



BALANÇ ENERGÈTIC D'EQUIPS CONSUMIDORS

Mesura i càlcul

ENLLUMENAT

1



Autors

Aquesta col·lecció ha estat redactada per la Universitat Politècnica de Catalunya i revisada per l'Institut Català d'Energia del Departament d'Empresa i Ocupació. Generalitat de Catalunya.

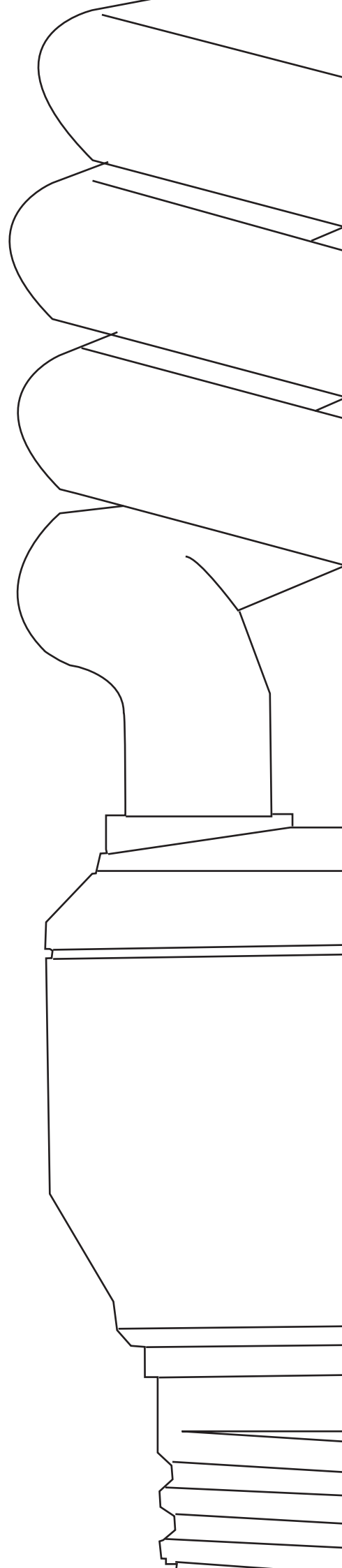
Primera edició

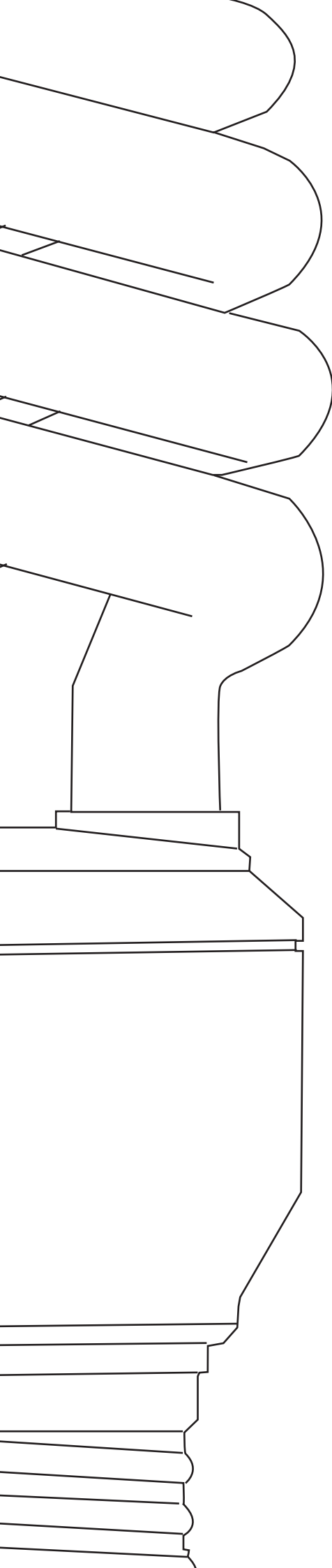
Maig de 2014



Aquesta obra està subjecta a una llicència Reconeixement-No Comercial-SenseObres Derivades 3.0 de Creative Commons. Se'n permet la còpia, distribució i comunicació pública sempre que se'n citi la font (Institut Català d'Energia) i l'ús concret no inclogui finalitat comercial. S'ha d'informar sobre les condicions sota les que aquest treball pot ser distribuït o comunicat. Tampoc no se'n poden fer obres derivades. Per veure'n una còpia, visiteu <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

www.gencat.cat/icaen/publicacions





BALANÇ ENERGÈTIC D'EQUIPS CONSUMIDORS

Mesura i càlcul

ENLLUMENAT

1

Índex

1.1	Introducció	8
1.1.1	Justificació del mòdul	8
1.1.2	Objectiu del mòdul	8
1.1.3	Abast del mòdul	9
1.1.4	Dades macroenergètiques	9
1.2	Descripció del sistema	9
1.2.1	Definició	9
1.2.2	Principis de funcionament i paràmetres	10
1.2.3	Tipologies d'equip	11
1.2.4	Normativa aplicable	14
1.2.5	Descripció gràfica	14
1.3	Definició del balanç energètic	16
1.3.1	Descripció del balanç energètic	16
1.3.2	Esquema del balanç energètic	16
1.4	Bases de càlcul	17
1.4.1	Formulació	17
1.4.2	Taules i diagrames	20
1.5	Planificació de mesures	24
1.5.1	Dades de que es disposa	24
1.5.2	Dades a mesurar	24
1.5.3	Inventari d'aparells de mesura	25
1.5.4	Seguretat en persones i equips	27
1.6	Realització de les mesures	28
1.6.1	Mesura de les dimensions i superfície del local	28
1.6.2	Mesura del nivell d'il·luminació	28
1.6.3	Mesura de voltatge, intensitat i factor de potència	30
1.7	Exemple pràctic	31
1.7.1	Enunciat	31
1.7.2	Dades	32
1.7.3	Càlculs i resultat	34
1.7.4	Comentaris	34
1.8	Referències	35

Pròleg

La Generalitat de Catalunya va aprovar el 9 d'octubre de 2012 el Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020 (PECAC 2020) que serveix com a guia per a les polítiques energètiques i de mitigació del canvi climàtic a Catalunya. Un dels eixos principals del Pla és promoure i desenvolupar projectes d'estalvi energètic i energies renovables. Les polítiques d'estalvi i eficiència energètica es configuren com un instrument de progrés de la societat, doncs contribueixen al benestar de la població, representen un element de responsabilitat social, projecten les activitats humanes cap al desenvolupament sostenible i estableixen un marc per al desenvolupament de la competitivitat empresarial.

Les auditories energètiques són una peça clau per identificar les oportunitats i potenciar les inversions en projectes d'estalvi energètic i energies renovables. Una auditoria energètica de qualitat aporta la informació necessària a un centre consumidor d'energia, ja sigui un edifici, indústria o flota de transport, per establir un full de ruta amb una estratègia de millora contínua del seu consum energètic.

En aquest sentit, el novembre de 2012 l'Institut Català d'Energia (ICAEN) va publicar la guia metodològica per a realitzar auditories energètiques, on es ressalta el paper clau d'aquestes sempre que siguin desenvolupades de manera meticulosa. El factor de major pes que determina la qualitat de l'auditoria és l'obtenció del major nombre possible de dades mesurades al camp de treball. Arran d'aquesta publicació, i la resposta que va tenir entre els professionals, l'ICAEN va detectar que calia complementar aquesta guia amb una formació necessària per a realitzar mesures de camp amb instruments portàtils, i posteriorment conèixer el balanç energètic dels sistemes en estudi. També calia dotar als destinataris de cert criteri en la interpretació dels valors obtinguts en les mesures amb els instruments portàtils.

D'aquí neix aquesta publicació que ara us presentem pensada com una col·lecció de mòduls amb una estructura similar: en primer lloc es justifica l'elecció d'aquell equip, així com la seva importància a nivell macroenergètic. Després es descriu i delimita el sistema objecte del balanç energètic, així com la normativa que li aplica. A partir d'aquí, es defineix el balanç energètic i tots els càlculs necessaris, fórmula a fórmula, aportant les taules i diagrames de bibliografia que calguin. Finalment, es detalla la planificació de les mesures, les característiques dels instruments mesuradors, i la realització d'aquestes pas a pas. Per últim, s'inclou l'aplicació de la metodologia del mòdul a un o dos casos concrets, i es comenta la fiabilitat dels resultats obtinguts.

Val a dir que aquest càlcul és necessari en l'avaluació o diagnòstic que es desenvolupa en una auditoria, però també pot formar part del protocol de manteniment d'una instal·lació, i per tant aquestes mesures de camp poden ser necessàries amb certa periodicitat. És per això que aquesta col·lecció s'adreça tant als professionals del sector de la consultoria energètica, com als responsables energètics dels centres consumidors d'energia.

El mòdul que ara esteu consultant és el primer d'aquesta col·lecció que pren com a sistema d'estudi l'enllumenat d'un espai concret, ja sigui interior o exterior. El balanç energètic, en aquest cas, mesura el consum d'electricitat d'aquest sistema i quantifica les prestacions lumíniques que està donant.

1.1 Introducció

1.1.1 Justificació del mòdul

En la pràctica totalitat de les activitats que es realitzen es precisa de llum per dur-les a terme correctament. Durant la major part del dia la llum prové de la radiació visible de l'espectre electromagnètic del Sol, però degut al moviment de rotació de la Terra respecte aquest, la llum natural va disminuint al llarg del dia fins que no és suficient per a la realització d'activitats. També s'ha de dir que, degut al moviment de translació de la Terra respecte el Sol, la franja horària de llum natural augmenta o disminueix segons l'època de l'any, així com també les condicions meteorològiques influeixen en la incidència de la mateixa sobre la superfície terrestre.

És per això que, en certes franges horàries del dia o sota certes condicions meteorològiques, es precisa de llum artificial per poder realitzar tot tipus d'activitats. Els sistemes que ho possibiliten són les instal·lacions d'enllumenat, les quals proporcionen la llum artificial necessària amb una sèrie de condicions visuals, de confort i ambientació.

Les instal·lacions d'enllumenat utilitzen energia elèctrica per produir la llum artificial necessària en cada cas. I donat que aquesta es necessita en tots els casos on la llum natural és insuficient, les instal·lacions d'enllumenat representen una gran part del consum elèctric del sector industrial, del sector domèstic, del sector serveis i del sector primari.

Tal i com es cita en l'Estudi d'eficiència energètica en les instal·lacions d'enllumenat públic i situació a Catalunya [1], "Analitzar els aspectes energètics de les instal·lacions de l'enllumenat públic implica estudiar la incidència dels components de la instal·lació i dels processos i condicions de funcionament, però a més, és necessari prendre com a referència les prescripcions de nivell i qualitat de servei".

L'anterior cita és aplicable a qualsevol altre tipus d'instal·lació d'enllumenat. I és per això que és necessària la realització d'un balanç energètic en aquests tipus d'instal·lacions per tal de poder detectar si existeixen problemes en els components de la instal·lació o en el règim de funcionament de la mateixa, que poden ocasionar una pèrdua de l'eficiència energètica global de la instal·lació que es tradueix en un augment dels costos energètics i mediambientals. Sempre tenint en compte les condicions mínimes de servei i qualitat de l'espai a il·luminar.

Alguns dels problemes que poden ocasionar una pèrdua energètica en les instal·lacions d'enllumenat poden ser: una pèrdua excessiva d'energia elèctrica per efecte Joule en el transport de la mateixa cap a la instal·lació d'enllumenat, una pèrdua energètica en els equips auxiliars de la instal·lació com condensadors, arrencadors o balasts, una reducció de la producció de llum visible en les làmpades, un manteniment de la instal·lació insuficient, un règim de funcionament i gestió de la instal·lació inadequat, instal·lacions mal compensades pel que fa a potència reactiva, un funcionament de les lluminàries deficient, cosa que provoca un mal aprofitament del flux lluminós, i aspectes ambientals de l'espai a il·luminar que poden provocar una depreciació dels grups òptics de la instal·lació.

1.1.2 Objectiu del mòdul

L'objectiu d'aquest mòdul és proporcionar una metodologia i unes bases de càlcul per poder realitzar una sèrie de mesures en instal·lacions d'enllumenat i en els espais que

il·luminen per tal de caracteritzar el balanç energètic de les mateixes i el seu rendiment energètic en un càlcul posterior

1.1.3 Abast del mòdul

Aquest mòdul es centra bàsicament en instal·lacions d'enllumenat exterior, públic majoritàriament, i interior. També s'ha realitzat una classificació de les làmpades i lluminàries que s'utilitzen en les instal·lacions d'enllumenat.

En l'apartat 1.2.3 es mostren detalladament les diferents tipologies d'instal·lació, de làmpades i lluminàries.

1.1.4 Dades macroenergètiques

Una dada a destacar és el percentatge en que contribueix l'enllumenat públic al consum energètic total d'un municipi o ciutat. Segons les dades proporcionades per l'Institut Català d'Energia [2], en un municipi mitjà l'enllumenat públic representa més del 50% del consum energètic total del municipi.

Pel que fa a l'enllumenat intern, la il·luminació artificial representa un percentatge important del consum d'energia en els edificis. En el cas d'oficines, per exemple, el consum usual en il·luminació es troba entre el 25% i el 30% de l'energia total consumida, podent arribar en alguns casos fins el 50%. El cas més extrem el podem trobar en edificis destinats a escoles, on el consum de l'enllumenat pot assolir el 90% del total.

Ús	Pes s/consum total
Oficines	25-30 %
Residencial	10-15%
Hotels	15-20 %
Hospitals	20-30 %
Escoles	20-90 %

Taula 1.1. Contribució del consum de l'enllumenat sobre el consum total d'edificis

1.2 Descripció del sistema

1.2.1 Definició

La llum és la radiació visible de l'espectre electromagnètic d'una longitud d'ona entre 380 i 770 nm. La llum visible està formada per altres radiacions amb longituds d'ona diferents dins l'anterior interval i és per això que quan la llum es descompon, cada radiació que la forma provoca una impressió visual diferent (arc de Sant Martí).

Per altra banda, els sistemes d'enllumenat artificial permeten, a partir de l'energia elèctrica, la generació de llum amb unes condicions de visió, confort i ambientació visual adequades per als ocupants de l'espai a il·luminar.

Les condicions de visió impliquen que es puguin realitzar de manera adequada les activitats a les quals va destinat l'espai a il·luminar, el confort visual suposa l'absència d'enlluernament i un nivell d'il·luminació adequat i, finalment, l'ambientació visual representa la impressió que produeix l'ambient de l'espai a il·luminar als ocupants del mateix.

Bàsicament, els components que formen part dels sistemes d'enllumenat i que possibiliten les anteriors condicions són: les làmpades que realitzen la conversió d'energia elèctrica en el flux lluminós, les lluminàries que reparteixen, filtren, dirigeixen i transformen la llum a través d'una o més làmpades, i els equips auxiliars com condensadors, balasts, dissipadors i arrencadors.

Finalment, cal dir que les condicions de visió, de confort i ambientació visual, s'han de complir utilitzant el mínim de potència elèctrica possible amb la finalitat d'augmentar l'eficiència energètica de la instal·lació d'enllumenat. Però igualment existeixen pèrdues energètiques en els components del sistema d'enllumenat o senzillament per la depreciació de les làmpades i equips.

1.2.2 Principis de funcionament i paràmetres

El funcionament de les instal·lacions d'enllumenat és força senzill. En primer lloc, l'energia elèctrica es subministra a través del cablejat elèctric a les lluminàries. Tot seguit l'energia elèctrica es transmet des de les lluminàries a les làmpades on es genera l'espectre electromagnètic de la llum visible. Cal dir que el procés de generació de llum artificial en les làmpades canvia segons el tipus de làmpada i segons el tipus d'equips auxiliars de què disposi. En l'apartat 1.2.3 s'expliquen més detalladament els processos de generació de llum segons el tipus de làmpades.

Finalment, un cop s'ha generat la llum, aquesta es propaga a través de les parets de la làmpada cap a l'espai a il·luminar.

Un cop definits els principis de funcionament de les instal·lacions d'enllumenat, es poden caracteritzar els paràmetres que les defineixen. Per tant, els paràmetres que caracteritzen una instal·lació d'enllumenat són: el flux lluminós (ϕ) [lm]¹ que equival a la potència lumínica o potència emesa en forma de radiació lluminosa a la que l'ull humà és sensible, la intensitat lluminosa (I) [cd]² que correspon a la quantitat de flux lluminós per angle sòlid en una direcció concreta, el nivell d'il·luminació (E) [lux]³ que correspon al flux lluminós per unitat de superfície, la il·luminància (L) [cd/m^2] que correspon a la relació entre la intensitat lluminosa i la superfície aparent captada per l'ull, la quantitat de llum o energia lluminosa (Q) [$\text{lm}\cdot\text{s}$] que resulta un paràmetre molt útil per comparar làmpades durant cert període de temps o per caracteritzar la capacitat que té una làmpada de proporcionar més o menys flux lluminós i finalment la potència elèctrica subministrada (P_e) [W].

Per al càlcul del rendiment de la instal·lació, només és necessària la mitja del flux lluminós (ϕ) proporcionat per les làmpades, i la potència elèctrica (P_e) subministrada al sistema d'enllumenat.

A banda dels dos paràmetres anteriors, es necessitaran les dimensions de l'espai a il·luminar i els valor d'eficiència energètica límit per cada 100 lux proporcionat per la normativa vigent (VEEILIMIT), per si es vol calcular l'índex d'eficiència energètica de la instal·lació en el cas que aquesta sigui de l'àmbit d'aplicació del Codi Tècnic de l'Edificació (CTE).

¹ Lumen, 1 W-llum a 555 nm equival a 683 lm

² Candelera

³ Lux= lm/m^2

1.2.3 Tipologies d'equip

A continuació, es realitza una breu descripció dels diferents tipus de sistemes d'enllumenat, així com també una classificació dels diferents tipus de làmpades i lluminàries.

Instal·lacions d'enllumenat exterior. Aquest tipus de sistemes d'enllumenat proporcionen la llum artificial adequada per poder donar serveis d'il·luminació a zones obertes a l'aire lliure com poden ser carrers, carreteres, cel-oberts, places, jardins, parcs, zones esportives a l'aire lliure, etc. Existeixen diversos tipus d'enllumenat exterior: l'enllumenat de vials on es premia la funcionalitat i l'ambientació, l'enllumenat específic, l'enllumenat ornamental i festiu, l'enllumenat de vigilància de seguretat nocturna, i senyals i anuncis lluminosos.

Instal·lacions d'enllumenat interior. Aquest tipus de sistemes d'enllumenat proporcionen llum artificial a espais tancats, vivendes, oficines, naus industrials, i en general en tot els edificis on es desenvolupi algun tipus d'activitat. Entre les instal·lacions d'enllumenat interior, es poden trobar sistemes d'enllumenat general, suplementari i d'emergència, a banda de sistemes d'il·luminació decorativa els quals van molt lligats a l'entorn que il·luminen.

Algunes de les làmpades més utilitzades es mostren a continuació:

Làmpades incandescentes. En aquest tipus de làmpades, la llum es genera a partir de l'escalfament d'un filament produït pel pas del corrent elèctric a través d'aquest. La temperatura del filament s'eleva fins al punt en que la radiació emesa pel mateix pot ser visible per l'ull humà.

Làmpades incandescentes halògenes. El principi de funcionament d'aquest tipus de làmpades és molt similar a l'anterior però amb la diferència que incorporen un gas halogen en el seu interior. L'ús del gas halogen incrementa l'eficiència lluminosa, evita l'evaporació del material del filament, i augmenta la temperatura de treball d'aquest.

Làmpades de descàrrega. En aquest tipus de làmpades, les descàrregues produïdes per una diferència de potencial entre dos elèctrodes originen un flux d'electrons que travessen el gas que s'allotja en l'interior de la làmpada. El flux d'electrons en l'interior del gas provoca que el gas alliberi energia en forma de radiació electromagnètica, generalment radiació ultraviolada (UV) i radiació visible.

Els tipus de làmpades de descàrrega més comuns són els següents:

- Tubs fluorescents o de vapor de mercuri de baixa pressió, vida útil d'unes 10.000h;
- Vapor de mercuri d'alta pressió, vida útil d'unes 8.000h;
- Halogenurs metàl·lics, vida útil d'entre 8.000-20.000h;
- Vapor de sodi d'alta pressió, vida útil inferior a 20.000h;
- Vapor de sodi de baixa pressió, vida útil d'entre 18.000-20.000 h.

Làmpades LED (Light Emitting Diode). En aquest tipus de làmpades s'incorpora la tecnologia LED com a font de llum. El LED és un díode compost per varies capes de material semiconductor encapsulat en una coberta de plàstic o ceràmica. El díode emet llum en una o més longituds d'ona (colors) quan es polaritza correctament. El color depèn del material semiconductor emprat en la construcció del díode, i pot variar des de l'ultraviolat, passant per l'espectre de llum visible, fins a l'infraroig. El díode LED només funciona amb

corrent continu, ja que només condueix l'electricitat quan es polaritza en directa, com els díodes p-n convencionals.

En el cas que la capa d'emissió d'un LED estigui fabricada amb un material de compost orgànic, el dispositiu es coneix com a OLED. En comparació amb els LEDs convencionals, els OLEDs són més lleugers.

Actualment, la tecnologia està evolucionant de forma molt ràpida, de manera que el volum d'inversió requerit és raonable.

A la taula 1.2. es mostra un resum de les característiques més rellevants de les diverses tecnologies esmentades.

Tecnologia	Eficàcia Iluminosa o Rendiment Iluminós (lm/W)	IRC	vida útil (h)
incandescència	12 - 17	100	1.000 - 2.500
halògena	16 - 23	100	2.000 - 6.000
fluorescent compacte*	49 - 88	80	7.000 - 15.000
fluorescent*	60 - 100	15 - 85	10.000
halogenurs metàl·lics*	70 - 110	65 - 93	8.000 - 20.000
sodi d'alta pressió*	73 - 143	21 - 70	<20.000
sodi baixa pressió*	100 - 200	0	18.000 - 20.000
LEDS*	64 - 125	60 - 90	50.000

Taula 1.2. Característiques i eficàcia Iluminosa dels diferents tipus de làmpades. [10]

* Dades extretes de l'estudi "Treball valoratiu de les millors tecnologies disponibles en enllumenat exterior" Realitzat pel Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya i la Generalitat de Catalunya.

Tal i com es pot observar, la llum de sodi de baixa pressió és la més eficient, però degut a la distorsió en la percepció del color (IRC baix) s'empra, generalment, en usos per enllumenat públic exterior on l'índex d'IRC no es una exigència.

Per activitats industrials, en enllumenat exterior es recomana LED en cas de necessitat d'un IRC elevat o sodi d'alta pressió si no és necessari un IRC elevat.

Les lluminàries es poden classificar segons les característiques òptiques, mecàniques i elèctriques de la làmpada.

Segons el flux lluminós de la làmpada, les lluminàries poden ser directes, semi-directes, general difusa, directa-indirecta i indirectes. A la Figura 1.1 es pot veure els diferents tipus de lluminària segons les característiques del flux lluminós de la làmpada.

Directa		Semi-directa	
General difusa		Directa-indirecta	
Semi-directa		Indirecta	

Figura 1.1. Tipus de lluminàries segons les característiques del flux lluminós de làmpada [3].

Segons el nombre de plans de simetria, es poden trobar lluminàries que proporcionen infinits plans de simetria, dos plans de simetria (transversal i longitudinal) i un pla de simetria (longitudinal). A la Figura 1.2 es pot observar els diferents tipus de lluminària segons el nombre de plans de simetria que pot proporcionar.

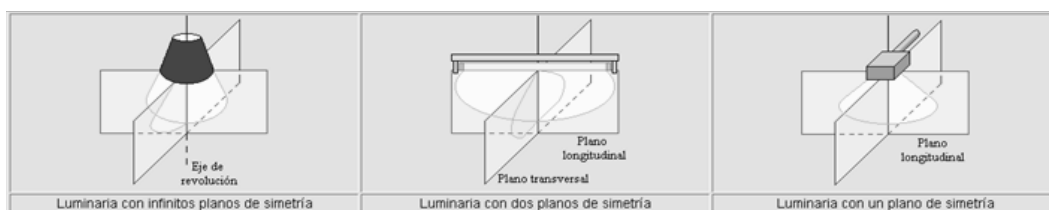


Figura 1.2. Tipus de lluminàries segons el nombre de plans de simetria que proporcionen [3].

Segons les característiques mecàniques de la làmpada, és a dir el grau de protecció contra la pols, líquids i cops, les lluminàries es dissenyen de la següent manera:

IP + 3 dígits. El primer dígit indica el grau de protecció (0 a 6) contra la pols i cossos sòlids. El segon dígit indica el grau de protecció (0 a 8) contra la penetració de líquids i el tercer dígit indica el grau de protecció (0, 1, 3, 5, 7) contra xocs o cops.

Finalment, segons les característiques elèctriques de làmpada, les lluminàries es classifiquen en quatre classes segons el grau de protecció elèctrica de les mateixes tal i com s'observa a la Taula 1.3.

Classe	Protecció elèctrica
0	Aïllament normal sense presa de terra
I	Aïllament normal i presa de terra
II	Doble aïllament sense presa de terra
III	Luminàries per connectar a circuits de molt baixa tensió, sense altres circuits interns o externs que operin a altres tensions diferents

Taula 1.3. Classes de lluminàries segons el grau de protecció elèctrica que proporcionen [3].

1.2.4 Normativa aplicable

La normativa aplicable en aquest mòdul bàsicament és el Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió (RBT) [4], el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) [5] i el Reglament d'Eficiència Energètica en Instal·lacions d'Enllumenat Exterior (REEAE) [6].

Al RBT es destaquen les instruccions tècniques complementàries ITC-BT-09 "Instal·lacions de alumbrado exterior" i la ITC-BT-44 "Instal·lacion de receptores. Receptores para alumbrado".

Al CTE es destaca el document bàsic DB-HE "Ahorro de energía", concretament la secció del document HE 3 "Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación". Al present document s'estableixen les bases pel càlcul de l'eficiència energètica a les instal·lacions d'enllumenat que pertanyen a l'àmbit d'aplicació del document, en base a uns valors límit d'eficiència energètica VEEI. En aquest document també es fa referència als sistemes de regulació i control, als equips i la seva recepció en obra i finalment al manteniment i conservació de la instal·lació.

Sobre el Real Decreto 1890/2008 que aprova el Reglament d'Eficiència Energètica en Instal·lacions d'Enllumenat Exterior es destaca la instrucció tècnica complementària ITC-EA-01 "Eficiencia energética". A la present instrucció es mostren les bases de càlcul de l'eficiència energètica en instal·lacions d'enllumenat exterior, els requisits mínims d'eficiència energètica en funció del tipus d'instal·lació i una classificació energètica d'aquest tipus d'instal·lacions d'enllumenat. A les altres instruccions tècniques es fa referència als nivells d'il·luminació mínims d'aquest tipus d'instal·lacions, a limitacions de les emissions lluminoses, a limitacions de la llum intrusa o molesta, als components de les instal·lacions d'enllumenat exterior, a la documentació tècnica necessària així com verificacions i inspeccions de les instal·lacions, al manteniment de l'eficiència energètica i finalment al tipus de mesures que es poden realitzar en instal·lacions d'enllumenat exterior.

Altres documents, a mode de recomanació, són les guies tècniques en il·luminació d'hospitals i centres sanitaris d'assistència primària, d'oficines, de centres docents i d'enllumenat públic de l'IDAE [7].

1.2.5 Descripció gràfica

Des de la Figura 1.3 a la Figura 1.8 es mostren les imatges de les diferents tipologies d'instal·lacions d'enllumenat, així com algunes de les tipologies de làmpades i lluminàries

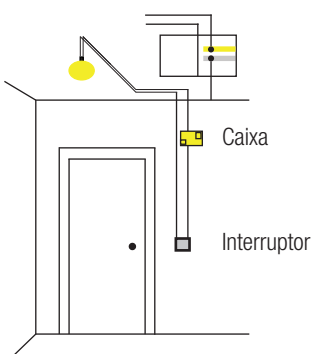


Figura 1.3. Circuit elèctric d'una instal·lació d'enllumenat



Figura 1.4. Instal·lació d'enllumenat interior.



Figura 1.5. Instal·lació d'enllumenat exterior.



Figura 1.6. Diferents tipologies de làmpades



Figura 1.7. Diferents tipologies de lluminàries interiors [7]



Figura 1.8. Diferents tipologies de lluminàries exteriors [8]

1.3 Definició del balanç energètic

1.3.1 Descripció del balanç energètic

Per tal de caracteritzar l'eficiència energètica en instal·lacions d'enllumenat, s'ha de caracteritzar el balanç energètic d'una sola làmpada i fer-ho extensible a tota la instal·lació. Per tant, en el balanç energètic d'una làmpada, es considera com a entrada al sistema la potència elèctrica subministrada a aquesta i com a sortides la potència lumínica associada a la llum visible de l'espectre electromagnètic, la potència tèrmica associada a les pèrdues per calor en la làmpada, i la potència associada a les pèrdues energètiques ocasionades per les radiacions no visibles de l'espectre electromagnètic.

Un cop es tenen caracteritzats els fluxos d'entrada i sortida en les làmpades, es pot calcular l'eficiència energètica global de la instal·lació d'enllumenat, és a dir, la relació entre la potència lumínica mitja de totes les làmpades i la potència elèctrica subministrada a la instal·lació.

Tal i com s'ha comentat amb anterioritat, les làmpades presenten pèrdues energètiques per transferència de calor o per radiacions invisibles que contribueixen de manera significativa a la pèrdua d'eficiència energètica global de la instal·lació. Però també poden existir pèrdues energètiques per la utilització i manteniment de la instal·lació.

Algunes de les solucions que optimitzen l'eficiència de les instal·lacions d'enllumenat poden ser la utilització de balasts electrònics en comptes dels magnètics, utilització de làmpades tri-fosfòriques en comptes de les mono-fosfòriques, fluorescents d'alt rendiment o compactes, etc.

I algunes de les solucions que milloren l'eficiència d'utilització de les instal·lacions d'enllumenat poden ser la utilització de detectors de presència, d'ocupació o de lluminositat, utilització de sistemes d'il·luminació mòbils per a una major flexibilitat, reduir o tancar la il·luminació no necessària, etc.

1.3.2 Esquema del balanç energètic

A l'Equació 1.1 es mostra la relació entre el flux d'entrada i els fluxos de sortida a una làmpada i a la Figura 1.9 es pot observar l'esquema del balanç energètic.

$$P_e = E_{lum} + T_p + E_{rad} \quad \text{Equació 1.1}$$

On:

P_e [W] correspon a la potència elèctrica subministrada a la làmpada.

E_{lum} [W-llum] ó [lm] correspon a la potència lumínica proporcionada per la fracció visible de l'espectre electromagnètic en la làmpada.

T_p [W] correspon a les pèrdues de potència tèrmica en la làmpada.

E_{rad} [W] correspon a la potència de pèrdues per radiacions invisibles com la ultraviolada en la làmpada.

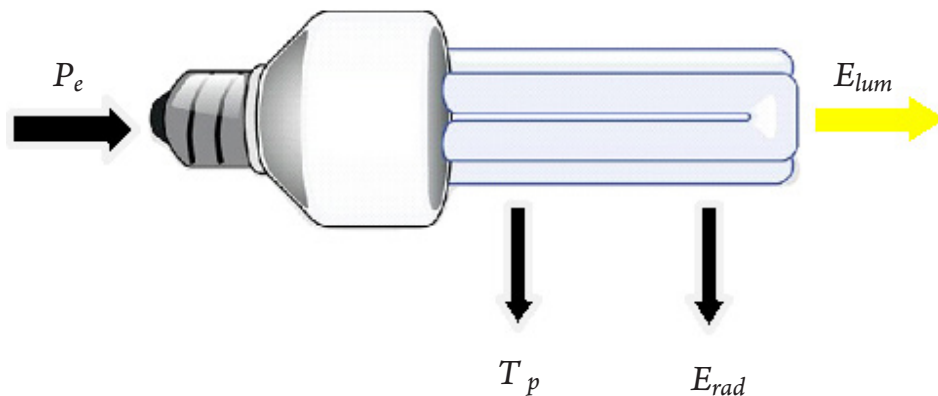


Figura 1.9. Esquema del balanç energètic a una làmpada.

1.4 Bases de càlcul

1.4.1 Formulació

A l'enllumenat interior, dins de l'àmbit d'aplicació del DB-HE 3 del CTE, és a dir, edificis de nova construcció, rehabilitació d'edificis amb una superfície útil superior a 1000 m² on es renova més del 25% de la superfície il·luminada i reformes en centres comercials i d'ús administratiu en els que es renovi la instal·lació d'il·luminació, es podran aplicar les bases de càlcul per l'eficiència energètica en instal·lacions d'enllumenat que el mateix document incorpora.

Segons el present document, mitjançant l'Equació 1.2 s'obté l'índex del local necessari per definir el nombre de punts de mesura n .

$$K = \frac{l \cdot a}{h \cdot (l + a)} \quad \text{Equació 1.2}$$

On:

K [-] correspon a l'índex del local il·luminat necessari per determinar els punts de mesura a partir de la Taula 1.4.

l [m] correspon a la longitud del local il·luminat.

a [m] correspon a l'amplada del local il·luminat.

h [m] correspon a l'altura del pla de treball a les lluminàries.

Posteriorment s'ha de calcular la mitjana dels diferents nivells d'il·luminació mesurats en els diversos punts de l'espai il·luminat mitjançant l'Equació 1.3:

$$E_n = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{n} \quad \text{Equació 1.3}$$

On:

E_m [lux] correspon a la mitjana dels diferents nivells d'il·luminació horitzontal mesurats.

E_n [lux] correspon al nivell d'il·luminació horitzontal en el punt de mesura n.

n [-] correspon al nombre de punts de mesura.

Un cop calculada la mitjana del nivell d'il·luminació i mesurades la superfície del local il·luminat i la potència elèctrica subministrada a la instal·lació d'enllumenat, és pot calcular el valor d'eficiència energètica de la instal·lació per cada 100 lux mitjançant l'Equació 1.4:

$$VEEI = \frac{P_e \cdot 100}{S \cdot E_m} \quad \text{Equació 1.4}$$

On:

$VEEI$ [$\frac{W}{m^2} \cdot 100\text{lux}$] correspon al valor d'eficiència energètica de la instal·lació per cada 100 lux de nivell d'il·luminació.

S [m^2] correspon a la superfície del local il·luminat.

P_e [W] correspon a la potència elèctrica subministrada a la instal·lació d'enllumenat.

Un cop s'ha calculat el valor d'eficiència energètica de la instal·lació, es pot comparar amb el valor d'eficiència energètica límit que estableix el DB-HE 3 del CTE mitjançant l'Equació 1.5:

$$\%VEEI = \frac{VEEI_{LIMIT}}{VEEI} \cdot 100 \quad \text{Equació 1.5}$$

On:

$\%VEEI$ [%] correspon al percentatge en que el valor límit supera al valor calculat. Aquest valor ha de ser com a mínim del 100%, ja que el valor obtingut no pot superar el límit.

$VEEI_{LIMIT}$ [$\frac{W}{m^2} \cdot 100\text{lux}$] correspon al valor límit d'eficiència energètica de la instal·lació. Valor extret de la Taula 1.5.

Adicionalment, es pot calcular el factor d'utilització de la instal·lació d'enllumenat, el qual depèn de l'índex del local, de les corbes de les lluminàries proporcionades pels fabricants i del color de la superfície de treball on es realitzen les mesures del nivell d'il·luminació. El Factor d'utilització (f_u) és la relació entre el flux útil procedent de les lluminàries que arriba a la superfície a il·luminar i el flux emès per les làmpades instal·lades a les lluminàries. És funció del tipus de llum, de la distribució de la intensitat lluminosa i rendiment de les lluminàries, així com de la geometria de la instal·lació, tant pel que fa a les característiques dimensionals de la superfície a il·luminar (longitud i amplada), com a la disposició de les lluminàries en la instal·lació d'enllumenat exterior (tipus d'implantació, alçada de les lluminàries i separació entre punts de llum).

A la Taula 1.7 es poden observar els diferents índex de reflexió segons el tipus de color dels tancaments i a la Taula 1.8 es mostren els diferents factors d'utilització d'una lluminària amb làmpada fluorescent amb reixeta.

Als locals que queden fora de l'àmbit d'aplicació del DB-HE 3, com poden ser naus industrials i tallers mecànics, s'ha de comparar el nivell d'il·luminació mínim exigít amb el nivell d'il·luminació mesurat el qual ha d'estar entre el nivell mínim i l'òptim. Els nivells d'il·luminació mínim i òptim en funció de l'activitat que es realitza a l'espai il·luminat es mostren a la Taula 1.6.

Pel que fa a l'enllumenat exterior, a la instrucció tècnica complementària ITC-EA-01 del Reglament d'Eficiència Energètica en Instal·lacions d'Enllumenat Exterior s'estableixen les bases de càlcul per caracteritzar l'índex d'eficiència energètica d'aquest tipus d'instal·lacions.

Segons la present instrucció, en primer lloc, s'ha de caracteritzar el rendiment lluminós de tota la instal·lació mitjançant l'Equació 1.6:

$$\eta_{Llum} = \frac{S_e \cdot E_{m,e}}{P_e} \quad \text{Equació 1.6}$$

On:

$\eta_{Llum} \left[\frac{lm}{W} \right]$ correspon al rendiment lluminós de la instal·lació d'enllumenat exterior.

S_e [m^2] correspon a la superfície exterior il·luminada.

$E_{m,e}$ [lux] correspon a la mitjana del nivell d'il·luminació de la instal·lació d'enllumenat exterior.

P_e [W] correspon a la potència elèctrica subministrada a la instal·lació d'enllumenat.

Finalment, un cop calculat el rendiment lluminós de la instal·lació i amb el rendiment mínim exigít en la ITC-EA-01, es poden comparar mitjançant l'Equació 1.7:

$$\% \eta_{Llum} = \frac{\eta_{Llum}}{\eta_{Llum,min}} \cdot 100 \quad \text{Equació 1.7}$$

On:

$\% \eta_{Llum}$ [%] correspon al percentatge en que el rendiment lluminós calculat supera al rendiment mínim exigít. Aquest valor ha de ser com a mínim del 100%.

$\eta_{Llum,min}$ [$\frac{m^2 \cdot lux}{W}$] correspon al rendiment lluminós mínim exigít. Valor extret de la Taula 1.9 i de la Taula 1.10 en funció del tipus d'enllumenat exterior i nivell d'il·luminació mitjà.

1.4.2 Taules i diagrames

A la Taula 1.4 es mostren el nombre de punts de mesura del nivell d'il·luminació en funció de l'índex del local.

$K = \frac{l \cdot a}{h \cdot (l + a)}$	n: Nombre de punts
$K \leq 1$	4
$1 < K \leq 2$	9
$2 < K \leq 3$	16
$K > 3$	25

Taula 1.4. Nombre de punts de mesura del nivell d'il·luminació en funció de l'índex del local [5].

A la Taula 1.5 es mostren els valors $VEEI_{LÍMIT}$ en funció del tipus d'activitat que es realitza en el local il·luminat i segons al grup a que pertany el local.

Existeixen dos tipus de grup al qual poden pertànyer els diferents locals de l'àmbit d'aplicació del DB-HE 3 del CTE. En el primer grup designat com a "Zones de no representació" es tracten els locals o espais on els criteris de disseny, imatge o l'estat anímic que es vol transmetre a l'usuari amb la il·luminació queden relegats per criteris com el nivell d'il·luminació, el confort visual, la seguretat i l'eficiència energètica. Al segon grup, designat com a "Zones de representació", es tracten el locals o espais on es prioritzen els criteris de disseny, d'imatge o l'estat anímic que es vol transmetre a l'usuari amb la il·luminació.

Grup	Zones d'activitat diferenciada	VEEI Límit
I Zones de no representació	Administratiu en general	3,5
	Andanes d'estacions de transport	3,5
	Sales de diagnòstic	3,5
	Pavellons d'exposició o fires	3,5
	Aules i laboratoris	4
	Habitacions d'hospitals	4,5
	Zones comuns	4,5
	Magatzems, arxius, sales tècniques i cuines	5
	Aparcaments	5
	Espais esportius	5
	Recintes interiors del grup I no descrits anteriorment	4,5
II Zones de representació	Administratiu en general	6
	Estacions de transport	6
	Supermercats, hipermercats i grans magatzems	6
	Biblioteques, museus i galeries d'art	6
	Zones comuns en edificis residencials	7,5
	Centres comercials (excloses botigues)	8
	Hosteleria i restauració	10
	Religió en general	10
	Sales d'actes, sales d'usos múltiples i convencions, d'oci o espectacle, de reunions i conferències i auditoris	10
	Botigues i petit comerç	10
	Zones comuns	10
	Habitacions d'hotel, hostals, etc	12
		Recintes interiors del grup II no descrits anteriorment

Taula 1.5. VEEI límit en funció del grup i activitat del local il·luminat [5].

A la Taula 1.6 es mostren els nivells d'il·luminació (mínim, recomanat, òptim) de diferents tipus de local a il·luminar i activitats que s'hi realitzen. A Taula 1.7 es mostren diferents coeficients de reflexió en funció del color dels tancaments del local.

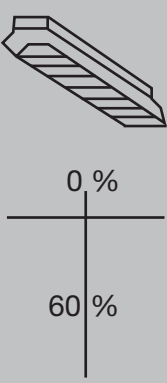
Tasques i classes de local	Nivells d'il·luminació (lux)		
	Mínim	Recomanat	Òptim
Zones generals d'edificis			
Zones de circulació	50	100	150
Escales, escales mòbils, robers, lavabos, magatzems i arxius	100	150	200
Centres docents			
Aules, laboratoris	300	400	500
Biblioteques, sales d'estudi	300	500	750
Oficines			
Oficines normals, mecanografiat, sales de procés de dades, sales de conferències	450	500	750
Grans oficines, sales de delineació, CAD / CAM / CAE	500	750	1000
Comerços			
Comerç tradicional	300	500	750
grans superfícies, supermercats, salons de mostres	500	750	1000
Indústria (en general)			
Treballs amb requeriments visuals limitats	200	300	500
Treballs amb requeriments visuals normals	500	750	1000
Treballs amb requeriments visuals especials	1000	1500	2000
Vivendes			
Dormitoris	100	150	200
Lavabos		100	150
Sales d'estar	200	300	500
Cuines	100	150	200
Estudis	300	500	750

Taula 1.6. Nivell d'il·luminació mínim, recomanat i òptim en funció del local a il·luminar i l'activitat que s'hi realitza [3].

	Color	Coefficient de reflexió (ρ)
Sostre	Blanc o molt clar	0,7
	clar	0,5
	mitjà	0,3
Parets	clar	0,5
	mitjà	0,3
	fosc	0,1
Sòl	clar	0,3
	fosc	0,1

Taula 1.7. Coeficient de reflexió del sostre, parets i terra en funció del color [3].

A la Taula 1.8 es mostra el factor d'utilització d'una lluminària amb làmpada fluorescent i reixeta en funció de l'índex del local i el coeficient de reflexió dels tancaments del local.

Tipus d'aparell d'enllumenat	Índex de local K	Factor d'utilització (η)														
		Coeficient de reflexió del sostre (ρ)														
		0.8			0.7			0.5			0.3			0		
		Coeficient de reflexió de les parets (ρ)														
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.5	0			
	0.6	.30	.26	.25	.29	.26	.23	.29	.26	.23	.25	.23	.22			
	0.8	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.35	.31	.29	.31	.29	.27			
	1.0	.43	.40	.37	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.39	.37	.36			
	1.25	.47	.44	.42	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.43	.41	.40			
	1.5	.50	.47	.44	.50	.47	.44	.49	.46	.44	.46	.44	.43			
	2.0	.53	.50	.49	.53	.50	.48	.51	.50	.48	.49	.47	.46			
	2.5	.55	.53	.51	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.51	.50	.49			
	3.0	.57	.54	.53	.56	.54	.52	.55	.53	.51	.52	.51	.50			
$D_{max} = 0.8 H_m$	4.0	.59	.57	.55	.58	.56	.55	.56	.55	.54	.54	.53	.52			
f_m .65 .70 .75	5.0	.60	.58	.57	.59	.57	.56	.57	.56	.56	.56	.54				

Taula 1.8. Factor d'utilització d'una lluminària amb làmpada fluorescent i reixeta [3].

A la Taula 1.9 es mostra l'eficiència energètica mínima requerida en funció del nivell d'il·luminació mitjà per a instal·lacions d'enllumenat exterior tipus vial funcional.

Nivell d'il·luminació mitjà servei $E_{m,e}$ [lux]	Eficiència energètica mínima $\eta_{Llum,min}$ [$\frac{lm}{W}$] ó [$\frac{m^2 \cdot lux}{W}$]
≥ 30	22
25	20
20	17,5
15	15
10	12
$\leq 7,5$	9,5

Taula 1.9. Eficiència energètica mínima en instal·lacions d'enllumenat exterior de vial funcional en funció del nivell d'il·luminació mitjà [6].

A la Taula 1.10 es mostra l'eficiència energètica mínima requerida per a instal·lacions d'enllumenat exterior tipus vial ambiental.

Nivell d'il·luminació mitjà servei $E_{m,e}$ [lux]	Eficiència energètica mínima $\eta_{Llum,min}$ [$\frac{lm}{W}$] ó [$\frac{m^2 \cdot lux}{W}$]
≥ 20	9
15	7,5
10	6
7,5	5
≤ 5	3,5

Taula 1.10. Eficiència energètica mínima en instal·lacions d'enllumenat exterior de vial ambiental en funció del nivell d'il·luminació mitjà [6].

Cal dir que si els valors de nivell d'il·luminació mitjà estan entre els valors mostrats en les taules, l'eficiència energètica mínima es pot obtenir per interpolació lineal.

1.5 Planificació de mesures

1.5.1 Dades de que es disposa

- Valor límit d'eficiència energètica de la instal·lació: $VEEI_{LIMIT}$ [$\frac{W}{m^2} \cdot 100lux$]⁴
- Rendiment lluminós mínim exigít: $\eta_{Llum,min}$ [$\frac{m^2 \cdot lux}{W}$]⁵
- Nombre de punts de mesura: n [-]
- Longitud del local: l [m]
- Amplada del local: a [m]
- Superfície del local: S [m²]
- Altres paràmetres de la instal·lació (nombre i tipus de lluminàries i làmpades, règims de funcionament coeficient de reflexió dels tancaments i altres).

1.5.2 Dades a mesurar

- Potència elèctrica subministrada a la instal·lació d'enllumenat: P_e [W]
- Nivell d'il·luminació horitzontal en el punt de mesura n : E_{lum} [lux]
- Longitud del local: l [m]
- Amplada del local: a [m]
- Superfície del local: S [m²]
- Alçada del pla de treball a les lluminàries: h [m]

⁴ Instal·lacions d'enllumenat interior en l'àmbit d'aplicació del DB-HE 3 del CTE.

⁵ Instal·lacions d'enllumenat exterior en l'àmbit d'aplicació de la ITC-EA-01 del REEAE.

1.5.3 Inventari d'aparells de mesura

► Analitzador de xarxes elèctriques (Figura 1.10):

- Referència/model: Analitzador elèctric Circutor AR5-L+ Accessoris
- Variables mesurades: V , I, $\cos \varphi$, P_e desequilibri de fases



Figura 1.10. Analitzador elèctric Circutor AR5-L + Accessoris. a) Analitzador de xarxes, b) Pinça amperimètrica rígida CPR-500, c) Pinça amperimètrica flexible C-flex, d) Muntatge de les pinces C-Flex.

► Luxòmetre 1 (Figura 1.11)



- Referència/model: Multímetre TESTO 435 + Sonda de lux
- Variables mesurades: E_n

Figura 1.11. Multímetre TESTO 435 + Sonda de lux.

► Luxòmetre 2 (Figura 1.12)



- Referència/model: Luxòmetre TESTO 545
- Variables mesurades: E_n

Figura 1.12. Luxòmetre TESTO 545

► Mesurador de distàncies (Figura 1.13)



- Referència/model: Mesurador de distàncies Leica A5
- Variables mesurades: l, a, h, S

Figura 1.13. Mesurador de distàncies Leica A5

1.5.4 Seguretat en persones i equips

Abans de realitzar qualsevol mesura, és necessari i imprescindible llegir les instruccions d'ús de l'aparell o dispositiu de mesura.

Seguretat per a les persones. En la mesura de les variables $V, I, \cos\phi, P_e$ i altres paràmetres elèctrics, s'ha de tenir en compte que es realitza sobre xarxes elèctriques en funcionament i com a tal, la mesura ha de ser realitzada per un tècnic expert amb carnet d'electricista, que no treballi mai sol, que disposi d'elements de protecció com guants i calçat aïllant, que utilitzi eines normalitzades, que hagi fet un curs de seguretat industrial per tal de tenir recursos preventius i que es conegui en la mesura del possible el Pla específic de Riscos laborals de l'empresa.

En la mesura de les variables E_n, l, a, h, S s'ha d'evitar que els diferents punts de mesura estiguin a prop de dispositius amb càrrega elèctrica. Per altra banda, s'han de realitzar les mesures tenint en compte els obstacles que hi puguin haver en l'espai o local on es mesura.

Seguretat en equips. És aconsellable no tractar de manera brusca l'analitzador de xarxes i els accessoris. L'analitzador és un aparell senzill de mantenir. Periòdicament s'ha de netejar la capsa amb un drap humitejat, de manera suau, amb aigua i detergent, mai productes abrasius i dissolvents. Cal evitar tot ajustament, manteniment o reparació que impliqui l'obertura de l'equip; només es pot obrir l'equip per personal qualificat.

Abans de qualsevol operació, modificació de les connexions, canvi, manteniment o reparació, cal desconnectar l'aparell de tota font d'alimentació. Quan es sospiti d'un funcionament erroni o fallada de l'equip o de la protecció, aquest s'ha de deixar fora de servei assegurant que no es pugui produir cap connexió accidental.

De la mateixa manera que l'analitzador de xarxes, s'aconsella no tractar de manera brusca el multímetre i la sonda de lux i protegir-la de la llum directa del sol. Cal netejar l'instrument amb un drap humit en sabó diluït. No s'han d'emprar productes de neteja agressius. Per canviar les piles, cal desconnectar l'instrument. Es descargolen els cargols del compartiment, s'enretira la tapa i es col·loquen les tres bateries respectant la polaritat, i es torna a cargolar la tapa.

Pel que fa al luxòmetre, és aconsellable no tractar de manera brusca l'instrument i netejar-lo sense utilitzar productes agressius i sobretot s'ha de protegir de la llum directa del Sol.

Per canviar les piles, obrir la tapa de la part posterior del luxòmetre, extreure'n la pila i col·locar-ne una de nova de 9 V d'alcalí manganès (IEC 6LR61) ó bé una bateria tipus Ni-MH (IEC 6F22).

A l'igual que els altres instruments, és aconsellable no tractar de manera brusca el mesurador de distàncies i no utilitzar productes agressius en la seva neteja. S'ha de tenir molta cura dels dispositius òptics que incorpora.

El mesurador de distàncies porta dues bateries alcalines AA d'1,5 V amb càrrega suficient per a 10.000 mesures. Per canviar-les, s'enretira la tapa que el mesurador té a la part de sota, s'extreuen les piles i finalment es col·loquen les noves piles del mateix tipus esmentat amb anterioritat i respectant la polaritat.

1.6 Realització de les mesures

1.6.1 Mesura de les dimensions i superfície del local

1. Engregar l'aparell i prémer la tecla [MENU], fins que en la pantalla del mesurador es mostrin les diferents opcions a configurar.
2. Un cop dins al menú, desplaçar-se per les diferents opcions amb la tecla [+] o [-] i seleccionar amb la tecla [=] l'opció "Units"
3. Comprovar que les unitats de distància, àrea i volum estiguin en les unitats del sistema internacional. Si no és així, canviar-les.
4. Desar la configuració amb la tecla [=] i sortir del menú amb la tecla [CLEAR]
5. Un cop configurat l'instrument, col·locar el punter làser al punt on es vol iniciar la mesura de la longitud del local i prémer la tecla [ON]. Si la mateixa tecla és manté premuda durant un temps, l'aparell entra en mesura continua.
6. Mesurar de la mateixa manera l'amplada del local i l'alçada de pla de treball a les lluminàries.
7. Si es vol mesurar la superfície directament, prémer la tecla [ÀREA/VOLUM] situada sota la tecla [TIMER] on s'observa un prisma rectangular.
8. En el menú que apareixerà posteriorment, per defecte es mostrarà la icona de la mesura de superfície i les unitats en m^2 .
9. Mesurar la longitud del local i prémer la tecla [ON], després mesurar l'amplada i prémer la tecla [ON].
10. Quan es tinguin els valors de longitud i amplada, es podrà observar automàticament el valor de la superfície del local.
11. Anotar totes les dades o desar-les.

1.6.2 Mesura del nivell d'il·luminació

Abans de realitzar la mesura del nivell d'il·luminació amb el multímetre o luxòmetre, cal que estiguin ben calibrats i adaptats al tipus de llum en que es vol fer la mesura.

Si el nivell d'il·luminació es mesura amb el multímetre i la sonda de lux:

1. Calcular la distribució dels diferents punts de mesura obtinguts en càlcul segons la Figura 1.14. Primer cal obtenir la K i en la taula 1.4 trobar n.
2. Connectar la sonda de lux al multímetre i prémer el botó de connexió per engregar l'aparell.
3. Situar la sonda de lux en un dels punts de mesura establerts pel càlcul i sobre el pla de treball.

4. Automàticament ja es podrà observar el nivell d'il·luminació d'aquell punt en la pantalla.
5. Esperar fins a que el valor s'estabilitzi i anotar-lo o desar-lo.
6. Repetir el procediment pels diversos punts obtinguts en el càlcul.

Si es mesura el nivell d'il·luminació amb el luxòmetre:

1. Calcular la distribució dels diferents punts de mesura obtinguts en càlcul segons la Figura 1.14. Primer cal obtenir la K i en la taula 1.4 trobar n.
2. Configurar les unitats de mesura, prement simultàniament la tecla [OK] i la tecla on/off. Acceptar amb la tecla [OK] totes les configuracions fins a arribar a la configuració de les unitats "Unit", triar "lux" i confirmar amb la tecla [OK].
3. Situar la sonda de lux en un dels punts de mesura establerts pel càlcul i sobre el pla de treball.
4. Automàticament ja es podrà observar el nivell d'il·luminació d'aquell punt en la pantalla.
5. Esperar fins a que el valor s'estabilitzi i anotar-lo o desar-lo.
6. Repetir el procediment per als diversos punts obtinguts en el càlcul.
7. Finalment, prement la tecla [HOLD,MAX/MIN, MEAN] quatre vegades, s'obté el nivell d'il·luminació mitjà dels tots els punts mesurats.

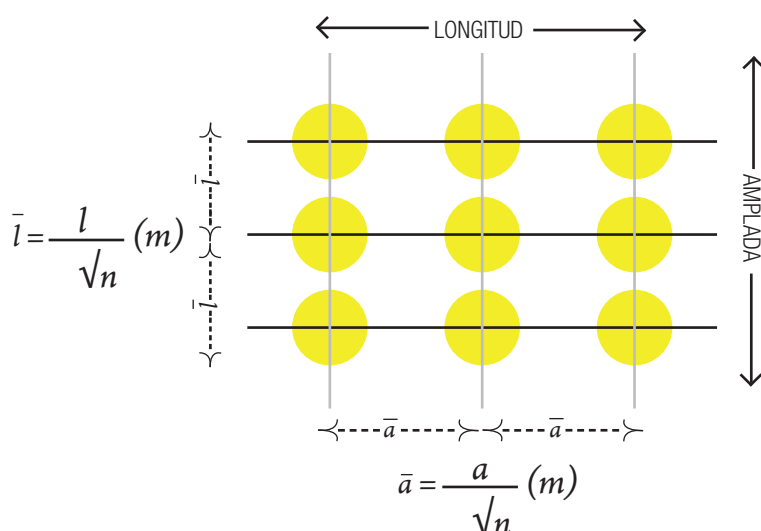


Figura 1.14. Distribució dels punts sobre el pla de treball del local il·luminat.

1.6.3 Mesura de voltatge, intensitat i factor de potència

1. Connectar les preses de tensió i les pinces amperimètriques segons el tipus d'instal·lació, tal i com s'indica a la Figura 1.15, en les connexions del quadre d'enllumenat general o en les connexions d'un local en concret segons es requereixi en el càlcul. Tenir en compte les normes de seguretat del manual i les referenciades en l'apartat 1.5.4.

2. Engregar l'aparell i configurar el tipus d'instal·lació prement la tecla [SET], i entrar el codi següent: [→][SET][↑][SET].

3. Un cop entrat el codi, entrar en [CONFIG], posteriorment en [MESURA] i finalment en [CIRCUITO]. Un cop dins el programa canviar el nombre de fases i el neutre segons les configuracions presentades en la Figura 1.15.

4. Un cop realitzada la configuració, esperar uns segons i ja es podran visualitzar els paràmetres principals de la xarxa elèctrica.

5. Llegir les mesures, desar-les o anotar-les. És convenient deixar l'anàlitzador connectat durant el temps en que es realitzen les altres mesures perquè integri tot el període.

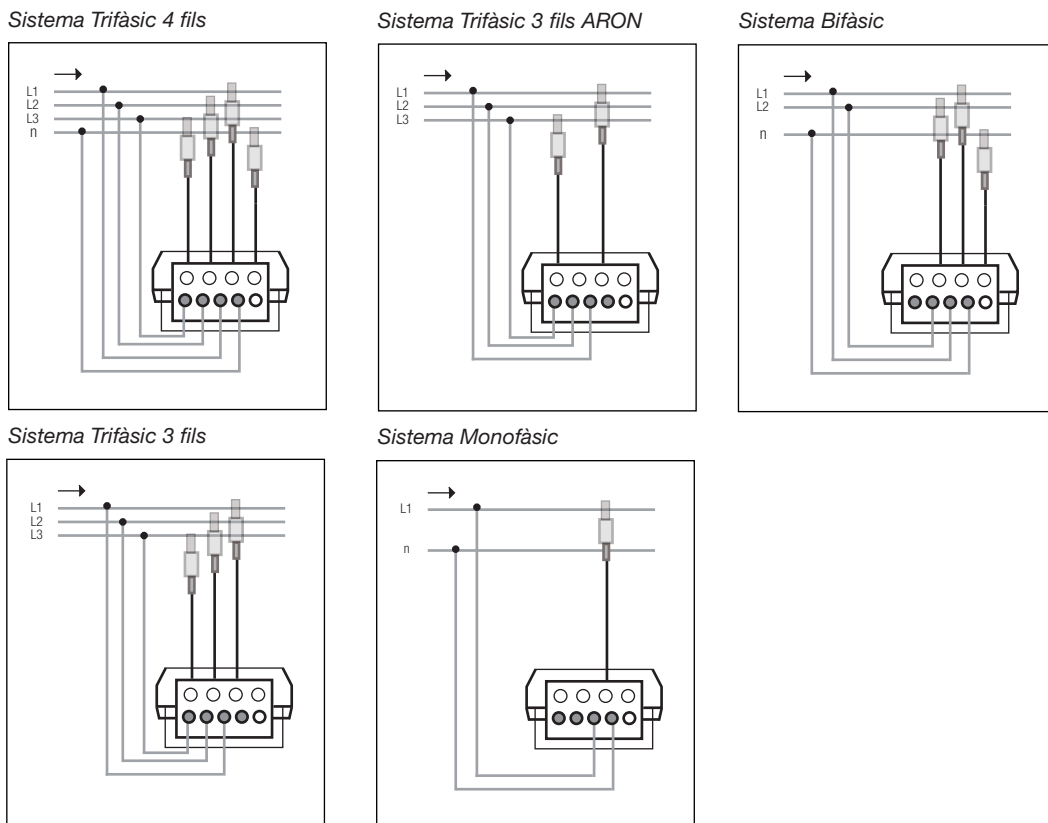


Figura 1.15. Tipus de configuracions en les xarxes elèctriques.

1.7 Exemple pràctic

1.7.1 Enunciat

En la Figura 1.16 es mostra un local de 4 x 3 metres il·luminat amb 2 fluorescents (que contenen 2 làmpades cadascun). Aquest local és un despatx administratiu que pertany al Ministeri d'Hisenda. Al local es fa un horari intensiu de 8 h del matí a 15 h de la tarda però les instal·lacions estan obertes fins a les 18 h.

Tenint en compte l'esmentat anteriorment, es demana calcular l'eficiència energètica de la instal·lació d'enllumenat d'aquest local.

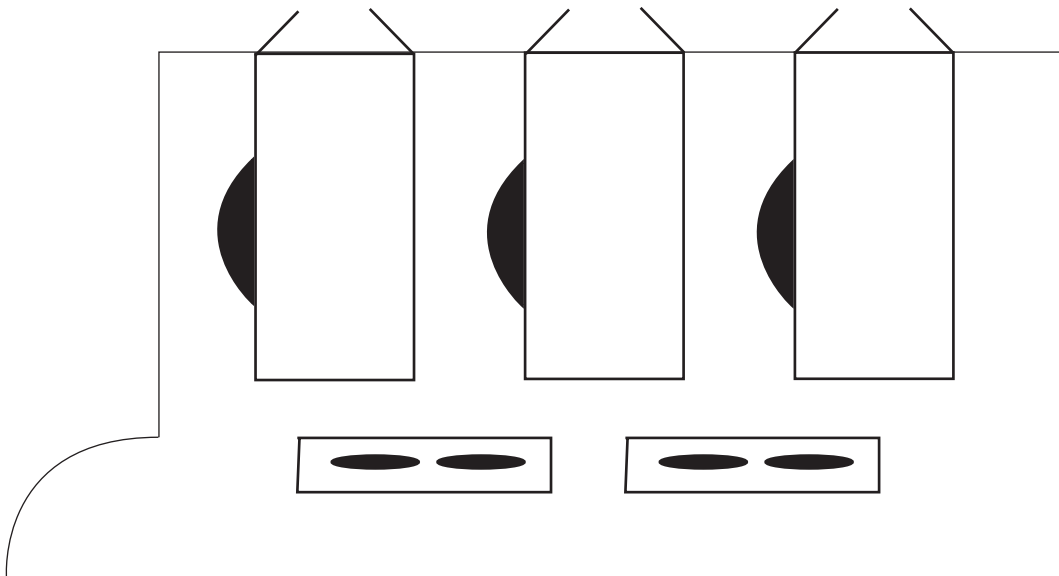


Figura 1.16. Vista en planta del despatx administratiu.

1.7.2 Dades

A la Taula 1.11 i Taula 1.12, es mostra el recull de dades de que es disposa i les dades mesurades en la instal·lació d'enllumenat del despatx administratiu de l'enunciat.

Paràmetres	Unitats	Dada
VEEI _{LIMIT} (Zones de no representació. Administratiu en general)	$\frac{W}{m^2} \cdot 100lux$	3,5
Longitud del local	m	4
Amplada del local	m	3
Funcionament	h/dia	10
Nombre de lluminàries	-	2
Tipus de lluminària	-	DIRECTA
Làmpades	-	4
Tipus de làmpada	-	FLUORESCENT
Subtipus de làmpada	-	LÀMPADA TUBULAR
Potència de la làmpada	W	36
Potència de l'equip auxiliar	W	9
Balast fluorescent	50 Hz	MAGNÈTIC
Freqüència de renovació	Hores	12.000
Regulació del flux lluminós	-	NO
Detecció de presència	-	NO
Coefficient de reflexió del sostre	-	0,5
Coefficient de reflexió de les parets	-	0,1

Taula 1.11. Dades de que es disposa sobre la instal·lació d'enllumenat del despatx administratiu.

Paràmetres	Unitats	Dada
Potència elèctrica subministrada a la instal·lació d'enllumenat	W	173,4
Alçada del pla de treball a les lluminàries	m	1,15
Superfície del local	m ²	12

Taula 1.12. Dades mesurades a la instal·lació d'enllumenat del despatx administratiu.

Abans de mesurar els diferents nivells d'il·luminació, s'ha de calcular l'índex del local per obtenir el nombre de punts de mesura i la distribució d'aquests:

$$K = \frac{l \cdot a}{h \cdot (l + a)}$$

$$K = \frac{4m \cdot 3m}{1.15m \cdot (4+3)m} = 1.49$$

Per tant, el nombre de punts de mesura que s'obtenen amb la Taula 1.4 són $n = 9$. I la distribució d'aquests sobre el pla de treball s'observa a la Figura 1.17.

$$\bar{a} = \frac{A}{\sqrt{n}} = \frac{3}{\sqrt{9}} = 1\text{m}$$

$$\bar{l} = \frac{L}{\sqrt{n}} = \frac{4}{\sqrt{9}} = 1,3\text{m}$$

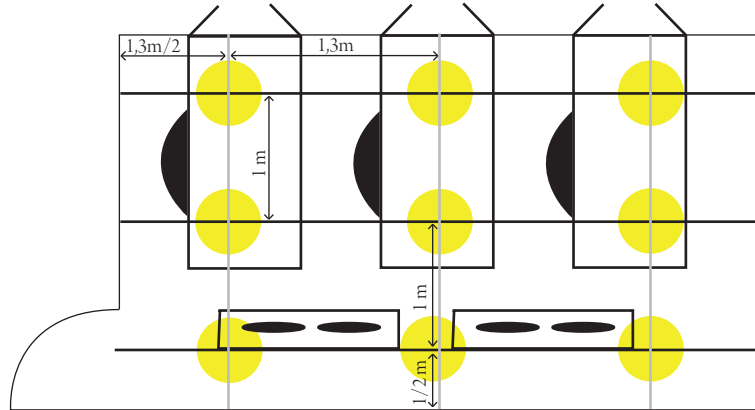


Figura 1.17. Distribució de punts de mesura.

Per tal de distribuir uniformement els punts de mesura i centrar-los sobre el pla de treball, s'ha de deixar un espai de $\frac{1}{2}$ a banda i banda respecte la paret de local pel que fa a l'equiespaiat dels punts al llarg de la longitud. Per altra banda, també s'ha de deixar un espai de $\frac{\bar{a}}{2}$ a banda i banda respecte la paret pel que fa a l'equiespaiat dels punts al llarg de l'amplada.

Un cop es té la distribució dels punts de mesura, ja es poden mesurar els nivells d'il·luminació dels diferents punts, els quals es mostren a la Taula 1.13.

Paràmetres	Unitats	Dada
Nivell d'il·luminació horitzontal al punt 1	lux	235
Nivell d'il·luminació horitzontal al punt 2	lux	255
Nivell d'il·luminació horitzontal al punt 3	lux	241
Nivell d'il·luminació horitzontal al punt 4	lux	239
Nivell d'il·luminació horitzontal al punt 5	lux	247
Nivell d'il·luminació horitzontal al punt 6	lux	241
Nivell d'il·luminació horitzontal al punt 7	lux	235
Nivell d'il·luminació horitzontal al punt 8	lux	256
Nivell d'il·luminació horitzontal al punt 9	lux	249

Taula 1.13. Nivells d'il·luminació dels diferents punts de mesura.

1.7.3 Càlculs i resultat

Amb les dades referenciades a la Taula 1.13 i coneixent el nombre de punts de mesura, es pot calcular el nivell d'il·luminació mitjà del local de l'enunciat.

$$E_m = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{n}$$

$$E_m = \frac{(235 + 255 + 241 + 239 + 247 + 241 + 235 + 256 + 249) \text{lux}}{n} = 244,22 \text{ lux}$$

Un cop calculat el nivell d'il·luminació mitjà del local, es pot calcular el valor d'eficiència energètica de la instal·lació per cada 100 lux d'aquest.

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

$$VEEI = \frac{174,3W \cdot 100}{12m^2 \cdot 244,22 \text{lux}} = 5,94 \frac{W}{m^2} \cdot 100 \text{lux}$$

Finalment es pot calcular el percentatge en que el valor límit d'eficiència energètica de la instal·lació per cada 100 lux supera al valor calculat.

$$\%VEEI = \frac{VEEI_{LIMIT}}{VEEI} \cdot 100$$

$$\%VEEI = \frac{3,5}{5,94} \cdot 100 = 58,92\%$$

El factor d'utilització de la instal·lació és del 44%, avaluat a partir de la Taula 1.8 segons el tipus de lluminària i en funció de l'índex del local i els coeficients de reflexió.

1.7.4 Comentaris

Com es pot observar, el %VEEI correspon a 58,92% i sabent que com a mínim ha de ser del 100%, s'arriba a la conclusió que la instal·lació no és eficient. Per altra banda, el factor d'utilització de la instal·lació correspon al 44%, és a dir, que un 56% del nivell d'il·luminació que proporcionen les lluminàries no es percep en el pla de treball.

Convindria millorar el factor d'utilització de la instal·lació, millorant sobretot el coeficient de reflexió del sostre de 0,5 a 0,7, pintant-lo amb colors més clars. També es pot millorar el factor d'utilització canviant el tipus de lluminària per un tipus que proporcioni factors d'utilització més alts.

Per altra banda, es suggereix canviar els balasts magnètics per electrònics ja que dissipen menys potència i també és aconsellable canviar el tipus de fluorescent per un altre més eficient.

Finalment, i des d'un punt de vista més econòmic i per tal de reduir el consum energètic, s'aconseja revisar la gestió i el règim de funcionament de la instal·lació, tenint en compte que la càrrega de treball al despatx es situa en la franja horària que va de les 8h del matí a les 15h de la tarda i per tant des de les 15h fins a les 18h es pot reduir el flux lluminós en parts del despatx on no hi ha tanta necessitat de llum artificial. També és convenient estudiar la possibilitat de combinacions de llum artificial amb natural, i/o incorporant reguladors de flux lluminós i detectors de presència a la instal·lació.

1.8 Referències

- [1] Informes i estudis tecnològics encarregats per l'Institut Català d'Energia. Estudi d'eficiència energètica en les instal·lacions d'enllumenat públic i situació a Catalunya. Tom I. Maig 2005.
- [2] ICAEN. L'energia als municipis. gencat.cat/icaen
- [3] Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Luminotecnia. Il·luminació de interiors y exteriores. <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.htm>
- [4] Real Decreto 842/2002. Reglament electrotècnic per baixa tensió. BOE 18 de Setembre 2002.
- [5] Real Decreto 314/2006. Codi Tècnic de l'Edificació. BOE 28 de Març 2006.
- [6] Real Decreto 1890/2008. Reglament d'eficiència energètica en instal·lacions d'enllumenat exterior i les seves instruccions tècniques complementaries. BOE 19 de Novembre 2008.
- [7] IDAE. Ahorro y eficiencia energética en climatización. Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. Hospitales y centros de atención primaria, oficinas, centros docentes y alumbrado público. Madrid, Març 2001.
- [8] Pantallas LED. http://www.pantallasled.com.mx/productos/iluminacion_exterior/lamparas_led_lu6.html
- [9] Departament de Medi Ambient i Habitatge. Prevenció de la contaminació lluminosa. [http://www20.gencat.cat/docs/dmah/Home/Ambits%20dactuacio/Atmosfera/Contaminacio%20lluminosa/Oficina%20per%20a%20la%20Prevencio%20de%20la%20Contaminacio%20lluminosa%20\(OPCL\)/Publicacions/publicacio1.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/dmah/Home/Ambits%20dactuacio/Atmosfera/Contaminacio%20lluminosa/Oficina%20per%20a%20la%20Prevencio%20de%20la%20Contaminacio%20lluminosa%20(OPCL)/Publicacions/publicacio1.pdf)
- [10] Il·luminació con tecnologia LED. Alfonso Gago, Jorge Fraile. Paraninfo

