor Light. 1946, Vico Magistretti & Mario Tedeschi.
b. Llumenera Model Nº T-3-C. 1951, James Harvey Crate.
c. Llumenera Gibigiana.1980, Achile Castiglioni.

Llumeneres de projecció d'ombres i llums de colors

A partir dels anys vuitanta, començarà a incorporar-se a la llum la projecció d'ombres combinades i de taques cromàtiques. L'arquitecte Mario Botta dissenyarà la llumenera *Schogun* (Fig.5.56) i la *Fidia,* que segueixen el llenguatge formal dels seus edificis, compostos amb franges de colors blanc i negre, projectant franges de llum i ombra. A ningú se li escapa la similitud entre el projecte de la Casa del Llibre, Imatge i So de Villeurbanne, a França, un projecte de 1984, i la llumenera *Schogun* de 1986.

Aquestes llumeneres de factura totalment artesanal, realitzades amb bombetes simples decorades, projecten taques de colors sobre el sostre o les parets produint un efecte multicolor en l'espai, cas de la figura 5.57 a. En canvi, en la figura 5.57 b. es mostren els efectes de taques de llum del mateix color seguint ritmes i formes geomètriques ben definides.

La taula inferior mostra resumida la classificació de les llumeneres d'autor segons el seu disseny com a objecte que interactua lumínicament amb l'espai contenidor.



Fig. 5.56
(Esq.) Casa del Llibre, Imatge i So de Villeurbanne.
Mario Bota, 1985.

(Dre.) Llumenera Shogun. 1986, Mario Botta. Artemide Pregnana Milanese, Itàlia. Estructura de metall esmaltat amb difusors giratoris de llàmina metàl·lica perforada, de 59,5cm d'alçada.



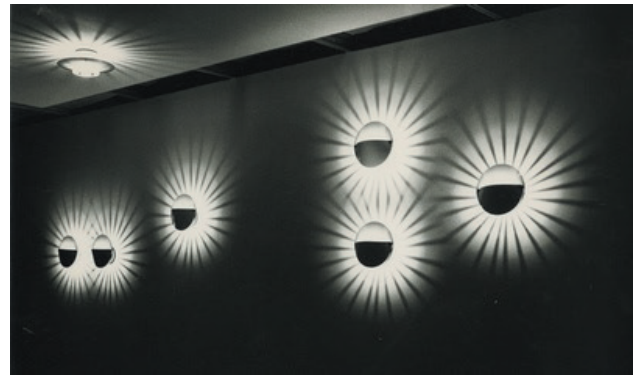
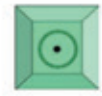
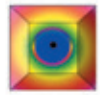
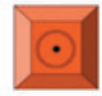


Fig. 5.57
(Esq.) Llumenera Antino .1996, Hannes Weststein.

(Dre.) Llumenera Giovi.1982, Achile Castiglioni, Flos.

.

GRUP	SUBGRUP			
Difusió translúcida	 Envoltant translúcida de vidre sense decorar	 Luminaria ME 27, 1926. Jucker i Wagenfeld.	 Envoltant translúcida de material orgànic	 Llumenera Coderch 1954
	 Envoltant translúcida de vidre decorat	 Apple blossom, 1902-08. Tiffany studios	 Envoltant translúcida de material sintètic	 Viscontea hanging Light 1960,
Difusió controlada per formes	 Difusió controlada per les formes	 Ilumenera PH Louvre. Paul Henningsen	 Llumenera VP globe 1969. V. Phanton	
De projecció directa a l'ambit	 Projecció a l'espai	 Luminaria paret 1970 Joe Colombo	 Projecció a ambits concrets	
De Projecció a reflectors	 Fixes	 Lluminaria de sobretaula. 1950, Michel Bobrik	 Mòbils	 Llumenera de sobretaula Anywhere. 1962 . Greta Grosman

Taula 5.5
Taula de llumeneres d'autor segons el seu disseny com a objecte que interactua lumínicament amb l'espai.

5.7.12 Les llumeneres segons la seva tipologia o denominació comercial

Des del punt de vista tipològic i comercial, existeix una clara diferenciació entre les llumeneres d'aplicació a l'interior i les d'aplicació a l'exterior.

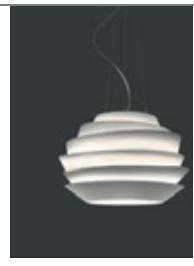
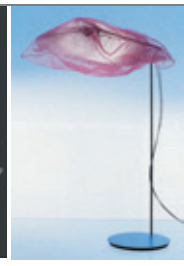
Tipologies de llumeneres d'interior

Ha estat molt habitual que les empreses fabricants de llumeneres les classifiquin segons criteris comercials, d'aplicació o de simple col·locació en l'espai. Aquestes classificacions no són consensuades però acostuma a haver-hi nombroses coincidències. A títol indicatiu recollim les denominacions més utilitzades.

1. Aplics
2. Adossables sostre
3. De suspensió, composables i estructures
4. De peu
5. De sobretaula
6. Encastables a cel ras, down-light
7. Regletes i pantalles fluorescència
8. Projectors comercials lliscants sobre carril de 230 v o 12 v
9. Industrials, projectors descàrrega
10. Versàtils i especials: dissenys especials, de múltiple uncionalitat, fibra òptica, led's, etc.

En la taula següent recollim algunes llumeneres segons aquest criteri de classificació:

Taula 5.6.
Taula de llumeneres d'interior segons una classificació habitual dels fabricants, que respon a la seva col·locacíio en l'espai.

				
1 Aplic	2 Adossables sostre	3 De suspensió	4. De peu	5. De sobretaula
				
6 Encastables sostre o Down-light	7. Regletes i pantalles de fluorescència	8 Projectors comercials	9 Industrials lliscants a carril	10 Especials

Tipologies de llumeneres d'exteriors

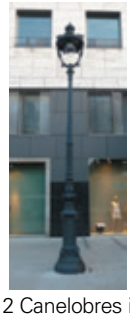
En el mateix sentit expressat anteriorment, les llumeneres d'exterior tenen diferents denominacions, en aquest cas amb un major consens i claredat, referides a aspectes posicionals i d'aplicació com els següents:

1. Columnes i bàculs
2. Canelobres i torres
3. Projectors
4. D´encastar murals i de terra
5. Balises
6. Especials i d´alt disseny
7. Amb leds

A la taula següent recollim algunes lluminàries segons aquest criteri de classificació:



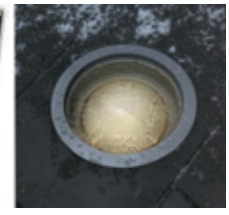
1 Columnes i bàculs



2 Canelobres i Torres



3 Projectors

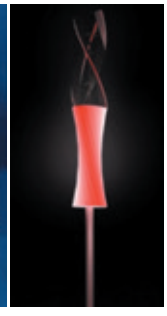


4 D'encastar, murals i de terra

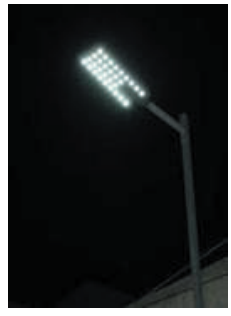
Taula 5.7
Denominacions comercials de les llumeneres d'exterior .



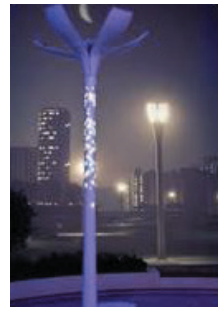
5 Balises



6 Especials i d'alt disseny



7 Amb leds



7 Amb leds

5.8 Les làmpades

Són els elements productors de llum, autònoms o dependents d'un subministrament d'energia, normalment electricitat, i amb possibles accessoris auxiliars per al funcionament i el control de l'emissió de llum.

Considerant la manera com es genera la llum, és a dir, la seva radiació electromagnètica amb longitud d'ona compresa en el camp visible de l'espectre, podem realitzar la descripció de les principals làmpades d'incandescència, de descàrrega a baixa pressió, de descàrrega normals, i d'algunes especials.

Totes les làmpades tenen unes característiques pròpies i uns valors específics de determinats conceptes que les defineixen. Les podem classificar en característiques **físiques, lumíniques i elèctriques**.

5.8.1 Característiques físiques

Són aquelles que fan referència a la forma de les làmpades, així com als materials que les conformen:

- La forma geomètrica de la pròpia làmpada
- La forma de la superfície emissora de llum (puntual, lineal i superficial)
- Les dimensions de l´ampolla
- La posició adequada pel funcionament
- Els materials de l´ampolla i dels revestiments
- Les bases per a la connexió
- Les condicions ambientals i de seguretat

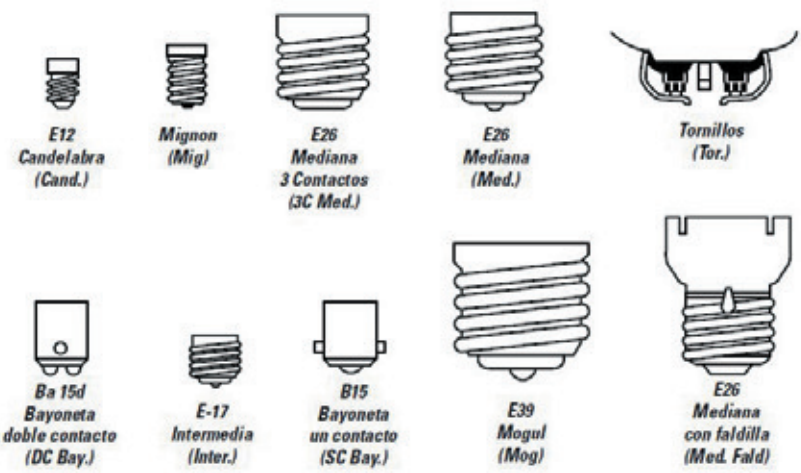


Fig. 5.58
En gairebétotes les famílies podem trobar làmpades amb formes similars.

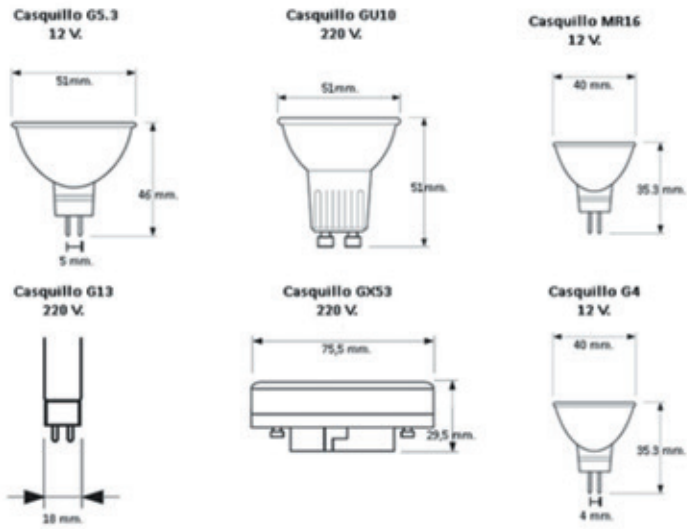


Fig. 5.59
Diferents tipus de bases de connexió de les làmpades.

Característiques lumíniques

Són les que defineixen les característiques de la llum emesa.

- La forma d'emetre el flux lluminós, l'angle de radiació (cas de reflectores), la simetria o asimetria volumètrica, etc.
- La vida màxima VM, mitjana Vm, útil Vu, així com la depreciació en el temps de funcionament, % ϕ al límit de la Vu
- Flux emès ϕ (lúmens) nominal o teòric
- Eficàcia de la font e = lm / W
- Espectre cromàtic de l'emissió
- Temperatura de color (mitjana) de l'emissió K (Kelvins)
- Índex de Rendiment Cromàtic IRC
- Coeficient de depreciació luminosa

Eficàcia i flux nominal

Actualment, després de l'eliminació comercial de les incandescents estàndard i per famílies, es considera que les de menor eficàcia són les incandescents halògenes, seguides de les fluorescents compactes, alguns fluorescents lineals, les d'halogenurs metàl·lics, vapor de mercuri, leds i vapor de sodi AP, en aquest ordre, i amb valors des dels 21 als 190 lm/W.

Cal recordar que per una directiva europea les incandescents estàndard ja només s'admeten en l'ús domèstic i fins a 60 W.

L'eficàcia de la làmpada és diferent per a cada tipus i variable segons la potència i qualitat cromàtica de cada model, i s'expressa com els lúmens emesos per watt consumit.

El producte de l'eficàcia per la seva potència ens dóna el flux nominal de la làmpada.

$$\Phi_n = e \cdot W$$

Aquest flux nominal és l'aconseguit en proves de laboratori i normalment no s'assoleig en servei.

Rendiment cromàtic

Com a qualitat per a la reproducció dels colors, és exigible segons les condicions cromàtiques del objectes a il·luminar, però que es poden limitar a mínim de 80 en locals habitables.

Segons sigui el seu espectre continu o discontinu i equilibrat o no en totes les longituds d´ona, oferiran una qualitat de reproducció de tots els colors **IRC** més o menys bo, així com una composició amb domini dels blaus o dels rojos oferirà una temperatura de color **K** més baixa o alta però l'IRC disminuirà. Per a aconseguir la millor qualitat en els dos conceptes caldria una emissió contínua i equilibrada de tots els colors, que es representaria amb un espectre de línia horitzontal, el qual no s´ha pogut produir en cap làmpada, per la qual cosa cal triar entre les que ofereixen els valors més adequats a cada cas.

Un altre paràmetre és el del Nivell de qualitat cromàtica, expressat amb valors de 1 a 4 i, amb algunes variants, A,B.

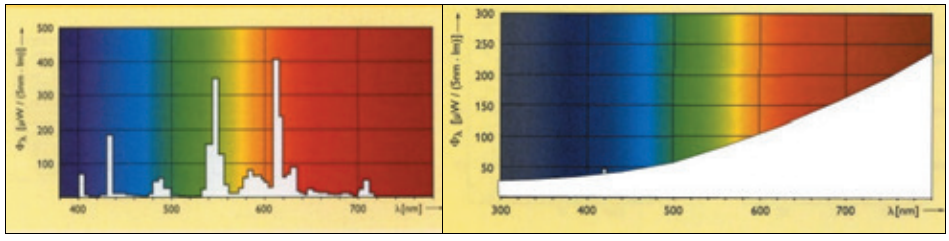


Fig. 5.60
(Esq.) Espectre discontiu.
(Dre.) Espectre continu.

Temperatura de color

Són el resultat, en graus Kelvin, de la seva emissió total i donen idea de la calidesa o fredor de la llum emesa. La norma DIN 5035 diferencia tres valors: blanc càlid <3300ºK , blanc neutre 3300-5000ºK i blanc fred >5000ºK. A les làmpades s'expressa amb els dos números de les dades; així, el primer és de l'IRC; 7,8,9 i els 2 següents 30,40,50,60 si les temperatures de color són superiors a 3000, 4000, 5000, 6000. Un color 840 seria d'IRC superior a 80 i de K superior a 4000.



Fig. 5.61
Valors de índex de qualitat i de reproducció cromàtica d'algunes làmpades.

Depreciació lluminosa de les làmpades

Amb el temps, i a causa de diferents factors, el flux produït per la làmpada disminueix i també es redueix el nombre d'hores de la seva vida teòrica. Aquestes pèrdues poden ser degudes als factors següents:

- Les variacions de la tensió de subministrament elèctric, en augment o disminució, afecten seriosament la vida de les làmpades.
- La temperatura ambient, que no afecta les d'incandescència, causa una disminució del flux a les de fluorescència si es mantenen a temperatures per sobre de 40 °C o per sota de 20 °C.
- La freqüència i el nombre elevat d'enceses i reenceses disminueix també la vida.
- L'ambient amb greixos, pols, etc., redueix l'emissió i perjudica tot el sistema elèctric de la connexió i el servei. I també el desgast propi de la làmpada.

Coeficient de depreciació lluminosa

És el percentatge de descens del flux en un nombre d'hores de vida, a partir de les 100 hores inicials i amb la mitjana d'una encesa cada 3 hores. En resum, es considera la disminució del flux emès com el *Coeficient de depreciació de la làmpada* Cl.

Aquest valor és la relació entre el flux emès en el moment del 70 % de la seva vida mitjana -nominal- i el valor inicial -a les 100 hores de l'inici del funcionament-, i es dóna en percentatge % o en coeficients.

Al ser el valor de pèrdua de condicions al final de la seva vida, cal aconseguir que la disminució sigui molt poca fins a la fi i després pot ja davallar fortament.

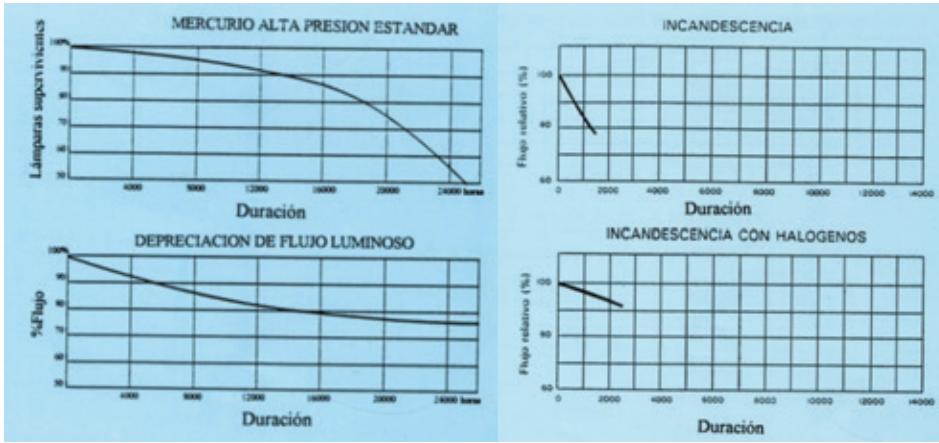


Fig. 5.62
Corbes de mortalitat i de depreciació del flux de diferent evolució. (Esq.).Làmpada de mercuri estàndard.

(Dre.) Làmpades d'incandescència normal i halògena.

.

Vida útil o econòmica Vu

És el valor en hores de funcionament, considerada al moment en què fallen el 5% o el 10% de les làmpades, quan es pot considerar la conveniència de substitució total, en funció del cost real de manteniment i per establir les bases d'economia del projecte tècnic.

Dóna una orientació sobre quan cal preveure la substitució de totes les làmpades alhora -reemplaçament en grup-, que sempre és més econòmic que esperar que vagin fallant i canviar-les individualment.

Quan els fabricants esmenten la vida útil en nombre d'anys en resulta "publicitat enganyosa", ja que prenen el temps d'encesa de 1000h per any, quan són molt freqüents els temps de més de 2000h. Haurien de publicar-les en hores totals.

Vida mitjana Vm

Es considera com la mitjana de la duració de les làmpades en hores, estudiada sobre un grup fins que en falli un 50%. Acostuma a ser del 60 al 75 % de la vida màxima, comptant amb una mitjana d'una encesa cada tres hores amb 15 minuts apagada cada cicle. Sempre és major que la vida útil.

És una dada dels fabricants i es pot expressar amb la "corba de mortalitat" típica de la làmpada, que dóna el percentatge d'inutilitzades segons el percentatge de la vida mitjana.

La vida màxima seria el nombre d'hores fins la fallada total. No té aplicació tècnica però en algunes (per exemple en els leds) sovint es donen valors màxims en lloc dels mitjans només per promocionar-les.

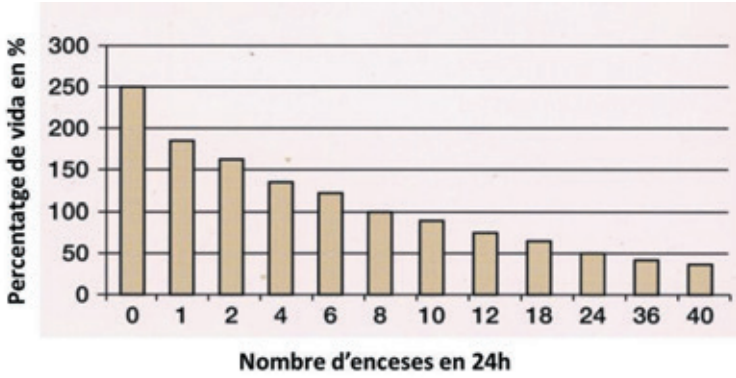


Fig. 5.63
Reducció de la vida mitjana dels fluorescents segons el nombre d'enceses diàries.

5.8.2 Característiques elèctriques i electròniques

Són les del seu funcionament en dependre de l'energia elèctrica subministrada:

- Potència consumida en watts per la làmpada i els equips auxiliars
- Les condicions del corrent elèctric, tensió U(volts), freqüència Hz, estabilitat a les oscil·lacions, etc.
- L'equip elèctric accessori per a l'encesa i estabilització del corrent
- L'equip electrònic per a la regulació i programació
- Capacitat de regulació

5.8.3 Introducció general a les famílies o tipus genèrics

L'evolució de les làmpades dels darrers anys ha creat tantes sèries i tipus nous que als catàlegs dels fabricants hi trobarem variacions importants cada dos anys. A més, els models específics han proliferat extraordinariament, amb la qual cosa no és possible en aquesta publicació donar raó de tots els tipus i models amb les seves característiques.

Amb la definició de les famílies ja es troben dificultats, ja que els fabricants de làmpades també empren codis i pautes diferents, sense adaptar-se exactament als codis internacionals com el de *Lamp Designation System* que s'adjunta.

Les principals marques de làmpades a Europa són Osram (Alemanya) i Philips (Holanda), encara que podem trobar material de General Electric (EUA) i altres productors o importadors mes petits (espanyols) com Laes, Megaman, Mattel, etc.

Taula 5.8
Diferents tipus de làmpades per famílies.

DESCRIPCIONS LÀMPADES PER FAMÍLIES
INCANDESCÈNCIA
. NORMAL a 220 V
ESTÀNDARD, ESFÈRICA, VELA CÚPULA METAL·LITZADA LINEAL (Sofito, Linestra, etc.) REFLECTORA DE VIDRE NORMAL ÍD. VIDRE FOS, PREMSAT –Parabolic Aluminized Reflector- PAR-38 FLOOD/SPOT
. D'HALOGEN
NORMAL, TUBULAR QT-LP12 a 220 V, QT-18 DOBLE ENVOLTA, QT-DE CONNEXIÓ ÚNICA -a 220 V- LINEALS a 220 V COMPACTES (BI-PIN) a MBT 6, 12, 24 V, BI-PIN a 230 V REFLECTORES a MBT 12 V:QR38, QR48, QR58 ÍD. a MBT, DICROIQUES -Cool beam- QR-CB-51 12 V ÍD. a 230 V Q-PAR 20 50 W 230 V ÍD. Q-PAR 30 E-27 ÍD. Q-PAR-CB 51 G2 10 REFLECTOR QR111
. FOTOLUMINESCÈNCIA Fluorescència (descàrrega en gas mercuri en baixa pressió), i fosforescència
. FLUORESCÈNCIA
LINEALS: TL, TL-D, TL-5 ESPECIALS COMPACTES NORMALS i ELECTRÒNIQUES NO INTEGRADES (PL), Gamma 80, Gamma 90 INTEGRADES, obertes(PL) o amb coberta (SL) ESPECIALS
. CÀTODE FRED –intermitja entre neó i fluorescència
. DE LUMINESCÈNCIA -descàrrega en gas-
NEÓ VAPOR DE MERCURI (AP normal) HPL íd. íd. íd. REFLECTORA íd. íd. íd. D'HALOGENURS METÀL·LICS HPI -TUBULAR íd. íd. íd. COMPACTES (ENANES) íd. íd. íd. SOFITO íd. íd. íd. EL·LIPSOIDAL íd. íd. íd. REFLECTORA íd. íd. FLUORESCENT- EL·LIPSOIDAL íd. íd. íd. REFLECTORA íd. íd. LLUM MESCLA-EL·LIPSOIDAL íd. íd. íd. REFLECTORA VAPOR DE SODI BP-TUBULAR íd. AP EL·LIPSOIDAL íd. AP NORMAL-TUBULAR ÍD. BLANCA D'INDUCCIÓ QL
. ESPECIALS: Llum negra, germicides, solars UVA, reprografia, clíniques, làser per fibra òptica, etc.
. LES DE LEDS ja es consideren com una família concreta, no d'especials**.**

Les consultes als webs de les principals marques són molt recomanables ja que incorporen tota mena de dades, però la seva extensió fa lenta la consulta que un arquitecte pot necessitar puntualment.

Per això esperem que els resums que s'incorporen en aquesta monografia siguin suficients per a la resolució dels problemes més immediats, com ara decidir la família, el tipus i les seves prestacions per incorporar a les llumeneres del projecte.

Si amb les llumeneres cal tenir cura de la seva possible -i freqüent- incidència al disseny de l'espai, amb les làmpades no és així, excepte quan la superfície emissora de la llum és visible o la pròpia làmpada no està amagada dins una llumenera. D'aquesta manera podem treballar la selecció de les làmpades en funció de les seves prestacions pel disseny dels efectes desitjats, la capacitat –potència, forma, mides, etc.- per incorporar-la a la llumenera, així com del cost propi i els del consum i manteniment.

En aquesta publicació el lector es trobarà amb una major quantitat d'informació dels productes de Philips que d'altres. Él motiu és una major facilitat de consulta al seu web i a nivell personal una comunicació molt fluida amb els tècnics de la Delegació de Catalunya, demostrada amb escreix en les seves intervencions durant el 2010, en què el Taller d'Estudis Lumínics de l'ETSAB-UPC va desenvolupar "2010 any de la llum a l'ETSAB"

Per si algú de l'empresa OSRAM o d'altres se sent molest, només hem de dir, amb tots els respectes als seus productes, que al no existir operativa una delegació a Catalunya, qualsevol contacte que des de fa molts anys hàgim intentat amb aquesta empresa s'ha hagut de realitzar amb els tècnics de Madrid, consultes o contactes sempre "filtrats" pels serveis de direcció i promoció que no han tingut els mateixos resultats que amb d'altres empreses.

En general es consideren les famílies de: **incandescència, luminescència i descàrrega**. I també cal esmentar les **especials**, com les de llum negra, d'inducció, germicides, solars UVA, per reprografia, per aplicacions clíniques i cosmètica (cromoteràpia i fototeràpia), làser, fibra òptica i els leds.

5.8.4 Làmpades d'incandescència

Principis de funcionament

Es produeix la llum per l'escalfament, al límit de la seva resistència, d'un filament sotmès al pas del corrent elèctric, tancat dins una ampolla de vidre o similar, transparent o no, plena d'un gas protector. A les làmpades estàndard el filament és de tungstè i transformen en radiació tèrmica pràcticament tota l'energia elèctrica consumida, i una petita part, del 2 al 5%, en energia lluminosa. A mesura que augmenta la temperatura, la radiació es desplaça i augmenta la part que cau dins l'espectre visible.

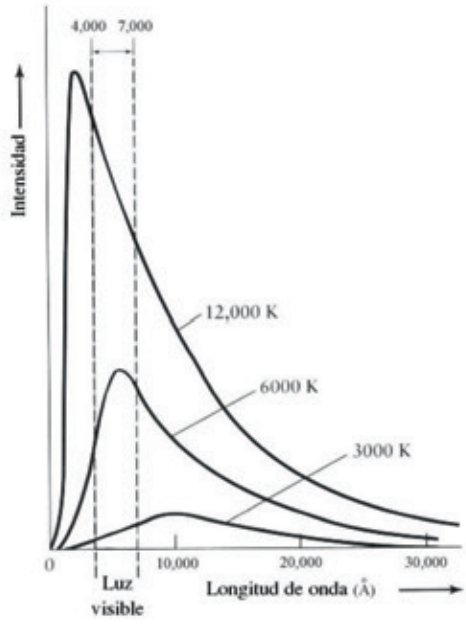


Fig.5.63
Emissió lluminosa d'un cos negre per incandescència. A mida que augmenta la temperatura , el màxim d'emissió energètica es desplaça cap a la zona visible de l'espectre.

A 1000 K gairebé no hi ha energia dins l'espectre visible, a 2000 K només n'hi ha un 3% del total i a 3000 un 16% del total.

Però com que el tungstè es fon a 3400 °C, no pot superar-se aquesta temperatura i cal limitar-la de 2100 a 2500 °C. Les d'incandescència estàndard i molts models especials, a l'oferir una eficàcia inferior als 20 lm/W estan destinades a desaparèixer del mercat per l'aplicació de la directiva europea.

Làmpades d'incandescència halògenes

La qualitat de fabricació i la perfecció de la forma, pel fet de permetre el major nombre de cicles sense destruir el filament, molt més petit que el de tungstè a les normals, representarà la prolongació de la vida útil d'aquestes làmpades. La duració de les d'halogen a 125 o 230 V és d'unes 2000 hores i les de molt baixa tensió -MBT- a 6, 12 i 24 V arriben a les 3000 hores.

El 1960 s'inicia la seva comercialització i s'obtenen eficàcies de 20 lm/W; des del 1990 i actualment, les de 125 i 220 V arriben als 22 lm/W i les de 6-12-24 V -MBT- als 25 lm/W.

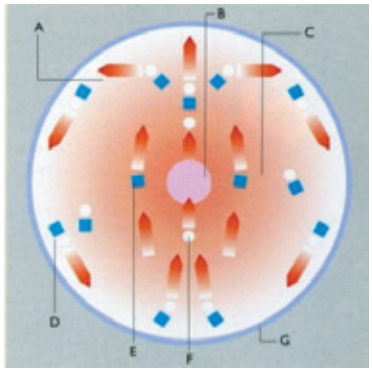
La grandària pot ser molt petita i permet incorporar-les a llumeneres i projectors molt petits o bé les reflectores directament sense llumenera, amb una més gran resistència física del conjunt, i la possibilitat d'emplenar-les amb gasos nobles sense forts encariments.

Aquestes làmpades no s'ennegreixen durant la seva vida útil. El rendiment cromàtic és molt alt -IRC proper a 100- amb Rg segons la Norma DIN 5035: 1.

L'espectre de la seva emissió és continu i més regular que les d'incandescència estàndard i el seu color és WW -blanc càlid- o blanc neutre amb 2500-3000ºK.

Procés o cicle dels halògens

A l'àrea de formació d'halogenurs volàtils, es mescla el tungstè evaporat i els halògens, que aniran cap a la paret de l'ampolla, on es refreden i es dissocien. El tungstè torna al filament i torna a engruixir-lo, però de forma irregular i fins que es fon per la part que queda més prima. Aquest procés s'anomena "cicle regeneratiu ".



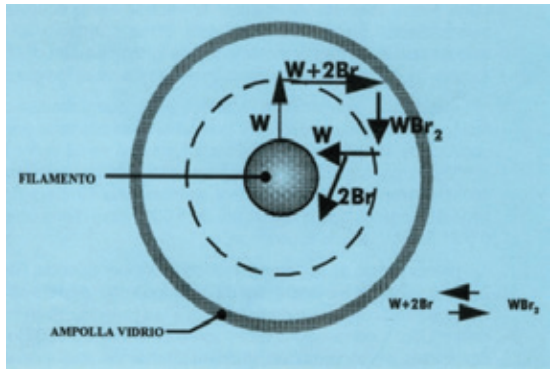


Fig.5.64
A Zona de temperatura inferior a 1400ºC.
B Filament de tungstè entre 2500 i 2700ºC.
C Zona de temperatures superiors a 1400ºC.
D Halur de tungstè.
E Gas nitrogen+argó+halògens de brom i iode+agents rarificants i netejadors.
F Àrea de formació d'halogenurs volàtils.
G Ampolla de quars a 250 ºC.

Fig.5.65
Gràfic explicatiu del Cicle regeneratiu del halògens.

Com a inconvenients d'aquestes làmpades cal esmentar que:

- La fabricació és més sofisticada, cosa que representa un preu més elevat. L'alta temperatura de l'ampolla, al voltant dels 500 ºC, representa perill de cremades si es toquen accidentalment, així com la destrucció dels contactes i del portalàmpades, que normalment resisteixen fins als 350 ºC.
- En tocar l'ampolla per la part exterior amb les mans, el greix o la suor que hi quedi representarà que en encendre-la de nou el quars es desvitrificarà i es trencarà.
- Les de tipus lineal -tubulars-, només es podien muntar en posició horitzontal, amb variacions de + - 4 º. Des de 1995 existeixen les de posició vertical.
- L'emissió tèrmica per radiació és molt direccional i forta.
- La llum halògena és molt més genotòxica que la llum natural del sol o que la dels fluorescents a causa de l'emissió dels ultraviolats llunyans, i poden provocar lesions a la pell i als ulls. L'efecte es pot reduir o eliminar emprant filtres plàstics o de vidre, UVSTOP.

Al 1995 Osram inicià la incorporació d'un agregat de terres rares i òxid de tità als vidres de les làmpades de tota la gama d'halògenes (DECOSTAR, HALOS-

TAR, HALOSPOT, HALOLUX i HALOPAR), les quals transformen gran part de les UVA i UVB en llum visible, però es redueix fins a un 20 % la intensitat de les visibles normals.

Els fabricants des de 1995 també van incorporar dispositius de filtre dels UV, i actualment totes les reflectores són també amb vidre UV.

N'existeixen amb formes tubulars normals, de doble envolta, reflectores, compactes, etc.

Làmpades halògenes dicroiques

Per resoldre el problema de l'alta direccionalitat de la radiació tèrmica en les làmpades amb material reflector incorporat al seu interior, van aparèixer les dicroiques, anomenades "fredes" i comercialment COOL BEAM -CB-.

Aquests tipus disposen d'unes capes semitransparents i selectives de les radiacions de longituds d'ona dels infraroigs i tèrmiques pures, encara que reflectores de les del camp visible.

Aquestes capes, de fluorurs de magnesi i sulfurs de zinc, amb uns gruixos aproximadament d'1/4 de la longitud d'ona de la radiació a reflectir i en un nombre aproximat de 30 capes, permeten la projecció frontal de la llum i la màxima dispersió posterior de la calor, que es pot eliminar més fàcilment.

Disminueix un petita part de la llum, a canvi de la forta disminució de la radiació tèrmica direccional.

La gran dificultat de la fabricació d'aquestes làmpades representa un fort encariment del preu, que arriba a ser el doble de les altres.

També permeten un avantatge, perquè es poden fabricar directament per emissió de llum en colors. Actualment n'hi ha en groc, verd, blau i roig.

Els models dicroics es fabriquen en les làmpades incandescents normals reflectores PAR i en les d'halogen, en què sempre es disposa vidre de tancament.

Comparació de les emissions lumíniques i tèrmiques en els tipus halògens:

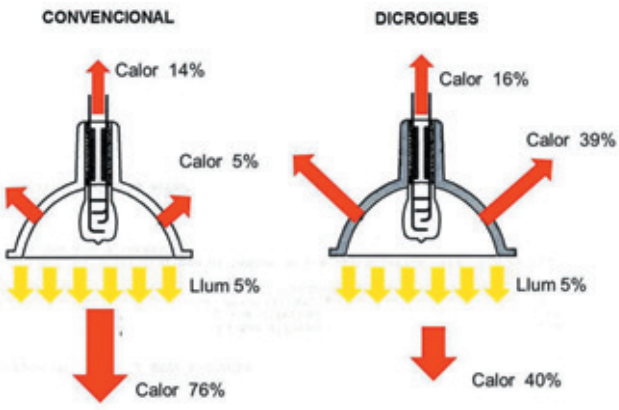


Fig.5.66
Comparació de l'emissió lumínica i calorífica entre làmpades halògenes convencionals i halògenes dicroiques.



Fig.5.67
Diferents làmpades d'incandescència.

TIPO	POTENCIA (1) (W)	FLUJO LUMINOSO (lm)	TEMP. DE COLOR (K)	EFICAZ (LM/W)	DURAC. (H.)	CASQ.
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(10/60º)	5000/350 cd(1)	3200	—	4000	GU5,6
	35 (10/60º)	6500/650 cd(1)	3200	—	4000	GU5,6
	50 (10/60º)	8000/1100 cd(1)	3200	—	4000	GU5,6
Reflectoras vidrio prensado (220-230V)	50(10/30º)	4300/1300 CD(1)	2.900	—	2500	E27
	75 (12/30º)	9500/2400 cd(1)	2900	—	2500	E27
	100(12º/30º)	1500/3000 cd(1)	2900	—	2500	E27

Taula 5.9
Dades de diferents làmpades d'incandescència.

5.8.5 Làmpades de luminescència

Es basen en l'emissió de radiacions electromagnètiques dels materials interiors de les làmpades que, en certes longituds d'ona, superen l'emissió tèrmica a la mateixa temperatura.

Làmpades de neó

La producció de llum es genera per la descàrrega elèctrica a través d'un gas. Com que aquestes descàrregues es provoquen amb tensions superiors a 380 V, les làmpades només es poden emplenar amb gasos nobles, i s'obtindrà molt poca eficàcia lluminosa i colors restringits al tipus de gas emprat: vermell (neó), blau (mercuri amb neó) i rosa clar (heli).

Aquests tubs de gasos nobles -al buit i a alta tensió amb elèctrodes freds- són de molt petit diàmetre i es poden fabricar amb formes corbes, però les longituds són limitades per la necessitat de transformadors d'encesa que donin uns 600 V per metre de longitud.

Làmpades de càtode fred.

Son làmpades fluorescents a major pressió del gas, semblant a les de descàrrega a alta presió (AP) i amb la tecnologia de les de neó.

Es fabriquen amb vidre bufat i en forma artesanal, per encàrrec.

Els diàmetres i longituds són variables. Els diàmetres poden ser d'entre 8 i 25 mm i les longituds d'entre 300 i 2990 mm.

Poden suportar la pluja, però no són submergibles.

Es poden fabricar amb corbes, dibuixos i formes especials, i s'adapten a qualsevol requeriment de disseny.

El muntatge lineal de diversos tubs no deixa zones fosques ja que els elèctrodes se situen lateralment i la imatge és de tub lluminós continu.

Resisteixen qualsevol vibració i no donen emissió tèrmica a l'ambient, funcionen correctament en llocs amb temperatures d'entre -40 i +70 ºC

De la sostenibilitat cal remarcar que quan deixen de funcionar els elèctrodes, es poden substituir sense canviar el tub, només recarregant-lo de gas.

Funcionament

La tensió de subministrament és a 230 V, però amb un transformador que la fa pujar fins prop de 1.000 V per a l'encesa instantània, que dura uns 8 mseg., totalment imperceptible, sense intermitències, que oifereix el flux de servei immediatament amb una tensió de funcionament aproximadament de 400 V, variable segons la longitud dels tubs. Aquest transformador conté les funcions d'encebador i de balast (reactància).

D'aquests transformadors se n'empren de dos tipus: els electromagnètics, de major pes i dimensions, més econòmics, que permeten la instal·lació en llocs allunyats fins a 50 m de les làmpades i en ambients amb humitat relativa alta. També permeten el subministrament a longituds grans.

I d'electrònics, que són més lleugers, petits i de cost superior. Cal instal·lar-los a prop de les làmpades i són limitats per a longituds de tubs més petites.

Els elèctrodes de les làmpades funcionen com acceleradors dels àtoms de gas a l'interior del tub.

A causa de la variació i regulació cromática, el fabricant proposa emprar grups de 4 colors CMYG, -més sofisticats que els RGB-, així com ajuntar el sistema RGB i el CMY per a disposar de sis colors; o bé bàsicament utilitzar dos tubs, un de càlid i un de fred regulables d'intensitat per a aconseguir tota la gamma de transicions cromàtiques dins la línia dels blancs.

La seva eficiència, segons el tipus, va dels 65 als 95 lm/W.

La vida útil arriba a les 70.000 hores i la màxima a 80.000 h.

El seu IRC és com a mínim de 65 i en models específics per a àmbits exigents de fins a 95.

La temperatura de color pot ser de 2.400 K (blanc càlid) fins a 4.300 K (blanc neu) en trams de 300 K.

Descàrrega en gas a alta pressió

- Vapor de mercuri
- Vapor de sodi
- Halogenurs metàl·lics

D'aquestes només algunes d'halogenurs metàl·lics, segons el CTE, es poden emprar en l'enllumenat d'interiors, les que superen el CRI de 80. Són les "ceràmiques", que acabaran substituint les de tub de descàrrega de quars, que permeten la migració de la part de sodi als gasos, ja que aquesta migració disminueix l'emissió de llum i li dóna un component més blavós.

Per als interiors queden excloses totes les de vapor de sodi i mercuri normals.

Les primeres "ceràmiques" foren les CMH ConstantColor de GE Lighting amb CRI de 84-86 amb ceràmica sintètica PCA (alúmina policristal·lina translúcida).

La darrera novetat ha estat de Philips, amb un tub de descàrrega cilíndric, més petit i efectiu.

La llum es produeix per la descàrrega elèctrica a través d'un gas, vapors metàl·lics o mescles, entre dos elèctrodes situats als extrems d'un tub de vidre. Els electrons xoquen amb els àtoms del gas i es carreguen d'energia que l'alliberen en forma de radiació visible, directament o bé amb la col·laboració d'una capa de fòsfor. Si les descàrregues es provoquen a tensions inferiors -BT-, normalment 125 o 230 V, s'hi poden incorporar gasos de vapors metàl·lics com ara el mercuri o el sodi, que produeixen altes eficàcies lluminoses. Segons la pressió parcial interior dels gasos de rebliment, s'anomenen:

- A ALTA PRESSIÓ 10^5 n/m^2
- A BAIXA PRESSIÓ menys de 100 n/m^2 -podríem dir que són els **fluorescents**-

Vapor de mercuri a alta pressió

Actualment existeixen aquestes làmpades amb potències de 50 fins a 3500 W, i les normals aconsegueixen eficàcies entre 40 i 60 lm/W. El gas mercuri emet principalment en una gamma visible. El rendiment cromàtic d'aquestes làmpades normals, segons DIN 5035, és de Rg: 3 (acceptable però baix). De formes n'hi ha de tubular, el·lipsoidal i reflectora.



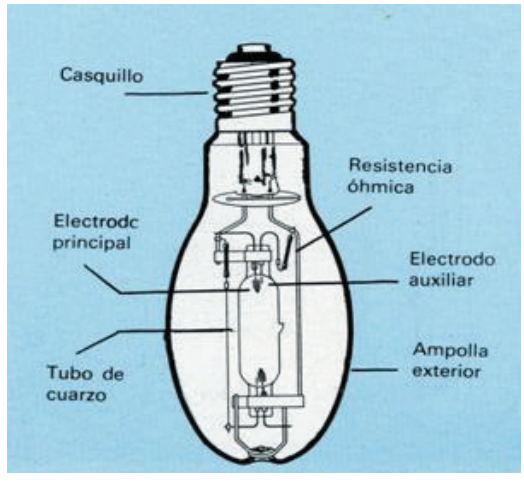


Fig. 5.69
Làmpada de vapor de mercuri.
Làmpara d'halogenurs metàl·lics CMH. CONSTANT COLOR, G.E.

Si s'hi afegeix un filament d'incandescència connectat en sèrie, s'anomenen de **llum mescla**, l'eficàcia disminueix i s'aconsegueix entre 16 i 33 lm/W; ara bé, el seu rendiment cromàtic DIN millora fins a Ra:1 i amb color de la llum WW (blanc càlid). Pràcticament ja estan considerades obsoletes.

El 1965 es comencen a fabricar complementades amb els productes dissociats dels halogenurs metàl·lics de iodurs de tal·li, indi, sodi, etc., i s'anomenen de **vapor de mercuri, color corregit o d'halogen** i amb eficàcies igualment altes, inicialment de 60 lm/W, fins al 1984 de 67 i actualment de 95 lm/W. Comercialment s'anomenen **d'halogenurs metàl·lics**.

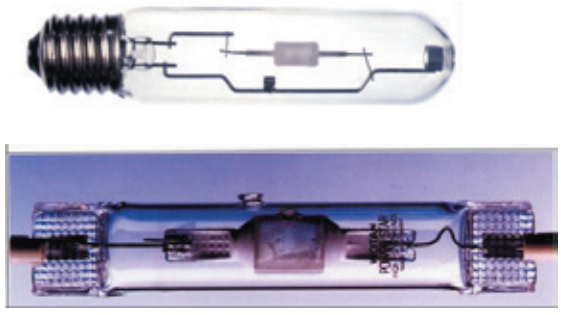


Fig. 5.70
a. Làmpara d'halogenurs metàl·lics CMH. CONSTANT COLOR, G.E.
b.Halogenurs metàl·lics POWER STAR, HQI-TS, primícia d'Osram (1987) amb 70-150-250 W.

El rendiment de color d'aquestes làmpades segons DIN 5035 arriba a ser d'1,3. La temperatura de color és de 3200 K fins a 6500 K, incorporant iodurs de sodi (groc), de tal·li (verd) o d'indi (blau). Els colors existents són blanc càlid W, llum dia D, blanc neutre N, blanc neutre de luxe NL i blanc càlid de luxe WDL.

L'encesa triga uns 4 minuts a donar el flux nominal i en apagar-la cal esperar de 4 a 6 minuts perquè es refredi i es pugui tornar a encendre. Per això no són aconsellables als llocs on cal encendre i apagar la llum freqüentment, o per a llocs on una avaria elèctrica representi problemes greus deixar-los a les fosques.

Amb el tub de descàrrega de quars no es pot augmentar la temperatura per sobre d'uns límits i la llum emesa arriba a un IRC de 75. Actualment amb les de tub ceràmic es pot augmentar la temperatura de descàrrega, millora el rendiment cromàtic fins a 95 i l'eficàcia fins a 100Lm/W, així com la vida útil de fins a 15.000 h.

La potència elèctrica de consum durant el temps de l'encesa, amb tensions d'entre 1500 i 5000V, cal considerar-la amb un coeficient d'1,8 pel sobre consum de l'aparellatge elèctric, excepte si s'utilitzen equips d'encesa electrònics, amb els quals es pren d'1,1.

Fig. 5.71
Espectre d'una làmpada de vapor de mercuri.

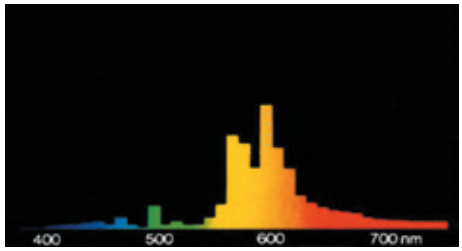


Fig. 5.72
Tipus de làmpades d'halogenurs metàl·lics, Philips.



Vapor de sodi

Són làmpades que utilitzen les propietats del sodi a 270° de temperatura, amb gas neó per aconseguir elevades eficàcies lluminoses, encara que ofereixen un espectre mixt o discontinu i amb emissió fonamentalment dins les tonalitats grogues.

Els tubs de descàrrega es protegeixen dins una ampolla exterior de vidre dur. Bàsicament són de dos tipus: de baixa pressió i d'alta pressió.

Taula 5.10
Tipus de làmpades de vapor de sodi.

TIPUS DE LÀMPADES DE VAPOR DE SODI
. BP (BAIXA PRESSIÓ) TUBULAR, EL·LIPSOIDAL I BILATERAL
. AP (ALTA PRESSIÓ) EL·LIPSOIDAL
. íd. TUBULAR (més normal)
. íd. SODI BLANCA

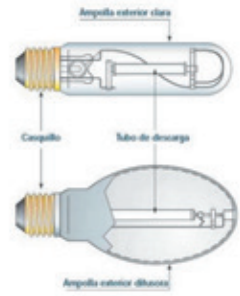
Vapor de sodi a baixa pressió

Amb pressió parcial no superior a 5 N/m^2 i una petita part de neó que facilita la descàrrega, la qualitat cromàtica és Rg s/DIN: 4 (dolent); l'IRC: 20 i el color és groc ataronjat càlid, monocromàtic a 590 nm. Eficàcies fins a 180 lm/W i vida mitjana de 9000h.

Les formes són tubular, el·lipsoidal i bilateral.

La tensió de funcionament pot ser de 230 V, però per a l'encesa es necessiten 440 o 660 V i aquesta té una durada de 6 a 10 minuts, i necessita uns 6 minuts perquè es refredi i es pugui a tornar a encendre. Aquest tipus de làmpades no s'admeten en utilitzacions d'interiors.







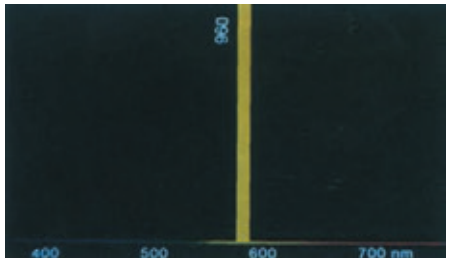


Fig. 5.73
a.Làmpades de sodi de forma tubular, eli·lipsoiodal i de doble connexió.

b.Espectre cromàtic .

Vapor de sodi a alta pressió

Com a les de baixa pressió, la descàrrega elèctrica dins el tub al buit amb gas xenó i amb amalgama de sodi escalfa el sodi, l'evapora per la calor produïda i inicia l'emissió lumínica. La seva pressió parcial de funcionament del vapor és de 10^5 N.m^2.

Es comencen a fabricar el 1965 i s'aconsegueixen eficàcies d'entre 60 i 130 lm/W. Se'n fabriquen de tipus amb formes tubulars, el·lipsoïdals i bilateral. Les potències oscil·len de 50 a 1000 W, la qualitat cromàtica és Rg s/DIN 5035: 4 i l'IRC: 40.

Color: blanc càlid, 2200 K, espectre mixt. Eficàcies: de 70 a 130 lm/W segons models i vida mitjana: 12.000 h. Per a l'encesa i la reencesa es necessita el mateix procés que per a les de baixa pressió.

Vapor de sodi "blanc" També a alta pressió però amb una major millora de la qualitat cromàtica, que arriba a donar l´efecte de les d'incandescència normals, encara que l´espectre sigui discontinu però molt més extens.

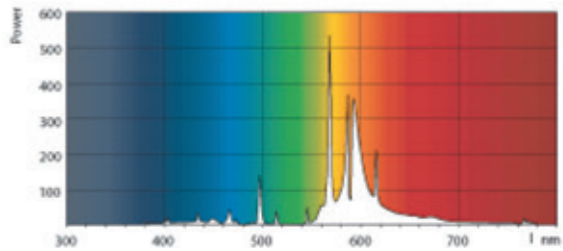


Fig. 5.74
Espectre d'una làmpada de descàrrega en sodi a alta pressió.

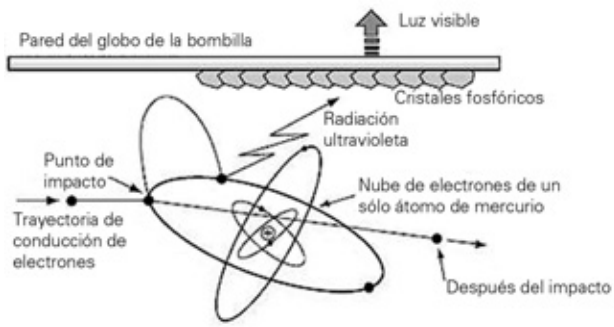
- Potències: de 40 i 100 W
- Qualitat cromàtica amb IRC: 81
- Color: blanc càlid, 2500 K
- Eficàcia: 40 lm/W (molt baixa)

5.8.6 Làmpades de fotoluminescència (fluorescència i fosforescència)

Làmpades de fluorescència

En realitat són làmpades de descàrrega en gas mercuri a baixa pressió, en què la major part de l'emissió és d'UV i la conversió a radiació visible de llum és donada per la capa de material fluorescent interior al tub, excitat per la radiació UV de la descàrrega. Es manté l'emissió de llum mentre hi hagi consum elèctric.

Fig. 5.75
Principi de producció de llum en un tub fluorescent.



Cal augmentar la tensió del subministrament elèctric per a l'arrencada de l'emissió a quasibé el doble (450V) i escalfar els elèctrodes prèviament a l'arrencada; això significa la necessitat d'un encebador o un transformador automàtic.

La llei d'Ohm (U=I.R) ens diu que, si la resistència elèctrica disminueix, la intensitat que circularà augmentarà i es cremaran els filaments. En el cas de les làmpades de fluorescència, es cremarien les connexions extremes principalment, l'ànode i també el càtode. Vol dir que caldrà un limitador per tornar a estabilitzar la tensió -reactància- o afegir-hi un filament auxiliar d'incandescència; aquest dispositiu representa el mateix que el concepte de llum mescla i permet la connexió directa al servei elèctric. Cal estabilitzar la tensió i la intensitat, per la qual cosa s'interposa una bobina d'inductància, que la mantindrà al valor nominal -125 o 230 V- després de l'encesa.

La fabricació en forma de tubs fluorescents s'inicia el 1936 i l'eficàcia d'aquells tubs ja arribava als 40 lm/W. Al 1976 l'eficàcia arribà a 93 lm/w amb tub de 20, 40, i 65W i al 2010 ja es troben amb 110 lm/w. Aquests tubs tenen un procés d'encesa lent, fins que la descàrrega no s'estabilitza fa pampallugues i fins després d'uns dos minuts no arriba a emetre tot el flux nominal amb l'escalfament del tub.

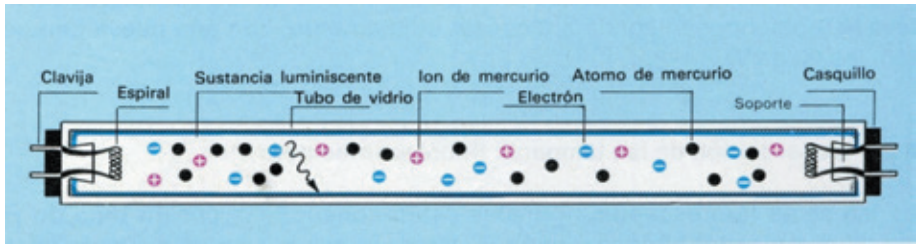


Fig. 5.76
Constitució d'una làmpada de fluorescència.

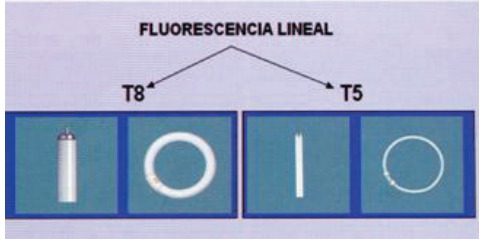
Als tubs d'arrencada ràpida sense pampallugues l'encebador manté els elèctrodes escalfats i això permet un petit subministrament de corrent fins la pròpia encesa. Als tubs d'arrencada instantània s'aplica una tensió més elevada.

El 1982 comença la incorporació d'equips electrònics d'alta freqüència (35 kHz) en lloc de la normal a 50 Hz; l'encesa amb aquests equips és instantània, 0,1 s. (a tub fred) i a més a més d'aquesta característica aquests tubs no produeixen l'efecte estroboscòpic i l'eficàcia arriba als 102 lm/W.

El diàmetre dels tubs es manté fins a 1986 amb 38 mm i longituds de 589-1199 i 1500mm i a partir d'aquest any es comença la fabricació amb diàmetre de 26 mm amb les mateixes longituds. El 1989 es redueixen un 10% les potències a 18-36-58 W i es detecta que amb aquest diàmetre, si s'hi incorporen equips d'arrencada ràpida normals, fallen els tubs molt abans de la seva vida útil; per això es necessiten equips electrònics més sofisticats. A l'iniciar la fabricació el 1998 de tubs amb diàmetre de 16 mm i longituds molt variables, preparats per a equips electrònics, es resol l'anterior problema.

De tubs fluorescents, els més normals són els lineals, però també se'n fabriquen de circulars i de formes especials. I com a subfamília amb moltes aplicacions, hi ha els **fluorescents compactes**, que el comerç ha batejat eufemísticament com "*lamparas ahorradoras de energía*".

De les làmpades de fluorescència es consideren dos tipus principals, les **lineals** i formes especials, i les **compactes** amb diversos tipus, ambdues amb prestacions molt variades.



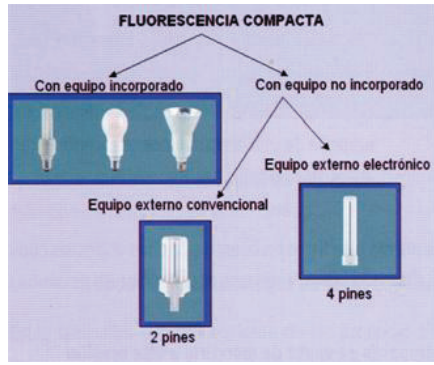


Fig. 5.77
Tipus de fluorescents lineal i compacte.

Taula 5.11
Tipus de làmpades fluorescents.

CARACTERÍSTIQUES FLUORESCENTS LINEALS, PHILIPS
DETALLS D'ALGUNS TUBS AMB ÚS MES FREQÜENT, O DE CARACTERÍSTIQUES NOTABLES

Sèries:

MASTER-TLD: SUPER 80, 90 De Luxe, ECO, Xtra

MASTER TL-D Super 80 trifosfors (1994) Ø26 mm bona qualitat de llum Ra > 80 i baix cost (de 5,5 a 8 €, 2011)
Amb flux constant durant la Vu (millor que les T8 estàndard)
A partir de 2010 es redueixen els tipus de potències als de 18 – 36- 58 W amb les longituds tradicionals de 589-1199-1500 mm i eficàcies de 75 a 93
Colors disponibles per a cada tipus: 827, 830, 840, 865

MASTER TL-D 90 De Luxe Ø 26 mm (no regulables), molt bona qualitat de llum Ra > 95
Eficàcies de 61 a 79 lm/W
A partir de 2010 amb les potències de: 18 – 36 - 58 W i les longituts tradicionals de: 589-1199-1500 mm, flux de 940-2250-3650 lm variables segons color.
Colors disponibles: 930, 940, 950
La seva vida és molt llarga, i en tots els tubs és diferent segons el cicle d'enceses i el tipus de balast emprat:

	CICLE DE 3 hores	CICLE DE 12 hores
Vu (al 10 % fallades)	amb BE, HF	17.000-19.000
	amb B electromagnètic	12.000-15.000
Vm (al 50 % fallades)	amb BE, HF	20.000-23.000
	amb B electromagnètic	15.000-18.000

MASTER-TL5: HE, HO, VHO, TOP, ECO, Xtra

MASTER TL5 ECO-HO (Alt flux) aptes només per a interiors a T ≥20º
Eficàcies de les més altes: 96 a 111 lm/W
Potències de 45 – 50 – 73 W amb les longituds de 1449-1149-1449 mm
Colors disponibles: 830 i 840

ESTÀNDARD: TLD

MASTER TL-D Xtreme de trifosfors IRC > 80, de màxima durabilitat
Eficàcies de 69 a 90 lm/W, colors 830, 840
Fins a 2010 disponibles amb 18 - 36 - 58 W i longituds de 589 -1199-1500 mm
A partir de 2010 només amb potències de 36 i 70 W de longituds 970-1761 mm

Vu (al 10 % fallades)	amb EB a HF	71.000
	amb B electromagnètic	55.000
Vm (al 50 % fallades)	amb EB a HF	90.000
	amb B electromagnètic	68.000

(Preus de 45 a 47 € el 2010)

Gamma ESTÀNDARD TL-D Ø 26 mm no regulables, econòmiques (entre 4 i 7 € el 2011)

Eficàcies de 67 a 79 lm/W
Potències de: 18 – 36 – 58 W, i les longituts tradicionals de: 589-1199-1500 mm,
Sèrie de longituds especials
Amb les potències de: 6 – 8 – 13 – 14– 15– 23– 30 W
Longituds de: 212-288-517-361-437-970-894 mm
I diferents diàmetres: 16 –16 –16 - 26 - 26 – 26 – 26 mm Ø

Especials de les TLD i TL5: Reflex Eco, Graphica, Secure, Optiview, Activiva, Circular, Xtreme Polar, Colors, etc.

Equips auxiliars dels fluorescents

Els fluorescents necessiten uns equips auxiliars per al seu funcionament; la seva qualitat i característiques afecten el seu òptim funcionament i incideixen en paràmetres com l'eficàcia i la vida útil dels fluorescents.

Eficàcia dels balasts (reactàncies)

– Balasts electromagnètics convencionals BC

Hi ha models de quatre tipus:

- D'altes pèrdues (classe D)
- De pèrdues moderades (classe C)
- De baixes pèrdues (classe B2)
- De molt baixes pèrdues (classe B1)

La norma europea 2000/55/EC sobre eficiència energètica en balasts per a làmpades fluorescents prohibeix l'ús dels tipus de classe D i C.

Per a una làmpada fluorescent de 58 W el consum addicional del BC de classe D és d'uns 13 W, cosa que suposa un excés per complir amb l'índex o valor d'eficiència energètica d'una instal·lació VEEI (W / m2 per 100 lux).

– Balasts electrònics (BE)

Converteixen la tensió de xarxa de 230 V a 50 HZ, a alta freqüència de 25 a 40 Kz. Per a una làmpada fluorescent de 58 W el seu consum propi es redueix a uns 50 W. Per a aquesta làmpada el consum del BE és de 5 W. En conjunt aquesta làmpada amb l'equip serà de 55 W.

En comparació amb l'ús de balast convencional electromagnètic BC, làmpada amb 58 W i balast amb 13 W que resulta un total de 71 W, el consum amb BE és del 77%.

D'altres avantatges dels BE són que prolonguen la vida útil de les làmpades, fins a un 50% superior.

Proporcionen un encès instantani lliure de parpelleigs, sense centelleig dels elèctrodes i sense efecte estroboscòpic per visió d'objectes en moviment, així com un menor escalfament del conjunt i l'apagament automàtic dels llums defectuosos.

La vida útil d'aquests balasts arriba fins a les 100.000 h, de manera que permeten la substitució de diverses làmpades sense canviar el balast.

– Balasts electrònics de baixes pèrdues (BBP)

  Aquests poden arribar a reduir el consum conjunt fins a un 30% respecte a l'equip convencional.

– Balasts electrònics regulables (BER)

  Permeten incorporar sistemes de regulació de tipus Touch & Dim i DALI per a sensors de presència, de llum natural i per a programacions complexes. Amb els resultats mitjans de regulació per existència de llum natural, pot suposar una reducció del 50% del consum anual.

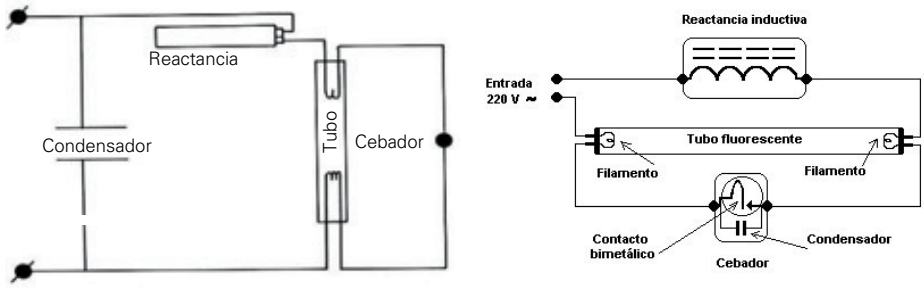
Taula de comparació de costos-estalvi segons tipus de balast

– Cas llumenera amb dos tubs fluorescents de 58 W
– Funcionament diari: 10 hores
– Dies de funcionament anual: 300 Hores anuals: 3.000
– Preu de l'electricitat, contractada en trifàsica: 0,16 € / Kwh (2009)

Taula 5.12
Tipus comparativa de costos.

TAULA DE COMPARACIÓ DE COSTOS-ESTALVI SEGONS TIPUS			
TIPO DE REACTÀNCIA	BC	BE	BER regulat a llum natural, consum: 50%
Potència de làmpada	58 x 2	50 x 2	≥ 50
Consum del balast	13	5	≥ 5
Potència llumenera	142	110	56
Consum diari W	1.420	560	(10 H/D)
Consum anual	426 kW	330	(300 Dx10H=3.000H)

Fig. 5.78
Esquema d'instal·lació bàsica d'una làmpada de fluorescència.



Fluorescentes compactes

El 1980 s'inicia la comercialització de làmpades fluorescents amb dos tubs de diàmetre molt petit, corbats i dins d'una ampolla de vidre protectora, anomenades **prismàtiques**, que, en portar la connexió amb rosca E27 i l'equip d'encesa i estabilització incorporats, poden substituir directament les d'incandescència normals. La seva eficàcia oscil·la·segons el tipus entre 34 i 60 lm/W.

El 1985 es comercialitzen sense l'ampolla, s'anomenen normalment **fluorescents compactes** i n'existeixen amb un, dos i tres petits tubs corbats d'encesa normal o amb encesa electrònica ràpida i de dimensions molt petites.

Poden incorporar l'equip elèctric "integrades" o ser independent "no integrades", i la connexió pot ser amb bases de rosca E 27 o de plaquetes G-24-d.

Des de 1990 es fabriquen amb un globus de vidre decoratiu i de protecció transparent o matisat; totes són "integrades" i s'anomenen "cobertes". Per exemple, les Osram DULUX-EL-GLOBE o les Philips DECOR- d'11 i 15 W.

També hi ha reflectores amb un senzill reflector incorporat de 9, 13 i 18 W.

Igualment, han augmentat les gammes de potències i de longituds dels tubs d'aquestes làmpades, de manera que se'n disposa de fins amb quatre tubs i fins a 75 W i algunes de llargada fins a 509 mm les de 55 W, l'eficàcia de les quals augmenta fins als 80 lm/W. Per tant, s'amplien les gammes fins a nivells insospitats, tant àmplies com les de fluorescència lineals, ja extraordinàriament desenvolupades pels principals fabricants.

Lamentablement, la gran difusió feta per aconseguir mercat de vendes, a partir de la publicitat enganyosa com "*lámparas ahorradoras de energía*", han generat una crida a la fabricació de tot tipus de qualitats en la fabricació i a una guerra de preus, lògica en un temps de crisi, però que porta a una dificultat al projectista per seleccionar els models més adequats.

Els tipus més comuns són els SL i els PL:

- SL - de tub ocult, cobertes. Connexió E27. Tensió 230 V. Equips sempre incorporats
- PL- de tub vist. Connexió plaquetes G-24-d. Tensió 230 V. Equips incorporats o independents

De tipus i formes especials: reflectores, llargues, forma espiral, miniaturitzades

CARACTERÍSTIQUES DE FLUORESCENTS COMPACTES, PHILIPS
DETALLS D'ALGUNS TIPUS AMB ÚS MES FREQÜENT, O DE CARACTERÍSTIQUES NOTABLES

FLUORESCENTS COMPACTES INTEGRADES 2010, Totes amb E27 Sèries:	
. MASTER PL-ELECTRONIC PLE-T	2 tubs, Vu 20.000 h, 15-20-23-27-33 colors 827/840/865
. MASTER PL-ELECTRONIC PLE-C	Vu 15.000 h, 5-8-11 W, colors 827/865
. MASTER PL-E-D GLOBE	16-20-23 W, color 827, 23 W, color 865

Taula 5.13
Característiques de les fluorescents compactes integrades.



Fig. 5.79
Fluorescent compacta integrada PL, connexió E-27, Osram.

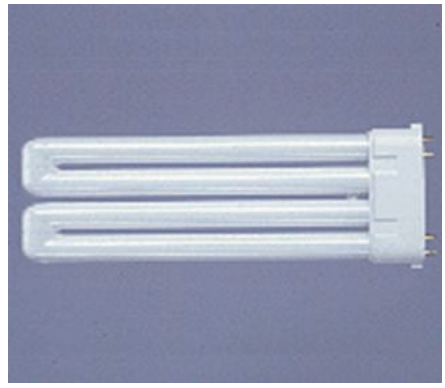


Fig. 5.80
Fluorescent compacta no integrada, plana, 4 pins, Philips.

Taula 5.14
Característiques de les fluorescents compactes no integrades.

CARACTERÍSTIQUES DE FLUORESCENTS COMPACTES, PHILIPS DETALLS D'ALGUNS TIPUS AMB ÚS MES FREQÜENT, O DE CARACTERÍSTIQUES NOTABLES	
FLUORESCENTS COMPACTES NO INTEGRADES 2010, Totes amb E27 Sèries:	
. MASTER PL-S	un tub.o, 2 ò 4 patilles 7-9-11 W eficàcies 57 a 82 lm/W
. MASTER PL-C	2 tub.os, amb 2 ò 4 patilles regulables, eficàcies 60 a 69 10-13-18-26 W 827/837/830/840/865
. MASTER PL-T	3 tubs eficàcia 67-69 2 patilles 13-18-26 W 827/830/840 4 patilles13-18-26-32-42-57 W 827/830/840



Fig. 5.81
Fluorescent compacta no integrada PL, Biax Q-E de GE Lighting, 2004. Amb 5 temperatures de color, entre 2.700 i 5.000 ºK.
57 ò 75 W regulables amb balast electrònic.
74 lm/W, IRC 82.

De les planes cal remarcar que són previstes per incorporar-les dins llumeneres quadrades i de dimensions especials, en lloc dels tubs lineals tradicionals.

D'aquestes Philips ofereix, d'entre moltes, el model MASTER PL-T de 4 patilles CS, IRC > 80 i amb potències de 13, 18, 26, 32, 42 i 57 W

Així com les MASTER PL-L 90 De Luxe, 4 patilles, d'alta qualitat de l'IRC > 90, i amb potències de 18, 24, 36 i 55 W, en què la de 55 W arriba a una llargada de 509 mm.

Tipos Potencias (W)	Flujo Luminos (lm)	Ela (lm/W)	Es (lm)	Duración (horas)	Casquillo
Balasto inductivo incorporado y envoltura externa (temperatura de color 2700K)					
9	400		44,4	6000	E27
13	600	-	46	6000	E27
18	900	-	50	6000	E27
25	1200	-	48	6000	E27
Tubulares con balasto electrónico incorporado (temperatura de color 2700K)					
9	400	-	44,4	9000	E27
11	600	-	54,5	9000	E27
15	900	-	54,5	9000	E27
20	1200	-	60	9000	E27
23	1500	-	65,2	9000	E27
Tubulares con balasto inductivo exterior (temperatura de color 2700, 3000 y 4000K)					
5	250	50	25	8000	G23
7	400	57	36,3	8000	G23
9	600	66,6	46,1	8000	G23
11	900	81,8	60	8000	G23
Extralargas con balasto inductivo exterior (temperatura de color 2700, 3000 y 4000K)					
18	1200	66,6	46,1	8000	2G11
24	1800	75	51,4	8000	2G11
36	2900	80,5	63	8000	2G11
40	3500	87,5	77,8 (1)	8000	2G11
55	4800	87,2	77,4(1)	8000	2G11
Con balasto exterior inductivo o de alta frecuencia (temperatura de color 2700K) (Regulable)					
18	1200	66,6	50/60	9000	GX24d
26	1800	69,2	59/64,2	9000	GX24d
30	2400	80	60/73	9000	GX24d
36	2900	81,4	-	10000	GX24d
55	4800	87,3	-	10000	GX24d

Taula 5.15
Làmpades fluorescents compactes més utilitzades.
1. Amb reactància electrónica.
2. El rendiment de color és 82.
Philips.

CARACTERÍSTIQUES DE FLUORESCENTS COMPACTES, PHILIPS DETALLS D'ALGUNS TIPUS AMB ÚS MES FREQÜENT, O DE CARACTERÍSTIQUES NOTABLES	
FLUORESCENTES COMPACTES INTEGRADES COBERTES2010 Sèries:	
. MASTER PL Electronic Automatic.	600-900 lm, e= 54-60, IRC 82, No regulable D: 50,8, l: 141,0, Vm al 50 % errors 15.000/20.000H 11-15 W color 827
. MASTER PLAMBIANCE	12-16-20-23 W, color 827, Vu 12.000 h
. MASTER GLOBE	16-20-23 W, colors 827-865
. MASTER PL Electronic POLAR	15-20-23 W, color 827 (apta per a exteriors de -20 a +40ºC)
. Softone dimmable	E-27, 12-20 W, color 827

Taula 5.16
Característiques de les fluorescents compactes integrades cobertes.

Fig. 5.82
1. Fluorescent compacta integrada i coberta SL, OSRAM, E-27.

2.Tipus SL "esfèric", MASTER GLOBE, Philips.

3. Tipus SLE De 12-16-20-23W amb color 827.

4. Tipus MASTER-PL.


1


2


3


4

5.8.7 Làmpades d'inducció

Funcionament

S'indueix un camp electromagnètic dins una atmosfera gasosa, que sigui capaç d'excitar els àtoms de mercuri del gas continguts en l'ampolla.

La radiació obtinguda fonamentalment és ultraviolada, per la qual cosa s'ha de recobrir interiorment l'ampolla amb substàncies fluorescents per transformar la radiació ultraviolada en visible.

L'energia d'un generador exterior d'alta freqüència (2,65MHz) es transmet a la làmpada per radiació amb un acoplador de potència (antena) situat a l'interior i unes bobines d'inducció amb nucli de ferrita. Les primeres eren de 55 ò 85 W (1985) amb emissió de 70Lm/W, IRC 80.

Taula 5.17
Característiques bàsiques de làmpades d'inducció.

CARACTERÍSTIQUES BÀSIQUES DE LÀMPADES D'INDUCCIÓ			
W	**CODI**	**IRC**	**T°K**
55	830	80	2900
85	840	80	3750
165	840	80	3850

Vm estimada: 15 anys, equivalent a 72.000 h de funcionament de 4.800h/any en condicions de laboratori i 60.000 h en condicions normals (estimada sense cap efecte negatiu del sistema, el règim del funcionament i les condicions ambientals).

El seu preu inicial era elevat, fins uns 220€ el bulb; 260€ el generador i 120€ l'antena, resultant un total de 600€ per làmpada. En l'actualitat les empreses estan millorant els seus preus per tal de permetre una competent incorporació en l'enllumenat urbà i de grans arees.

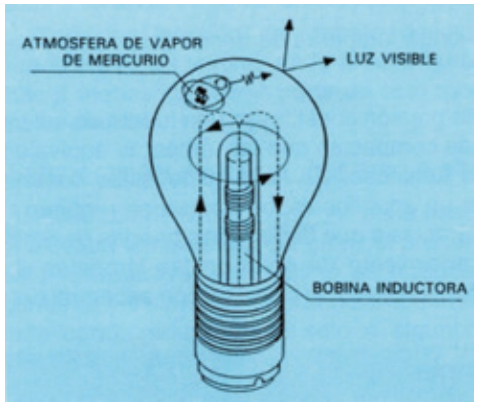


Fig. 5.83
Esquema de funcionament d'una làmpada d'inducció.



Làmpada d'inducció MASTER QL Philips.

5.8.8 Les làmpades leds

Les làmpades LEDS (*Light Emitting Diode*) consisteixen en la producció d'una radiació lluminosa per un element en estat sòlid quan és sotmès a una determinada polarització elèctrica, electroluminescència d'una unió semi conductora, P-N, similar a un díode convencional.

A Ànode (P)
B Càtode (N)

1. Lent (encapsulat epòxic)
2. Contacte metàl·lic
3. Cavitat reflectora
4. Terminal del semiconductor
5. Enclusa
6. Plaqueta
7. Costat pla

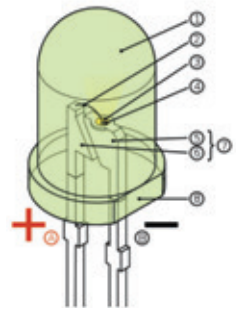


Fig. 5.84
Esquema de funcionament d 'un led.

El primer led, amb emissió dins l'espectre visible però de color vermell, va ser desenvolupat per l'enginyer Nick Holonyak el 1962 per a la General Electric Company. Als finals dels anys 80 s'inicia la fabricació de leds amb colors groc, verd i blau. A partir de 2002 es desenvolupen els blancs amb augments notables d'eficàcia i al 2009 es treballa amb els UV i grocs.

Ara ja es pot parlar de làmpades led, mòduls led, llumeneres led i estructures constructives led.

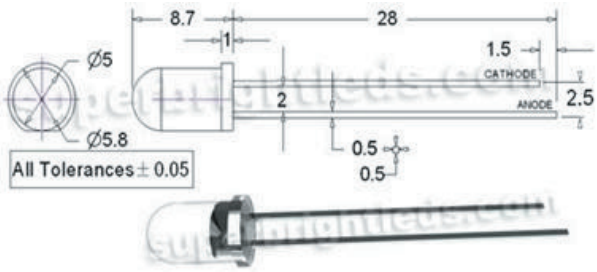
Alguns tipus de led:

- Luxenon I 1w Φ = 25 lm blanc
- Luxenon III 3w Φ = 65 a 80 lm
- Luxenon V 5w Φ = fins 120 lm
- Vm 50.000h e ≈ 60 lm/w

Fig. 5.85
Alguns tipus de làmpades led.

Mides generals del led.



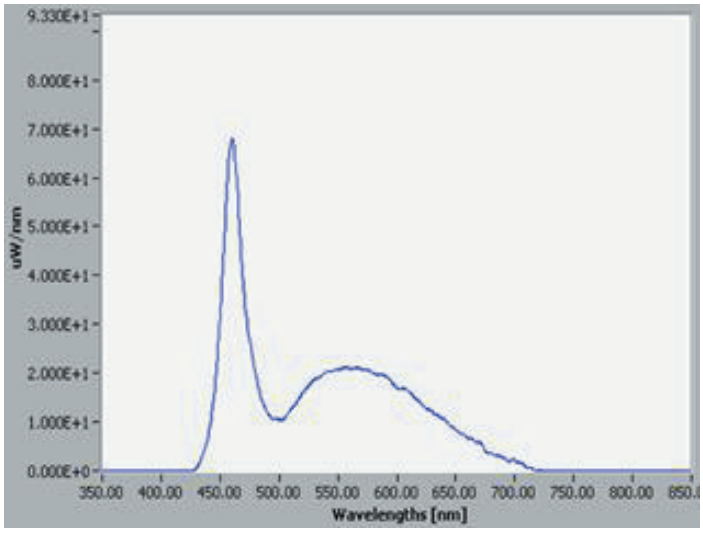


Les llumeneres de leds acostumen a incorporar el transformador. Aquests ja són tots electrònics, i la facilitat per incloure-hi els xips de recepció de senyal des d'un programador fa que aquestes llumeneres es puguin classificar com "electròniques".

Amb això, les possibilitats de regulació d'intensitat, els canvis de color activant leds diferents dins la llumenera i l'actuació per senyals programables externes les fan optimitzades per a la regulació segons els nivells de llum natural en diferents punts de l'espai, així com amb variació de la temperatura de color segons el color de la natural en aquell moment o per muntar "escenes" visuals específiques segons desig de l'usuari.

Això és el positiu, el negatiu és que encara no existeixen leds blancs de diferent tonalitat, són d'un blanc blavós amb uns 5.000 K i cal tenir al costat leds vermells per compensar-ho. També precisen una bona dispersió tèrmica perquè no disminueixi la seva vida útil molt per sota de la nominal o teòrica de les 50.000 hores.

Fig. 5.86
Espectre d'emissió d'un led blanc..





a. b.

Fig. 5.87
Algunes llumeneres de leds.

a. Detall d'una llumenera amb leds.

b. Làmpada Philips, de led blanc amb forma semblant a les Incandescents tradicionals, 2008.

L'OLED (*Organic Light-Emitting Diode*) és un díode basat en una capa electroluminiscent que està formada per una pel·lícula de components orgànics, i que reaccionen a una determinada estimulació elèctrica, generant i emetent llum per si mateix.

La seva aplicació és realment àmplia, molt més que, en el cas que ens ocupa (la seva aplicació en el món de la informàtica), qualsevol altra tecnologia existent.

A més, però, les tecnologies basades en oled no només tenen una aplicació purament com a pantalles reproductores d'imatge, sinó que el seu horitzó s'amplia al camp de la il luminació, privacitat i d'altres múltiples usos que se li pugui donar.

Una solució tecnològica que pretén aprofitar els avantatges de l'eficiència alta dels leds típics (fets amb materials inorgànics principalment) i els costos menors dels oled (derivats de l'ús de materials orgànics) són els sistemes d'il·luminació híbrids (orgànics/inorgànics) basats en díodes emissors de llum. Dos exemples d'aquest tipus de solució tecnològica els està intentat comercialitzar l'empresa Cyberlux amb els noms d'HWL (Hybrid White Light: 'llum blanca híbrida') i HML (Hybrid Multicolor Light: 'llum multicolor híbrida'). El resultat pot produir sistemes de

Il·luminació molt més eficients i amb un cost menor que els actuals [4].

El futur immediat serà amb el desenvolupament dels leds orgànics **oleds,** que fins i tot permetran crear làmines integrables a vidres i a baix cost, i podran aconseguir, amb la mescla d'òxids, els colors que es desitgin.





Fig. 5.88
Algunes llumeneres d'oleds.

Oled utilitzat com a material de revestiment d'una paret, com si fos ceràmica lluminosa.

Taula 5.18
Alguns compostos utilitzats en la fabricació de leds.

COMPOSTOS UTILITZATS EN LA CONSTRUCCIÓ DE LEDS		
Compost	**Color**	**Long. d'ona de la llum emesa**
Arseniur de gal·li (GaAs)	Infraroig	940 nm
Arseniur de gal·li i alumini (AlGaAs)	Rojo i infraroig	890 nm
Arseniur fosfur de gal·li (GaAsP)	Roig, ataronjat i groc	630 nm
Fosfur de gal·li (GaP)	Verd	555 nm
Nitrur de gal·li (GaN)	Verd	525 nm
Seleniur de zinc (ZnSe)	Blau	
Nitrur de gal·li i indi (InGaN)	Blau	450 nm
Carbur de silici (SiC)	Blau	480 nm
Diamant (C)	Ultraviolat	
Silici (Si)	En desenvolupament	

5.8.9 *Lamp Designation System*

El *Lamp Designation System (Uniform designation system for electrical lamps for general lighting)* és un codi, aprovat l'agost de 1994, per unificar les diferents designacions de les làmpades elèctriques comercialitzades pels fabricants, de manera que tots ells facin servir els mateixos criteris per a la designació i identificació dels seus productes.

Ressenya en resum

Part A. Recull la identificació de la família de la làmpada, de les característiques de l'ampolla, així com de la seva forma. Està formada per tres caràcters principals, a, b i c, que es corresponen amb les descripcions següents:

a) producció de la llum: I incandescència, H *high pressure discharge* (descàrrega a alta pressió) , L *low pressure* (baixa pressió) *discharge*;
b) material de l'ampolla: G *glass* (vidre), Q *quartz*(quarç), M *mercuri*(mercuri), I *iodine*(iode), S *sodium*(sodi);
c) forma de l'ampolla: A *all purpose* (diverses), C *candle*(espelma), D *drop*, E *elliptical* (el·líptica), G *globe*(globo), L *lineal*, R reflector, T tubular, etc.

Seguidament identificarem les denominacions de làmpades mes freqüents:

a	**b**	**c**	**exemples**
(I)	G	ER	IGER
(I)	G	R	
(I)	Q	T	
(I)	Q	R	
(I)	Q	R-CB	Reflectores dicroiques (*Cool Beam*)
H	Q	L	Vapor de mercuri AP, *lineal* (normal)
H	M	E	HME vapor de mercuri AP, *hight pressure*, *mercury*, *elliptical form*
H	Q	I	H *hight pressure*, quars, *iodine*, descàrrega d'halogenurs metàl·lics
H	I	R	*Hight pressure*, iode, reflectora, d'halogenurs metàl·lics
H	I	T	*Hight pressure*, iode, tubular, d'halogenurs metàl·lics
L	M	TC-DSE	*Low pressure*, *mercury*, tubular compact, DES doble tub luorescent amb balast electronic
L	M	T	*Low pressure*, *mercury*, *tubular*, T 26 18W /54-1A Fluorescent estàndard, 18W, 5000K, Rg 1

Part B (complements i sufixos). Recull la descripció dels complements i d'algunes característiques complementàries de les làmpades.

Els sufixos més freqüents són els següents:

ax	Axial filament
CB	Cool Beam
CBC	Cool Beam Closed
DE	Double Ended
DSE	Double tube compact fluorescent, self ballasted (compacte), electronic
EL	Electronic ballast
H	Horizontal lamp position
HS	Hight Security
L	Long compact fluorescent
T	Triple tube compact fluorescent
Q	Quadruple tube compact fluorescent
SE	Self ballasted, electronic
tr	Transversal filament
UVr	UV reduced lamp
V	Vertical lamp position

Part C. Correspon a característiques elèctriques, geomètriques i dimensionals. Els sufixos més freqüents són els següents:

C.1	Diàmetre de l'ampolla.	Excepcionalment les làmpades PAR se segueixen expressant amb el diàmetre en octaus de polsada. PAR 20 20/8" = 63,5 mm; PAR 36 36/8" = 114,3 mm; PAR 38 38/8" = 120,65 mm
C.2	Wattage	S'expressa amb "diameter-wattage"
C.3	Bulb colour	c: clear; cr: crystal; m: matt; o: opal; w: white El color només cal expressar-lo quan sigui necessari.
C.4	Shielding Angle	(angle de projecció-concentració de l'emissió). S'expressa després de la potència. Per exemple una reflectora R80: 100W/m/80º
C.5	Lamp Cap Type	(tipus de connexió). Els tipus més freqüents són: E14, E27, E40, GY6,35, R7s, G12
C.6	d	Tensió del corrent elèctric; tipus: 6-12-24V en MBT i 125-230V en BT

Part D. Correspon a les caracterisriques cromàtiques de la llum que produeix la làmpada. Principalment la temperatura de color en K i el rendiment de color IRC.

D.1 *Light colour* (temperatura de color en Kelvins)

Es pot expressar només amb dos dígits; p.e., superior a 3000K → 30, que permet tenir una idea d'aproximació.

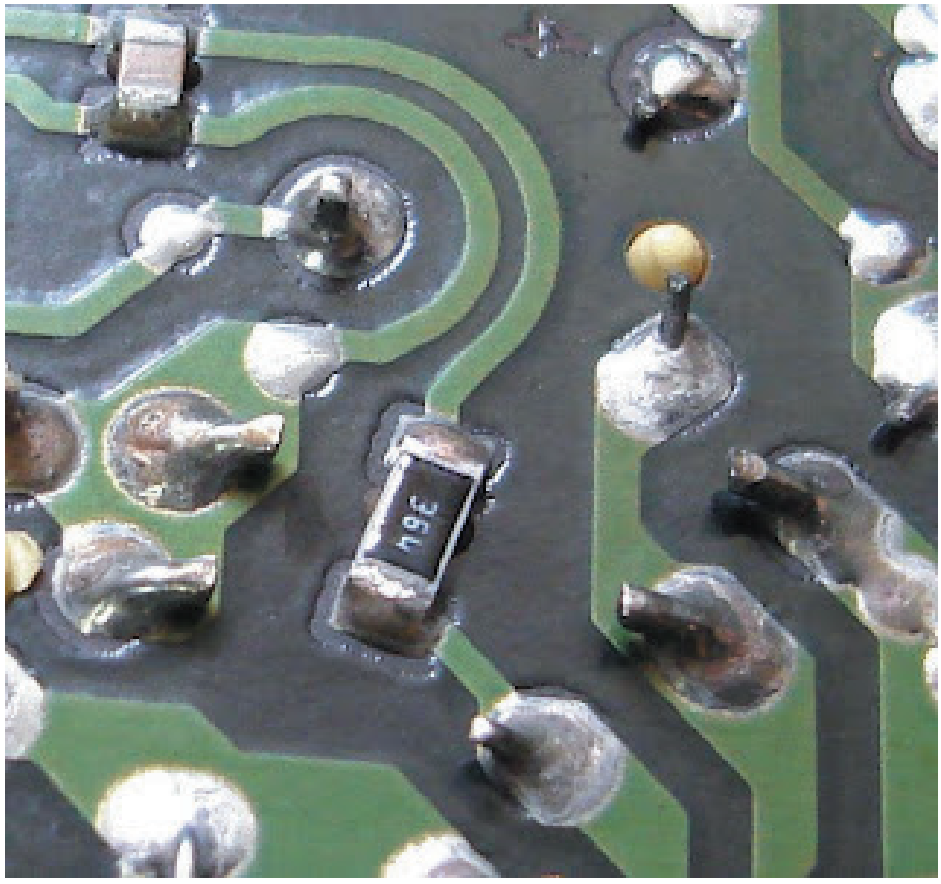
D.2 *Colour rendition* (índex de rendiment cromàtic, IRC, o rang de qualitat de reproducció dels colors)

Es pot expressar l'IRC amb dos dígits (0-99) o bé de forma simplificada i conjuntament amb la T de color; p.e., 85, on el 8 expressa superior a 80 i el 5 superior a 5.000 K.

També es pot emprar el rang (entre 1-4) i el complement A ò B; p.e., QR-CB51 50W/30-1A.



Instal·lacions auxiliars i complementàries (dels sistemes)



6.1 Infraestructura mecànica: de fixació, protecció i orientació

Caldrà tenir presents les condicions i capacitats dels elements constructius dels edificis com les seves parets, sostres, etc. per a suportar, integrar i potenciar els elements del sistema d'enllumenat. La resistència, gruix, material, color, etc. d'aquests poden afectar la decisió i els resultats.

Un cel ras pot incorporar les fonts de llum, però cal conèixer les dimensions i necessitats de ventilació de la llumenera per fixar l'alçària lliure mínima i la possible necessitat de ventilació natural o forçada d'aquesta cambra.

Un carril electrificat serveix per fixar, desplaçar i orientar les llumeneres i també per al subministrament de corrent i el control de les enceses de fins a tres grups de llums. Aquests poden ser suspesos, adossats o encastats.



Fig. 6.1
Detall de carril electrificat i diferents tipus de connexions de llumeneres.

Les bases de fixació a sostre o parets poden incorporar eixos per al gir i les orientacions, així como allargadors amb "jack". Si les làmpades precisen transformadors o d'altres, es poden emprar incorporats a les llumeneres o separats –al fals sostre- si és registrable o en llocs específics com canals d'instal·lacions.

També se'n poden dissenyar o emprar d´industrialitzades, les estructures metàl·liques aèries que poden incorporar d'altres instal·lacions com aire condicionat, sonorització, detectors i alarmes d'intrusisme o foc. Sovint aquestes malles vistes composen un sostre virtual de gran impacte visual que pot significar el motiu principal de disseny de l'espai.

Els mobles electrificats poden contenir d'altres infraestructures com les d'informàtica, so, telecomunicacions, elements mecànics, etc.

Una paret d'obra enguixada pot tenir encastats els conductes elèctrics, però no en un envà simple de cartró-guix, pladur i similars; si de cas caldrà preveure una cambra i uns reforços puntuals per als mecanismes.

En un mur d'una capella romànica no es permetrà la fixació de llumeneres, ni conductes vistos o encastats i tampoc se'ns ocorrerà situar aplics de paret sobre un mur cortina.

Al mateix temps, també a nivell urbà els paviments o murs dels carrers, parcs o jardins, presenten condicionants per a la selecció dels sistemes, fonts i suports.



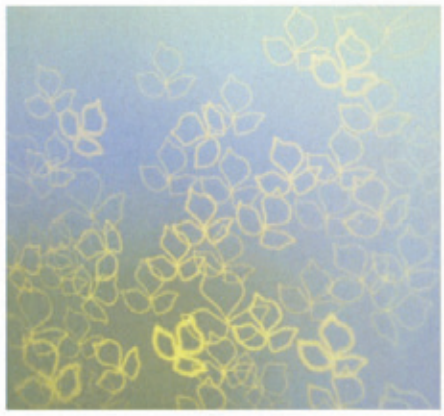
Fig. 6.2
Estructura espacial per a integració d'instal·lacions.



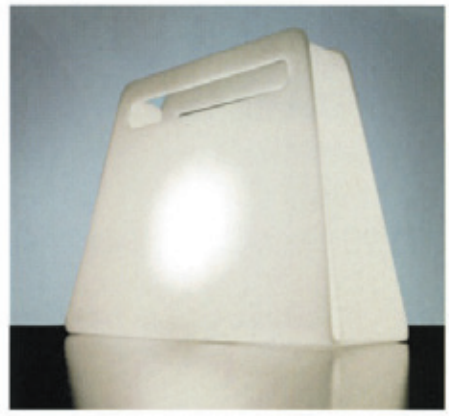
Fig. 6.3
Instal·lació de llumeneres dissenyades especialment per a la ubicació en els capitells.

Fig. 6.4
Llum integrada a objectes i materials.

Propostes per al concurs d'aplicacions 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 elèctrica i electrònica

6.2.1 Dels sistemes

Del subministrament de corrent a tensió normal (230 V), o a molt baixa tensió (6-12-24 V), els equips d'encesa i estabilització (encebadors i reactàncies), condensadors de compensació del factor de potència, etc.

Les instal·lacions del subministrament de potència dels quadres de protecció (principals, secundaris, de planta, de servei, etc.), els quadres de distribució, les caixes de connexió, conductes i conductors, la posta a terra, etc.

Conegut com "el punt de llum" amb la sortida del conducte i els conductors elèctrics al sostre, o a la paret, conegut com "l'aplic".

També amb un endoll connectat a un accionador, situat a la part alta d'una paret des d'on surt el "fil penjant".

O la canaleta adossada a paret o sostre, les canals als terres normals o dels terres tècnics o suspeses al sostre.



Fig. 6.5
Canaleta elèctrica amb mecanismes integrats.
.

Els **carrils electrificats** ja esmentats com a fixació, que poden portar el corrent a 230 V o bé a 12 V, útils quan les làmpades a instal·lar funcionen a 12 V ja que no precisaran incorporar un transformador a cadascuna (el porta el carril en l'extrem del subministrament a 230 V).

Així com les barres metàl·liques i els cables conductors vistos per transportar el corrent a molt baixa tensió (6, 12, ò 24 volts, inofensiva al contacte humà).



Fig. 6.6
Llumenera de baix voltatge amb sistema de cables.
BakaRú,
Ingo Maurer.

Un cas especial és el dels **sistemes per fibra òptica**, on la caixa del generador, amb subministrament de corrent a 230 V es pot situar a distàncies de fins a deu metres dels extrems dels fils de fibra òptica com terminals emissors de llum.



Fig. 6.7
Equip de fibra òptica amb la caixa per a làmpada, lents concentradores i ventilador, cables amb connexió a sortida caixa, models de terminals concentradors i difusors. Zumtobel.

Elèctrica o electrònica dels controls, per al subministrament de tensió als dispositius i per generar la xarxa alàmbrica o inalàmbrica del sistema de regulació, o de programació del funcionament, que pot arribar a formar part d'un sistema informatitzat de gestió integral de l´edifici (mal anomenat "domòtic" i, pitjor encara, "edifici intel·ligent").

Fins al 2001 existien les normes tècniques de l'EIBA (*European Installation Bus Association*) per als sistemes electrònics de controls. A continuació es publicà el nou protocol europeu "DALI" (*Digital Adressable Lighting Interface*), que pot integrar l'EIBA i que defineix les condicions dels sistemes amb conductors de potència i conductors de la xarxa bus. Actualment, des del 2004, es fomenten els sistemes via ràdio –sense fils- per a distàncies curtes dins edificis, fins a teòricament 50 metres, molt més econòmics, així com els sistemes que empren la mateixa instal·lació de potència elèctrica per al transport de senyals. Aquests darrers sistemes no poden incorporar protocols EIBA, ni molt menys el DALI.

6.2.2 Equips auxiliars de les llumeneres

a) Infraestructura física per fixar o suportar les llumeneres

Podem trobar elements tals com els carrils electrificats (vegeuel capítol 5 sobre els sistemes), bases per fixar a sostre o a parets, jacks de prolongació, cables de suspensió, barres rígides de suspensió, bases per deixar a terra o a sobretaula, pinces, etc.

Els seus accessoris han de ser adaptats a les conveniències del sistema.

Moltes de les sèries de llumeneres ofereixen dispositius per carril, o bases per a sostre i paret i també per a terra i taula, però cal comprovar cada cas.

També trobarem llumeneres que permeten incorporar accessoris per a correcció de l'emissió lumínica tals com orelles, reixetes, lents Fresnel o difusores, lents de color, etc.

b) Infraestructura elèctrica

Les llumeneres que puguin incorporar làmpades incandescents a MBT acostumen a contenir el transformador, encara que algunes el deixen exterior per situar a canals.

Les que poden incorporar làmpades fluorescents lineals o compactes –sempre amb l'equip no incorporat- contenen el balast i l'encebador, normalment electrònic.

I les que permeten làmpades d'halogenurs metàl·lics contindran els equips específics per aquestes.

Les que es regulen i/o programen des d'un sistema general de la sala o de l'edifici contindran els receptors de senyals per actuar sobre els autotransformadors i balasts.

També hi ha llumeneres que incorporen els sensors, reguladors i programadors autònoms per a cada unitat.

6.2.3 Equips auxiliars de les làmpades

Es pot dir que quasibé no hi ha cap infraestructura per a les làmpades, ja que tota és a les llumeneres, però algunes molt petites i/o versàtils poden funcionar sense llumenera.

a) Infraestructura física

La mínima expressió són els cables o barres conductores d'electricitat –a MBT- i que actuen com a suport per penjar i connectar a la vegada amb el seu portalàmpades.

b) Infraestructura elèctrica

Els aparells necessaris són els mateixos esmentats per a les llumeneres.

Hi ha làmpades (sense llumenera) que precisen equips auxiliars que, o bé són tan petits i elementals que es poden situar al sistema de bases, barres o jacks, o bé si es disposa d'una canal, canaleta, caixa, o sostre desmuntable es poden aprofitar per allotjar-los.



Fig. 6.5
Components per a làmpades de descàrrega: arrencador, encebador i reactància.



Fig. 6.6
Equips auxiliars per a fluorescents compactes (no integrats).

Recomanacions per a la selecció d'instal·lacions auxiliars de les làmpades

En principi els fabricants de llumeneres donen els aparells equipats per a determinades làmpades i les condicions de funcionament. Ara bé, si primer triem unes llumeneres genèriques i després les làmpades, hem de saber quins elements s'hauran d'incorporar.

Segons el règim de funcionament i regulació previstos de les làmpades caldrà acoplar-les amb uns elements específics. Especialment segons la tipologia de l'espai caldrà preveure aspectes importants.

El nombre d'enceses i apagades diàries

En un **habitatge** les enceses i apagades són molt frequents, especialment en llocs d'accés, distribuïdors, cambres de bany, cuines i d'altres (més de deu al dia) i molt menys a les sales d'estar i dormitoris (tres o quatre al dia).

Als **espais comunitaris dels edificis d'habitatges**, vestíbul, escala, distribuïdors, replans, etc. és possible que si no disposen de llum natural calgui el polsador manual o uns sensors de presència, i si hi ha llum natural caldrà un sensor de llum durant el dia i un programador horari durant la nit.

De totes maneres el sistema més econòmic és el de polsador manual simple que a l'entrar encén el vestíbul i la primera planta i al sortir de l'habitatge amb polsador encén el propi replà i el de la planta inferior.

Per a una **botiga o espais de treball d'una oficina**, les enceses són poques (dues al dia) i el control acostuma a ser manual o amb sensor de llum natural.

Per a les escoles, a les **aules** cal el sensor de llum natural per a les línies properes a les finestres i el control per horari d'ús amb retard si hi ha presència, que pot ser complicat i encaridor.

La duració del període d'encesa

Igualment, per a un habitatge els espais de més freqüència en les enceses esmentats són també aquells en què la duració és més curta.

Als espais comunitaris la duració de l'encesa manual o automàtica és la que cobreix l'arribada a l'ascensor o al pujar dues plantes, aproximadament un minut. Al deixar l'ascensor cal polsar la llum del replà.

Pel que fa al sistema de programació o control de l'encesa, si es disposa d'un programador aquest incorporarà tota classe de sensors necessaris o convenients, però caldrà tenir en compte les prioritats de treball; en cas contrari ens podrem quedar a les fosques sense saber què fer.

Els equips per les làmpades seran els convenients segons la durada de l'encesa. La vida útil de les làmpades es detalla per a duracions de tres hores o de 12 i resulta que en molts casos la durada és molt inferior, sovint de tres o cinc minuts i, per tant, la vida útil serà molt menor que la nominal. En aquests casos és convenient triar làmpades específiques, per exemple en fluorescents compactes les de Philips MASTER PL-L no integrades i amb balast electromagnètic, o en fluorescents lineals.

6.3 Controls de funcionament

Normal: llumeneres amb interruptor o commutador per accionament des de dos o més punts, amb possible regulador d'intensitat, si les làmpades ho accepten, amb *dimmers* manuals.

És el sistema tradicional amb el subministrament de línies de potència a les fonts i als accionadors.

Tot manual: si tots els processos els realitza l'usuari, en realitat no existeix cap sistema de regulació.

Mínims segons normes: control de la il·luminància a l'exterior (sensor exterior), control de la il·luminància mitjana, màxima o mínima de l'ambient (sensors interiors) i control d'il·luminàncies de seguretat (llum d'emergència).

Sistema bàsic complet: control de la il·luminància a l'exterior, control de la il·luminància mitjana, màxima o mínima de l'ambient, control de zones segons orientacions, ocupacions, horaris, nivells d'exigència, escenes desitjades, etc., control de mínims per desocupació dels locals. Pot ser individual de llumenera, de local, de planta, o de tot l'edifici però no bidireccional.

Compost: llumeneres amb diverses làmpades d'enceses independents, i/o diferents regulacions o composicions cromàtiques. També poden incorporar la llum d'emergència, de senyalització o de seguretat per a fallades del corrent,

així com de manteniment de nivell mentre es refreden, es reencenen i arriben a assolir el nivell de règim determinades làmpades de descàrrega.

Programable: la programació del funcionament d'un sistema pot tenir una complexitat determinada en funció de les prestacions desitjades o dels possibles estalvis d'energia. Les programacions poden ser senzilles o molt complexes i incorporar les regulacions amb *dimmers* automàtics des de programadors.

El sistema programable pot controlar les variacions dels nivells i les diferències als controls, segons orientacions, ocupacions, horaris, nivells d'exigència, escenes desitjades, controls de mínims i les previsions de variació de les condicions exteriors, amb capacitat de càlcul en temps real i acumulat per a períodes de consums elèctrics i estalvis d'energia, així com la programació de tasques de manteniment i reposició d'aparells per l'estalvi general. Serà sempre amb direccionalitat i precisa la connexió a un ordinador central "mestre" i diversos d'"esclaus".

En ordre d'importància les prioritats van segons els controls de:

- Manual
- Per sensors de presència
- Per horaris
- Per suficiència de la LN

Bàsic, de cicle o pla de funcionament amb sensors de llum natural, d'ocupació, segons l'horari, etc.

Dinàmic, en funció de moltes variables, creant "escenes" variables des d'un programa informàtic

De manteniment per establir el pla de neteja, reparació, i substitució a temps per prolongar al màxim la seva vida mitjana (útil o econòmica)

Pel control del cost de la instal·lació, del manteniment i de l'energia consumida

Tinguem present que ja es pot projectar una instal·lació en què les llumeneres disposin d'elements capaços d'actuar automàticament, tals com sensors, actuadors i programadors incorporats dins d'elles mateixes.

Els equips unitaris d'encesa i regulació són els que incorporen l'arrencador, l'estabilitzador i un possible transformador, i actualment poden ja incorporar els sensors i programadors.

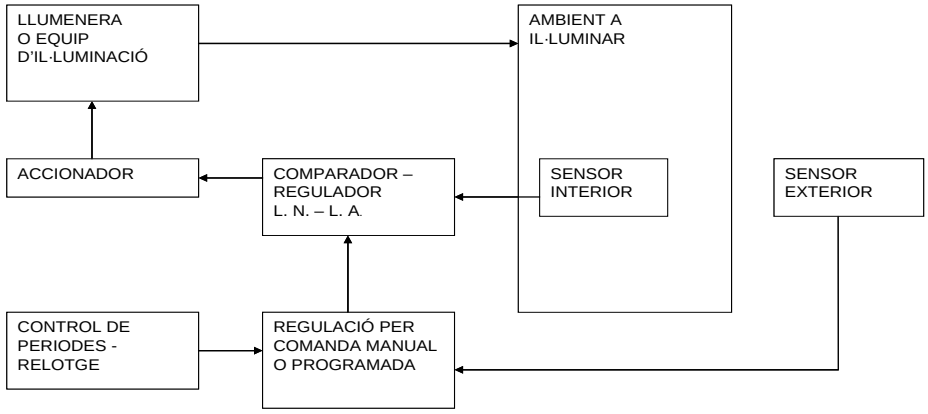


Fig. 6.9
Esquema genèric de sistema de control.

→7

Les normatives



Cal ser conscient que aquesta matèria pateix una revisió permanent per adaptar-se a les evolucions tecnològiques i que els governs intenten adaptar les lleis per evitar que es causin danys o perjudicis a la població. Per això els arquitectes han de conèixer els camps legislatius que afecten la viabilitat dels seus projectes.

El camp de la luminotècnia està evolucionant en forma espectacular i la tecnologia elèctrica i electrònica s'ha adaptat a les premisses de reducció dels consums i les emissions de CO^2.

Els sistemes de regulació i programació de la llum interior als edificis permeten mantenir els nivells d'il·luminació desitjats apagant o reduint les il·luminàncies fins a nivells econòmics, així com també l'arquitectura amb la captació i transport de la llum natural esdevé un referent també enfront a l'estalvi d'energia a l'adaptar el funcionament dels sistemes elèctrics als nivells obtinguts per la llum natural.

D'aquesta manera es disposa en l'actualitat de les normes següents:

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión *–REBT- , R.D. 842/2002, de 2 de agosto y sus Instrucciones Técnicas Complementarias*. D'àmbit totalment dedicat al funcionament de les instal·lacions elèctriques, i parcialment a les d'il·luminació.

Reglamento de Eficiencia energética en el alumbrado exterior *-REEA'S- y sus Instrucciones Técnicas Complementarias EA-01 a EA-07. R.D. 1890/2008, de 14 de noviembre BOE 279 de 19/11/2008*.

Camp: Instal·lacions d'enllumenat públic amb més de 1 kW

Esmenta: "*El uso irracional de la energía y la contaminación lumínica suponen un impacto negativo sobre el medio ambiente*", així com "*permite que se puedan conceder excepciones a sus prescripciones, en casos justificados debidamente, a fin de evitar situaciones de inaplicabilidad.*"

Vegeu 4. ALUMBRADO ORNAMENTAL
Fachadas de edificios, etc.
Vegeu Taula 3 de ITC-EA-03 Limitaciones de la luz molesta
VegeuTaula 17 Evaluación del deslumbramiento mediante el Índice UGR

I.T.C.:

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
Amb profusió d'informació sobre les làmpades a emprar i les eficiències exigides.

Guia de Aplicación CELMA (*Federación de Asociaciones Europeas de luminarias y equipos electrónicos de la UE, amb ANFALUM com a membre únic d'Espanya*) encara no apareixen les làmpades, pendents d'incorporació en la propera revisió.

Alumbrado doméstico. Reglamento 244/2009
Relacionat amb el calendari d'eliminació de làmpades

Directiva Europea EUP 2005/32/CE –Energy Using Products-, acceptada a Espanya pel R.D. 1369/2007

Entre d'altres, als espais de treball en interiors, amb permanència de persones cal un IRC mínim de 80.

Així, l'eliminació del mercat (excepte àmbits privats o domèstics) de les làmpades amb eficàcies menors de 20 lm/W.

- CTE-HE3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación (VEEI)
- CTE-SU4 Seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada
- CTE- HE5 Contribució fotovoltaica mínima d'energia elèctrica
- 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

D'altres normes relacionades amb l'enllumenat

- *RAEE: Real Decreto sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos*
- *RoHS Directiva 2002/95CE: Restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos*
- *RD 838/2002: Requisitos de Eficiencia Energética de los balastos de lámparas flourescentes*

Decret de la Generalitat de Catalunya 21/2006 de 14 de febrer d'Ecoeficiència als edificis.

Segona Part
Criteris de disseny lumínic en Arquitectura

El disseny lumínic en l'Arquitectura



Tenint en consideració les anteriors característiques associades a la llum, l'observador i l'espai, el projecte d'il·luminació segons **el disseny lumínic en l'arquitectura** ha d'actuar d'acord amb les decisions formals del disseny arquitectònic, per així obtenir un resultat global de potenciació perceptiva de l'espai arquitectònic.

El projecte lumínic, segons Bruno Zevi, engloba els aspectes lumínics i atmosfèrics i està dins dels valors artístics o *Venustas,* tot recordant Vitrubi i les tres condicions de la bona arquitectura: *Firmitas, Utilitas i Venustas*.

8.1 Antecedents i principis

Si la llum forma part de l'arquitectura, cal preguntar-se: quan i com s'ha d'incorporar al projecte arquitectònic?

Ja hem vist com la il·luminació va entrar en el debat arquitectònic gràcies a arquitectes i enginyers com Raymon Hood i Joachim Teichmüler, tot reconeixent el paper "constructiu" de la llum i la necessitat d'incorporar-la en la "idea" de l'arquitectura.

La influència de la il·luminació escènica en la il·luminació arquitectònica és evident; el pas dels dissenyadors lumínics escènics americans cap a l'arquitectura va ser freqüent, les primeres escoles de formació de professionals de la luminotècnia com l'*School of Drame*, de Yale, eren per a la il·luminació escènica.

Les possibilitats "efectistes" i "creatives " de l'escenografia van fer avançar la luminotècnia de simple disciplina tècnica a "creativa" i qualificadora de l'escena arquitectònica. A poc a poc comença a gestar-se la figura del "luminotècnic", més tard "dissenyador lumínic", per assessorar els arquitectes en el desenvolupament dels projectes i/o en la presa de decisions lumíniques (vegeu les col·laboracions entre Richard Kelly i Mies, Khan etc.). Aquest canvi comportarà adaptacions en els criteris d'intervenció donada la important diferència conceptual entre escenografia i espai arquitectònic.

La voluntat de crear nous "efectes espacials" és una preocupació constant dels arquitectes que animarà la indústria luminotècnica a crear noves llumeneres i perfeccionar làmpades, equips i tecnologia en general.

Aquest procés inicial s'ha invertit en l'actualitat, on la potent indústria luminotècnica necessita una innovació contínua per fer "comercials" i rendibles els seus productes, donada la forta competència del sector, cosa que comporta la necessitat d'una renovada "posada en escena" i anima els arquitectes a projectar espais nous on aplicar aquests productes i experimentar els seus innovadors efectes.

8.2 Objectius i mètodes

Les utilitats esmentades des dels àmbits tecnològics, com de **prestació visual, confort**, i/o **confort bàsic**, no tenen més efecte que poder realitzar unes tasques amb uns mínims d'exigències visuals.

Les possibilitats del disseny lumínic obren un camp d'actuació del dissenyador, principalment per a **la significació de l'espai arquitectònic** (espai tridimensional perceptiu), la qual cosa representa l'actitud de disseny amb la llum. Ens estem referint (vegeu capítol 1, La llum i la percepció) a la ocultació i/o la percepció i expressió de l'espai i dels elements continguts, generant unes imatges visuals que incorporin un missatge estètic o provocador d'alguna sensació intel·lectual.

Per exemple, segons l'efecte percebut a l'espai, es poden generar sensacions de:

Taula 8.1
Sensacions segons l'efecte perceptiu de l'espai.

SENSACIONS GENERADES SEGONS L'EFECTE PERCEPTIU DE L'ESPAI	
CENTRE	(llum centrípeta)
CONTORN	(llum centrífuga)
CIRCULACIÓ o de CONTINUÏTAT	(acceleració)
BARRERA VISUAL	(aturada del desplaçament)
GLOBALITZACIÓ	(espacial)
UNIFORMITAT	(a paraments)
CONTRAST	(potenciació de formes i textures)
LOCALITZACIÓ	(potenciació per la expressió d'elements o objectes, creació de fites espacials)
MODELATGE	(d'objectes volumètrics, ponderació de les ombres pròpies o projectades)

I com a més específics cal afegir els efectes de:

Taula 8.2

SENSACIONS GENERADES SEGONS L'EFECTE PERCEPTIU DE L'ESPAI EFECTES MÉS ESPECÍFICS
POTENCIACIÓ O MODIFICACIÓ VISUAL DE L'ESPAI I ELS CONTINGUTS
GENERACIÓ DE FITES I RECORREGUTS VISUALS
POTENCIACIÓ O ALTERACIÓ DE TEXTURES I COLORS Dissenys de reforçament o d'alteració cromàtica

Seguidament posarem alguns exemples per clarificar els efectes descrits a les taules anteriors.



Fig. 8.1
Efecte de **centre** (llum centrípeta).

Vestíbul Louvre, I.M. Pei.



Fig. 8.2
Efecte de **contorn** (llum centrífuga).
Sala convencional d'exposició.



Fig. 8.3
Efecte de **circulació amb efecte lateral** continu i ocultació de formes o elements a l'altre costat.



Fig. 8.4
Efecte de **barrera visual** (aturada del desplaçament per disminució forta de la llum al davant.



Fig. 8.5
Efecte de ritme, amb fites, acceleració, o percepció i direccionalitat de l'espai. Joieria Vaillo & Irigarai, Arq.



Fig. 8.6
Efecte de **globalització**.
National Gallery de Londres.

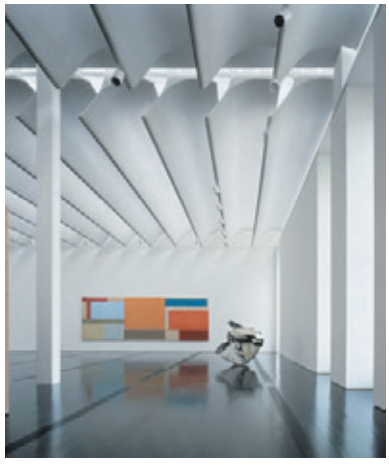




Fig. 8.7
a.Efecte d'**uniformitat**
Fundació Menil.
Renzo Piano.

b. Efecte de **contrast**.
Museu Lehmbruck,
Duisburg.



Fig. 8.8
Efecte de **modelatge**,
terracota. Henry Laurens
al M. Picasso.



Fig. 8.9
Efecte de **modelatge**
,
Il·luminació escènica
d'un cantautor.

8.3 El plantejament del projecte lumínic en l'arquitectura

Històricament s'ha definit l'espai arquitectònic des de la seva materialitat física. Actualment, però, es fa des de la seves qualitats perceptives i el disseny de la seva atmosfera. L'experiència de l'observador es converteix en un element fonamental en la comprensió de l'espai arquitectònic, i en aquest sentit experiència i percepció sensorial són inseparables. La llum permet assolir l'experiència de l'espai a través de la visió.

En el **disseny lumínic en l'arquitectura** es contemplen les dues consideracions anteriors d'espai. S'entén per espai un "àmbit tridimensional dinàmic perceptiu", definit per una envolvent material -tancada o no- d'elements d'estructura -permanent o temporal- amb una determinada il·luminació que caracteritza la seva atmosfera, analitzat des de la percepció visual qualificada arquitectònicament i des d'una posició no estàtica sinó dinàmica.

L'espai arquitectònic és, doncs, un espai tridimensional perceptiu i l'experiència que tindrà d'ell qualsevol observador dependrà de la seva il·luminació, que haurà de considerar en el seu plantejament conceptual l'espai i les seves característiques físiques, cromàtiques, topològiques i simbòliques, els usuaris, el programa funcional de l'espai i els continguts.

Cal analitzar el projecte en molts aspectes per trobar la motivació del disseny i la seva llum.

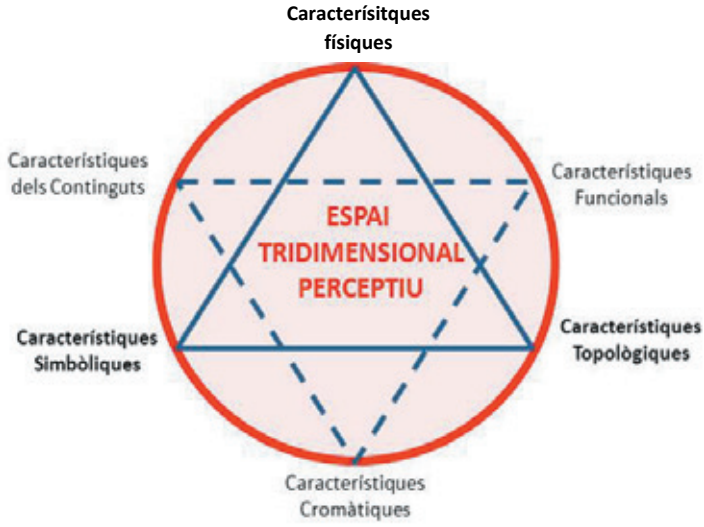


Fig. 8.10
Gràfic resum de les característiques bàsiques de l'espai .

8.3.1 Característiques físiques de l'espai

La definició física de l'espai respon a múltiples consideracions, que responen a àmbits de caracterització conceptual diferents com:

Conceptualització d'àmbit arquitectònic

Taula 8.3
Gràfic resum de les característiques bàsiques de l'espai .

TIPOLOGIA	SEGONS ÀMBIT ARQUITECTÒNIC
INTERIORS	tancats en si mateixos
EXTERIORS	comunicats amb el barri, la ciutat, vials de circulació, etc.
DINÀMIC	espais de circulació, distribuïdors, accessos, locals per a l'esport, etc.
ESTÀTIC	estudi, lectura, treball, descans
VARIABLE	sales multifuncionals, culturals, d'oci
DE TIPOLOGIA ESPECÍFICA	aules escolars, sales d'actes, sales de lectura a biblioteques

Conceptualització d'àmbit tipològic

Taula 8.4
Gràfic resum de les característiques bàsiques de l'espai.

FORMA	SEGONS ÀMBIT TIPOLÒGIC
LINEAL	passadissos
SUPERFICIAL	atenció al terra, camps esportius
VOLUMÈTRICA	gran volums, dobles i triples alçàries

Estructura espacial: com a "*mode*" u "*ordre*" característic de l'organització de l'espai, li confereix un caràcter clarament identificable i classificable; així, tindrem espais d'estructura formal amb diferents expressions.

Taula 8.5Gràfic resum de les característiques bàsiques de l'espai.

SEGONS ESTRUCTURA ESPACIAL
- compacte-unitari
- disgregat-fragmentat
- organitzat amb possibles modulacions
- seqüencial, amb rimats
- amorf, de difícil comprensió de les dimensions
- continu o lineal (túnels, passadissos etc.)
- espai de domini vertical
- espai de domini horitzontal
Etc.

Conceptualització d'àmbit geomètric

Taula 8.6
Gràfic resum de les característiques bàsiques de l'espai.

FORMA SEGONS ÀMBIT GEOMÈTRIC
RECTANGULAR
CIRCULAR
TRENCADA
CORBADA
COMPLEXA

Conceptualització d'àmbit dimensional

Dimensions característiques: són les dimensions reals dels elements delimitadors de l'espai i coincideixen amb les mides geomètriques de les tres dimensions: amplada, llargada, alçada (a, b, h). La superfície com a extensió i el volum.

SEGONS ÀMBIT DIMENSIONAL	
ALÇÀRIA LLIURE	
	CONSTANT Valors: ∗ 3,00 / 3,05 4 4,00 / > 4,05
	VARIABLE O HETEREOGÈNIA
SUPERFÍCIE ÚTIL	DIMENSIONS APROXIMADES

Taula 8.7
Gràfic resum de les característiques bàsiques de l'espai.

Conceptualització d'àmbit material

SEGONS CARACTERÍSTIQUES I PARÀMETRES D'ÀMBIT MATERIAL	
DELS ELEMENTS DE TANCAMENT	PARAMENTS OPACS SOSTRE PARETS TERRA
MATERIAL, RELLEU, TEXTURA, RUGOSITAT, COLOR	REFLECTÀNCIA GENERAL I ESPECÍFICA A COLORS
PARAMENTS TRANSLÙCIDS	A SOSTRE, PARETS I ALTRES PARAMENTS MATERIAL, TRANSPARÈNCIA, COLOR

Taula 8.8
Gràfic resum de les característiques bàsiques de l'espai .

8.3.2 Característiques del contingut

SEGONS MOBILIARI I EQUIPAMENTS (amb ús continu o esporàdic)
FIX O MÒBIL
DIMENSIONS, POSICIÓ
MATERIAL I COLOR
EQUIPS INFORMÀTICS Centraletes i/o individuals, plotters, grans escàners, etc.

8.3.3 Característiques funcionals (del programa de funcionament)

SEGONS FUNCIONS ESPECÍFIQUES BÀSIQUES / ALEATÒRIES / ESPORÀDIQUES
INTEL·LECTUAL Escoles, biblioteques, museus
LABORAL Oficines, entitats públiques
ESPORTIVES Poliesportius, piscines cobertes, gimnasos, centres especials
Altres DEFINICIÓ de l'edifici, de la propietat i gestió, etc. HORARIS del funcionament CALENDARI mesos d'activitat, vacances, etc.

Taula 8.9
Taula de carácterístiques funcionals segons les funcions específiques de l'edifici.

8.3.4 Característiques dels usuaris

Cal definir els tipus de públic usuari o visitant de l'edifici per tal d'oferir uns efectes visuals adequats o proporcionals a les seves conveniències i capacitats perceptives, tant les físiques com les culturals.

Es mostra aquí una taula per a les consideracions convenients

Taula 8.10
Taula de condicions de l'observador per a la qualitat perceptiva.

Observador Usuari		Capacitat per-ceptiva	Sensibilitat corregida	Sensibilitat als contrastos
1.	Tipus físic	Camp visual	Per acomodació	
2.	Fisiologia /edat Salut	Reduïda/normal	Per defectes	
3.	Activitat/útils	Agudesa	Per adaptació	
4.	Moviment/velocitat			Per incapacitat o concentració
5.	Actitud psicològica	Intencionalitat D'observació		No atenta a l'entorn
6.	Efectes per tipus so-ciocultural	Nul Mitjà Alt		Nul Mitjà Alt
7.	Durada de l'observació	< 1min Entre 1 i 5 mín. Entre 5 i 30 mín.		
8.	Efectes de la duració	Enlluernament Acomodació Fatiga visual 43		Possible Difícil Impossible

Tècnicament s'esmenta el factor d'accentuació. El concepte d'il·luminació d'accentuació és semblant al de modelatge, però si bé aquest es refereix principalment a objectes volumètrics, persones, etc., l'accentuació s'utilitza com el de contrast de nivells d'il·luminació per expressar l'efecte de cridar l'atenció sobre un objecte dins un entorn superficial (normalment per a comerços i botigues)

Hi ha una valoració establerta, del Factor d'Accentuació (FA) com a paràmetre que el relaciona amb els efectes perceptius.

$$FA=\frac{E\ objecte}{E\ entorn}$$

Taula 8.11
Gràfic resum de les característiques bàsiques de l'espai.

EFECTES SEGONS FACTOR D'ACCENTUACIÓ	
FA	Efecte
1	Sense efectes
2	Perceptible
5	Lleugerament teatral
15	Teatral
30	Dramàtic
0	Molt dramàtic

8.4 Una nova proposta metodològica per al projecte lumínic en l'arquitectura

La situació de la il·luminació actual ha superat els plantejaments bàsics de Richard Kelly, i de W. Lam, i se situa en el territori dels plantejaments estètics i formals. En el camp de l'arquitectura la proposta és que aquests plantejaments convé incorporar-los en el cos central de l'ensenyament, de forma integrada en la metodologia del projecte arquitectònic.

La metodologia per al desenvolupament del **projecte lumínic en l'arquitectura** contempla un estudi analític, desenvolupat en diverses fases o "estadis" seqüencials, i segueix el procés de projectació arquitectònica comú a la disciplina de projectes.

El primer estadi és l'anomenada "**fase conceptual o creativa**", que consisteix en la definició del paper que la llum artificial tindrà en el projecte arquitectònic; es concretarà en tres fases consecutives:

a) **La primera consistirà en l'expressió escrita** de les idees lumíniques utilitzant conceptes comprensibles, apresos a traves de l'experiència i/o el coneixement visual o cultural del llenguatge lumínic-arquitectònic, que seran el punt de partida del disseny posterior.

b) **La segona contempla el disseny dels efectes escrits i gràfics** que materialitzen les idees anteriors conjuntament amb les imatges espacials (perspectives, croquis, renders, fotografies, etc.) de l'espai arquitectònic.

c) **La tercera recull el disseny del sistema lumínic,** que resoldrà tècnicament els efectes representats i conseqüents amb les idees establertes inicialment, per definir-lo formalment i conjuntament amb el llenguatge arquitectònic. Aquesta fase no pot separar-se de la mateixa fase de creació del projecte i, per tant, correspondrà a l'arquitecte la responsabilitat de portar-la a terme per aconseguir la unitat conceptual entre llum i arquitectura.

El segon estadi correspon a la "**fase tecnològica"** i desenvolupa la "fase conceptual" anterior concretant i definint tots els elements tecnològics necessaris per fer possible la il·luminació dissenyada i haurà d'estar subjecte totalment als paràmetres de disseny definits en la primera fase.

Per resoldre aquesta fase podrem optar per la utilització de productes existents en el mercat o fabricar-los expressament, o bé les dues opcions conjuntament.

No obstant això, l'enorme diversitat de productes i empreses luminotècniques no sempre resulta fàcil o possible trobar la llumenera adequada per aconseguir un efecte concret. D'altra banda, són molts els exemples de llumeneres dis-

senyades *ex professo* per a una obra arquitectònica que no ofereixen la qualitat lumínica necessària en proporció a l'esforç emprat.

Aquesta fase del projecte requereix un profund coneixement d'electrotècnia i luminotècnia, així com de normatives específiques de producció, d'implantació i de prescripció de producte. Comptar amb el suport de les empreses fabricants i/o distribuïdores així com el seu personal tècnic és de gran ajuda a l'arquitecte.

El document del "projecte d'instal·lació" amplia fins al límit expressat anteriorment el projecte executiu d'arquitectura i recull la definició exhaustiva de tots els elements tècnics, amb l'escala adequada (pròxima als projectes d'enginyeria E1:5/10/) per definir la seva implantació en l'arquitectura, així com nombre, disposició exacta, tipus d'elements i infraestructures que componen la totalitat del sistema lumínic.

El tercer estadi desenvolupa la "fase d'execució" i contempla el procés de materialització del projecte que, a l'igual que el procés d'execució arquitectònic, requereix d'un control tècnic capaç de verificar la idoneïtat entre projecte i execució.

Sovint la distància temporal entre projecte i execució comporta un període de temps en què és habitual una evolució i/o nova aparició de productes que en ocasions poden resoldre o millorar alguna deficiència tècnica detectada durant la fase de projecte; es possibilita introduir variacions d'algun producte durant l'execució. En aquest cas és important verificar tant els aspectes formals de disseny d'efectes com els tecnològics i de prescripció.

És molt important recollir en un document final d'execució totes les modificacions realitzades, tot recordant que la vida de la instal·lació tot just s'inicia.

En aquesta fase és habitual la col·laboració entre arquitecte i personal tècnic d'empreses perquè els resultats s'adeqüin als plantejaments conceptuals, d'acord amb el projecte inicial i també amb les modificacions proposades en fase de execució.

Donada la naturalesa de la instal·lació lumínica, resulta possible realitzar petites correccions d'alguns paràmetres como nivell lumínic, temperatura de color, enlluernament, etc., i s'actuarà sobre làmpades, llumeneres i equips de regulació, després de finalitzar el procés de execució, per ajustar els resultats formals, lumínics i perceptius projectats.

És evident que en les fases 2a i 3a es poden detectar aspectes que modifiquen conceptes expressats en la 1a, així com en la 3a es corregeixen alguns de la 2a. El treball de l'arquitecte en el projecte arquitectònic també està sotmès a continus *feedbacks* per motius d'adaptació de criteris als plantejaments de l'estructura, dels sistemes i materials constructius i d'altres, per la qual cosa el seu procés va incorporant-los sense que es modifiquin els criteris inicials. Tampoc passarà a incorporar els de la llum.

En el gràfic següent s'il·lustren les diferents fases de la metodologia per a desenvolupar el projecte d'il·luminació en l'arquitectura:

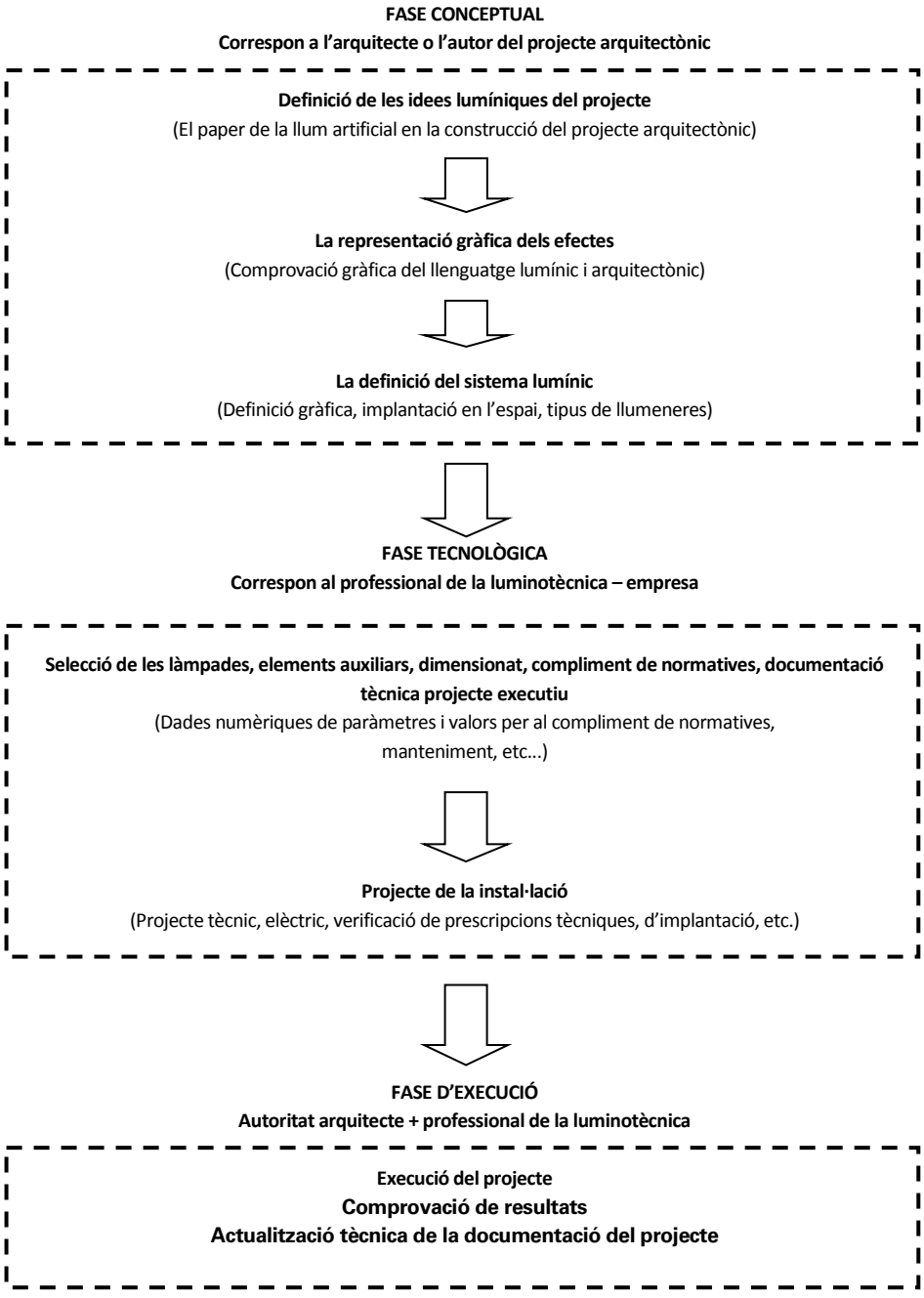


Fig. 8.11
Esquema metodològic per al desenvolupament del projecte d'il·luminació en l'arquitectura.

8.5 Definició de les idees lumíniques

Es tracta de recopilar i utilitzar aquelles expressions que arquitectes i dissenyadors de luminotècnia han anat acumulant al llarg de la experiència i que s'utilitzen habitualment per explicar les qualitats lumíniques que assignen al projecte lumínic.

En definitiva, és l'expressió amb paraules d'una idea que s'ha de materialitzar i s'ha d'expressar mitjanant un llenguatge específic, propi de la il·luminació artificial, associada a l'expressió conceptual dels espais, propis de l'arquitectura.

8.6 La representació gràfica dels efectes

La representació mitjançant dibuixos o imatges forma part de la metodologia arquitectònica i tracta de transmetre les idees lumíniques amb l'ús de diverses tècniques de representació, per ser avaluades, verificades o publicitades abans de la seva execució.

Són també una eina de comprovació de l'efectivitat de les idees plantejades, de l'adequació dels efectes i dels sistemes lumínics a les exigències visuals, perceptives i estètiques de l'espai arquitectònic.

Cal analitzar les diferents tècniques i formats de representació de la il·luminació artificial per explicar les principals característiques i els aspectes significatius associats a cada tipus de tècnica.

Els diferents formats

El format dels dibuixos pot variar segons les diferents fases de realització del projecte. Així, tenim:

- L'esbós conceptual a la "Mendelshon", que vol expressar el concepte lumínic amb un elevat grau d'abstracció.
- El dibuix en perspectiva, que busca plasmar amb major veracitat els efectes que tindrà l'observador.
- La representació en planta, per verificar sobretot la relació existent entre el conjunt d'efectes d'un edifici o espai, identificant contrastos, ritmes, seqüències etc.
- El dibuix en secció, amb indicació del repartiment sobre els paraments verticals, indicant tipus de distribució de taques, ombres, ritmes, etc.

8.6.1 El dibuix en blanc i negre

El croquis en blanc i negre ha estat i és una tècnica molt utilitzada pels pintors en esbossos i estudis preliminars. Especialment clara i intuïtiva és la forma de dibuixar del pintor Georges Seurat, en què la subtilesa en la definició del contrast i la difusió de la llum i la foscor amb suaus degradacions aconsegueix representar l'atmosfera lumínica amb gran precisió. El croquis de la figura 8.12a de Hugh Ferriss de la Hoover Dam de 1930 mostra un efecte lumínic característic dels gratacels americans. Es tracta d'una il·luminació fortament direccional i de gran intensitat lluminosa que es pot apreciar en els paral·lelismes de les ombres projectades (figura 8.12b) i en el fort contrast entre els plans il·luminats i els foscos.

Un altre exemple sons els croquis realitzats per Hugh Ferriss per a la representació del projecte de la General Motors, de l'arquitecte Ero Saarinen, el 1945. En el dibuix realitzat de l'exterior els gradients d'ombra estan molt suavitzats marcant la geometria del voladís lleugerament corbada. Els límits entre les superfícies il·luminades i el cel estan molt marcats, cosa que no passa amb les taques de llum sobre el paviment, que es difuminen a mida que s'allunyen del focus lluminós interior.



Fig. 8.12
Croquis de Hugh Ferriss de l'edifici Hoover Dam de 1930.

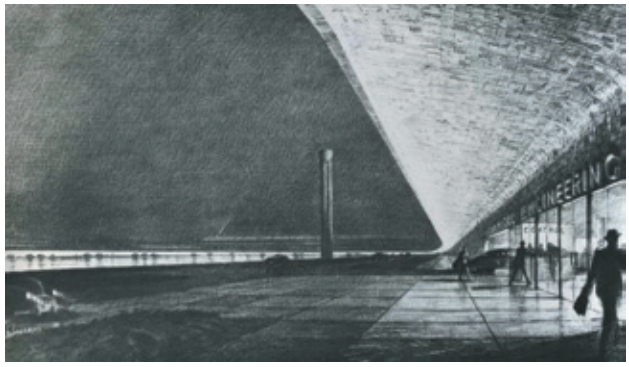


Fig. 8.13
Dibuix exterior de The General Motors Tecnical Centre. 1945, Hugh Ferriss.

Els dibuixos de W. Lam, realitzats per representar els efectes del sistema lumínic de la *Walters Art Galery*, Baltimore, Maryland, 1974, més que expressar els efectes lumínics reflecteix la presència visual del sistema lumínic. De fet, la majoria dels croquis de Lam són la comprovació d'una proposta lumínica concreta, més tècnica que efectista. Lam és un enginyer que dibuixa les propostes per als projectes que se li encarreguen. El plantejament de la il·luminació sempre es *a posteriori* del plantejament arquitectònic.



Figura 8.14
Croquis de W. Lam per la il·luminació de la Walters Art Galery, Baltimore, Maryland, 1974.

La tècnica de dibuix en blanc i negre

La tècnica del dibuix a mà alçada, en blanc i negre, s'utilitza per representar els efectes de la il·luminació en base a una escala de grisos que va des del blanc lluminós fins a la foscor del negre, amb la qual podem representar el següent:

– La distribució de la llum sobre els objectes i l'espai, representada amb taques de color blanc o negre, que indicaran aspectes com la uniformitat o localització, ritme i d'altres.

- La variació de la intensitat lluminosa es representarà amb la variació de l'escala de grisos, prenent el blanc com el més lluminós i el negre com el més fosc.
- La direccionalitat de la llum s'expressa mitjançant el grafisme de les taques lluminoses, ombres pròpies i, sobretot, ombres projectades.

Amb els gradients de grisos podem aconseguir representar efectes de profunditat, diferenciar les superfícies planes de les corbades i les figures llises de les volumètriques.

La importància de la taca de llum i de l'ombra predominarà sobre la definició dels objectes i de l'espai a través de línies on els límits de les figures sorgiran gràcies a canvis de lluminositat, movent-se sempre en l'ampla frontera entre la llum i la foscor.

En canvi, en els dibuixos de la Fig. 8.16 amb llapis de carbó sobre cartolina blanca, el llapis indica la foscor i el blanc la llum. En aquest cas, per representar escales de lluminositat hem de jugar amb l'escala de grisos, en què la degradació indicarà la geometria de les superfícies (vegeu degradacions accelerades en els pilars rodons i degradacions uniformes en les prestatgeries o el sostre pla).

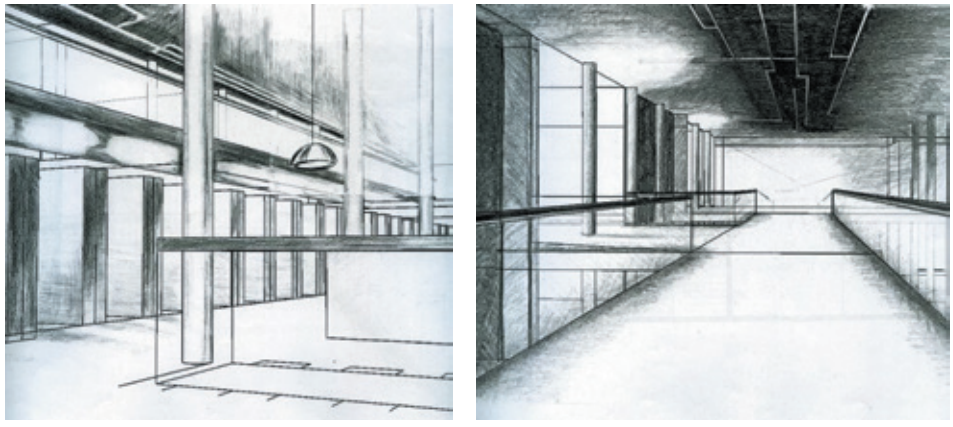


Figura 8.15
Dibuix en perspectiva. Tècnica de carbó sobre cartolina blanca.

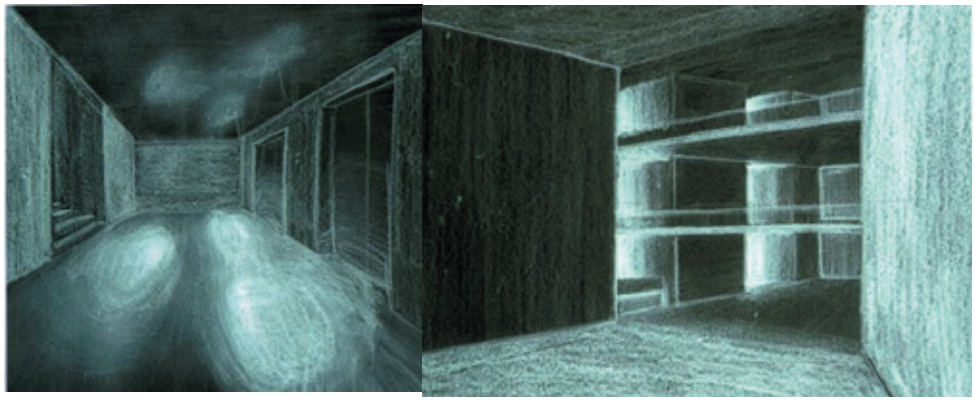


Fig. 8.16
Dibuix en perspectiva. Llapis blanc sobre cartolina negra.

Si el dibuix es fa sobre una cartolina de color negre, el color del llapis a utilitzar és blanc o gris clar per expressar les taques de llum. Especialment significatives són les línies i arestes que defineixen l'encontre i els canvis de plans, que a l'estar dibuixades amb color blanc semblen tenir una lluminositat pròpia (veurem que aquest és un dels problemes característics dels dibuixos en negatiu).

Problemes semblants es donen quan es dibuixa amb la previsió de fer la còpia impresa invertida (blancs per negres), on poden aparèixer grafismes incoherents amb els propis dissenys.

8.6.2 La tècnica del dibuix a color

La representació gràfica dels efectes lumínics utilitzant el color és una tècnica més complexa que amb el blanc i negre. Per ser fidels a la realitat cal representar tant els colors propis dels paraments com els de la llum i les interaccions mútues entre ambdues. Els resultats són imatges d'un treball molt elaborat que podem aconseguir amb les tècniques de render informàtic, tal com veurem mes endavant.

En el procés de projectació *a priori*, que requereix una certa agilitat, cal acordar un simbolisme en l'ús dels colors encaminat a representar efectes fàcilment comprensibles.

Una part de la representació dels efectes se centra en les qualitats cromàtiques de la llum artificial que, en termes generals, són la temperatura de color (K) i la capacitat de reproducció cromàtica (Ra). D'aquest dos paràmetres, el primer permet una fàcil representació donada l'associació psicològica existent entre tonalitats cromàtiques i colors.

Així podrem representar la temperatura de color de la llum d'acord amb la classificació bàsica de càlida, neutra i freda utilitzant llapis de colors càlids, freds o intermitjos, tal com s'indica en la taula següent:

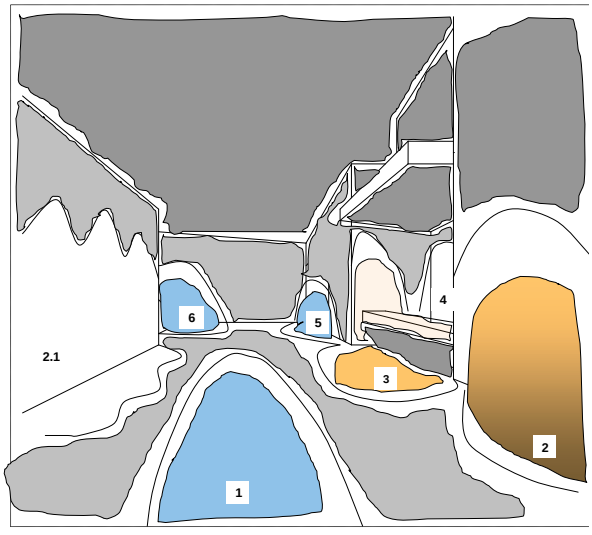
Taula 8.12
Relació entre tonalitats de la llum i colors.

TONALITATS DE LA LLUM I COLORS	
K de la llum	**COLOR del llapis**
LLUM CÀLIDA Fins a 3200K	TARONJA, GROC VERMELL, PORPRA
LLUM NEUTRA a CÀLIDA De 3200 a 3500K	GRISOS BARREJATS AMB GROC, TARONJA VERMELL , PORPRA
LLUM NEUTRA a FREDA De 3500 a 4500K	GRISOS BARREJATS AMB VERD, BLAU-VERDÓS BLAU
LLUM FREDA >4500K	VERD BLAU-VERDÓS BLAU VIOLETA

Aquest croquis introdueix alhora una il·luminació càlida combinada amb la il·luminació de llums de colors blau i vermell, combina una imatge interior amb exterior amb tonalitats càlides i fredes.



Fig. 8.17.
Representació d'efectes amb tècnica de color.



Zonificació i efectes llumínics

1. Entrada i circulació, bàsica
Direccionalitzar cap a recepció, ascensors o escala
2 espera
Expressió espai secundari
2.1 acompanyament lateral
Reforç de direccionalitat
3 recepció
Remarcar caixa del taulell
4 armari busties
Reforç de prestatgeria
5 ascensors
Reforç àrea portes i terra
6. Inici escala
Reforç esglaons i part paret

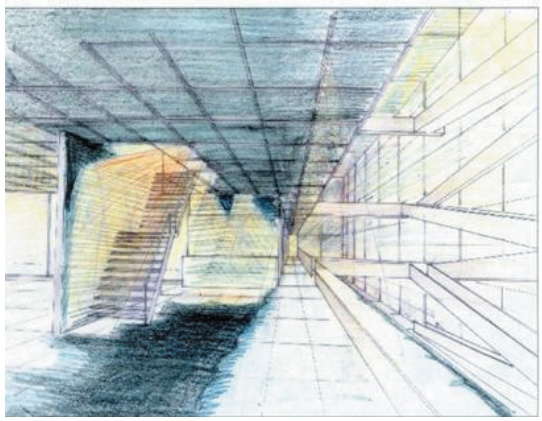
Fig. 8.18
Composició d'efectes lumínics vestíbul edifici oficines .

Resum formes, cromatismes bàsics i temperatura de color

1. CIRCULACIÓ, DINÀMICA: FREDA 5.000 K
2. ESPERA, ESTÀTICA: CÀLIDA 2.500 K
   2.1ACOMPANYAMENT LATERAL: NEUTRE 3.200 K
   2.2 RECEPCIÓ, ESTÀTICA: CÀLIDA 2.500 K
3. ARMARI BÚSTIA: NEUTRA 3.200 K
4. ASCENSORS: DINÀMICA, FREDA 5.000 K
6. INICI ESCALA: DINÀMICA, FREDA, 5.000 K

Aquests croquis incorporen tota la gamma de tonalitats de la llum. Utilitzant tots el colors indicats, els blancs del paper semblen representar zones amb una major il·luminació i potser amb blanc neutre.

Fig. 8.19
Dibuix en perspectiva a color.



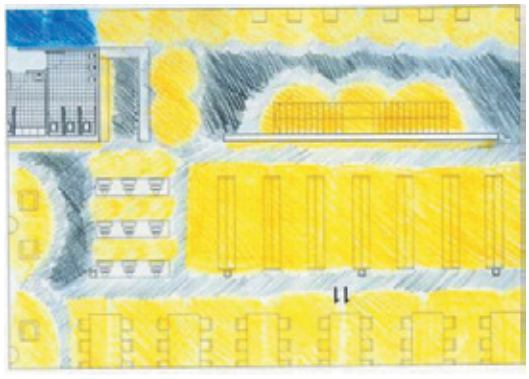


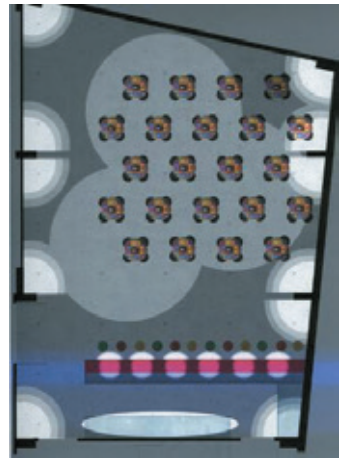
8.6.3 El Dibuix en planta amb la tècnica del color

D'acord amb els criteris de la taula 8.12, el dibuix en planta amb color indicarà la distribució de les il·luminacions càlides, neutres i fredes en les diferents àrees del projecte.

Fig. 8.20
Dibuix en planta a color manual.

Fig. 8.21
Dibuix en planta a color amb ordinador.





La representació gràfica pot ser tant dels efectes com dels paràmetres:

Dels efectes

- Forma de les taques de llum i ombres –amb valors orientatius d'E, línies pels canvis forts–
- Ombrejats manuals amb gradacions expressives
- Dibuixos en B/N i color
- Color dels paraments i dels objectes (cromatisme d'ambient resultant)
- Maquetes, fotos i imatges per ordinador

Dels paràmetres

- Corbes d'il·luminàncies (ISOLUX) a plans H, V, diversos
- Amb modulació de planta (reixetes)
- Amb angles fixos
- Interpolacions. Addició de valors des de varies fonts
- Són valors normalment de mínims.
- Es recomana expressar els marges de variabilitat amb alguna expressió elemental:

$$E = 500 \pm 10\ \% \rightarrow 450 \div 550; \pm 20\ \text{lux}$$

$$IRC = 70 \div 80\ ; \cong 80\ , \text{etc.} \quad G \leq 2$$

De colors (gammes cromàtiques) blau (freda), blanc (neutre), taronja (càlid)

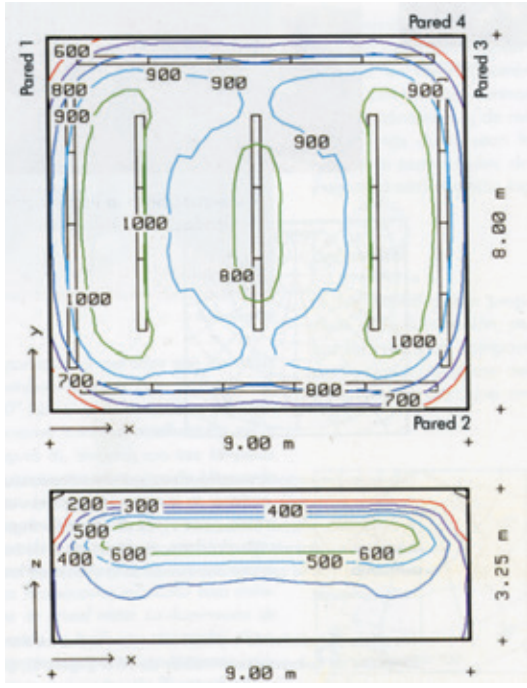




Fig. 8.22
Planta i secció, grafisme expressiu de les corbes isolux (il·luminàncies E. en un local de llibreria.

b. Foto llibreria.

8.6.4 El dibuix en secció amb tècnica de color

Seguint el mateix criteri que el dibuix en blanc i negre, però incorporant les indicacions de la temperatura de color de la il·luminació amb indicació de la distribució sobre els paraments.

Fig. 8.23
a.Dibuix en secció, tècnica manual.

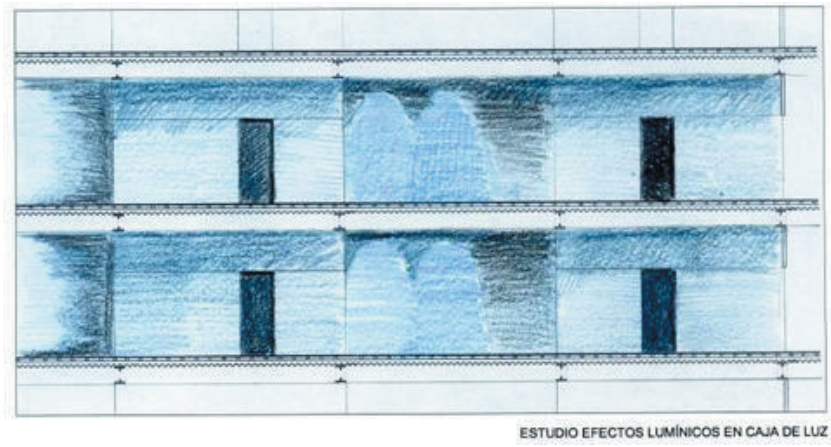
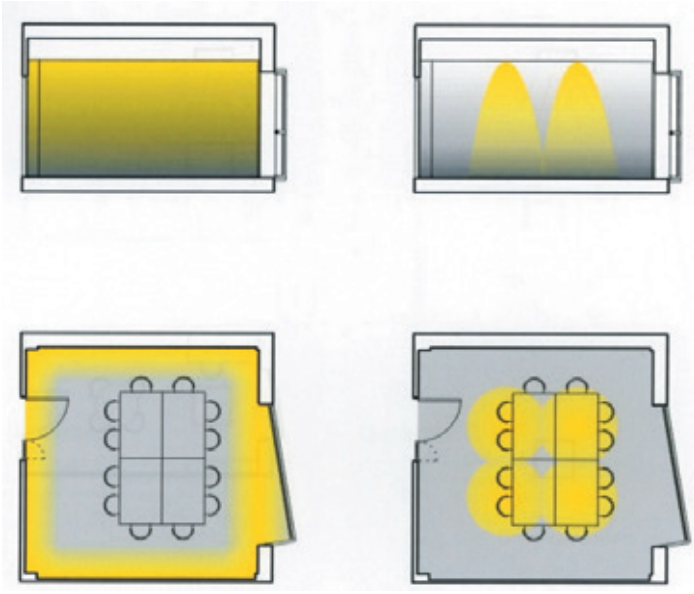


Fig. 8.24
b.Propostes efectes en sala de reunions (dues escenes).



8.6.5 Les maquetes de llum

Una de les tècniques que permet obtenir una visió pròxima a la realitat és la realització de maquetes a escala. Es tracta de reproduccions a escala de l'ordre de 1:20 d'espais en què s'ha col·locat una il·luminació de característiques similars a la projectada per visualitzar els efectes resultants. És una tècnica de comprovació d'efectes en l'espai tridimensional que es poden recollir en fotografia o vídeo.

A diferència de les maquetes a escala, els "*mock ups*" són reproduccions a escala 1:1 d'espais per provar un sistema d'il·luminació artificial que es pretén col·locar; per tant, és una comprovació de la idoneïtat del producte per a la il·luminació d'un espai

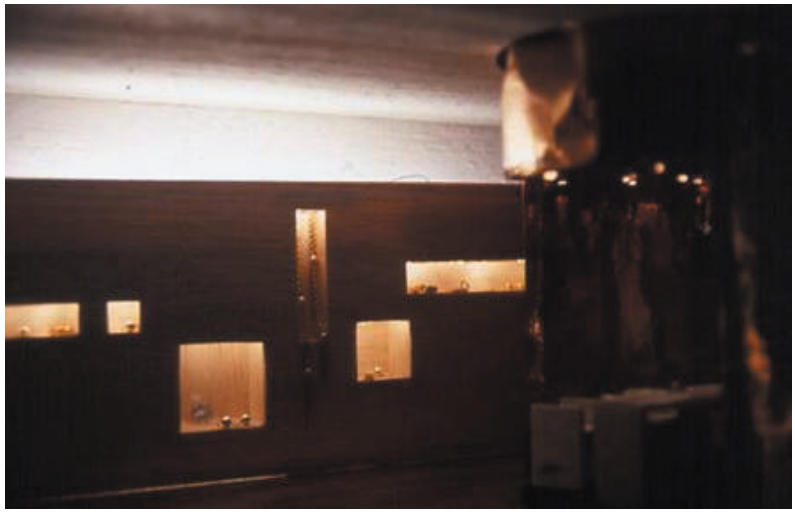


Fig. 8.25
Exemples de maquetes d'il·luminació.

8.6.6 Els renders informàtics

El terme "renderització", de l'anglès "*render*", s'utilitza per referir-se al procés de generació d'una imatge des d'un model. És un procés de càlcul complex desenvolupat per ordinador per a produir una imatge en dues dimensions a partir d'una escena tridimensional. Per tant, podem dir que es tracta d'un procés d'interpretació que s'aplica a la *infografia*, o camp de la informàtica visual.

Els renders són molt utilitzats per a animacions, produccions audiovisuals i, en arquitectura, en programes de disseny en tres dimensions. En infografia (imatge generada per ordinador), la renderització permet reproduir un espai definit per estructures poligonals, per a una il·luminació, per a textures, materials i animació de forma veraç. Els motors de renderització, incorporats als ordinadors, permeten aplicar tècniques complexes com la radiositat per simular efectes de reflexió, refracció o il·luminació general amb l'objectiu de ser molt exactes i obtenir imatges fotorealistes. Els models 3D han de ser molt exactes en termes de geometria i colors, cosa que comporta molta dedicació i treball previs.

En general, aquesta exigència d'exactitud en tots els paràmetres de l'espai per a poder oferir una renderització realista fa que aquesta tècnica sigui més de presentació final del projecte que de treball durant el projecte. Una prova d'això ha estat l'ús massiu que s'ha fet dels renders en els concursos d'arquitectura des dels anys 90.

Algunes imatges de renders d'espais interiors:

Fig. 8.26
Diferents imatges renderitzades d'espais interiors.

a. Torre Pad. James Law, Arquitecte.

b. Water cub, Beijing. PTW Architects.

c. Paul Andrew, Arquitecte.

d. Edifici Niu, Beijing. Herzog & de Meuron,Architectes.


a


b


c


d

Algunes imatges de renders exteriors:

Fig. 8.27
Diferents imatges renderitzades d'edificis.

a. Concurs F.C. Barcelona. N. Foster, Arquitecte.

b. Huangpu sports and Bisnes Center. PTW Architects.

c. Concurs Estadi Rico Pèrez. Estudio Lamela Arquitectes.

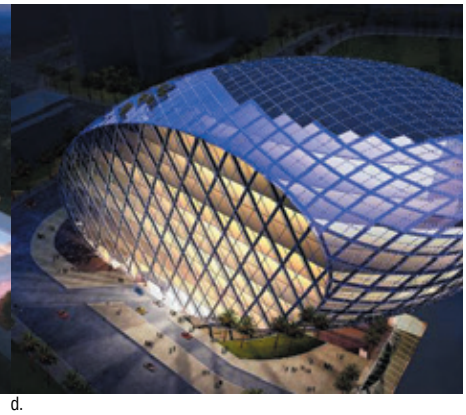
d. Edifici Eggs Big. James Law. Architecte


a.



b.


c.


d.

8.6.7 Futures formes de representació tridimensionals

Aquesta evolució de les tècniques de representació de l'espai es dirigeix acceleradament cap a la realitat virtual (RV), que estableix una nova forma de relació entre l'espai i el temps, superant les barreres tradicionals gràcies a un entorn de comunicació i informació accessible, alhora que permet la generació de nous espais d'intercanvi flexibles i no físics.

Cal distingir, però, entre les tècniques que ens permeten experimentar espais virtuals que substitueixen totalment la realitat, a les que ens permeten interactuar en un espai real amb elements virtuals.

La realitat augmentada (RA) permet definir una imatge directa d'un entorn físic existent incorporant elements virtuals per aconseguir una nova realitat mixta en temps real. Consisteix a combinar informació virtual amb informació física gràcies a l'ús de dispositius tecnològics sensorials. La realitat augmentada és una forma d'interactuar amb el món real amb la utilització de pantalles col·locades en el cap, un dispositiu virtual col·locat a la retina que millora la visualització i la construcció d'ambients controlats a partir de sensors i "actuadors". Podem dir que la realitat virtual aïlla del món real l'usuari mentre que la realitat augmentada completa la realitat existent amb informació afegida.

Les aplicacions d'aquesta nova tècnica s'estan derivant cap a àmbits diversos: la incorporació en els telèfons mòbils d'última generació afegeix una gran informació al món que podem captar en qualsevol lloc.

El disseny dels sistemes



Després del que s'ha esmentat sobre els sistemes i les fonts cal ara establir les pautes per continuar amb el projecte, concretar la forma i expressió dels sistemes.

És el procés que condueix a la selecció de tots els equips de l'enllumenat, definir la manera d'instal·lar-los i fer el predimensionat dels elements i la seva distribució geomètrica a l'espai. Ja s'han esmentat les àmplies possibilitats que ens ofereixen

9.1 Aspectes estructurals i compositius dels elements

Són consideracions a tenir presents per a la organització espacial dels propis elements dels sistemes, tant per als enllumenats exteriors com per als interiors, de manera que s'ordenin amb la distribució, posició i forma d'emissió sota criteris de participació en el propi disseny de l'espai.

Han d'estar relacionats amb la globalitat conceptual del sistema, amb la seva estructura, estètica, ambient, composició, etc., i es compondran i harmonitzaran amb els requisits generals de l'espai a enllumenar, atenent a:

- L'estructura i composició de l'enllumenat resultant
- L'estructura i composició dels propis elements del sistema

L'estructura del sistema amb les seves fonts pot estar integrada formalment a l'estructura compositiva de l'espai, o sota d'altres criteris que poden personalitzar més fortament el propi sistema enfront del conjunt.

Com a exemples podem esmentar que en un aparcament cobert les fonts es distribuiran adossades al sostre en les zones de circulació de vehicles; en una oficina amb fals sostre modulat s'accepta la incorporació de les fonts encastades adaptant-se als mòduls propis; en una plaça porxada d'un nucli històric l'enllumenat se situarà sota els porxos i al centre de la plaça però no es col·locaran llumeneres sobre les façanes dels edificis històrics, etc.

A l'haver de prendre determinades decisions, poden tenir-se en compte uns aspectes formals per definir les intencions. D'entre moltes opcions del disseny esmentem les de:

Considerar les **fonts de llum sota la visió diürna**, i podem decidir la conveniència de la seva percepció o l'ocultació per qualsevol procediment.

Considerar la **percepció o l'ocultació de les infraestructures** de suport físic, d'orientació o elèctric i dels equips auxiliars com els transformadors, encebadors, condensadors, etc.

Les **condicions compositives, dimensionals i constructives del propi espai** poden ser tan complexes o tan simples que arribin a condicionar l'acceptació o el rebuig dels elements propis d'algun sistema.

Exemples: el sostre d'una sala poliesportiva amb estructura metàl·lica espacial vista o el d'una sala amb sostre cassetonat barroc poden condicionar directament la selecció de determinats sistemes, fins al punt de dissenyar la integració d'aquests elements en el concepte del propi espai o la composició formal del sistema amb l'equipament interior.

La proporció, les dimensions, i el color de les fonts també incidiran en el disseny de l'espai, de manera que caldrà considerar-les com a element propi d'aquest.

En efecte, l'enllumenat amb fonts de gran tamany penjades, o un sistema de sostre estrellat, la incorporació d'objectes lluminosos de gran tamany com llumeneres de peu o murals, o les pilones de llum urbanes son elements de gran incidència compositiva no són producte de cap càlcul ni de processos lineals d'un projecte tècnic.

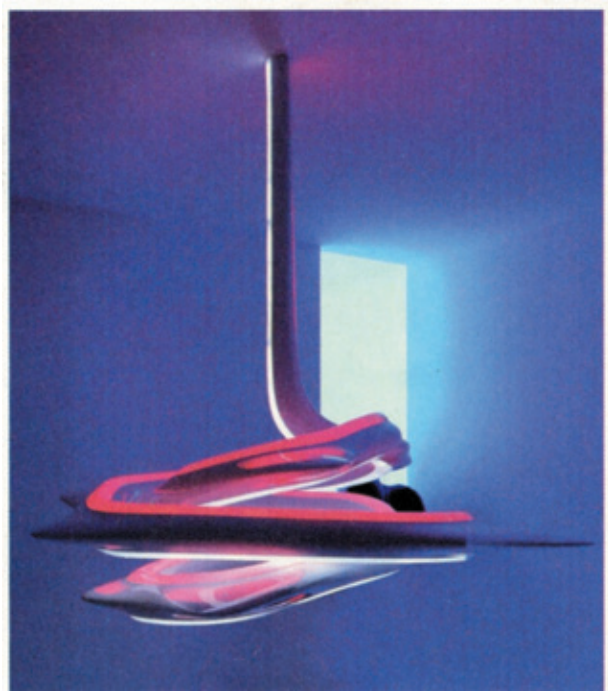


Fig. 9.1
Llumenera VORTEX, Z. Hadid.

També es pot arribar a considerar que el disseny del sistema pot constituir l'element compositiu principal de l'espai, projectar plafons difusors o òptiques específiques amb elements constructius pot incidir de manera decisiva en la composició del projecte arquitectònic.



Fig.9.2
Vestibul Hotel Hesperia Tower amb sistema de fibra òptica.

Per al disseny d´un sistema d´enllumenat artificial cal tenir en compte principalment els conceptes arquitectònics i constructius, i que cal resoldre abans de decidir les fonts.

9.2 La composició i formalització dels sistemes

La composició i formalització dels sistemes es concreta amb les definicions sobre:

- FORMA amb definicions sobre:
  - DISPOSICIÓ ESPACIAL
  - ESTRUCTURA FORMAL COMPOSITIVA
  - GEOMETRIA

- FONTS amb les
  - LLUMENERES
  - LÀMPADES

- INFRAESTRUCTURES
  - MECÀNICA: de fixació, protecció i orientació
  - ELÈCTRICA i electrònica per als controls

- CONTROLS DE FUNCIONAMENT, I D´ESTALVI D´ENERGIA
  - NORMAL
  - COMPOST
  - PROGRAMABLE

Aquests conceptes, ja presentats al Capítol 5, "Els sistemes i les fonts d'enllumenat artificial", ara es desenvolupen.

9.2.1 La disposició espacial

No es tracta d'un element material, ja que és topològic i geomètric, però és imprescindible per a definir el sistema d'enllumenat.

La disposició és la manera d'ubicar el sistema en l'espai a enllumenar, i el podem considerar fix o mòbil, amb disposicions adossades, encastades o penjades a sostres, parets, terres; dins o sobre mobles o equips, integrats en altres elements o estructures específiques al seu interior o exteriorment. Aquesta diversitat de possibilitats genera característiques tan específiques que poden arribar a ser més importants en la definició del sistema que la pròpia llumenera.

Si fem una consideració al respecte, entenent que l'estètica de l'espai és un conjunt fortament interrelacionat de formes, elements, colors, llum, etc., no podrem oblidar el paper que els propis sistemes d'enllumenat desenvolupen dins el conjunt.

Així, analitzant la relació formal i estètica dels sistemes amb l'espai en què són encabits, podem esmentar els següents conceptes segons la seva expressió:

- D´expressió formal del sistema
- D'integració formal
- D´ocultació formal

9.2.2 Estructura formal i compositiva

L´estructura compositiva és la relació formal i dimensional dels elements del sistema entre ells i la forma de l'espai. Podem generar estructures simètriques o asimètriques; amb malla ordenada, malla arbitrària, o per elements com punts, línies, superfícies i volums, estructura central, lateral, etc... L´estructura condiciona els resultats lumínics tals com el nivell, la uniformitat, l´enlluernament, etc., així com els estètics de coherència formal i la integració arquitectònica.

9.2.3 Geometria

La geometria de la instal·lació es refereix a les dimensions, la seva alçària respecte a terra o al pla de treball, la distància al sostre o als paraments, la interdistància entre llumeneres, etc., i condiciona també els resultats lumínics i formals.

Exemples:

Línies contínues segons una separació___ m. separació a parets de ___ m, alçària des de terra ___ m

Modulació de punts de llum ∅ __ cm. en malla quadrada de __x__ m., separació, alçària, etc.

9.3 Classificació dels sistemes segons la disposició espacial

Si el sistema lumínic i l'espai no dialoguen formalment, és a dir, ambdós tenen estructures, formes d'organització i llenguatges propis i diferents, el sistema es percebrà com un element únic dins l'espai i en aquest cas direm que el sistema és d'expressió formal pròpia .

En canvi, quan el sistema lumínic i l'espai dialoguen en un mateix llenguatge, es relacionen i interactuen formalment seguint criteris similars, ja siguin rítmics, cromàtics, organitzatius, compositius etc., i a més la percepció i comprensió del sistema no són possibles fora de l'espai contenidor, direm que el sistema és d'integració formal.

Quan el sistema lumínic s'oculta darrera d'elements arquitectònics com cornises, voladissos, cavitats, etc. sense que s'hagi previst en el projecte amb una intencionalitat formal, diem que el sistema es d'ocultació formal.

Taula 9.1 Classificació del sistemes lumínics segons la seva expressió en l' espai.

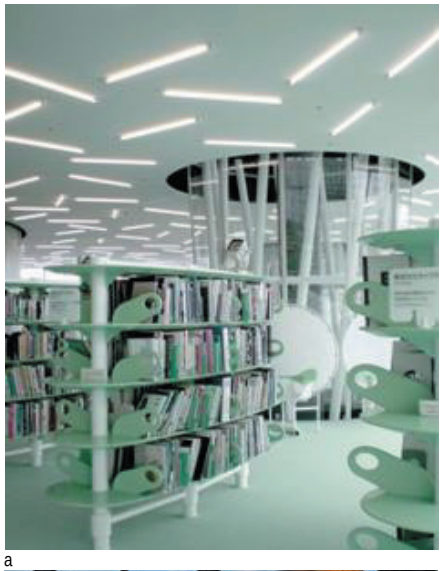
Classificació del SISTEMES LUMÏNICS segons l'expressió en l'espai		
Visible	d'expressió formal pròpia	Quant el sistema lumínic adquireixi protagonisme com a element arquitectònic específic dins l'espai
Visible	d'integració formal	Quan el sistema lumínic està dissenyat o escollit amb un llenguatge formal similar al del disseny arquitectònic
No visible	d'ocultació formal	Quan el sistema lumínic està ocult en els elements de l'espai, com cornises, retranquejos, cavitats, voladissos, etc.

Sistemes d'expressió formal pròpia

Són aquells en què el mateix sistema lumínic adquireix un protagonisme important com a element arquitectònic específic dins l'espai. De vegades, quan l'espai no presenta especial interès podem optar perquè l'estructura física i el seu disseny tinguin la força compositiva suficient per coexistir-hi com a element de estètica pròpia i qualificadora de l'arquitectura del lloc. També es poden utilitzar quan el sistema ha d'adoptar una característica formal o estètica

pròpia, contraposada o singularitzada dins de l'espai, o bé crear una relació d'ambivalència, de contrast o de competència.

Per exemple, de vegades quan es realitzen intervencions de restauració d'edificis històrics amb un gran valor arquitectònic convé contraposar una estètica moderna o de "Higt-Tech" del sistema d'il·luminació que pot donar millors resultats que intentar reproduir un llenguatge proper al de l'edifici. També és habitual en espais que tenen geometries i organitzacions complexes que dificulten col·locar un sistema lumínic ben integrat o ben organitzat en l'espai.



a



b

Fig. 9.3
a. Mediateca de Sendai. 2001, Toyo Ito, Arq.
LPA. Kaoru Mende, Lighting desinger.

b. Hotel Kruisheren, Maastrich, Holanda.
Ingo Maurer, Arq.



c



d

Fig. 9.4
Sistemes Lumínics d'expressió formal pròpia.

a.Hotel Hesperia Tower. N. Foster, Arq.

b. Hotel Barceló- Málaga. Jordi torres, Arq.

Sistemes d'integració formal

Quan el sistema lumínic ha estat dissenyat o escollit amb un llenguatge formal similar al del disseny arquitectònic o als sistemes constructius de l'espai per col·laborar en la definició del seu llenguatge formal.

Per exemple, en un edifici amb estètica minimalista caracteritzat per espais nets i neutres, amb poca ornamentació, un sistema lumínic que vulgui integrar-se haurà de presentar formalment elements nets i neutres.

Fig. 9.5
Exemples de sistemes d'integració formal.

a. Habitación hotel Puerta Nueva. Madrid 2006. Zaha Hadid, Arquitecta.
b. Morris Gift Schop. New York 1948 F. Lloyd Wright, Arquitecte.



a



b

Fig. 9.6
Exemples de sistemes d'integració formal.

a.HoteL Puerta America, Madrid. 2006 Kathrin Findlay, Arquitecta.

b. Edifici MaXXI, Roma, Zaha Hadid, Arquitecta.



c



d

Sistemes d'ocultació formal

Quan no es pretén que el sistema lumínic formi part de la percepció visual de l'espai, s'acostuma a ocultar en els elements propis de l'espai com cavitats, falsos sostres, elements sortints, capitells, etc. que ho permetin.

En aquests casos la il·luminació és de component indirecte, es projecta sobre les superfícies i produeix una il·luminació per reflexió en l'espai.





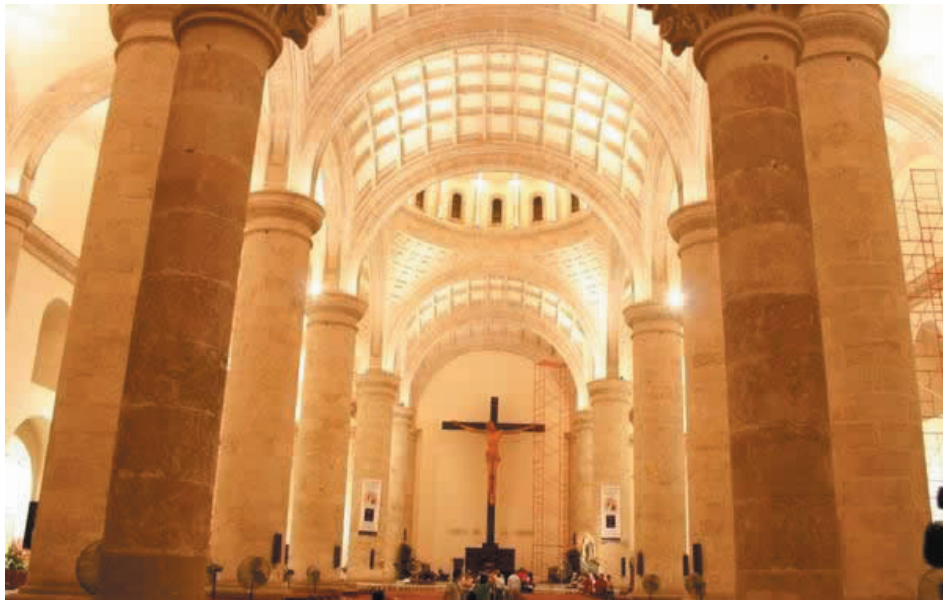


Fig. 9.7
Exemples de sistemes d'ocultació formal.

A.Darrera d'un fals sostre.
B. En cornises.
c. Catedral de Mèrida, Mèxic.

9.4 Classificació dels sistemes segons la forma, disposició i organització de les llumeneres

En els sistemes d'il·luminació visible, l'estructura compositiva es caracteritzarà per la forma d'organització de les llumeneres i de la relació amb la pròpia organització formal de l'espai.

9.4.1 Les formes de les llumeneres

Les formes més comunament utilitzades són puntuals, lineals, superficials i volumètriques.

Taula 9.2 Classificació dels sistemes segons forma, disposició i organització de les llumeneres .

FORMA			
Puntual	Lineal	Superficial	Volumètrica
			

9.4.2 Les disposicions de les llumeneres

Si els sistemes lumínics estan formats per llumeneres que responen a les formes bàsiques anteriors, la forma d'organitzar o de composar totes les llumeneres en un conjunt unitari podrà fer-se adoptant determinades **disposicions**.

Les lleis de la Gestalt ens ajudaran a comprendre visualment la relació entre les parts i el tot, i les anàlisis del llenguatge i la composició arquitectònica la relació entre el sistema i l'espai.

Disposicions lineals

Una disposició lineal es caracteritza perquè les llumeneres estan disposades seguint una directriu lineal i separades per una determinada distància. El conjunt es llegeix unitàriament com una línia de llumeneres.

Disposicions agrupades

Es dóna quan un conjunt no gaire nombrós (normalment inferior a 8) de llumeneres estan disposades configurant una figura concreta i reconeixible: axial, geomètrica, abstracta o de qualsevol forma, que per repetició pot omplir tot l'espai.

Disposicions en malla o retícula

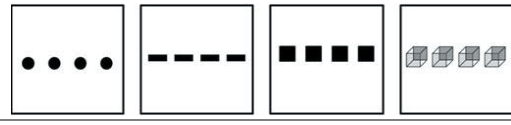
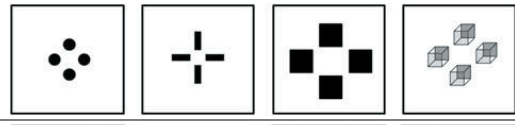
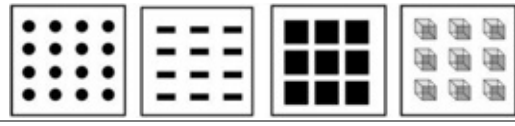
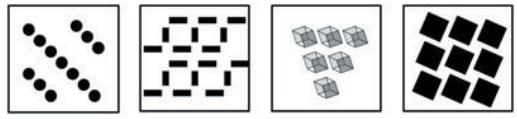
Aquesta disposició es dóna quan les llumeneres defineixen una malla geomètrica o una retícula regular que respon a lleis geomètriques pròpies. La seva

lectura no és d'element unitari sinó d'estructura indefinida que pot abastar per extensió qualsevol espai.

Disposició singular o estructures pròpies

Aquesta disposició es caracteritza perquè les llumeneres conformen una estructura pròpia, singular, que és percebuda com una unitat compacta, no classificable entre les anteriors formes de disposició i que mitjançant la seva repetició pot omplir tot l'espai.

Finalment és possible tenir disposicions que siguin una combinació de les anteriors.

DISPOSICIÓ	
Lineal	
Agrupada	
Malla o retícula	
Singular o estructura pròpia	

9.4.3 L'organització de les llumeneres

Considerant la disposició de les llumeneres com un conjunt unitari, la seva **organització** podrà respondre a aspectes de simetria, d'arbitrarietat o d'ordre.

Disposició simètrica

La trobem quan una de les disposicions de llumeneres anteriors ho fa a través d'un determinat eix de simetria. Sovint aquest eix serveix tant per a l'organització de les llumeneres com també per a configurar la pròpia geometria de l'espai.

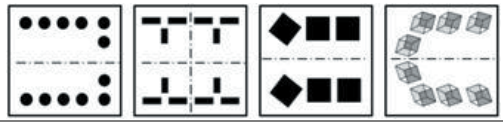
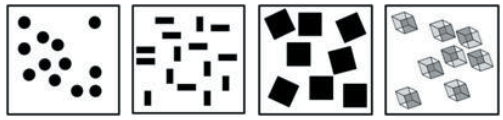
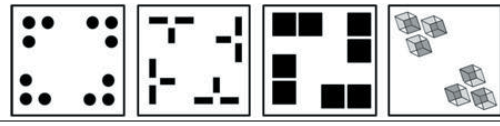
Disposició arbitrària

Es dóna quan les disposicions de llumeneres anteriors es distribueixen en l'espai sense un criteri "racional", sinó que ho fan d'una forma arbitraria i ocasional.

Disposició ordenada

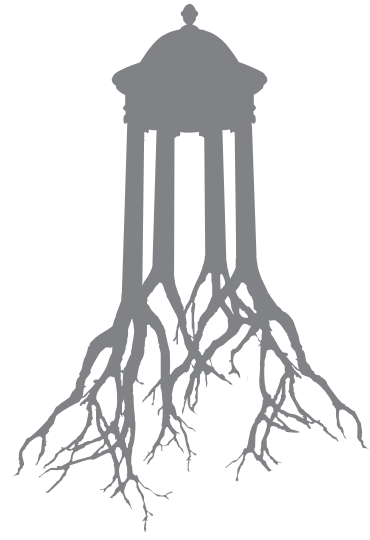
La trobem quan la disposició respon a un patró identificable d'organització i repetició, cosa que permet la seva extensió a tot l'espai amb facilitat.

Val a dir que la combinació de totes elles genera un amplíssim grup de possibles formes d'expressió dels sistemes lumínics.

ORGANITZACIÓ	
Simètrica	
Arbitrària	
Ordenada	

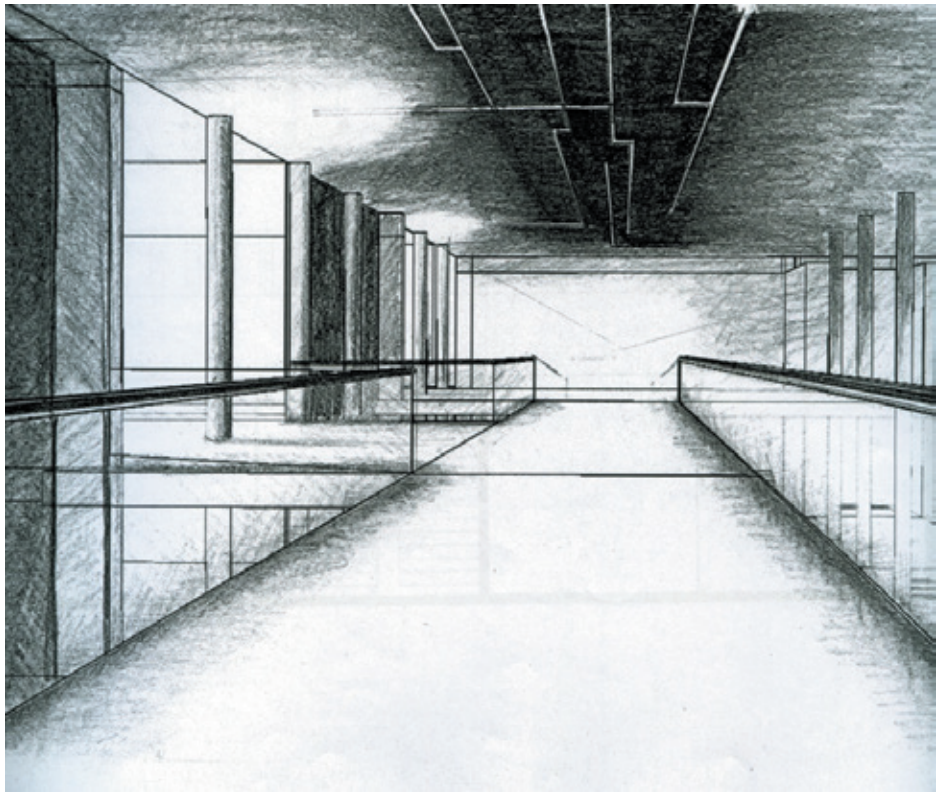
Tanmateix, també es poden reconèixer en aquesta classificació alguns criteris d'organització espacial propis de l'arquitectura.

De fet, aquesta similitud és un dels factors que ens permetrà establir una anàlisi d'idoneïtat o de coherència compositiva entre les formes dels sistemes i la dels espais en què s'ubiquen.



Tercera Part
Del projecte

El disseny dels sistemes lumínics



10.1 La selecció de les llumeneres

La definició de les llumeneres passa per la definició i concreció de totes les seves característiques; actualment la majoria de les llumeneres són produïdes industrialment per empreses luminotècniques; per tant, podem disposar fàcilment d'una fitxa tècnica amb totes les seves dades, amb imatges, colors, equips auxiliars etc.

Aquesta fitxa es pot incorporar amb els detalls d'implantació i/o en la memòria tècnica del projecte. En circumstàncies molt especials i per una voluntat expressa de l'arquitecte per diversos motius (manca d'un producte adequat a les pretensions formals i dels efectes plantejats), es pot realitzar un disseny específic de llumenera.

Criteris per a la selecció de les llumeneres d'acord amb les classificacions del Capítol 9

Taula 10.1 Classificació dels sistemes segons: forma, disposició i organització de les llumeneres.

Selecció segons el disseny de la llumenera des de la funció	
Segons la direccionalitat del flux lumínic vers l'àmbit a il·luminar	Directa-Indirecta-Mixta
Segons la distribució del flux lumínic emès	Simètrica-Asimètrica
Segons la forma de la superfície emissora de la llumenera	Puntual-Linial-Superficial-Volumètrica

Taula 10.2 Classificació de les llumeneres segons la il·luminació produida en l'espai.

Selecció segons la il·luminació produïda en l'espai	
Difusió translúcida	Envolvent translúcida de vidre sense decorar Envolvent translúcida de vidre decorat Envolvent translúcida de materials orgànica Envolvent translúcida de materials sintètics
Difusió controlada per formes òptiques	
De projecció directa	Projecció en l'espai Projecció en un àrea concreta
De projecció directa a reflectors	A reflectors fixos A reflectors mòbils
De projecció d'ombres i llums de colors	
D'autor	Com a llenguatge Com a metàfora

Selecció segons la seva tipologia o denominació comercial	
De interior	Aplics
	Adossades al sostre
	De suspensió, componibles i estructures
	De peu
	De sobretaula
	Encastables a cel ras, *down-light*
	Regletes i pantalles fluorescència
	Projectors comercials lliscants sobre carril de 230 V ò 12 V
	Industrials, projectors de descàrrega
	Descàrrega
	Versàtils i especials. De múltiple funcionalitat, Fibra òptica, etc.
	Amb leds
D'exterior	Columnes i bàculs
	Canelobres i torres
	Projectors
	D´encastar, murals i de terra
	Balises

Taula 10.3
Classificació de les llumeneres segons tipologia o denominació comercial.

Altres aspectes estètics que també s'hauran de considerar són el color, els materials d'acabat i el llenguatge formal.

També s'han de considerar els aspectes de durabilitat, IP i IK, sense oblidar els econòmics, etc.

Sovint la selecció de la llumenera es fa posteriorment a la selecció de la làmpada. Així, si hem escollit una làmpada de fluorescència lineal o una làmpada der descàrrega, el camp de possibles llumeneres a escollir es reduirà considerablement. Cal tenir en compte que les llumeneres es dissenyen per a equipar-les amb unes determinades làmpades i no d'altres, i això sovint ve especificat en els catàlegs.

Amb les possibilitats actuals d'accedir on-line als catàlegs dels fabricants de llumeneres, ens resulta mol fàcil recopilar tota la informació de les llumeneres que escollim per al projecte lumínic.



Fig. 10.1
Exemple de llumeneres amb les dades de la làmpada.

Dels fabriants de llumeneres

Cal tenir coneixements sobre els productes fabricats per les indústries. La consulta als seus webs és bàsica avui i no és necessari intentar reproduir en aquesta publicació tots els tipus i models d'aparells existents en el mercat, sobretot quan aquest es modifiquen, se'n creen de nous i se'n descataloga un gran nombre cada any.

Com a referències mínimes de les empreses més conegudes en aquest camp, o de més qualitat de productes, sense ser exhaustius ja que n'hauríem de referenciar més de cinquanta, fem aquí una breu relació amb les adreces per a consultes dels catàlegs i publicacions d'interès.

Taula 10.4
Llistat de les empreses més conegudes del sector de la il·luminació artificial.

EMPRESES DEL SECTOR DE LA IL·LUMINACIÓ	
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, S.A.	
CRISTHER S.A. Llumeneres d'exterior (jardineria)	
DAB Diseño Actual Barcelona (David Abad)	
DAE Diseño Ahorro Energético, S.A.	
DIART Iluminación	
ERCO erco professional → ERCO luminaria documents	www.erco.com
ESCOFET Divisió de mobiliari urbà.	www.escofet.es
FABBIAN Illuminazione Spa Representaciones URREA S.L.	www.fabbian.com
FREPI	www.frepi.com
GRUP FREPI	
ILTI LUCE	ilti@iltiluce.it
METAL SPOT S.P.A. COLL&ZZIONE 2010 (llumeneres de disseny sofisticat)	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
GE LIGHTING-SYLVANIA (làmpades)	www.GELigting.com
HESS	
IEP Iluminación, S.A.	
IGUZZINI iluminazione – SIRRAH	www.iguzzini.com
INDALUX + SLUZ (05/2004)	www.grupoindal.com
LAMP ILUMINACION-REGGIANI	www.lamp.es
LLEDÓ Iluminación, S.A. GRUPO LLEDÓ: ODEL-LUX, STAFF, BEGA, LIMBURG, ZUMTOBEL, OVA	www.lledosa.com
LYTE INTERNACIONAL.CONCORD	
LUXO ESPAÑOLA, SA www.bilumen.it	www.luxo.es ,
MARSET ILUMINACION,S.A.	www.marset.com
MARTIN ARCHITECTURAL LIGHTING	www.martin-spain.net
MARTINELLI LUCE	
M&B Producciones de diseño	
MUNDOCOLOR Internacional, S.A.	
OLIGO	
OSRAM S.A. lámparas OSRAM.INDEX	www.osram.es
PHILIPS LIGHTING (luminarias y lamparas)	www.es.lighting.philips.es
REGENT lighting	www.Saymalu.com
REGGIANI	
SANTA & COLE	www.santacole.com
SIMON, S.A.	
S.T.I. Sistemas Técnicos de iluminación S.A.	
SOCELEC	www.socelec.es
TARGETTI	
VIBIA Illuminazione	
WILA	

10.2 La selecció de les làmpades

En la mateixa definició de les llumeneres és habitual que els fabricants indiquin quina o quines làmpades poden col·locar-se a la llumenera. En el cas que puguin disposar-se diferents tipus de làmpades, convé indicar-ne el tipus concret

amb les seves característiques de potencia, TºK i IRC, o bé afegir les dades tècniques de la làmpada aportades pel seu fabricant.

Les qualitats lumíniques de les làmpades han de poder acomplir els objectius inicials de qualitat de la llum fixats a la fase de definició dels efectes lumínics i les qualitats cromàtiques projectades.

És molt important deixar clarament indicades en el projecte tècnic les característiques de les làmpades corresponents a cada lluminària perquè, durant els processos de substitució fixats pel pla de manteniment del sistema, es mantinguin les qualitats lumíniques inicialment definides.

10.2.1 Recomanacions i criteris de selecció de les làmpades. Recomanacions per a la selecció de les làmpades d'interior

Els tipus majoritàriament recomanats tenen una certa relació amb les tipologies dels espais (vegeu *Infraestructures dels sistemes i llumeneres, consideracions segons les tipologies arquitectòniques*).

A grans trets es pot considerar que en àmbits de petita entitat tals com habitatge, despatx personal, petit comerç o taller, el mateix usuari serà capaç de substituir les làmpades que fallin. Això és més important que moltes de les consideracions tecnològiques i d'estalvi de les normatives i recomanacions de les entitats governamentals.

La fallada de cada làmpada o per grups –petits- costarà el valor net de la làmpada, i tinguem present que el cost de l'industrial instal·lador que vindria a fer la feina és molt superior al de la làmpada. De vegades la làmpada halògena o el fluorescent costa entre 4 i 7 € i la mà d'obra contractada pot ser de fins a 35 € per una sola làmpada.

Les làmpades recomanables per a aquests àmbits seran de les menys sofisticades i més econòmiques, d'incandescència normal, halògenes i fluorescents estàndard lineals o compactes integrades.

Als àmbits de gran entitat es recomana tenir el sistema informàtic que detecti la conveniència de substituir-les totes de cop, per reduir el cost unitari de la mà d'obra sobre cada làmpada.

En aquests, les làmpades recomanables seran les halògenes en llocs on convingui una alta qualitat cromàtica i un detallat control de la difusió o concentració de la llum. També seran útils les fluorescents lineals o les compactes no integrades, d'eficàcies mitjanes o altes (> 70 lm/W), de bones qualitats cromàtiques IRC entre 80 i 90 segons els colors dels materials emprats a l'interior i amb vida útil superior a 15.000 h. Els balasts han de ser electrònics adaptables a sistemes de programació tipus DALI.

En el cas de tenir llum natural amb disseny acurat per a l'aprofitament, les làmpades hauran de ser regulables, amb la qual cosa es disposa de suficients tipus de les lineals però no tants de les compactes.

Si els espais són de gran volum i alçàries lliures superiors a 5 m., es poden emprar també làmpades d'halogenurs metàl·lics, ja que se'n troben d'una àmplia gamma de potències i temperatures de color, amb bon IRC (> 80).

Igualment, com s'ha dit a *Infraestructures dels sistemes i llumeneres, consideracions segons les tipologies arquitectòniques*, en els àmbits de mitjana entitat les decisions són més difícils ja que depenen de la importància que pugui prendre l'estalvi energètic

Criteris de selecció de les làmpades

Els principals factors que condicionen la selecció d'una làmpada són les seves qualitats lumíniques, entre les quals destaquem com a prioritàries la K i l'IRC. D'altres aspectes de tipus econòmic com la seva durabilitat i l'eficàcia també condicionen l'elecció i, finalment, aspectes formals i elèctrics així com la compatibilitat de col·locació amb les llumeneres escollides acaben de completar els paràmetres de selecció.

10.2.2 Per qualitats cromàtiques: K i IRC

De manera senzilla escollirem les làmpades per la seva K segons tingui una aparença de llum càlida, neutra o freda (aquests grups vénen ja definits pels fabricants amb una nomenclatura específica). És el tipus de sensació ambiental que volem donar a l'espai, així com el propi cromatisme dels materials que el conformen factors que influiran en l'elecció.

CRITERIS CROMÀTICS PER A LA SELECCIO DE LÀMPADES

Família	Tipus	K. Aparença	IRC-
INCANDESCÈNCIA	Estàndard	2600-2800 (càlid)	100
	Halògena	3000	100
FOTOLUMINESCÈNCIA	Fluorescència lineal	2600-6500(càlid-neutre-fred)	50-95
	Fluorescència compacta	2600-6500(càlid-neutre-fred)	50-95
DE LUMINESCÈNCIA	NEÓ	3500	45
	VAPOR DE MERCURI (AP normal)	4800-6500	45-65
	íd. D'HALÒGENA	3600	60
	LLUM MESCLA	1800	<20
	VAPOR DE SODI BP	2000-2200.....	25-65
	Idem AP	2500 (blanc càlid)	80
	Íd. BLANCA		
D'INDUCCIÓ QL		2700-6500	80
ESPECIALS:			
LEDS			

Taula 10.6 Caracteristiques cromàtiques de les diferents famílies de làmpades.

10.2.3 Per durabilitat

Taula 10.7 Caracteristiques de durabilitat Vu i supervivència de les diferents famílies de làmpades.

CRITERIS DE DURABILITAT PER A LA SELECCIÓ DE LÀMPADES			
Família	Tipus	Vu (Vida útil en h)	Durabilitat (Supervivència en %)
INCANDESCÈNCIA	Estàndard	1000	100
	Halògena	2000	100
FOTOLUMINESCÈNCIA	Fluorescència lineal estàndard	10000	50
	Fluorescència lineal electrónica	12000	80
	Fluorescència compacta	6000-9000	70
DE LUMINESCÈNCIA	VAPOR DE MERCURI (AP normal)	16000	85
	íd. D'HALÒGENA	9000	72
	LLUM MESCLA	6000	79
	VAPOR DE SODI BP	14000	87
	Idem. AP	2000	87
	Id. BLANCA	16000	80
D'INDUCCIÓ QL		60000	80
LEDS		35000	

10.2.4 Per eficàcia

Taula 10.8 Caracteristiques d'eficàcia de les diferents families de làmpades.

CRITERIS DE DURABILITAT PER A LA SELECCIÓ DE LÀMPADES			
Família	**Tipus**	**Potencia (W)**	**Eficàcia (lm/W)**
INCANDESCÈNCIA	Estàndard	15-1000	6-18
	Halògena	60-2000	14-24
FOTOLUMINESCÈNCIA	Fluorescència lineal estàndard	18-65	75-93
	Fluorescència lineal electrónica	16-50	93-108
	Fluorescència compacta	9-55	44-65
DE LUMINESCÈNCIA	VAPOR DE MERCURI (AP normal)	50-1000	40-60
	íd. D'HALÒGENA	75-2000	68-96
	LLUM MESCLA	500-2800	26
	VAPOR DE SODI BP	35-180	130-198
	Idem. AP	50-1000	70-150
	Id. BLANCA	50-100	43-48
D'INDUCCIÓ QL		55-85	64-71
LEDS		35000	

10.3. Plantejament per estructurar decisions sobre els sistemes.

Això pot arribar a ser un *vademècum* del dissenyador lumínic, però provem-ho.

Del més elaborat al més senzill o a l'inrevés,

Per exemple:

En un espai de petites dimensions, sense funcions laborals o específiques, una sala d'espera, per exemple.

- No cal una llum de globalització
- No cal un sistema de projecció
- Tampoc llum indirecta

Es podria resoldre amb una llumenera de peu "de disseny"

En un espai amorf, de dimensions mitjanes, sense funcions laborals o específiques, un espai de transició o similar sense complexitats arquitectòniques rellevants.

Podria fer-se amb un sistema de llumeneres de suspensió amb imatge pròpia.

En espais de gran superfície com supermercats o botigues de centre comercial.

Amb un sistema dirigit de difusió, distribució uniforme, llumeneres *downlight* o penjades de fluorescència compacta, o de tipus lineal ordenada, etc.

En espais amb objectes atractius en el perímetre, sala d'exposicions, llibreries, prestatgeries de botigues, etc.

Es pot pensar en sistemes perimetrals de llum banyadora, dirigida asimètrica (de sostre a parets).

En espais amb focalització visual cap a un costat, com sales d'actes.

Amb sistemes diferenciats per diferents zones:

L'espai de butaques, amb sostre de formes acústiques i possible sistema integrat indirecte, o amb sostre pla i distribució regular en malla ordenada, llumeneres encastades i llum regulable. L'espai de conferenciant, amb diverses fonts de projecció directa regulable, desplaçable i orientable des de possible carril electrificat.

Espais de circulació amb sistema per expressió dels passadissos laterals i al seu cas del central, regulables.

D'altres segons la composició arquitectònica o dels reglaments de seguretat i espectacles públics.

Sempre cal haver redactat el **programa funcional** de l'edifici, les **condicions dels usuaris** i les **premisses arquitectòniques**. Tinguem en compte que un projecte d'arquitectura és d'un prototip únic i quasibé sense referències anteriors aplicables, o sigui un disseny experimental sense marge per a l'experimentació i proves prèvies, per la qual cosa els dissenys de la llum també seran uns prototips experimentals incorporats al prototip arquitectònic i amb el mateix lenguatge.

10.4. La representació del sistema lumínic

El sistema lumínic és entès com a instal·lació que s'ha de representar en la documentació tècnica del projecte, amb especial indicació de tots els elements que el configuren, indicant les seves característiques tècniques pròpies, i tots els detalls d'implantació en l'espai necessaris per a la seva correcta execució.

Convé explicar com s'ha de representar gràficament el sistema lumínic, indicant els aspectes principals de l'estructura, llumeneres, làmpades, controls etc.

Com que estem en una fase de projecte bàsic, la representació del sistema recollirà els aspectes que incideixen principalment en la percepció formal i la implantació en l'edifici. També es adequat resoldre a nivell de detall aquells aspectes de tipus constructiu necessaris per a la correcta realització del projecte.

10.4.1 La representació en planta zenital

La representació del sistema en els plànols de planta ens donarà una idea de la disposició del sistema en l'espai. És important dibuixar tots els elements que defineixen l'espai com tancaments, elements estructurals, mobiliari i indicar les zones que es consideren "de treball" o a il·luminar.

Con que els plànols estan en una escala concreta, convé representar les llumeneres utilitzant figures geomètriques amb les vertaderes dimensions dibuixades a l'escala corresponent. D'aquesta manera evitarem els conflictes dimensionals, o amb d'altres instal·lacions o elements en el moment de l'execució.

Per als sistemes complexos podem utilitzar simbologies que indiquin l'emplaçament específic de les llumeneres com alçada del terra, encastat en mobiliari, penjament del sostre, i també posar fletxes per indicar l'eix principal i la direcció del flux .

Una consideració important és que la representació del sistema lumínic en planta estigui d'acord amb els efectes lumínics plantejats en la fase inicial, i que això no significa necessàriament que han de coincidir les taques dels efectes proposats amb la posició definitiva de les llumeneres.

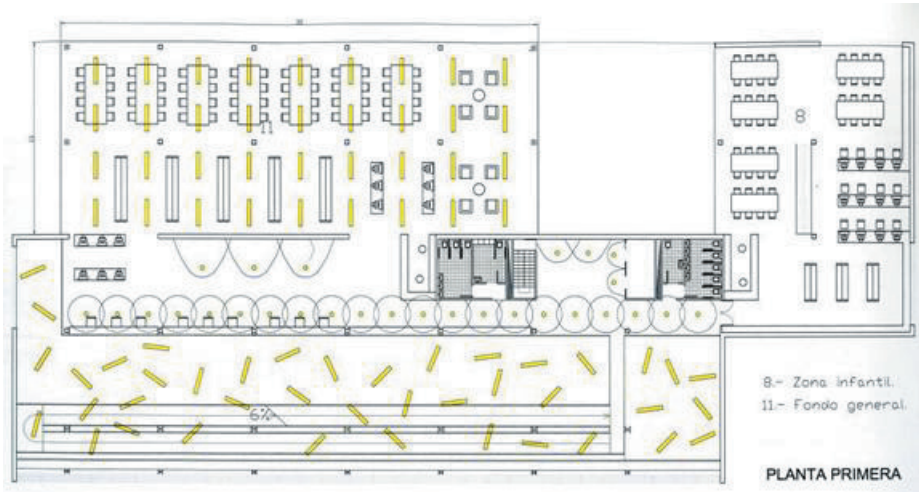


Fig. 10.2
Representació en planta del sistema lumínic.

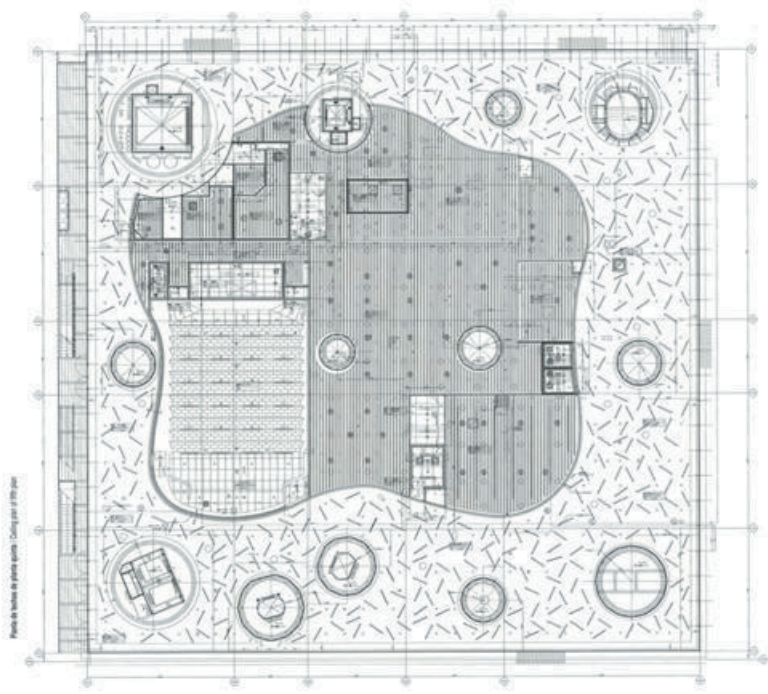


Fig. 10.3
Representació esquemàtica del sistema lumínic sobre pla de planta. Mediateca de Sendai, Toyo Ito.

Per explicar millor els aspectes de direccionalitat del flux lumínic, podem acompanyar els dibuixos de planta amb seccions esquemàtiques on, de manera simple amb línies o fletxes, representem els cons de llum indicant l'angle d'obertura i l'eix de projecció.

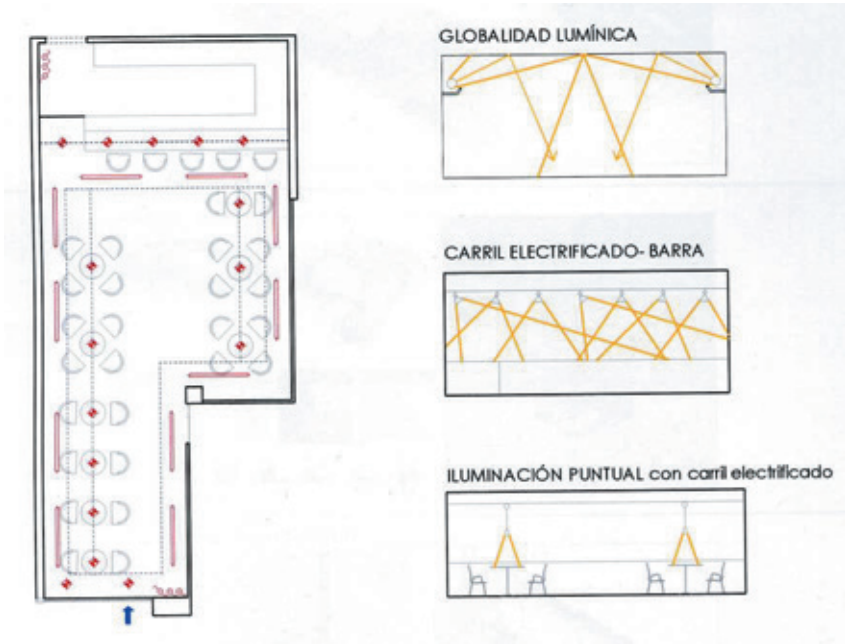
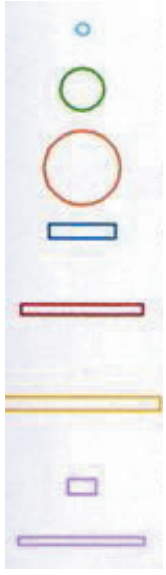


Fig. 10.4
Representació en planta i secció esquemàtica del sistema lumínic.

Fig. 10.5
Exemple de referència gràfica per identificar les llumeneres del sistema.

També resulta convenient, per identificar fàcilment les llumeneres, assignar-los una referència que pot ser gràfica o numèrica que les identificarà en el plànol corresponent.



Luminaria empotrable de lámpara halógena
- Iluminación de mesa de recepción y cocina

Luminaria empotrable de lámpara fluorescente
- Iluminación general de vestíbulo

Luminaria de suspensión con pantalla difusora
- Iluminación pasillo biblioteca.

Luminaria de lámpara fluorescente
- Iluminación pasillos aulas
- Iluminación pared posterior recepción y cocina

Luminaria de lámpara fluorescente
- Iluminación general aulas
- Iluminación general bibliotecas
- Iluminación general comedor

Luminaria de lámpara fluorescente
- Iluminación pizarra
- Iluminación estantería de biblioteca

Aplique para exteriores

Fluorescente para exteriores

10.4.2 Els detalls d'implantació

La posició de les lluminàries en l'espai s'ha de concretar fent detalls locals a escales compreses entre 1:5 i 1:20. Són especialment importants els detalls en sistemes integrats donada la implicació constructiva que representa.

Aquests dibuixos convé incorporar-los en les seccions de detall de projecte donada la importància que tenen en el procés constructiu.

En aquest cas sí que convé tenir les dimensions reals de les llumeneres utilitzades, indicar com es fixen a l'espai i com s'orienten si és el cas.

També ens permet conèixer les implicacions que tindrà el seu posterior manteniment, reposició i/o substitució.

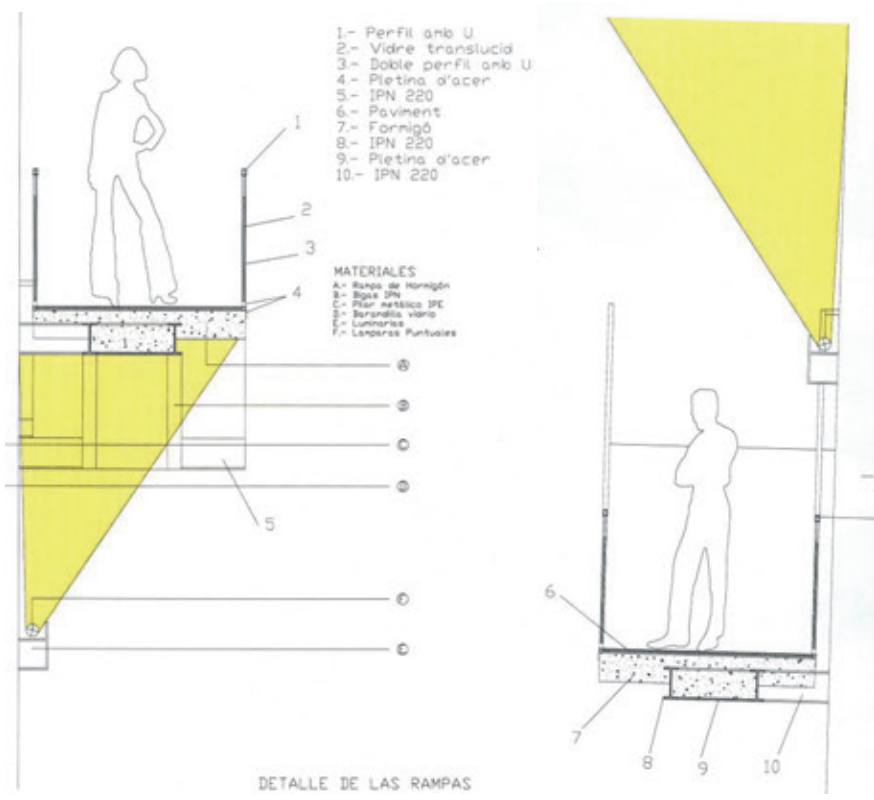
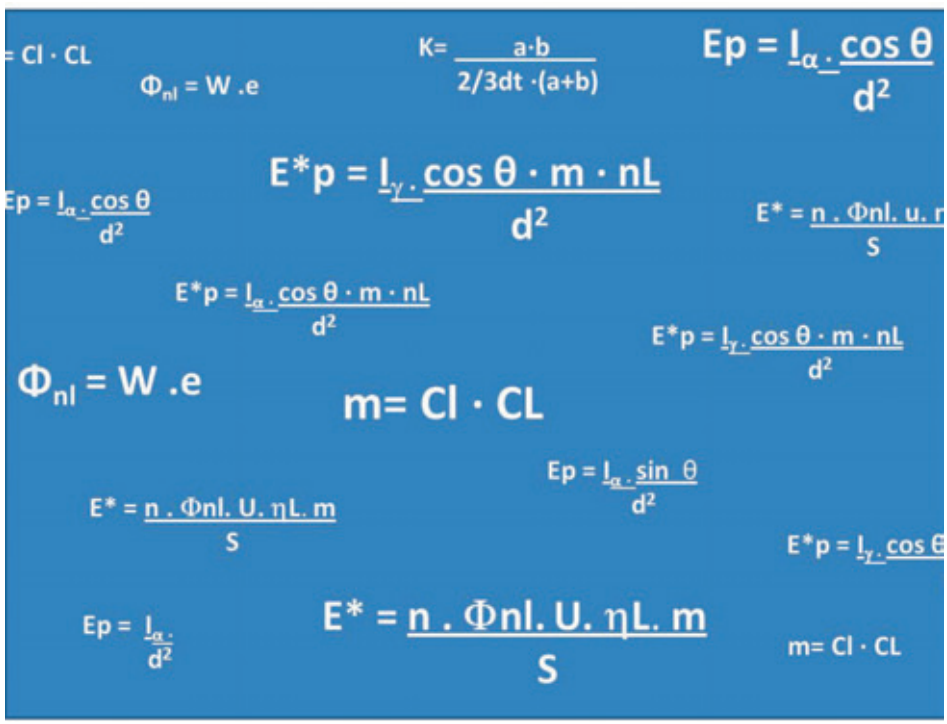


Fig. 10.6
Detall d'implantació.

Quarta Part
Càlculs bàsics

Càlculs bàsics



11.1 Generalitats

S´expliquen alguns procediments de càlcul manual, com a expressió dels que desenvolupen els programes informatitzats i com a forma d'obtenir valors d´il·luminàncies en situacions poc complexes, en les quals emprar sistemes informàtics pugui ser encara més feixuc.

Si coneixem la manera de fer-ho a mà, podem comprendre què fa l´ordinador, o bé què li podem demanar.

Es tracta del **mètode del flux** o del nivell mitjà per al càlcul del nivell d´il·luminació mitja d´un espai interior, del **mètode del punt per punt** per a determinats punts de superfícies o objectes tant situats al interior d´un edifici com a l'exterior, i també s´esmenten alguns mètodes ràpids de predimensionat

Cal tenir en compte que sovint s'han de fer estimacions d´aproximació a la realitat, així com prendre coeficients com a valors experimentals. Aquests càlculs, com qualsevol d´altres, intenten plantejar uns processos lineals dins una sèrie de criteris que permetin obtenir valors justificadament acceptables. Per a procedir a qualsevol càlcul necessitem tenir definits una sèrie de valors fotomètrics de les fonts així com els geomètrics del local i les reflectàncies dels paraments.

Dades de les fonts

Cal disposar de les dades de potència, eficàcia, flux, la manera com distribueix les intensitats i d´altres dades.

El flux nominal de la làmpada, donat pel fabricant o calculat a partir de la potència multiplicada per la eficàcia lluminosa suposada o coneguda:

$$\Phi_{nl} = W \cdot e$$

El flux nominal de la llumenera, funció del nombre n de làmpades que hi tingui instal·lades i del seu flux unitari:

$$\Phi_{nL} = \Phi_{nl} \cdot n$$

El flux útil, també anomenat com flux en servei serà el nominal afectat pel seu rendiment:

$$\Phi u = \Phi_{nL} \cdot \eta L$$

El rendiment de la llumenera ηL

Qualsevol font de llum que depengui del comportament de la carcassa, la seva òptica i el tancament o protecció, genera una disminució inicial de la llum emesa interiorment per les làmpades **Φnl**, enfront de la que en realitat podrà sortir i

ser dirigida amb eficàcia cap a la superfície a enllumenar. S´expressa amb la relació entre el flux en servei de la llumenera i el de les làmpades instal·lades.

En el cas de contenir làmpades reflectores amb tota l´emissió projectada a l´exterior de la carcassa, el rendiment és 1.

La distribució d'intensitats queda normalment expressada en forma numèrica amb una matriu de dades o de forma gràfica amb un diagrama de coordenades polars o cartesianes, donada també pel fabricant. Cal distingir si els valors són expressats com a intensitats de referència J per a làmpades del mateix tipus però sense especificar potencia i per a un flux de 1000 lúmens, o bé són les I de la llumenera equipada amb la làmpada específica del cas i la seva potència.

Cal recordar que algunes gràfiques donen l'escala en un cert nombre de lúmens per divisió dels arcs i d´altres informen dels valors de cada divisió:

$$\eta L = \frac{\Phi u}{\Phi_{nl} \cdot n}$$

El factor de manteniment

Com a conceptualització numèrica de la depreciació natural de les llumeneres i làmpades, així com els efectes de la neteja periòdica segons convinguin per la contaminació de l'aire on són instal·lades o altres factors.

Factor d'utilització u i utilància U

En l'enllumenat interior, la llum provenint de les reflexions amb les parets, terra i sostre poden proporcionar un component important a la il·luminació de la zona. Així, cal entendre aquest factor com el del comportament del local per dirigir la llum procedent de les possibles múltiples reflexions a d'altres superfícies cap al pla que cal enllumenar.

Cal recordar que el factor d´utilització (u) ja incorpora la reducció pel seu rendiment lluminós, i que el concepte d'utilància és similar però distint, ja que es refereix al d'uns tipus de llumeneres genèriques i sense l´aplicació del rendiment, ja que pot ser variable segons cada fabricant.

A la taula d'utilàncies (U) de la 2070 d'Staff (vegeu que hi ha valors superiors a 100) cal entrar-hi amb els valors de les reflectàncies de les parets (fila superior), triar columna, entrar reflectància del sostre (segona fila), triar subcolumna i veure si la reflectància del terra (fila inferior) és vàlida per, amb la fila de l'índex de local, definir el valor d'U. Si cal fer dues entrades i interpolació de valors es poden fer directament sense buscar gaire precisió.

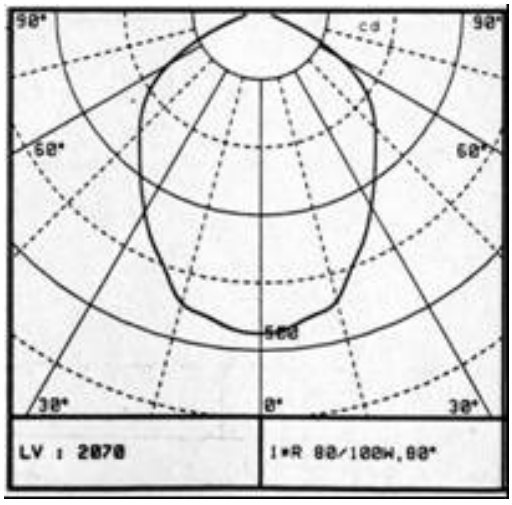
Taula 11.1
Taula de factors U d'un exemple de llumenera.

	80	70	50	30	0
ρ	50	70 50 30	50 30	50 30	0
	30 10	20	10	10	0
k		ηa			
0.60	50 48	60 48 40	46 39	45 39	33
0.80	62 58	70 59 51	56 49	54 49	42
1.00	70 65	77 66 58	62 56	61 55	49
1.25	80 73	85 75 68	70 65	69 64	58
1.50	87 79	90 81 74	76 71	74 70	64
2.00	95 85	96 88 82	82 77	80 76	71
2.50	101 90	100 93 88	86 83	84 81	76
3.00	106 93	103 97 93	90 87	88 85	80
4.00	111 96	105 101 97	93 90	91 88	84
5.00	115 99	108 104 101	95 93	93 91	87

LV : 2070 | $k = \frac{a \times b}{h\,(a + b)}$

Alguns fabricants també publiquen d'altres dades. Per exemple, la gràfica d'intensitats de la ref. 2070 d'Staff són dades d'intensitats per a làmpades incandescents reflectores de 80 ò 100 W amb un flux de 1000 lm, o sigui, intensitats de referència J.

Fig. 11.1
Gràfica d'intensitats d'una llumenera.



Una taula del "Diàmetre del cercle lluminós" **d**, en funció de les alçàries **h** dins de l'angle de projecció mitjana i les dades de les il·luminàncies mínimes, mitjanes i màximes que es poden obtenir a aquelles distàncies (alçàries).

També hi consta el rendiment de la llumenera η = 1,00, l´angle d´obertura del cercle lluminòs real 95º (que difereix del nominal de 80º), la intensitat màxima

I0 470 cd i dades de les classificacions segons normes DIN, UTE, CIBSE, CIE, etc.

Hi veiem també el indicatiu que té una única corba per C0 – C180 ,o sigui que és de rotació.

h (m)	d (m)	Emin (lx)	Em (lx)	Emax (lx)	
1.0	2.2	72	178	470	η: 1.00
1.5	3.3	32	79	209	
2.0	4.4	18	44	117	4: 95°
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 : A40
F UTE : 1.00 D + 0.00 T
GB CIBSE TM5 : BZ 4
B NBN : BZ 4
CIE Flux Code : 51 82 96 100 100

C0-C180

Φ : 1000 lm
I(0) : 470 cd

Taula 11.2
Taula del "diàmetre del cercle lluminós".

A les gràfiques de la figura 11.2 s'expressen directament valors d'il·luminàncies a punts situats en un pla vertical amb entrades a diferents alçàries i distàncies respecte la vertical.

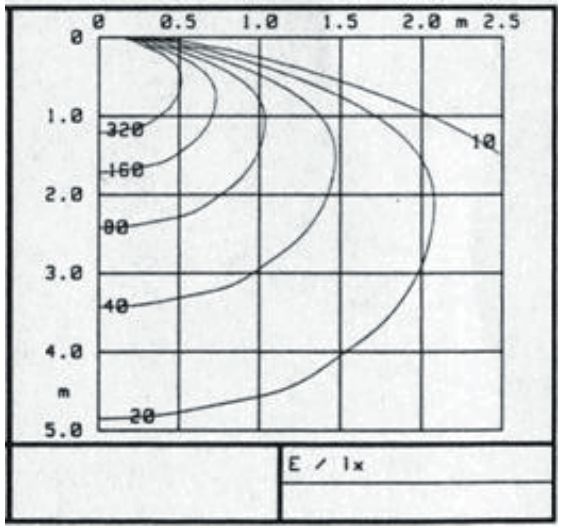
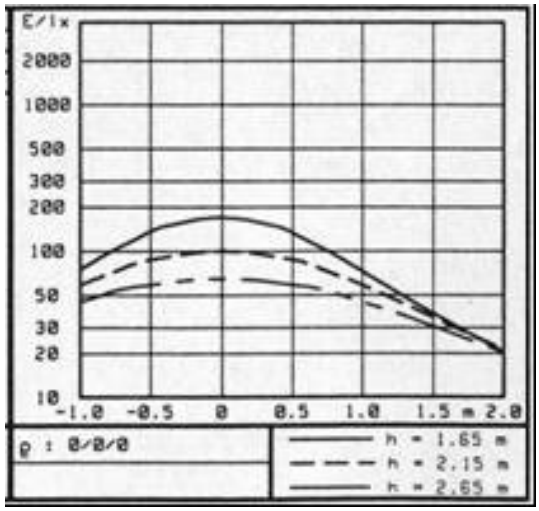


Fig.11.2
Valors d'il·luminàncies a punts situats a un pla vertical.

També podem trobar gràfiques amb corbes de Il·luminàncies per diferents alçades 1,65, 2,15 i 2,65 m. i distàncies o separacions respecte al eix de la font.

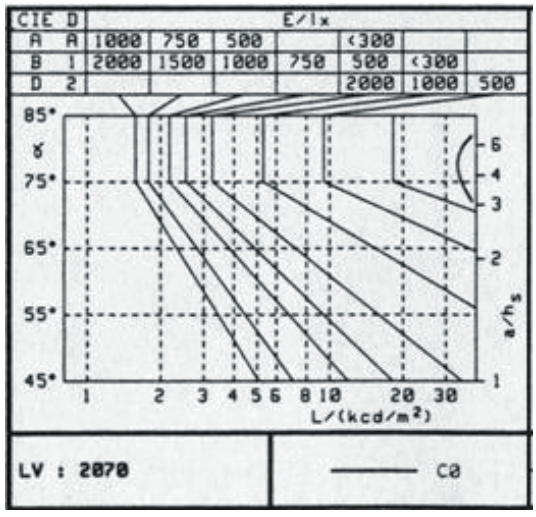
Fig.11.3
Corbes d'il·luminàncies per diferents a alçades.



I la gràfica del comportament a la brillantor amb sistema de corbes de limitació de la CIE, on s´aprecia el petit tros de corba a la dreta de la gràfica, que significa que pot produir enlluernaments forts.

Nota: aquest mètode ha estat substituït pel de l'UGR.

Fig.11.4
Corbes de limitació de l'enlluernament.



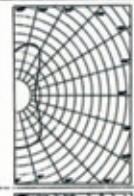
I, com que les normes DIN 5035 i les UTE exigeixen la utilització de les Utilàncies, s´adjunten les taules d´aquests valors, que són els únics de genèrics trobats.

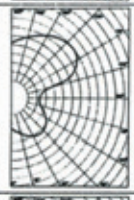
Observacions

- Com més gran és l'índex de local, més gran resulta U.
- Com més elevats són els coeficients de reflexió, més gran resulta U.
- En locals grans, a igual potència instal·lada per metre quadrat, amb el mateix tipus de llumeneres, el nivell E resultant és més gran que en locals petits.
- Alguns fabricants indiquen les separacions recomanables entre llumeneres per garantir la uniformitat lumínica del local.

Taules d'utilàncies Procedència: catàleg tècnic d'*STAFF Iluminación*, del Grup Lledó, SA com a Grado de Rendimiento Lumínico de locales.

	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
	Suelo	ϱ_3	0,3					0,1					
Lámpara	Factor del local	k											
A1		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
Lámpara directa, fuerte dirigida proyectora		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
		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
A1.1		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
Lámpara directa, fuerte dirigida proyectora		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
		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
A1.2		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
Lámpara directa proyeccción vertical		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
		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
A2		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
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
A2.1		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
Lámpara directa, proyección vertical		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

Lámpara	Factor del local	k											
	Techo	ϱ_1	0,8			0,5		0,8			0,5		
	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
	Suelo	ϱ_3			0,3					0,1			0,3
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
		0,8	0,65	0,36	0,27	0,36	0,28	0,61	0,34	0,28	0,34	0,28	0,26
		1	0,76	0,47	0,36	0,45	0,37	0,70	0,44	0,37	0,42	0,36	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
		1,5	0,95	0,66	0,56	0,62	0,55	0,86	0,64	0,55	0,60	0,53	0,52
		2	1,05	0,79	0,69	0,75	0,67	0,94	0,75	0,68	0,72	0,66	0,64
		2,5	1,11	0,88	0,79	0,83	0,76	0,99	0,82	0,76	0,79	0,74	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
		4	1,20	1,03	0,95	0,95	0,89	1,04	0,93	0,88	0,89	0,85	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
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
		0,8	0,62	0,36	0,29	0,34	0,27	0,58	0,35	0,30	0,33	0,27	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
		1,25	0,76	0,50	0,41	0,44	0,37	0,70	0,48	0,40	0,43	0,36	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
		2	0,90	0,65	0,56	0,55	0,48	0,79	0,61	0,54	0,53	0,47	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
		3	0,99	0,77	0,68	0,64	0,57	0,85	0,71	0,65	0,60	0,55	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
		5	1,07	0,91	0,84	0,73	0,67	0,90	0,80	0,75	0,68	0,64	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
		0,8	0,66	0,39	0,32	0,36	0,30	0,62	0,38	0,31	0,35	0,29	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
		1,25	0,82	0,55	0,46	0,50	0,43	0,75	0,53	0,45	0,48	0,42	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
		2	0,96	0,72	0,63	0,64	0,58	0,86	0,67	0,60	0,61	0,56	0,52
		2,5	1,02	0,80	0,71	0,70	0,64	0,90	0,73	0,67	0,66	0,61	0,57
		3	1,05	0,85	0,76	0,74	0,68	0,92	0,77	0,71	0,69	0,65	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
		5	1,12	0,97	0,89	0,83	0,78	0,96	0,86	0,81	0,76	0,73	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
		0,8	0,62	0,34	0,26	0,32	0,25	0,58	0,33	0,26	0,31	0,25	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
		1,25	0,78	0,48	0,39	0,44	0,37	0,71	0,47	0,39	0,43	0,35	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
		2	0,91	0,64	0,54	0,57	0,49	0,81	0,60	0,52	0,55	0,47	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
		3	0,99	0,77	0,67	0,67	0,59	0,88	0,70	0,63	0,63	0,57	0,52
		4	1,04	0,85	0,75	0,72	0,66	0,91	0,77	0,69	0,67	0,62	0,57
		5	1,07	0,90	0,81	0,76	0,70	0,92	0,80	0,73	0,70	0,66	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
		0,8	0,62	0,36	0,29	0,32	0,26	0,58	0,34	0,28	0,31	0,26	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
		1,25	0,77	0,50	0,41	0,43	0,37	0,70	0,48	0,41	0,42	0,36	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
		2	0,91	0,66	0,57	0,55	0,48	0,80	0,62	0,55	0,53	0,46	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
		3	0,99	0,79	0,69	0,63	0,58	0,87	0,72	0,66	0,60	0,55	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
		5	1,07	0,92	0,84	0,72	0,67	0,91	0,80	0,76	0,67	0,63	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
		0,8	0,58	0,30	0,22	0,27	0,21	0,55	0,29	0,22	0,26	0,20	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
		1,25	0,73	0,43	0,33	0,38	0,30	0,67	0,42	0,33	0,36	0,29	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
		2	0,87	0,60	0,49	0,51	0,43	0,77	0,56	0,47	0,49	0,41	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
		3	0,96	0,74	0,63	0,60	0,53	0,85	0,66	0,59	0,57	0,50	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
		5	1,05	0,87	0,78	0,70	0,64	0,90	0,77	0,70	0,65	0,60	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
		3	0,94	0,71	0,60	0,57	0,50	0,84	0,65	0,56	0,53	0,47	0,41
		4	0,99	0,79	0,70	0,63	0,56	0,87	0,71	0,64	0,58	0,53	0,46
		5	1,02	0,84	0,75	0,66	0,60	0,90	0,75	0,68	0,62	0,56	0,49
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
		3	0,93	0,72	0,63	0,55	0,49	0,82	0,65	0,59	0,51	0,46	0,39
		4	0,99	0,81	0,72	0,60	0,54	0,85	0,72	0,66	0,55	0,51	0,43
		5	1,02	0,86	0,78	0,63	0,58	0,87	0,76	0,70	0,58	0,54	0,45
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
		3	0,92	0,72	0,62	0,53	0,48	0,81	0,64	0,58	0,50	0,45	0,36
		4	0,97	0,80	0,71	0,58	0,53	0,84	0,71	0,65	0,54	0,50	0,40
		5	1,00	0,85	0,77	0,61	0,57	0,85	0,75	0,69	0,57	0,53	0,42
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
		3	0,90	0,67	0,56	0,50	0,43	0,79	0,61	0,53	0,48	0,42	0,34
		4	0,96	0,75	0,65	0,56	0,49	0,82	0,68	0,60	0,52	0,47	0,38
		5	0,99	0,81	0,72	0,59	0,53	0,84	0,71	0,65	0,55	0,51	0,41
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
		3	0,85	0,65	0,55	0,39	0,34	0,75	0,58	0,52	0,37	0,32	0,20
		4	0,90	0,72	0,64	0,43	0,39	0,77	0,64	0,58	0,40	0,36	0,22
		5	0,93	0,77	0,70	0,45	0,42	0,78	0,68	0,63	0,43	0,39	0,24
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
		3	0,83	0,62	0,52	0,38	0,32	0,72	0,55	0,48	0,35	0,30	0,19
		4	0,88	0,70	0,61	0,42	0,37	0,75	0,62	0,55	0,39	0,35	0,21
		5	0,91	0,75	0,68	0,44	0,40	0,78	0,66	0,60	0,42	0,38	0,23

11.2 Càlculs dels nivells d'il·luminació (il·luminàncies)

11.2.1 Mètode del flux o del nivell mitjà

És el mètode emprat normalment per trobar el valor mitjà d'il·luminació en un pla horitzontal d'una zona de geometria rectangular normal, o assimilable, amb llumeneres distribuïdes uniformement i situades en un pla de muntatge paral·lel al de la superfície a il·luminar, en funció de la llum directa i de la indirecta reflectida als paraments del local.

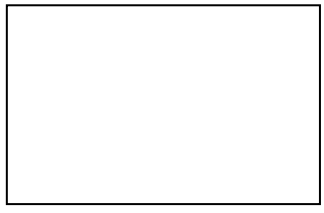
Aquest mètode té l'avantatge que és molt ràpid, però només permet obtenir la il·luminància mitjana en el pla de l´estudi.

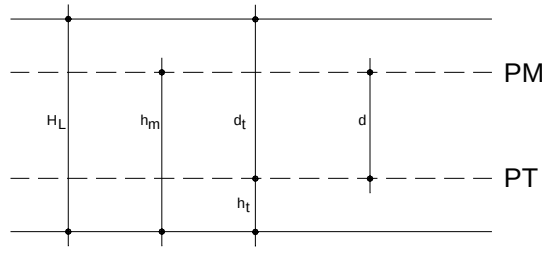
També l'utilitzarem per conèixer el nombre de llumeneres d'un tipus predeterminat, que cal instal·lar en un local que desitgem enllumenar amb un nivell mitjà prefixat.

Cal recordar que en l'enllumenat interior, la llum provinent de les reflexions amb les parets, terra i sostre poden proporcionar un component important a la il·luminació de la zona.

Dades del local

De la representació en planta i en secció del local n'obtindrem totes les dades necessàries per fer el càlcul, d'acord amb la representació següent:





a.Planta b. Secció

De la planta

a Llargada del local
b Amplada del local

De la secció

PM Pla de muntatge, com a pla, normalment horitzontal, de posició de les llumeneres.

PT Pla de treball, és la superfície també normalment horitzontal on es desenvolupa l´activitat principal o pla a enllumenar.
H_L Alçària del local, és la total lliure del local.
h_m Alçària del muntatge, presa des del PM al terra del local.
h_t Alçària del PT, la de la superfície a enllumenar respecte a terra.
d Distància, com l´alçària entre les llumeneres i el pla a enllumenar o PT, que si aquest és el terra coincideix amb h_m.
d_t Distància des del sostre del local fins al pla de treball, que si aquest és el terra coincideix amb H_L.

Fórmula bàsica considerant el factor d'utilització (u):

$$E^* = \frac{n \cdot \Phi nl \cdot u \cdot m}{S}$$

Fórmula bàsica considerant la utilancia (U):

$$E^* = \frac{n \cdot \Phi nl \cdot U \cdot \eta L \cdot m}{S}$$

on:
E*: il·luminància en servei, en lux
n: nombre de llumeneres
Φnl: flux de les làmpades instal·lades a una llumenera, en lúmens
ΦnL: n . Φnl nombre de làmpades pel seu flux nominal
u: factor d´utilització, de vegades expressat Fu
U: utilància
m: coeficient de manteniment, de vegades
expressat Cd com Coeficient de depreciació de la instal·lació
S: superfície del pla a enllumenar, normalment assimilat a la del local S = a · b, en metres quadrats.

Índex de local K

Per a entrar a les taules de coeficients d´utilització, o d'utilàncies, prèviament cal trobar la manera d´expressar el tipus de forma i geometria del local, ja que afectarà la llum rebuda al pla de treball per les reflexions als paraments de tancament, de vegades expressat com **i**.

Per als casos de llum directa o semidirecta ve expressat per la següent fórmula:

$$K = \frac{a \cdot b}{d \cdot (a+b)}$$

I amb llum totalment indirecta, per:

$$K = \frac{a \cdot b}{2/3\ dt \cdot (a+b)}$$

També es necessita conèixer o fixar els coeficients de reflexió o reflectàncies **R** dels paraments del local.

Aquests valors només són coneguts amb exactitud en alguns casos. Pels càlculs es poden aplicar valors de reflectàncies aproximades que no han de ser optimistas. En efecte, la llum que arriba a terra quasibé no afecta el nivell lumínic d'un pla de treball elevat com seria el cas d'una taula. Per aquest motiu s'adopta el valor de 0,1 per a terres foscos i de 0,3 per als terres clars.

Els sostres també afecten poc el resultat, i es poden prendre valors de 0,3 per a colors clars o 0,5 per als blancs. Cal exceptuar els casos amb alçàries del local petites, entre 2,50 i 3,50 m. amb llum indirecta, forta reflexió des de les parets i de color blanc, en què es pot prendre el valor de 0,7 i per als casos d´alçàries majors encara que tinguin colors clars es prendrà 0,5.

Per a les parets, encara que siguin blanques, la probable col·locació de mobles, panells, quadres o pòsters el reduirà i es prendran valors de 0,3 per als casos amb reflectàncies baixes, de 0,5 per als colors clars o de 0,7 per al blanc sense possibles posteriors revestiments més foscos,

consideracions que de manera bàsica ja s'incorporen al concepte d'índex de local i als valors d'**U**.

Així, el factor d'utilització **u** passa a dependre de les fonts emprades, d'un factor geomètric del local i de les reflectàncies de les seves superfícies

Insistim que els factors d´utilització ja incorporen el valor del rendiment lluminós de la llumenera, **ηL**.

Taula 11.3
Taula per a l'obtenció del factor d'utilització u.

Nº 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
K 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 manteniment, m

També cal considerar el valor del coeficient (factors) de manteniment o de conservació general de les llumeneres, en funció de la depreciació al llarg de la seva vida útil.

Aquest valor és el producte del coeficient de depreciació lluminosa de les làmpades instal·lades CI i el de depreciació de la llumenera, que en realitat és de la carcassa amb l'òptica i el tancament CL, com a coeficient de pèrdua lluminosa segons el tipus, les qualitats pròpies dels reflectors, i difusors i de l'ambient on s'instal·laran:

$$m = CI \cdot CL$$

Com a exemples de referència aproximats de CI, s'esmenten els següents valors:

Tipus de làmpades	Valors CI
Incandescència normal	0,85 -0,9
Incandescència d'halogen	0,9 -0,95
Incandescència de fluorescència	0,75 -0,85
Vapor de mercuri AP	0,8 -0,85
Vapor de mercuri amb halògens	0,65 -0,8
Vapor de sodi AP	0,6 -0,65
Vapor de sodi BP	0,8 -0,85

I de la depreciació lluminosa de la llumenera CL:

DEPRECIACIÓ LLUMENERA	CL	
Ambients	**bruts**	**nets**
Tancades i amb filtre	0,8	0,9
Hermètiques	0,85	0,95
Obertes i ventilades	0,7	0,75
Obertes normals	0,6	0,75

Per a il·lustrar pràcticament aquest mètode, reproduïm uns exemples senzills:

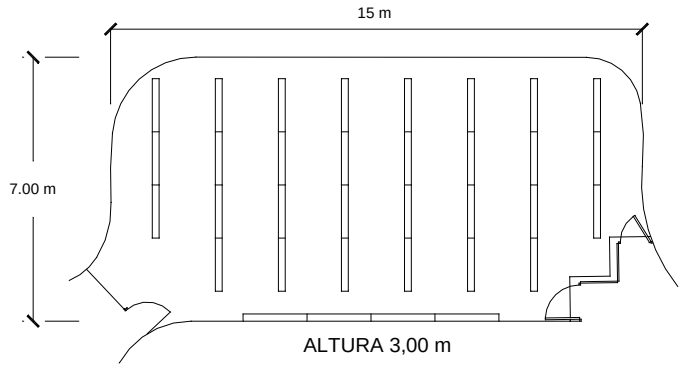
Càlcul de la il·luminància. Mètode del flux. Exemple

Calcular la il·luminància mitjana, sobre el pla de les taules de l'aula de la figura, únicament amb les llumeneres existents al sostre i un total de 30 tubs TLD 58W – 33.

Dades del local

Dimensions i superfície: 7 x 15 = 105 m^2
Alçària total del local: 3,00 m
Alçària de les taules de treball: 0,65 m

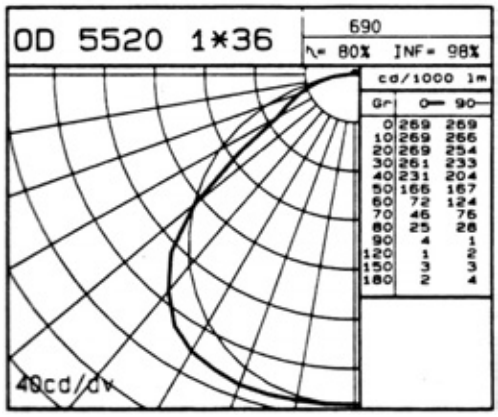
Dades dels paraments i coeficients de reflexió
Sostre pintat de blanc mat, R = 50
Parets pintades de blanc, R = 50
Terra de ceràmica clara, R = 10



Dades de les fonts

Llumeneres del model: OD-5520, fabricades per Odel·lux amb carcassa encastada al cel ras, oberta, amb reflector de xapa esmaltada en blanc, amb un tub fluorescent TLD de 36 W, color NW - 4100 K, IRC 66, eficàcia segons catàleg de Philips 86 lm / W.

Flux nominal de cada tub: 36 x 86 = 3096 lm
Coeficient de depreciació estimat de les làmpades: Cl = 0,8
Coeficient de depreciació estimat de les llumeneres: CL = 0,9
Factor de manteniment: m = 0,72



Índex del local (k)

Fórmula

$$K = \frac{a \cdot b}{d \cdot (a+b)} = \frac{7 \cdot 5}{2{,}35 \cdot (15+7)} = 2{,}03$$

Factor d´utilització (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
0.60	49	40	39	38	33	33	39	37	33	32	27
0.80	56	49	47	46	42	40	47	45	41	40	34
1.00	62	55	53	52	48	46	53	50	47	45	39
1.25	68	62	60	58	56	52	59	56	54	52	45
K 1.50	66	61	58	56	53	50	57	54	51	49	42
2.00	76	74	70	67	68	63	70	65	65	62	56
2.50	80	79	75	71	74	67	75	69	71	66	60
3.00	82	82	77	73	77	70	77	71	73	68	63
4.00	84	86	81	76	83	74	81	74	78	72	67
5.00	86	89	83	78	86	76	83	76	81	74	69

Càlcul amb aplicació de la fórmula:

$$E^* = \frac{n \cdot \Phi nl \cdot u \cdot m}{S}$$

$$E^* = \frac{30 \cdot 3096 lm \cdot 0{,}65 \cdot 0{,}72}{105\ m^2} = 413{,}97$$

Resultat: Em = 414 Lux

11.2.2 Mètode del punt per punt

És el mètode manual normalment emprat per calcular el nivell d´il·luminació en uns punts determinats d´un pla produït per l´emissió directa de llum des d´una o diverses fonts de llum principalment de tipus puntual –projectors- en qualsevol posició relativa, de les quals es conegui la forma de distribució de les intensitats emeses.

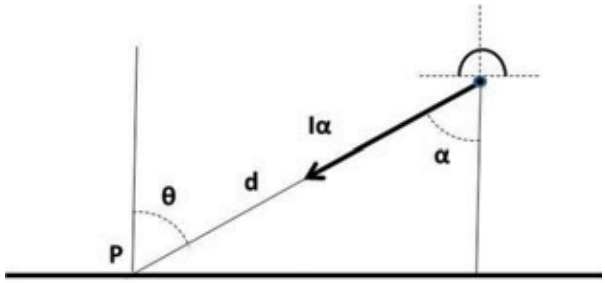
Amb fonts lineals o superficials el càlcul té uns mètodes especials, que no s´exposen en aquesta publicació.

A causa de la meticulositat dels càlculs gràfics necessaris, aquest mètode s'aplica manualment només en el cas de desitjar els nivells en alguns punts concrets tant d'enllumenat interior com exterior.

Consisteix a aplicar la llei de l'invers del quadrat de la distància i la del cosinus de l´angle d´incidència, operant amb la fórmula:

En el cas de superfície perpendicular a l´eix d´emissió resulta $\gamma = \theta$

$$Ep = \frac{I_\alpha \cdot \cos\theta}{d^2}$$

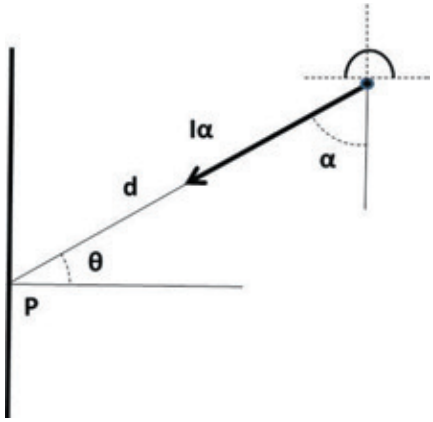


I sempre cal tenir en compte la posició geomètrica de la font amb el seu eix principal d´emissió en la seva gràfica de distribució d´intensitats, per traçar les línies de direccions cap als punts a calcular.

Cas de superfície paral·lela a l´eix d´emissió

Quan la font lluminosa té l´eix de l´emissió vertical i es vol conèixer el nivell d´il·luminació d´un punt a un pla vertical, la fórmula es podrà prendre com:

$$Ep = \frac{I_\alpha \cdot \sin\theta}{d^2}$$



El cosinus de l´angle θ entre la perpendicular al pla i la direcció de la llum és el sinus de γ.

Cas de superfície perpendicular a la direcció de la llum

Si el pla és perpendicular a la direcció considerada, com que γ = υ = 0, cos = 1, resulta:

$$Ep = \frac{I_\alpha}{d^2}$$

Caldrà aplicar també el coeficient de manteniment **m**, per obtenir el nivell real en servei **E*** als punts considerats:

$$E^* = E \cdot m$$

$$E^*p = \frac{I_\alpha \cdot \cos\theta \cdot m \cdot nL}{d^2}$$

També podem emprar les corbes isolux unitàries de la font, si el pla receptor és perpendicular a l´eix d´emissió principal. Si el fabricant les ha publicat al seu catàleg tècnic, podeu veure'n exemples a la pàg. 251, i així trobar directament els valors de les il·luminàncies.

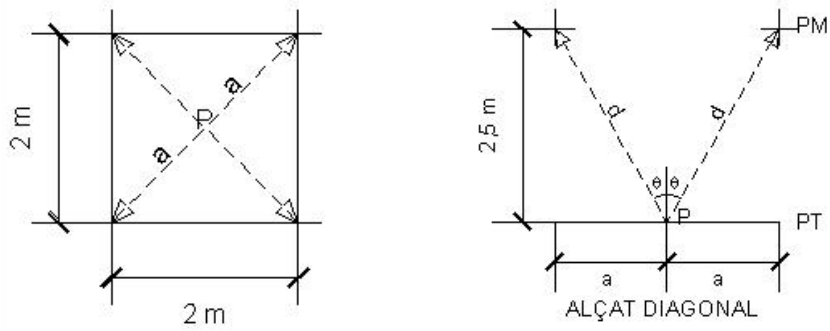
Per il·lustrar pràcticament aquest mètode, reproduïm uns exemples senzills:

Càlcul de la il·luminància. Mètode del Punt per punt. Exemple 1

Trobar el nivell d'il·luminació en un punt P d'una superfície, il·luminat directament amb 4 focus oberts iguals i equidistants segons el croquis annex, dirigits cap al punt, i equipats amb làmpades d'incandescència PAR 38-FLOOD de 80W-30º.

Nota: aquestes làmpades estan en procés de retirada del mercat, ja que la seva eficàcia és inferior als 20 lm/m2.

De la Geometria



Planta Secció

A partir de la geometria triangular obtindrem el valor del cosinus i l'angle real υ

$$a = 1\sqrt{2} = 1{,}41\text{m}$$

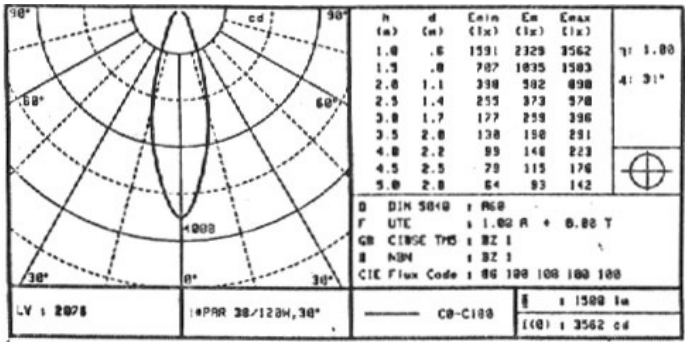
$$d = \sqrt{1{,}41^2 + 2{,}5^2} = \sqrt{8{,}24} = 2{,}87\text{m}$$

$$\cos\upsilon = 2{,}5 / 2{,}87 = 0{,}87$$

$$\upsilon = 29{,}41^\circ$$

De les fonts
PAR 38-120W-30º amb eficàcia de 12,5 lm/ W.
La intensitat màxima és I max. = I0 = 3562 cd.
I el flux serà = 12,5 x 120W =1500 lm.
Rendiment de la llumenera: 100 % per ser amb làmpades reflectores.

$$\theta nL = W \cdot e$$



Del sistema

Directe: 0/100

Factor de manteniment: m = Cl x CL

Per Cl incandescència 0,9

Per CL ambient net, llumenera oberta normal 0,75

m = 0,675

Aplicant la formulació:

$$E*p = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos\theta \cdot m \cdot nL}{d^2}$$

$$E*p = \frac{3562 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}675 \cdot 1}{2{,}87^2} = 254 \text{ Lux}$$

Per cada projector, i el total serà de: Ep* =254 x 4 = 1.016

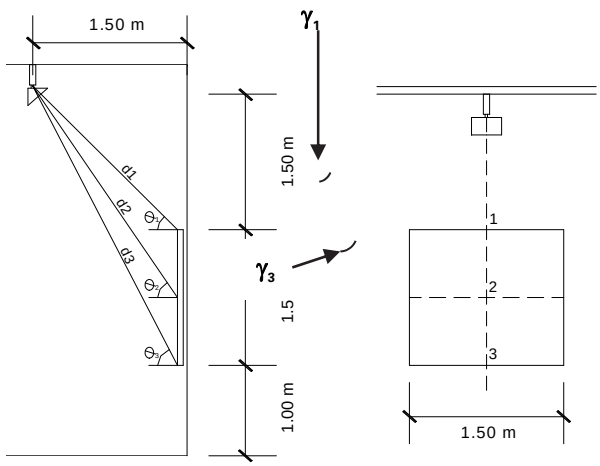
Resultat: Ep* = 1.016 lux

Càlcul de la il·luminància. Mètode del punt per punt. Exemple 2

Enunciat

Calcular la il·luminància als punts 1, 2, i 3 del quadre penjat en una paret, obtinguda per la font triada i amb l´eix principal d´emissió dirigit cap al centre del quadre, punt 2.

De la geometria



Secció Planta

A partir de la geometria triangular obtindrem els valors del cosinus i els angles reals θ_1, θ_2 i θ_3.

$$d_1 = \sqrt{2,25+2,25} = 2,12 \text{ m}$$
$$d_2 = \sqrt{2,25+5,06} = 2,70 \text{ m}$$
$$d_3 = \sqrt{2,25+9,00} = 3,35 \text{ m}$$

Els angles entre les línies d'emissions i l´eix de la llumenera són:

$$\gamma_1 = 11,5^\circ, \quad \gamma_2 = 0^\circ, \quad \gamma_3 = 4,5^\circ.$$

I els angles entre les emissions i les normals al pla receptor són:

$$\theta_1 = 45^\circ, \quad \theta_2 = 56,5^\circ, \quad \theta_3 = 61^\circ.$$

El valor dels cosinus dels angles és:

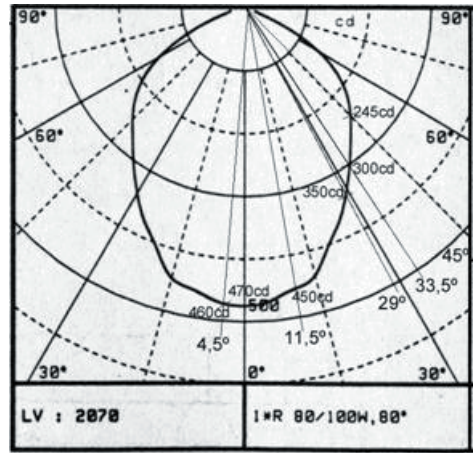
cos45 = 0,707, cos 56,5 = 0,552, cos 61 = 0,484.

Dades de la font

Projector Staff, sèrie Uno 100, equipat amb làmpada d'incandescència normal reflectora de 80 W amb corba d´intensitats de referència LV 2070, penjat a carril electrificat.

Es considera sistema directe 0/100 i llumenera oberta i ventilada.





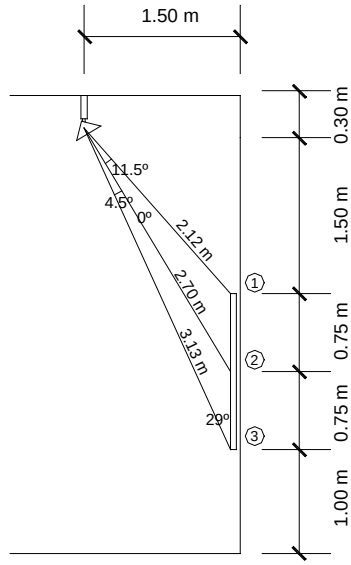
La gràfica de distribució d'intensitats de la figura és de referència per 1000lm i serveix per a les de 80W i 100W. La instal·lada és de 80W amb eficàcia de 12 lm/W, té un flux de 960 lm i permet assimilar la J a les I pròpies sense gaire error.

Traçant els angles es troben les interseccions amb la corba i obtenim els valors de:

$I_2 = I_0 = 470$ cd (màxim)

$I_1 = I_{11,5} = 450$ cd

$I_3 = I_{4,5} = 460$ cd



Càlculs

Coeficient de manteniment $m = CL \cdot Cl$

$$CL = 0{,}75, \quad Cl = 0{,}9 \quad m = 0{,}675$$

En el nostre cas amb el projector orientat al punt 2, els angles d'incidència i els cosinus i les intensitats són els calculats abans, i les il·luminàncies seran de:

$$E = I\gamma \cdot \cos \upsilon \cdot m / d^2$$

E1 = 470 · 0,70 · 0,675 / 2,122 = 47,30 lux
E2 = 450 · 0,55 · 0,675 / 2,702 = 23,93 lux
E3 = 460 · 0,48 · 0,675 / 3,352 = 13,28 lux

Comentari: s´aprecia un resultat amb poca uniformitat.

Com a prova d´una variant i amb el cas de tenir el projector vertical:

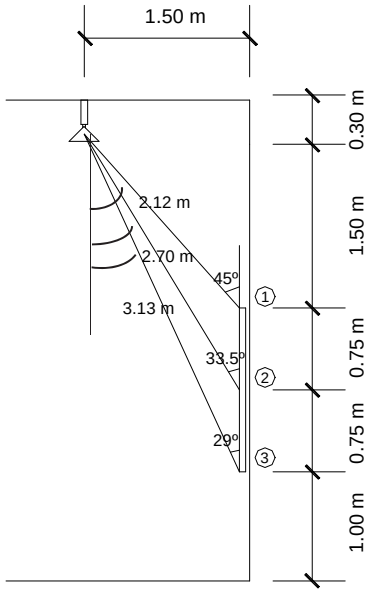
Els angles de la projecció serien:

$$\gamma_1 = 45º, \gamma_2 = 33{,}5º, \gamma_3 = 29º$$

Les seves intensitats serien de:

$$I_{45} = 245, \quad I_{33,5} = 300, \quad I_{29} = 350 \text{ cd}$$

Els angles i cosinus de les direccions amb les normals al pla receptor seran les mateixes, i les il·luminàncies serien de:



E1 = 245·0,70·0,675/ $2,12^2$ = **25,75** lux

E2 = 300·0,55·0,675/ $2,70^2$ = **15,27** lux

E3 = 350·0,48·0,675/ $3,35^2$ = **10,10** lux

Els resultats de valor màxim són molt inferiors a l´anterior ja que la major part de llum es projecta cap a terra però amb millor uniformitat.

11.2.3 Càlcul de la luminància (control d'enlluernament)

El sistema UGR

No obstant això, el sistema Söllner, com ja s'ha explicat en la introducció, tenia molts detractors en altres parts del món. La raó principal és que només podia ser emprat per a sistemes d'il·luminació general. A més, la tecnologia dels reflectors de les llumeneres ha evolucionat d'una manera molt important des dels anys 60.

En vista de la necessitat de trobar un mètode de major acceptació i adaptar-lo als nous tipus d'òptiques disponibles al mercat, la CIE va començar a treballar en els anys 60 a la recerca d'un nou mètode.

El sistema UGR desenvolupat per la CIE pretén incorporar elements dels mètodes Söllner i IES. Essencialment el mètode UGR consisteix en una fórmula a través de la qual, en una situació determinada, el valor d'enlluernament UGR pot ser calculat:

$$UGR = 8 \log (0{,}25/Lb \; \Sigma \; L2 \; \omega / P2)$$

On:

Lb: la luminància de fons percebuda per l'observador (aquesta és determinada pel
nivell de llum indirecta rebuda per l'ull, que depèn en definitiva de la reflectància de les superfícies de l'estada i de la relació de dimensions de l'espai).
L: la luminància de cada llumenera en direcció de l'observador.
ω: l'angle sòlid determinat per la part brillant de cada llumenera des del punt de vista de l'observador.
p: índex de posició de cada llumenera individual (aquest índex es facilita en una taula i depèn de la posició de la llumenera respecte de la posició de l'observador).

A la pràctica el valor d'UGR varia entre 10 i 30. Un valor elevat indica gran enlluernament i un valor baix enlluernament mínim. Un valor de UGR 10 indicaria enlluernament nul.

La norma EN-12.464 demana UGR<19 per a ús en una oficina.

El nou mètode té en compte les reflectàncies de les superfícies (parets, sostres i sòls) i la radiació lluminosa en totes les direccions, mentre que el sistema Söllner (corbes CIE) considerava únicament les radiacions en sentit longitudinal i transversal de les llumeneres.

No cal dir que és necessari l'ús d'un programari específic per al càlcul de l'UGR, encara que s'han desenvolupat mètodes específics, amb taules o diagrames, que permeten seleccionar una llumenera de manera senzilla.

El nou sistema de limitació de l'enlluernament UGR no presenta diferències significatives de classificació de les llumeneres respecte del sistema Söllner fins ara emprat, segons es desprèn de l'àmplia anàlisi realitzada amb nombrosos models de llumeneres.

No obstant això, el sistema UGR simplifica la selecció de lluminàries respecte de l'antic sistema de Sölner, ja que permet automatitzar el seu càlcul en el propi programari de càlcul luminotècnic, o seleccionar la llum mitjançant la taula UGR. A més, el paràmetre de referència UGR permet preseleccionar la llumenera més adequada a cada aplicació.

Condicions de referència per determinar el UGR

La CIE, a més de la fórmula anteriorment expressada, proporciona dos mètodes derivats per determinar l'UGR. Un d'ells utilitza una taula i un altre un diagrama. És molt important saber que aquests mètodes són definits sota unes condicions de referència per a la posició de l'observador i les de les llumeneres.

La taula UGR (com la presentada a continuació) s'utilitza de manera freqüent per a la selecció de llumeneres:

Valoración de deslumbramiento según UGR

ρTecho	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
ρParedes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
ρSuelo	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

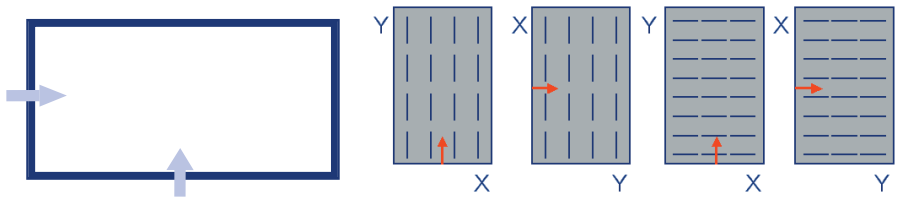
Indice de deslumbramiento corregido en relación a 8200lm Flujo luminoso total

Les condicions de referència estableixen una posició de l'observador que resulta ser la més desfavorable possible: en el punt central dels dos costats de l'estada, amb la paret a la seva esquena i una alçada dels ulls de 1,2 m i amb una adreça de visió horitzontal.

El següent dibuix mostra la disposició de l'observador de referència:

La posició de referència de les llumeneres està fixada per la seva interdistància en els dos eixos principals, que s'estableix com 0,25 x H, on H és l'altura de les llumeneres respecte de la posició de l'ull (1,2 m sobre el sòl). Aquesta peti-

ta interdistància entre llumeneres ens dóna un resultat el més representatiu possible de les condicions mitjanes en les quals es pot trobar l'observador.



UGR característic d'un llum. El UGR

El paràmetre UGR és un nombre que quantifica directament l'enlluernament que existeix en una instal·lació d'enllumenat. Per poder obtenir un paràmetre UGR de referència per a una determinada llumeneres es calcula el mateix en dues situacions estàndard. Una és definida com una oficina petita d'ample 2xH i alt 3xH i l'altra com una oficina diàfana d'ample 8xH i llarg 12xH.

Les reflectàncies es consideren en els dos casos 0,7 per al sostre, 0,5 per a les parets i 0,2 per al sòl. Per a cada situació es calcula l'UGR per a les direccions de visió anteriorment comentades (paral·leles als eixos principals, segons es mostra en el dibuix). El més alt d'aquests paràmetres calculats, que representa la situació amb major enlluernament, es pren com a característica d'aquesta llumeneres, i s'expressa com UGR.

Denominació	valor UGR
Inapreciable	10
Casi apreciable	13
Apreciable	16
Casi aceptable	19
inaceptable	22
Casi inconfortable	25
inconfortable	28
Intolerable	31

11.2.4 Introducció als programes de càlcul

En principi tots els programes de les empreses són per emprar les llumeneres del fabricant editor, per la qual cosa cal tenir a mà i amb agilitat les dades codificades als seus catàlegs comercials.

Permeten trobar els nivells d´il·luminació sobre retícules de punts en un pla de treball, parets, terra, etc. i en qualsevol secció interior de l´espai. Posicionant cada llumenera i dirigint-les en qualsevol direcció, s´obtenen les corbes isolux

de tots els plans i la visió en tres dimensions, així com els valors màxims, mínims i d'uniformitats.

Ara bé, sempre són mètodes on l'espai ha de ser de forma regular, paral·lelipèdica, o sigui amb sostre i terra rectangulars, horitzontals i paral·lels, així com parets verticals i rectangulars. En cas contrari cal insertar "objectes interiors" com volums a terra, sostre o parets per ocupar l'espai interior real.

Si els espais són de dobles alçàries parcials amb escales, rampes o desnivells, com per exemple la part del hall de l'ETSAB amb l'escala de baixada al soterrràni 1, cal preveure que el terra de l'espai és el del soterrani i a partir d'aquest cal anar pujant situant-hi els volums opacs, que són corbats i molt irregulars – assimilant-los amb una múltiple subdivisió en plans verticals de petita amplada i alçàries variables-. No es podrà importar el dibuix en Autocad sense refer-lo.

També es poden incorporar variacions parcials en les reflectàncies de terra, sostre o parets per simular objectes o quadres "decoratius", plans o volumètrics, i tant poden ser mobles com cadires, taules, armaris, etc., com parts de parets amb materials o colors diferents.

La tendència a emplenar de cadires la planta del local pot distorsionar els valors d'il·luminàncies als punts de la trama del pla de treball.

Especialment cal esmentar que tots els programes de càlcul, des dels més antics fins al darrer Calculux, estan preparats per ser emprats en oficines d'empreses industrials o comercials per donar en forma ràpida el pressupost dels materials, acompanyat de les dades tècniques i els càlculs.

Breu historial dels primers programes d'empreses fabricants

De programes informàtics ja n'hi ha molts i dels creats darrerament per les indústries amb més difusió nacional, esmentem:

El 1988, Philips publica el LIDEC Versió 2.2 des del DOS en dos disquets flexibles o un de rígid, amb parts per a interiors, àrees i viari.

PIN i PEX, de Lledó Iluminación S.A., el 1989, basats en les llumeneres d'ODELLUX, STAFF, BEGA, LIMBURG i BRENDEL.

El 1990, CARANDINI oferí uns programes que permeten trobar el nivell d´il·luminació general d´una superfície o d´un punt, a partir de qualsevol sistema homogeni o no.

El 1991, INDALUX publicà els seus programes de càlcul, INDALUX versió 2.1 i dades de les fotometries dels seus productes per a l´enllumenat públic viari, enllumenat interior i de projecció. Editat amb tres disquets flexibles: *Alumbrado público, Alumbrado interior* i *Alumbrado por proyección*, i tres disquets més per a les dades fotomètriques. Funciona des de DOS.

El 1991, Philips publicà els programes anomenats NEW C2 CALCULUX: *Alumbrado interior*, *Alumbrado de àreas* -exteriors- i *Alumbrado viario* amb les dades INR de les seves llumeneres. Calculen també el cost del muntatge i del manteniment.

El 1993 Philips-Mazda, Ibérica de Alumbrado, publicà el programa CANDELUX, que permet calcular el nivell d´il·luminació i les luminàncies en qualsevol pla i posició, amb llumeneres situades en qualsevol orientació, inclinació i rotació, per obtenir gràfiques als plans X/Z i Y/Z i els tridimensionals amb corbes isolux horitzontals i verticals

El 1993 I.E.P. edita el programa S.A.N. (*Sistema de Alumbrado Normalizado*), que funciona amb un disquet comprimit, des d'MS-DOS V. 3.2 o superior.

El 1993 LAMP publicà el *Cálculo de alumbrado interior, Versión 3.1*. amb un disquet. Només serveix per al mètode del flux o nivell mitjà.

El 1995 Philips reforma els CALCULUX amb funcionament millorat i des de l´entorn Windows 3.1 . Disponible amb tres diquets a l´ETSAB i un d'ampliat amb 12 disquets des de 1997.

El 1996 INDALUX presenta el INDALWIN 3.1, que funciona amb tres disquets comprimits, des de Windows 3.1 o Windows 95, vàlid per a enllumenat interior i industrial, enllumenat per projecció, de façanes, viari i enllumenat decoratiu interior. Provat el 01/2002, és un desastre de funcionament, com d´altres.

El 1997 Lledó reforma i amplia el seu programa des d´entorn Windows i en suport CD

El 1998 DISANO Iluminación edita el DLux 3.5, que expressa les isolux amb gradació de trames i amb l´aplicació de Söllner.

De 1998 endavant es consolida el CALCULUX com l'opció més oberta i còmoda de treballar, acceptant qualsevol BD d'altres fabricants. La versió definitiva del CALCULUX Philips es consolida amb la V 4.0. el 2001.

Sobre el CALCULUX, programa d'oferta lliure de PHILIPS

És un programa de càlcul ràpid de llum artificial, encara que es pot "enganyar" per calcular la llum natural de finestres o claraboies i lluernes al sostre.

Triga uns cinc minuts a donar els resultats, amb la qual cosa pot ser útil si cal calcular diferentes solucions per tenir unes comparatives.

Seguidament mostrarem algunes imatges de la informació que facilita el programa:

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

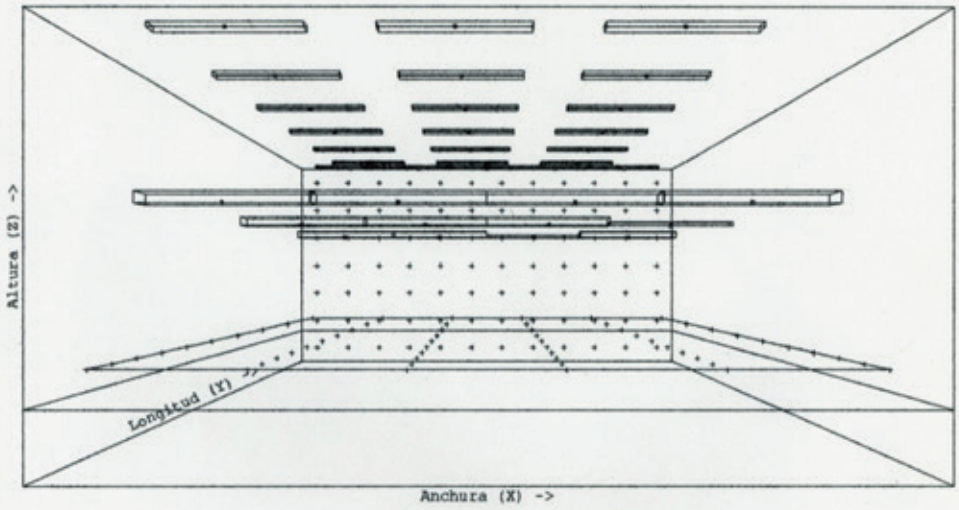
2.3 Datos de calidad

Cálculo	Tipo de cálculo	Media (lux)	Mín/Media	Mín/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

Jose V. Muñoz / Jordi Piquero
Aula 4C E.T.S.A.B
Cálculo con todas las luces
Fecha: 16-01-1998

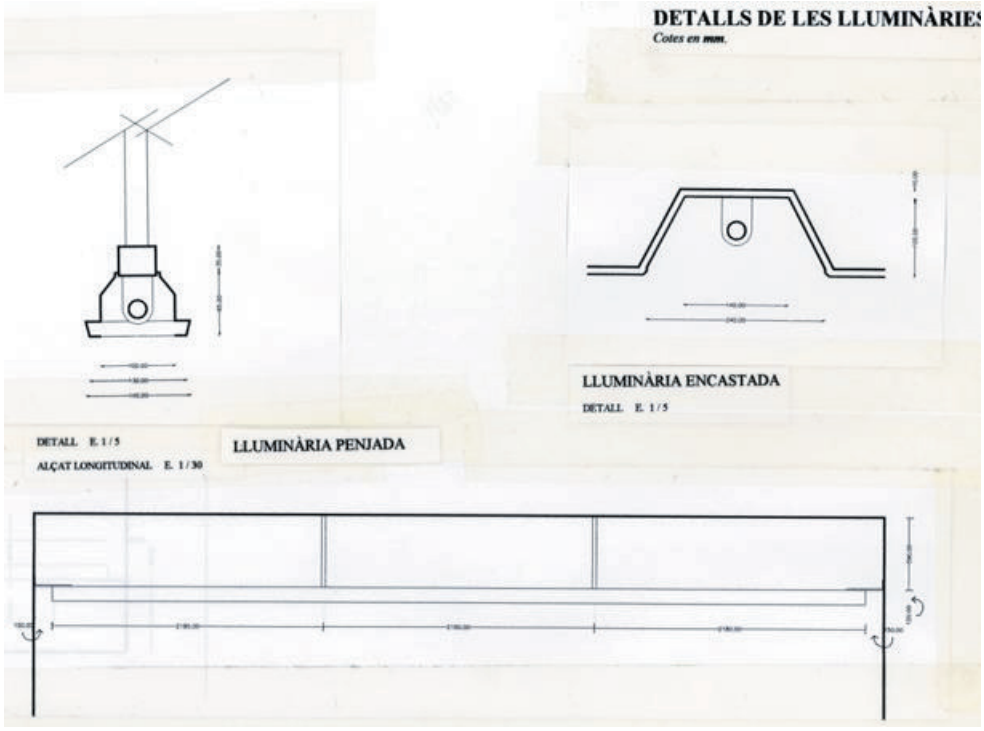
1. Descripción del proyecto

1.1 Resumen de proyecto 3-D

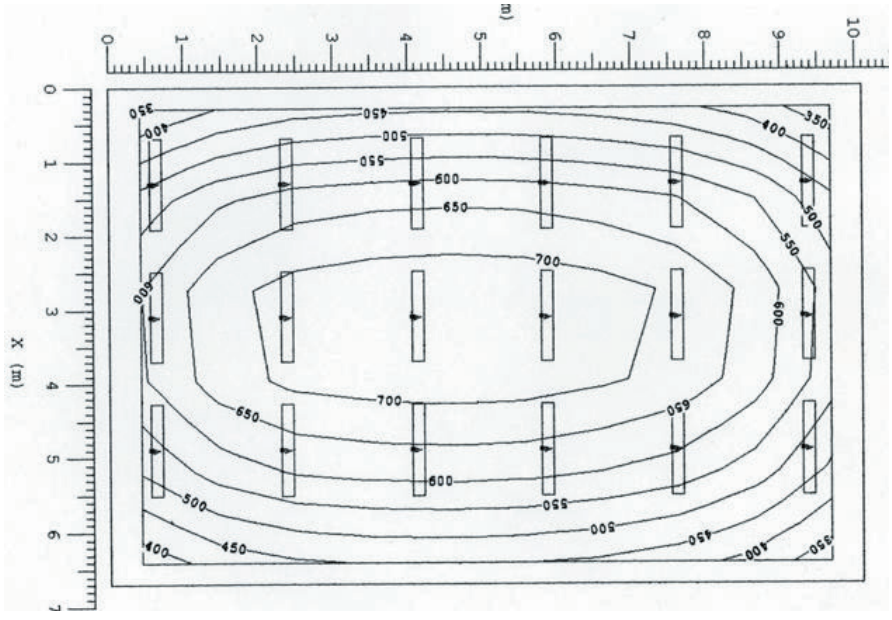


Longitud	Anchura	Altura	Altura del plano de trabajo
10.10 m	6.70 m	3.45 m	0.55 m

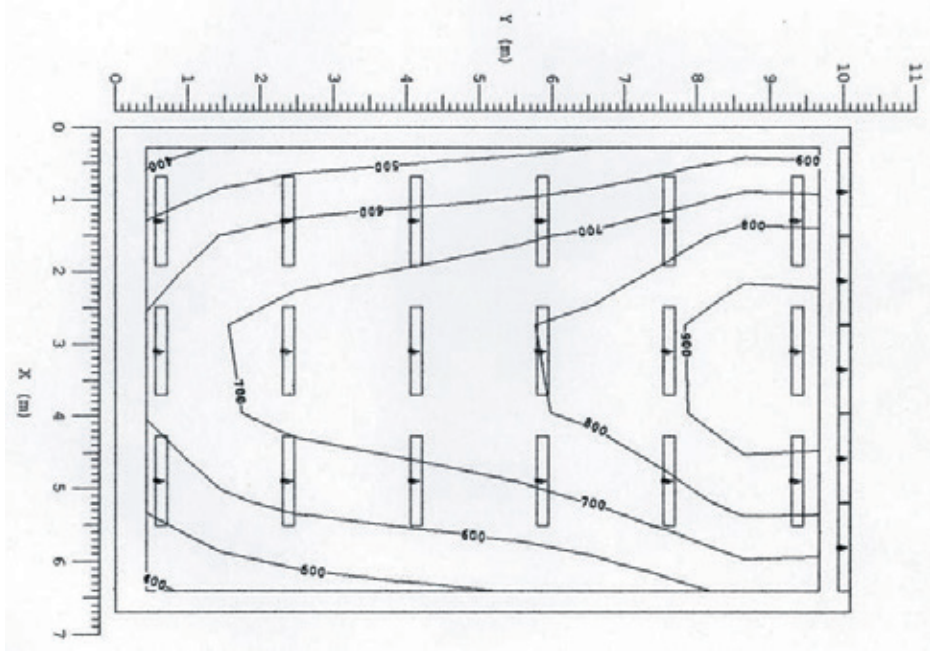
Fitxa de detall de les llumeneres



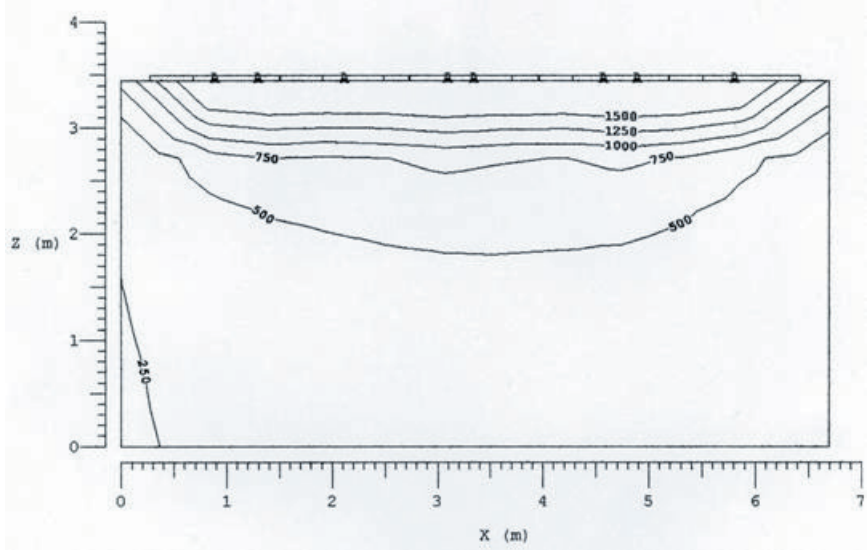
Resultat corbes isolux només amb la llumenera A



Resultat corbes isolux amb la llumenera encastada i la llumenera de pissarra



Resultat corbes isolux al pla vertical només amb la llumenera de pissarra



Sobre el DIALUX, programa d'oferta conjunta de diverses empreses europees

Planificació de l'enllumenat per al càlcul i visualització d'il·luminació interior i exterior.

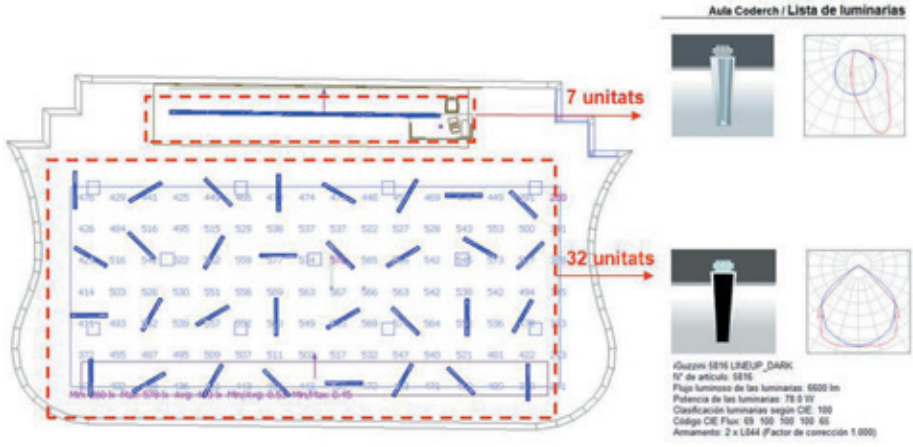
Software complet i gratuït, permet la importació i exportació de dibuixos de tots els programes de CAD en format DXF i DWG i per a la visualització fotorealista amb el "Raytracer" integrat. Permet crear vídeos definint el camí i la direcció de vista de la càmera.

Permet seleccionar llumeneres entre les d'una llista àmplia de fabricants amb els seus "Plug-in" per DIALUX, descarregant i instal·lant-los a la pròpia base de dades. O buscar llumeneres en catàlegs i importar-les i annexar-les una a una al DIALUX.

Al ser un programa mitjanament sofisticat, ja que inclou la renderització de l'espai i tots els resultats llumínics amb diferents formats d'imatges, així com les possibilitats d'importar gràfics i bases de dades múltiples, de calcular amb precisió la llum natural, l'índex UGR, els consums d'electricitat i altres, el converteixen en un excel·lent programa per al disseny de la llum o estudis promocionals o publicitaris de l'edifici. Ara bé, triga al voltant d'una hora a fer els seus càlculs, a part del temps necessari per definir el local i les condicions.

Es pot descarregar lliurament a www.dialux.com.

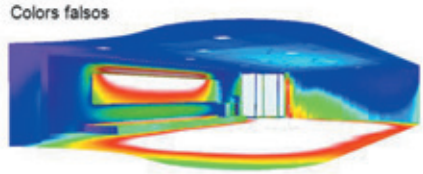
Seguidament mostrarem algunes imatges de la informació que facilita el programa:

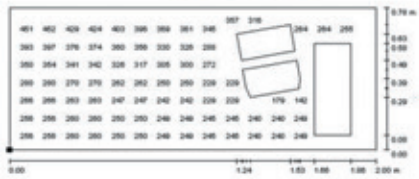


Colors reals



Colors falsos





Pla treball professor:

Em = 289 lux Emax = 496 lux

Emin = 139 lux Emin/Em = 0.48



Pissarra:

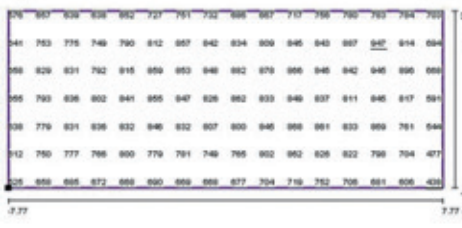
Em = 527 lux Emax = 680 lux

Emin = 191 lux Emin/Em = 0.36



Superfície elluernament UGR:

Max = 21 Min = 15



Pla treball alumnes:

Em = 766 lux Emax = 947 lux

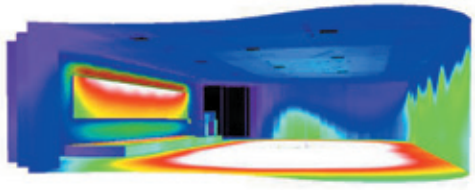
Emin = 438 lux Emin/Em = 0.57

Lectura ràpida: Tenim bons resultats a nivell d'iluminàncies, potser massa alts al pla general, i tenim uns valors d'enlluernament bastant alts. (rotació aleatòria de les llumeneres lineals, malgrat els reflectors)

Proposta 2 Només llum artificial:
Efectes:









Altres webs amb programes especials:

www.lightinganalyst.com Empresa americana de software per a modelització i programes de càlcul.

www.optis.fr Empresa francesa de software per a modelització i càlcul, simulacions de sistemes òptics amb làser, desenvolupament de fotometries per a vehicles i d'altres aplicacions.

Renderització

El programa Accurender

Renderització amb tecnologies de Raytracing i Radiosity, creació d´imatges fotorealistes i animacions a partir d'AutoCAD, amb càlculs de llum natural, raciació solar i llum artificial.

Preu 2003, 595 € www.asuni.es/accurender 93 3196868 versió demo a www.asuni.es

MUNDOLIGHTING edita el LITESTAR 9.00 actualitzat a 07/2006 i es pot baixar des del web www.grupo-mci.com.

Els programes de renderització amb càlcul de llum

Els més sofisticats:

Per al mètode de RADIOSITAT, treballa per descomposició en triangles:

- 3D Studio Viz 4 a l´ETSAB (darrer: Studio Viz 20011)
- 3D Studio Max. 8
- Lightscape a l¨ETSAB (fa el càlcul exacte de la llum)
- Módulos Mental Ray i Final Render.

Per al mètode de MAPA DE FOTONS, treballa amb punts:

- LightWave
- Maya
- Mental Ray (molt professional) amb el Plug-in per Maya i Max

Des del ACAD → Gravar en DWG i importar al Lightscape

Nota: els objectes no poden sobremuntar-ne d´altres (els armaris a terra o altres, no)

Ligthscape Autodesk: recomanable situar objectes en línia amb les línies de la malla.

Per a la llum natural: 1a Radiació solar, 2a interacció de la bòveda del cel.

11.2.5 Mètodes orientatius

Una forma senzilla per conèixer la necessitat de potència elèctrica total necessària per a la il·luminació d´un local o de tot un edifici és la d´emprar taules com la següent, vàlida per a nivells d´il·luminació uniformes a plans de treball tipus oficines, amb acabats de les superfícies dels paraments normals i de color clar, dins de geometries rectangulars o similars i alçàries de sostre entre 2,50 i 3,00 m, per a làmpades del tipus d´incandescència (normals o halògenes) o del tipus de fluorescència normal o compactes així com de descàrrega vapor de mercuri, halogenurs metàl·lics, etc., encara que no amb les de vapor de sodi, que precisarien una columna específica a cause de les seves altes eficàcies.

Coneixent el tipus de làmpada a instal·lar i la seva potència es pot trobar el nombre de làmpades necessàries.

Taula de potències aproximades recomanades: W/m2 (nova 12/2011)

	SISTEMA DIRECTE				SISTEMA INDIRECTE			
TIPUS DE LÀMPADA	INCANDESCÈNCIA Normal	Halògena	FLUORESCÈNCIA i Halogenurs M.		INCANDESCÈNCIA Normal	Halògena	FLUORESCÈNCIA I Halogenurs M.	
EFICÀCIAl m/W →	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

Els W/m^2 per 100 lux esmentats per al càlcul amb el VEEI es trobarien a la fila d'Il·luminàncies E = 100.

Amb valors màxims (amb llum directa) del VEEI = 10 els W/m^2 serien els de la columna INDIRECTE, FLUORESCÈNCIA, e = 60.

Amb valors màxims (amb llum directa) del VEEI = 5 els W/m^2 serien els de la columna DIRECTE, FLUORESCÈNCIA, e = 60.



Bibliografia

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*. Apunts docents de l'assignatura Condicionaments i Serveis III. ETSAB. Barcelona, 1998

GANSLANDT, Rüdiger; HOFMANN, Harald: *Como 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, any,

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. Tokyo, 2003

TABOADA, J.A.: *Manual de luminotécnia*. Ed. Osram. Dossat. Madrid 4ª 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

Revistes i diversos

IDAE. Guias 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, S.A. Introduccion al alumbrado, 2002
Professional LIGHTING Design, EUA
Revista internacional de luminotécnica
STAFF-Lledó, S.A. Luz y diseño. Sistemas de iluminación. Ed. Staff, 1990
Tectónica nº 24. Iluminacion artificial (I), 2007
Tectónica nº 26. Iluminación natural (II), 2008

Normatives

CTE.DB HE3 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN, 2006

CTE DB SU4 SEGURIDAD FRENTE AL RIESGO CAUSADO POR ILUMINACIÓN INADECUADA, 2006

Llei d'Ordenació de l'il·luminació interior. Parlament 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