



**Escola Tècnica Superior d'Enginyeries  
Industrial i Aeronàutica de Terrassa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

**Projecte de Final de Carrera**

**Estudi de la Tecnologia  
LED aplicada a  
l'Enllumenat**

**MEMÒRIA**

**Carlos Bermúdez**

**Setembre 2010**

# Índex

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | Introducció .....                       | 6  |
| 2.    | La Radiació Òptica .....                | 8  |
| 2.1   | Naturalesa de la llum .....             | 8  |
| 2.1.1 | Òptica Geomètrica.....                  | 8  |
| 2.1.2 | Òptica Electromagnètica.....            | 9  |
| 2.1.3 | Òptica Quàntica.....                    | 13 |
| 2.2   | Magnituds.....                          | 15 |
| 2.2.1 | Magnituds Radiomètriques .....          | 15 |
| 2.2.2 | Magnituds Fotomètriques .....           | 16 |
| 2.3   | Generació.....                          | 19 |
| 2.3.1 | Incandescència.....                     | 19 |
| 2.3.2 | Luminescència .....                     | 22 |
| 3.    | La tecnologia LED .....                 | 26 |
| 3.1   | Història .....                          | 26 |
| 3.1.1 | L'electroluminescència .....            | 26 |
| 3.1.2 | El primer LED .....                     | 27 |
| 3.2   | Principi de funcionament .....          | 28 |
| 3.2.1 | La unió P-N .....                       | 28 |
| 3.2.2 | Energia en la unió P-N.....             | 29 |
| 3.2.3 | Emissió de llum en la unió P-N.....     | 31 |
| 3.2.4 | L'encapsulat .....                      | 34 |
| 3.3   | Cromaticitat .....                      | 36 |
| 3.3.1 | Llum blava i ultraviolada .....         | 37 |
| 3.3.2 | Llum blanca .....                       | 38 |
| 3.3.3 | LED bicolor i tricolor .....            | 40 |
| 3.4   | Eficiència .....                        | 42 |
| 3.4.1 | Alta lluminositat .....                 | 43 |
| 3.4.2 | Droop .....                             | 44 |
| 3.4.3 | Gestió de la temperatura .....          | 45 |
| 3.4.4 | Durabilitat .....                       | 46 |
| 3.5   | Altres tipologies i estructures.....    | 48 |
| 3.5.1 | Heteroestructures.....                  | 48 |
| 3.5.2 | Estructures de petites dimensions ..... | 48 |
| 3.5.3 | LED amb estructura Flip-Chip.....       | 49 |
| 3.5.4 | OLED .....                              | 49 |
| 3.6   | Aplicacions .....                       | 50 |
| 3.6.1 | LED infraroigs.....                     | 50 |
| 3.6.2 | LED d'espectre visible .....            | 51 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 3.6.3   | LED ultraviolats .....                            | 52  |
| 3.6.4   | LED blancs .....                                  | 53  |
| 3.7     | El LED avui.....                                  | 56  |
| 3.7.1   | Avantatges i inconvenients .....                  | 58  |
| 4.      | Cas d'estudi.....                                 | 60  |
| 4.1     | L'enllumenat públic de Navàs .....                | 60  |
| 4.1.1   | Antecedents .....                                 | 60  |
| 4.1.2   | Situació i emplaçament.....                       | 60  |
| 4.2     | Legislació .....                                  | 61  |
| 4.3     | Recol·lecció de dades.....                        | 62  |
| 4.3.1   | Instal·lacions.....                               | 62  |
| 4.3.2   | Facturació.....                                   | 63  |
| 4.4     | Anàlisi de viabilitat tècnica.....                | 66  |
| 4.4.1   | Consideracions.....                               | 66  |
| 4.4.2   | Pla d'implantació .....                           | 66  |
| 4.4.3   | Elecció de les noves làmpades i lluminàries ..... | 67  |
| 4.5     | Anàlisi de viabilitat econòmica .....             | 74  |
| 4.5.1   | Consideracions de costos i ingressos.....         | 74  |
| 4.5.2   | Consum elèctric.....                              | 74  |
| 4.5.3   | Manteniment.....                                  | 76  |
| 4.5.4   | Resum.....  | 77  |
| 4.6     | Beneficis ambientals.....                         | 79  |
| 4.6.1   | Estalvi energètic .....                           | 79  |
| 4.6.2   | Altres consideracions mediambientals .....        | 80  |
| 5.      | Conclusions .....                                 | 81  |
| 6.      | Bibliografia.....                                 | 82  |
| Annex A | Legislació.....                                   | 87  |
| Annex B | Llistat de punts de llum .....                    | 109 |
| Annex C | Fulls de característiques .....                   | 114 |

## Índex de figures

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1-1 Reflexió i Refracció.....                              | 8  |
| Figura 2.1-2 Dispersió cromàtica de la llum blanca.....             | 9  |
| Figura 2.1-3 Ona Electromagnètica .....                             | 10 |
| Figura 2.1-4 Llum visible dins l'espectre electromagnètic .....     | 11 |
| Figura 2.1-5 Polarització de la llum.....                           | 12 |
| Figura 2.1-6 Exemples de llum monocromàtica .....                   | 12 |
| Figura 2.1-7 Exemple de llum no monocromàtica .....                 | 13 |
| Figura 2.1-8 Llum coherent vs. llum incoherent .....                | 13 |
| Figura 2.1-9 Llum quantitzada .....                                 | 14 |
| Figura 2.2-1 Llei inversa dels quadrats .....                       | 17 |
| Figura 2.2-2 Luminància .....                                       | 18 |
| Figura 2.3-1 Radiància espectral del cos negre, $L_{\lambda}$ ..... | 20 |
| Figura 2.3-2 <i>Planckian Locus</i> .....                           | 21 |
| Figura 2.3-3 Resposta espectral de l'ull humà .....                 | 22 |
| Figura 2.3-4 Quimioluminescència.....                               | 23 |
| Figura 2.3-5 Fosforescència .....                                   | 24 |
| Figura 2.3-6 Fluorescència en alguns minerals.....                  | 24 |
| Figura 2.3-7 Fotoluminescència.....                                 | 25 |
| Figura 3.1-1 Detector Cat's-Whisker .....                           | 26 |
| Figura 3.2-1 Corba característica del díode .....                   | 29 |
| Figura 3.2-2 Unió P-N en equilibri.....                             | 29 |
| Figura 3.2-3 Unió P-N en polarització inversa.....                  | 30 |
| Figura 3.2-4 Unió P-N en polarització directa.....                  | 30 |
| Figura 3.2-5 Conducció en polarització directa .....                | 31 |
| Figura 3.2-6 Generació de fotons en un LED.....                     | 31 |
| Figura 3.2-7 Construcció del díode LED .....                        | 32 |
| Figura 3.2-8 Intensitat espectral de diferents tipus de LED .....   | 33 |
| Figura 3.2-9 Colors de l'encapsulat.....                            | 34 |
| Figura 3.2-10 Morfologia de l'encapsulat .....                      | 34 |
| Figura 3.2-11 Morfologia cilíndrica i plana .....                   | 35 |
| Figura 3.2-12 Morfologia semiesfèrica invertida.....                | 35 |
| Figura 3.2-13 Angles d'il·luminació .....                           | 35 |
| Figura 3.3-1 LED blau i ultraviolat.....                            | 37 |
| Figura 3.3-2 Esterilitzador d'aigua amb llum ultraviolada .....     | 38 |
| Figura 3.3-3 Distribució espectral d'un LED blanc dicromàtic.....   | 39 |
| Figura 3.3-4 LED RGB de dos terminals.....                          | 40 |
| Figura 3.3-5 LED RGB de quatre terminals.....                       | 40 |
| Figura 3.3-6 LED Bicolor de dos terminals.....                      | 41 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.3-7 LED Tricolor de tres terminals.....                                     | 41 |
| Figura 3.4-1 Desenvolupament històric de l'eficiència dels LED .....                 | 42 |
| Figura 3.4-2 Llei de Haitz.....  | 42 |
| Figura 3.4-3 HBLED - <i>High Brightness LED</i> .....                                | 43 |
| Figura 3.4-4 Intensitat Llumínosa vs. Intensitat elèctrica .....                     | 44 |
| Figura 3.4-5 Estructures per la minimització del <i>droop</i> .....                  | 45 |
| Figura 3.4-6 Lluminositat vs. temperatura ambient .....                              | 45 |
| Figura 3.4-7 Philips Lumileds Rebel Power LED.....                                   | 46 |
| Figura 3.4-8 Durabilitat d'un HBLED de Philips Lumileds.....                         | 46 |
| Figura 3.4-9 Efectes de l'electromigració .....                                      | 47 |
| Figura 3.5-1 Heteroestructura i doble heteroestructura.....                          | 48 |
| Figura 3.5-2 LED amb estructura <i>Flip-Chip</i> .....                               | 49 |
| Figura 3.5-3 <i>Display</i> OLED flexible .....                                      | 49 |
| Figura 3.6-1 Càmera IR .....   | 50 |
| Figura 3.6-2 Barrera IR i detector de presència .....                                | 50 |
| Figura 3.6-3 <i>Displays</i> de 7 segments, alfanumèric i gegant.....                | 51 |
| Figura 3.6-4 Semàfor LED .....   | 51 |
| Figura 3.6-5 Focus LED decoratiu .....   | 52 |
| Figura 3.6-6 Substitució LED per halògena dicroica i E27 .....                       | 53 |
| Figura 3.6-7 Lluminàries LED en un vehicle AUDI .....                                | 54 |
| Figura 3.6-8 Pilots LED.....   | 54 |
| Figura 3.6-9 Lluminàries LED .....   | 54 |
| Figura 3.6-10 Radiadors d'alumini en lluminàries LED.....                            | 55 |
| Figura 3.7-1 CFL, <i>Compact Fluorescent Light</i> .....                             | 56 |
| Figura 3.7-2 Làmpada LED de CREE, Inc. ....  | 57 |
| Figura 4.3-1 Consum mensual total quadre núm. 11, anys 2007-2008 .....               | 64 |
| Figura 4.4-1 Lluminàries ornamentals amb reflector .....                             | 68 |
| Figura 4.4-2 Patró d'emissió angular d'una lluminària ornamental amb reflector ..... | 68 |
| Figura 4.4-3 Patró d'emissió angular de les làmpades Joliet LED Streetlight.....     | 69 |
| Figura 4.4-4 Joliet JOL2 75W .....   | 70 |
| Figura 4.4-5 Lluminàries tipus bola o globus.....                                    | 70 |
| Figura 4.4-6 Patró d'emissió angular d'una lluminària tipus globus .....             | 70 |
| Figura 4.4-7 Joliet JOL28 28W .....  | 71 |
| Figura 4.4-8 Joliet JOL4 150W .....  | 72 |
| Figura 4.5-1 Hores de sol mensuals a Barcelona, any 2009 .....                       | 75 |
| Figura 4.5-2 Longitud del dia acumulada mensualment a Barcelona, any 2009.....       | 75 |

## Índex de taules

|   |    |
|---|----|
| Taula 2.2-1 Magnituds Radiomètriques .....                            | 16 |
| Taula 2.2-2 Magnituds Fotomètriques.....                              | 16 |
| Taula 3.2-1 $E_{GAP}$ vs. longituds d'ona .....                       | 33 |
| Taula 3.3-1 Característiques de LED en funció del color .....         | 36 |
| Taula 4.2-1 Tipus de FHS.....   | 61 |
| Taula 4.3-1 Punts de llum en funció del tipus de làmpada .....        | 62 |
| Taula 4.3-2 Punts de llum en funció del FHS .....                     | 63 |
| Taula 4.3-3 Tarifa contractada per número de quadre de maniobra ..... | 63 |
| Taula 4.3-4 Consum quadre núm.11, anys 2007-2008 (kWh).....           | 64 |
| Taula 4.3-5 Consum Febrer 2008 .....                                  | 65 |
| Taula 4.4-1 Punts de llum amb FHS>15%.....                            | 67 |
| Taula 4.4-2 Comparativa VSAP - LED en lluminària tipus bola .....     | 71 |
| Taula 4.4-3 Substitució de lluminàries .....                          | 73 |
| Taula 4.5-1 Consums anuals dels dos tipus de làmpada .....            | 76 |
| Taula 4.5-2 Despeses anuals pel canvi de làmpades .....               | 77 |
| Taula 4.5-3 Resum de costos i beneficis anuals .....                  | 77 |
| Taula 4.6-1 Consum anual global .....                                 | 79 |
| Taula 4.6-2 Disminució del consum elèctric.....                       | 79 |

# 1. Introducció

Si bé la tecnologia LED (*Light Emitting Diode*) s'està manifestant de manera creixent en el dia a dia de la humanitat, encara és una tecnologia relativament nova i recent, que s'està obrint a una multitud de camps d'aplicació, des d'indicadors lluminosos de tot tipus d'aparells electrònics fins a televisors LED.

En particular, en el camp de l'enllumenat, tot i que encara no hi ha entrat amb fermesa (per diferents motius que s'intentaran esbrinar en aquest estudi), es preveu que la tecnologia LED passarà a la història com la segona revolució en l'àrea de la il·luminació, després de la bombeta d'Edison.

*Estudi de la tecnologia LED aplicada a l'Enllumenat* pretén ser un projecte de recerca d'Enginyeria, amb dos objectius concrets:

**Objectiu 1.-** En primer lloc, es pretén elaborar una descripció i recopilació bibliogràfica relativament profunda sobre els dispositius LED, que abasti des de les seves bases científiques i els seus inicis fins als avenços més recents, repassant els aspectes tecnològics i les variants principals que s'han estat ideant recentment.

Això es considera necessari perquè la informació sobre els LED sol estar disgregada, podent-se trobar o bé en llibres on es descriuen les seves bases científiques i les característiques generals, o bé en manuals i prospectes on es consideren solament alguns tipus de LED o d'aplicacions, i que sovint queden antiquats, en un camp que està actualment en contínua evolució. Aquesta recopilació que contempla (de manera ràpida, per raons de limitació d'espai i de temps) els diferents aspectes, tant els més bàsics com els més tecnològics, i que considera diversos avenços recents (en particular en l'àmbit de la il·luminació), ha de permetre adquirir una bona visió global del tema i poder-se situar correctament respecte del què significa actualment la tecnologia LED, què se'n pot esperar i quin ús se'n pot fer en aquest moment. Això, en particular, permetrà plantejar més correctament el segon objectiu, que es descriu més avall.

L'objectiu 1 es desenvolupa essencialment en els dos primers capítols: en el primer (Capítol 2) s'analitzen els fonaments de la radiació òptica, enunciant tot un seguit de conceptes i dades que ajudaran a interpretar el capítol següent (Capítol 3), on s'aprofundeix molt més en la tecnologia LED pròpiament. La recopilació bibliogràfica corresponent s'inclou en el Capítol 6.

**Objectiu 2.-** Com a segon objectiu d'aquest estudi es planteja aplicar tots els coneixements adquirits en l'objectiu anterior a un cas real, en concret a la realització un projecte d'instal·lacions d'enllumenat públic en el municipi català de Navàs, basat en la tecnologia LED.

Aquest objectiu es desenvolupa en el Capítol 4, on es motiva i es descriu el projecte d'instal·lacions i s'avalua la viabilitat tècnica i econòmica del mateix, tenint en compte tant els seus beneficis com els seus inconvenients.

Per últim, en el Capítol 5 es resumeixen les conclusions principals del Projecte, i en el Capítol 6 s'inclou la Bibliografia. Completen aquesta Memòria els tres Annexos on es donen, respectivament, la legislació, el llistat de punts de llum instal·lats en la població de Navàs i els fulls de característiques de les làmpades i lluminàries proposades per a la substitució.



## 2. La Radiació Òptica

### 2.1 Naturalesa de la llum

La naturalesa de la radiació òptica o de la llum pot ser interpretada segons diferents teories, de diferent grau de profunditat. D'aquesta manera, s'anomenaran les tres principals teories que descriuen la seva naturalesa.

#### 2.1.1 Òptica Geomètrica

L'òptica geomètrica és la teoria més senzilla i més antiga que es fonamenta en la teoria dels raigs de llum, que són les trajectòries que segueix la llum, sense poder-ne predir quina és la velocitat de propagació ni poder calcular l'energia de l'ona. Aquestes trajectòries són rectilínies si el medi material en que es propaga és uniforme, però quan la llum es troba amb una superfície plana de separació entre dos medis llavors, en general, es produeixen dos fenòmens:

- El de la reflexió, en què part de la llum rebota amb un angle de reflexió que és igual a l'angle d'incidència, definint ambdós angles respecte de la normal a la superfície. Aquest fenomen es posa de manifest en la Figura 2.1-1. Si la superfície de separació no fos localment plana, llavors la reflexió seria difusa, es repartiria en diferents direccions.

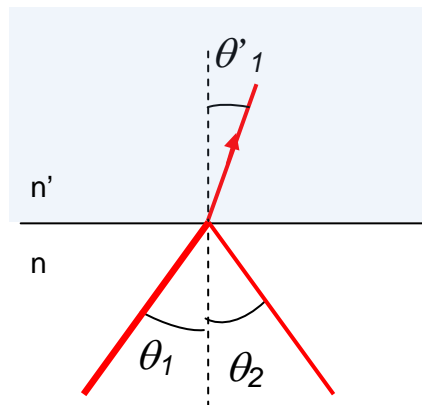


Figura 2.1-1 Reflexió i Refracció

- El de la refracció, en què part de la llum penetra en el segon medi, veient alterada la seva direcció en funció dels índexs de refracció d'ambdós medis. L'índex de refracció d'un medi és la relació entre la velocitat de la llum en el buit 'c' i la velocitat de la llum en aquest medi:

$$n = \frac{c}{V}$$

La llei de la refracció permet conèixer l'angle de refracció,  $\theta'$ , d'un raig de llum a través dels índexs de refracció dels dos medis,  $n$  i  $n'$ , i de l'angle d'incidència  $\theta$ :

$$n \sin \theta = n' \sin \theta'$$

Aquest fenomen també s'observa a la Figura 2.1-1, en la qual es veu un raig de llum refractat amb un angle  $\theta'_1$ .

D'altra banda, val a dir que l'índex de refracció d'un medi és funció de la freqüència de l'ona, de manera que si el feix de llum està compost per diverses freqüències de llum i es refracta en la superfície d'un material, els raigs es refractaran en diferents direccions, donant lloc al fenomen de la dispersió, tal i com es pot apreciar a la Figura 2.1-2.



Figura 2.1-2 Dispersió cromàtica de la llum blanca

### 2.1.2 Òptica Electromagnètica

La teoria de l'òptica electromagnètica de Maxwell es fonamenta en que la llum és una ona electromagnètica, que consisteix en un camp elèctric variable amb un període espacial que és la longitud d'ona  $\lambda$ , i un període temporal  $T$ . Segons la llei d'Ampère, aquest camp elèctric genera un camp magnètic que es propaga en el pla perpendicular al pla del camp elèctric, tal i com s'observa a la Figura 2.1-3 (1) i, al seu torn, el camp magnètic també genera un camp elèctric de manera que els dos camps es propaguen conjuntament, de manera acoblada.

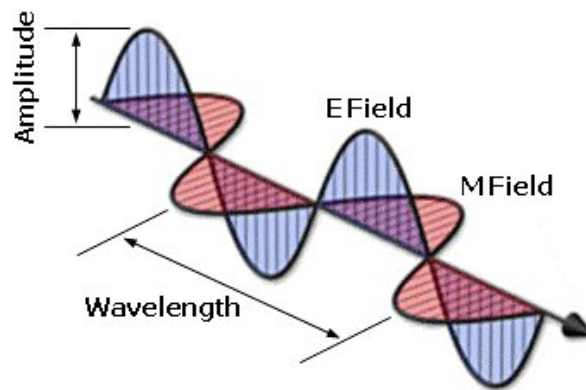


Figura 2.1-3 Ona Electromagnètica

Els paràmetres  $\lambda$  i  $T$  no són independents entre sí, sinó que compleixen la següent igualtat:

$$\frac{\omega}{k} = c = \frac{\lambda}{T}$$

- On:
- $\omega$ : freqüència angular =  $2\pi/T = 2\pi/\nu$ , on  $\nu=1/T$  és la freqüència de l'ona
  - $k$ : número d'ona =  $2\pi/\lambda$
  - $c$ : velocitat de la llum en el buit, 299.792.458m/s
  - $\lambda$ : longitud d'ona
  - $T$ : període

La direcció en que vibra el vector camp elèctric determina la *polarització* de l'ona.

Segons les lleis de l'electromagnetisme de Maxwell, es pot determinar l'energia de les ones a través de:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

- On:
- $\vec{E}$ : camp elèctric
  - $\vec{H}$ : intensitat del camp magnètic ( $\vec{B}/\mu$ ) (on  $\mu$  és la permeabilitat magnètica del material)
  - $\vec{S}$ : Vector de Poynting (2), la direcció i sentit del qual indica la direcció i sentit del flux d'energia de l'ona, i el seu mòdul dóna el valor d'aquest o la irradiància [ $W/m^2$ ]

Com que  $H = B/\mu$ , i  $B = E/c$ , resulta que el flux d'energia d'una ona és proporcional al quadrat del camp elèctric,  $E^2$ .

Respecte la longitud d'ona, abans esmentada, no existeix cap límit en els seus possibles valors, pot prendre qualsevol valor, entre 0 i infinit, definint el que s'anomena l'espectre electromagnètic. En aquest, la llum visible es troba en longituds d'ona compreses entre 380nm (violeta) i 780nm (vermell). Per  $\lambda < 400\text{nm}$  apareixen els raigs ultraviolats i per  $\lambda > 750\text{nm}$  els raigs infraroigs. En la Figura 2.1-4 es pot observar la situació de la llum visible dins l'espectre electromagnètic.

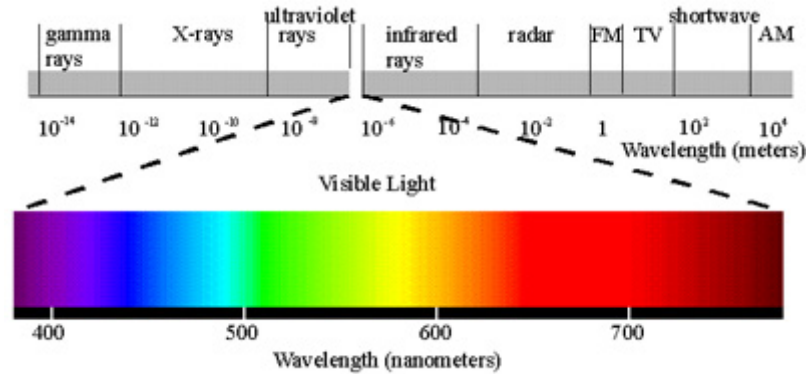


Figura 2.1-4 Llum visible dins l'espectre electromagnètic

Finalment, és important assenyalar que la llum real que ens trobem habitualment no té perquè estar composta d'una sola ona electromagnètica com les que hem indicat. Habitualment consisteix en una superposició de moltes ones, de diferents direccions, longituds d'ona, polaritzacions, intensitats, etc. Així doncs, dins d'aquesta teoria, es poden fer diverses classificacions que descriuran les característiques de la llum:

- **Llum polaritzada i no polaritzada:** es diu que un feix de llum es troba polaritzat (amb polarització plana) quan les ones que el componen tenen el vector camp elèctric vibrant en una determinada direcció, és a dir, en un sol pla o en plans paral·lels. La llum no polaritzada és aquella que les diferents ones vibren en diferents plans. Aquesta diferència es pot observar a la Figura 2.1-5 (3).

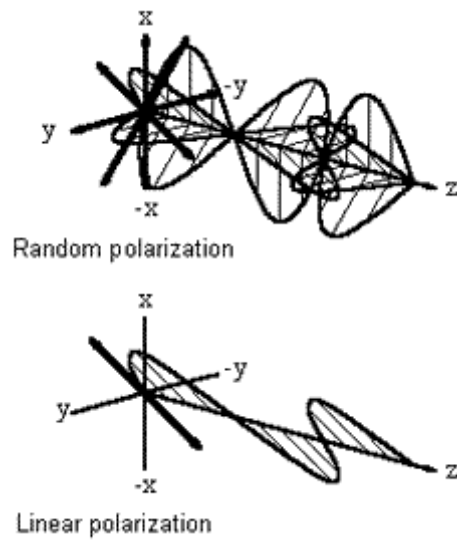


Figura 2.1-5 Polarització de la llum

- **Llum monocromàtica i no monocromàtica:** s'anomena llum monocromàtica a aquella radiació que té una  $\lambda$  ben definida, o bé amb  $\lambda \pm \Delta\lambda$  on  $\Delta\lambda$  té valors relativament petits (Figura 2.1-6). Per altra banda, la llum no monocromàtica serà aquella composta per ones amb diverses longituds d'ona (Figura 2.1-7).

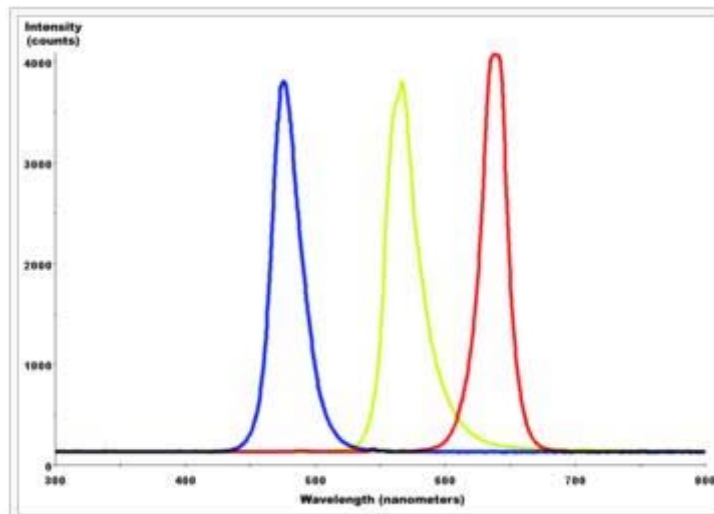


Figura 2.1-6 Exemples de llum monocromàtica

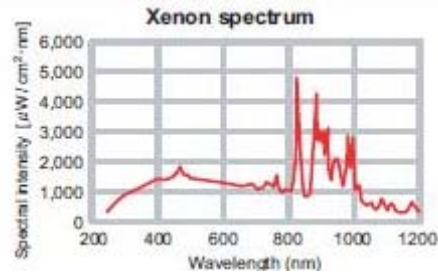


Figura 2.1-7 Exemple de llum no monocromàtica

- **Llum coherent i llum incoherent:** aquella llum que es propaga amb totes les seves ones en fase s'anomena llum coherent, com podria ser la produïda per un làser. D'altra banda, la composta per ones desfasades rep el nom de llum incoherent, com la que produeix una làmpada fluorescent, una bombeta, etc. Aquesta comparació es posa de manifest a la Figura 2.1-8.

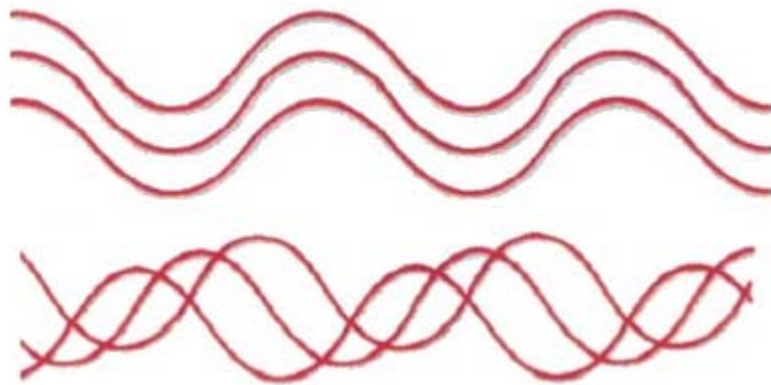


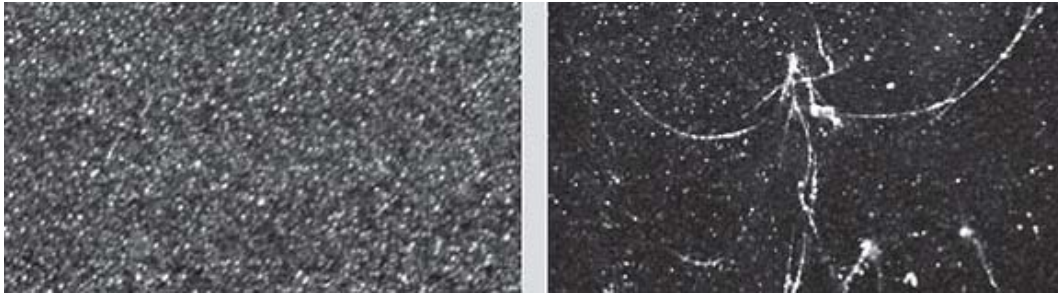
Figura 2.1-8 Llum coherent vs. llum incoherent

### 2.1.3 Òptica Quàntica

La teoria electromagnètica que s'ha descrit és ja una teoria molt bona i rigorosa, excepte quan es tracta d'estudiar en detall els efectes que tenen lloc quan la llum interacciona amb els àtoms i, sobretot, quan es tracta amb quantitats molt petites de llum. Per a això cal anar a la teoria més completa i rigorosa de totes, la teoria quàntica, que en el cas de la llum es concreta en l'Òptica Quàntica.

Aquesta teoria no invalida la naturalesa electromagnètica de la llum, però afegeix que, pel que fa a l'energia de l'ona, quan una ona interacciona amb un àtom o qualsevol material, la quantitat d'energia que li pot donar (o li pot prendre) no pot ser qualsevol, sinó que ha de ser un múltiple d'una determinada quantitat que s'anomena energia d'un fotó. Podem dir que la llum, d'alguna manera, passa a ser quantitzada a l'aparèixer aquest aspecte de la granularitat tal i com es pot

observar en l'exemple de la Figura 2.1-9, que correspon a un cas de molt baixa il·luminació.



**Figura 2.1-9 Llum quantitzada**

Max Planck va modelitzar la radiació del cos negre l'any 1899, obtenint l'energia d'un fotó:

$$E = h\nu \text{ [J]}$$

On:  $h$ : constant de Planck ( $6.6 \cdot 10^{-39}$  Js)  
 $\nu$ : freqüència de l'ona [Hz]

Més endavant, Einstein va interpretar més profundament que Planck la transcendència d'aquesta quantització de l'energia. L'òptica quàntica, en els darrers anys, ha estat un dels camps d'investigació més fructífers de la mecànica quàntica. Resultats d'aquestes investigacions són, entre altres, el coneixement més profund de l'emissió espontània, el descobriment de l'emissió estimulada i el làser i la implementació de diferents tipus de fotodetectors.

Tot i que la teoria quàntica és la més completa i rigorosa, al ser més complexa matemàticament fa que per a aquelles aplicacions en què no es manifestin de manera rellevant els efectes quàntics, s'utilitzin a la pràctica les teories anteriors, sobretot la teoria electromagnètica, com es farà en aquest estudi si resulta necessari.

## 2.2 Magnituds

En aquest apartat es pretén elaborar una relació de les magnituds i les seves unitats més significatives de la radiació òptica, de manera que es puguin desenvolupar els apartats següents fent referència a les unitats ja mencionades.

Les magnituds de la radiació òptica poden ser expressades de dues maneres diferents; la primera fa referència a tot l'espectre de freqüències i es té en compte tota l'energia de l'ona a cada freqüència (magnituds radiomètriques) (Taula 2.2-1) i la segona fa referència al rang de freqüències visible i es té en compte la corba de resposta de l'ull humà (Apartat 2.3.1) a l'hora de quantificar l'energia de l'ona a cada freqüència (magnituds fotomètriques) (Taula 2.2-2). A continuació es mencionaran unitats d'ambdós tipus de magnituds.

### 2.2.1 Magnituds Radiomètriques

| Magnitud           | Símbol     | Definició   | Unitats             |
|--------------------|------------|---|---------------------|
| Energia Radiant    | $Q$        | Unitat Bàsica   | J                   |
| Flux Radiant       | $\Phi$     | $\Phi = \frac{\partial Q}{\partial t}$  | W                   |
| Densitat Radiant   | $w$        | $w = \frac{\partial Q}{\partial V}$   | J/m <sup>3</sup>    |
| Intensitat Radiant | $I$        | $I = \frac{\partial \Phi}{\partial \omega} = \frac{\partial^2 Q}{\partial t \partial \omega}$ | W/sr                |
| Emitància          | $M$        | $M = \frac{\partial \Phi}{\partial A}$  | W/m <sup>3</sup>    |
| Irradiància        | $E$        | $E = \frac{\partial \Phi}{\partial A}$  | W/m <sup>3</sup>    |
| Radiància          | $L$        | $L = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \omega \partial S}$                                      | W/sr-m <sup>2</sup> |
| Emissivitat        | $\epsilon$ | $\epsilon = \frac{Q(\text{emesa})}{Q(\text{cos negre})}$                                      | numèric             |
| Absortància        | $\alpha$   | $\alpha = \frac{Q(\text{absorbida})}{Q(\text{incident})}$                                     | numèric             |



|               |        |  |         |
|---------------|--------|--|---------|
| Reflectància  | $\rho$ | $\rho = \frac{Q(\text{reflectida})}{Q(\text{incident})}$ | numèric |
| Transmitància | $\tau$ | $\tau = \frac{Q(\text{transmesa})}{Q(\text{incident})}$  | numèric |

**Taula 2.2-1 Magnituds Radiomètriques**

### 2.2.2 Magnituds Fotomètriques

| Magnitud                       | Símbol       | Definició  | Unitats             |
|--------------------------------|--------------|--|---------------------|
| Energia Iluminosa              | $Q_v$        | $Q_v = \int K(\lambda)Q(\lambda) d\lambda$                   | lm-s                |
| Flux Iluminós                  | $\Phi_v$     | $\Phi_v = \frac{\partial Q_v}{\partial t}$                   | lm                  |
| Densitat Iluminosa             | $w_v$        | $w_v = \frac{\partial Q_v}{\partial V}$                      | lm-s/m <sup>3</sup> |
| Intensitat Iluminosa           | $I_v$        | $I_v = \frac{\partial \Phi_v}{\partial \omega}$              | lm/sr               |
| Emitància Iluminosa            | $M_v$        | $M_v = \frac{\partial \Phi_v}{\partial A}$                   | lm/m <sup>2</sup>   |
| Il·luminància                  | $E_v$        | $E_v = \frac{\partial \Phi_v}{\partial A}$                   | lx                  |
| Luminància                     | $L_v$        | $E_v = \frac{\partial^2 \Phi_v}{\partial \omega \partial S}$ | nt                  |
| Eficàcia Iluminosa espectral   | $K(\lambda)$ | $K(\lambda) = \frac{\Phi_v(\lambda)}{\Phi(\lambda)}$         | lm/W                |
| Eficiència Iluminosa espectral | $V(\lambda)$ | $V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_{\max}(\lambda)}$          | numèric             |

**Taula 2.2-2 Magnituds Fotomètriques**

Tot i que a la taula anterior s'exposen les principals magnituds radiomètriques, a continuació es descriuran més detalladament algunes d'elles, les que seran més significatives pel desenvolupament de l'estudi.

- **Flux Iluminós:** és la potència emesa (flux radiant) per una font de llum, però només per a aquelles freqüències a les que l'ull humà és sensible (rang visible).

La seva unitat és el lumen (lm) i es demostra empíricament que a una radiació de 555nm (verd, màxima resposta de l'ull humà, ampliat al final de l'apartat 2.3.1) de 1W de potència emesa per un cos negre, li correspon 683lm (4).

- **Intensitat Iluminosa:** és el flux lluminós radiat per una font de llum en una direcció específica i dins d'un determinat angle sòlid. La unitat del SI és el lumen per estereoradiant (lm/sr), equivalent a una candela (cd).

Una candela (cd) equival a la intensitat lluminosa que emet una àrea de  $\frac{1}{60}$ cm<sup>2</sup> d'un cos negre a la temperatura de fusió del platí, 2041K (5), o bé a la intensitat lluminosa en una direcció determinada per una font monocromàtica que emet a una freqüència de  $540 \cdot 10^{12}$ Hz que té una intensitat radiant de  $\frac{1}{683} \frac{W}{sr}$  (6).

- **Il·luminància:** és el flux lluminós que rep una superfície determinada. La seva unitat és el lux, que equival a un lumen per m<sup>2</sup>. Una font de llum que emet 4cd en un angle sòlid determinat, la superfície que projecta aquest angle sòlid a 1m rebrà un flux lluminós de 4lux. Si aquesta projecció es realitzés a 2m de la font de llum, rebria un flux lluminós de 1lux, per la llei inversa dels quadrats (Figura 2.2-1) (7).

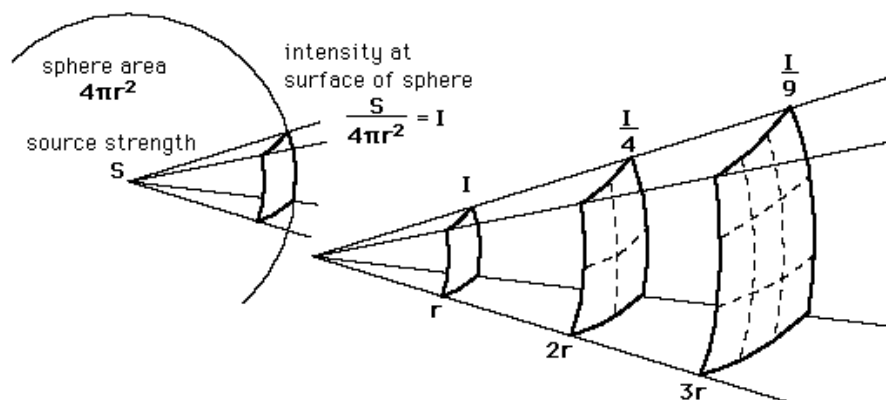


Figura 2.2-1 Llei inversa dels quadrats

- **Luminància:** fa referència a la intensitat lluminosa emesa per una superfície determinada; és la relació entre la intensitat lluminosa i la superfície aparent vista per l'ull humà en una direcció determinada. La seva unitat és el nit, que equival a  $1\text{cd}/\text{m}^2$  (Figura 2.2-2).

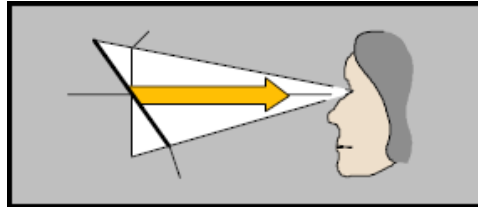


Figura 2.2-2 Luminància

## 2.3 Generació

Se sap que existeixen dues maneres de generar radiació electromagnètica a partir d'àtoms, o a partir d'un material semiconductor, etc: l'emissió espontània i l'emissió estimulada. La segona és l'específica dels làsers, i no la considerarem en aquest treball. Aquest apartat es centrarà, doncs, en l'emissió espontània, que és el procés més habitual de generar radiació òptica.

En el cas d'un sòlid, l'emissió espontània es sol manifestar de dues maneres diferents: la incandescència i la luminescència (8).

La incandescència apareix quan un corrent elèctric passa per un fil conductor, en el qual la seva resistència fa que s'escalfi fins a una determinada temperatura i fa que produeixi llum. La luminescència, d'altra banda, és el nom que reben totes les altres maneres de generar radiació visible per causes diferents que per temperatura.

### 2.3.1 Incandescència

La incandescència és l'estat en el qual un cos calent, habitualment incapaç d'emetre llum, es presenta lluminós (9).

En funció de la temperatura del cos, s'estarà emetent llum en un rang determinat de longituds d'ona. A mesura que augmenta la temperatura del cos, no només n'augmenta l'emissió, sinó que també s'emet llum amb longituds d'ona més curtes.

Per tal de mesurar o descriure l'estat d'incandescència d'un cos, s'utilitza un model teòric, el del cos negre, que és un objecte ideal que absorbeix tota la radiació electromagnètica que hi incideix. Aquest, en estat incandescent, emet radiació òptica en un característic espectre continu que depèn directament de la temperatura del cos. La quantitat de radiació emesa dins d'aquest espectre, en funció de la longitud d'ona de la llum es pot descriure mitjançant la radiància espectral ( $L_\lambda$ ), la qual obeeix la Llei de Planck (10):

$$L_\lambda = \frac{2c^2 h}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)}$$

On: c: velocitat de la llum [m/s]  
h: constant de Planck ( $6.6 \cdot 10^{-34}$  Js)  
 $\lambda$ : longitud d'ona [m]  
k: constant de Boltzmann ( $1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K)  
T: temperatura del cos [K]

A la Figura 2.3-1 es pot observar gràficament la distribució espectral de la radiació del cos negre a diferents temperatures. Cal tenir en compte que l'escala de la radiància espectral es troba a la part dreta del gràfic.

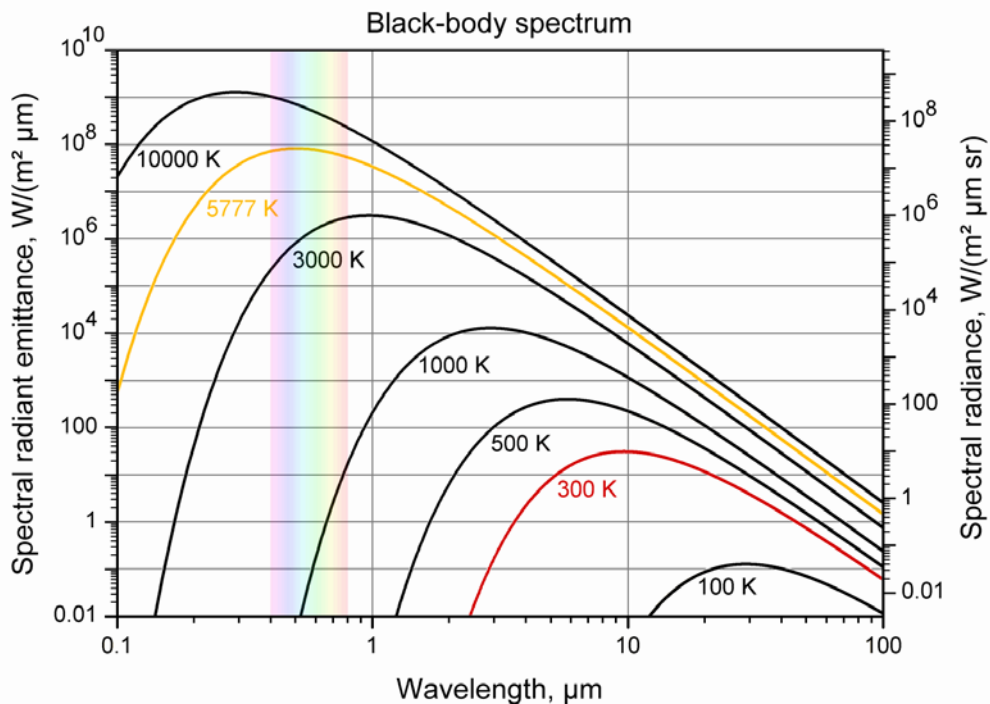


Figura 2.3-1 Radiància espectral del cos negre,  $L_\lambda$

Els cossos reals no emeten exactament com un cos negre, la corba pot presentar algunes deformacions i, a més, sol ser més baixa. El quocient entre la radiància d'un cos real i la del cos negre s'anomena emissivitat ( $\epsilon$ ), i el seu valor pot variar entre 0 i 1.

En la figura anterior s'observa que un cos negre a una temperatura de 1000K produeix una llum majoritàriament vermellosa, mentre que un altre a una temperatura al voltant dels 2000K (per exemple, una bombeta de filament de tungstè, que emet de forma similar a un cos negre, amb  $\epsilon = 0.5$ ) produiria una llum groguenca, pràcticament blanca.

Una llum força més blanca és la que subministren les bombetes halògenes que, degut al gas halogen que envolta el filament, fa que els àtoms de tungstè que s'evaporen vagin xocant contra les molècules del gas de manera que romanen a prop del filament, augmentant la probabilitat que tornin a enganxar-s'hi. D'aquesta manera, el filament es pot escalfar a temperatures majors, de l'ordre dels 3000K.

Tot i així, com es pot veure, la major part de l'energia radiada per un cos negre es troba en l'espectre infraroig i és per aquest motiu que el rendiment de les bombetes incandescentés és relativament baix.

En aquest punt es presenta un concepte nou, relacionat amb l'emissió del cos negre i comunament utilitzat en la caracterització de tota classe de làmpades: la temperatura del color.

Com s'ha comentat abans, la cromaticitat de la radiació d'un cos negre depèn de la seva temperatura, de manera que es pot associar el color que emeten certes làmpades a la temperatura que hauria d'estar un cos negre per radiar el mateix color.

De tota manera, un cos negre no pot radiar qualsevol color per sí mateix sinó que únicament pot ser emesa una certa gamma de colors (cal tenir en compte que certs colors necessiten una determinada barreja de llums de diferents longituds d'ona, amb diferents quantitats de cadascuna, que no la pot radiar un cos negre). Aquesta gamma es pot descriure fàcilment amb el "Lloc geomètric Planckià" o "*Planckian Locus*" (11). En la Figura 2.3-2 es pot apreciar una línia amb tots els colors que un cos negre podria emetre a diferents temperatures:

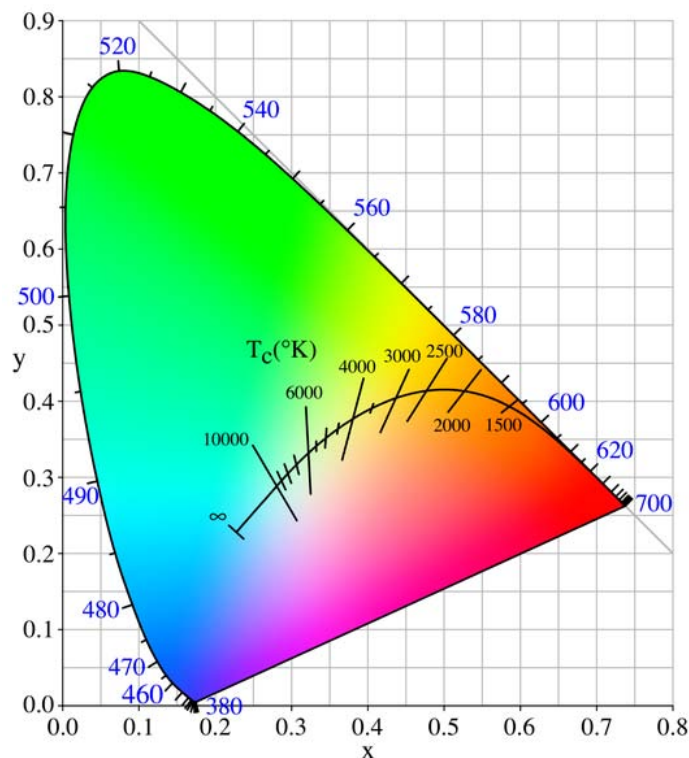


Figura 2.3-2 *Planckian Locus*

I si es desplacen aquests colors a una escala bidimensional, s'obtidria:





Figura 2.3-4 Quimioluminescència

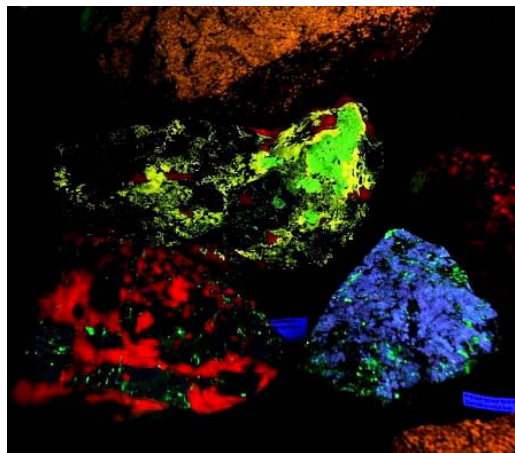
- **Catodoluminescència:** aquest fenomen es dona quan un flux d'electrons impacta contra un material luminescent. L'exemple més comú és el del funcionament d'una televisió de raigs catòdics, basat en el fenomen de la catodoluminescència.
- **Triboluminescència:** apareix quan determinats materials es sotmeten a esforços que trenquen els seus enllaços químics. Aquest efecte es pot observar al desenganxar certs tipus de cinta adhesiva, en condicions de poca llum.
- **Fotoluminescència:** certs materials, al ser radiats per fotons, absorbeixen aquesta energia de manera que els electrons passen a òrbites superiors fent que, ja sigui per emissió espontània o emissió estimulada, tornen a la seva òrbita produint un fotó. Dins la fotoluminescència es poden trobar dos fenòmens: la fosforescència i la fluorescència:
  - **Fosforescència:** els materials fosforescents no emeten radiació immediatament després d'absorbir-ne, sinó que són capaços d'emmagatzemar energia durant un bon temps en determinats estats interns. Aquesta energia serà després lliurada lentament en forma de llum. L'exemple típic de fosforescència són les agulles d'un rellotge que "brillen" de nit. Altres exemples es poden veure a la Figura 2.3-5.





**Figura 2.3-5 Fosforescència**

- **Fluorescència:** alguns materials són capaços d'absorbir radiació no visible (longituds d'ona superior al rang visible) per emmagatzemar energia, de manera que els electrons passen a òrbites d'energia superior, tornant a la seva òrbita inicial passant per un o varis estats intermedis. El fet d'haver-hi dos o més estats fa que les longituds d'ones emeses siguin més grans (fotons de menys energia) que les absorbides. Normalment la fluorescència té lloc de manera molt més ràpida que la fosforescència. En la Figura 2.3-6 es pot apreciar la radiació visible que produeixen uns determinats minerals al rebre radiació ultraviolada:



**Figura 2.3-6 Fluorescència en alguns minerals**

A continuació, a la Figura 2.3-7 es pot veure la diferència entre fosforescència i fluorescència (13):

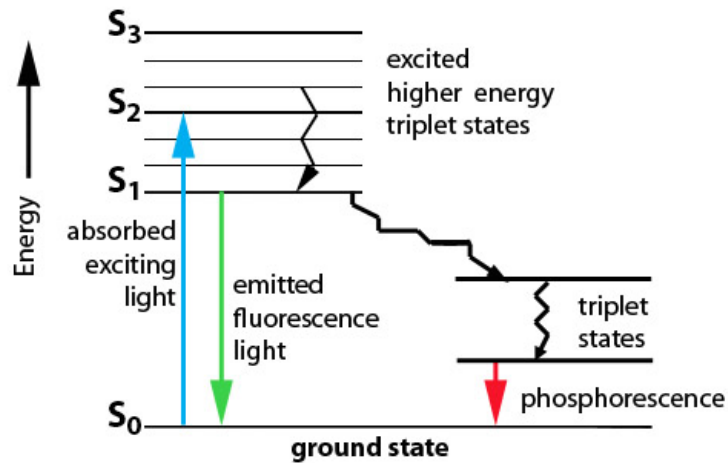


Figura 2.3-7 Fotoluminiscència

- **Electroluminescència:** es dona quan els electrons es recombinen degut a que el material ha estat travessat per un corrent elèctric. Aquest efecte es posa de manifest normalment en materials semiconductors. L'electroluminescència és la base del funcionament del LED, dispositiu que s'estudia a fons en el proper capítol, referenciant-lo històricament a l'apartat 3.1.1 i ampliant-ne el principi físic al 3.2.1.

## 3. La tecnologia LED

### 3.1 Història

#### 3.1.1 L'electroluminescència

L'electroluminescència és un fenomen òptic que es dona en determinats materials al ser travessats per un corrent elèctric o bé per un camp elèctric. (8) Sovint, sol tenir lloc en un semiconductor, on els electrons aportats pel corrent es recombinen amb forats, perdent energia que és alliberada en forma de fotons.

L'electroluminescència va ser descoberta l'any 1907 per H.J.Round mitjançant un detector de cristalls o rectificador de semiconductor (detector Cat's-Whisker, Figura 3.1-1), treballant amb un cristall de carbur (SiC) (14).



Figura 3.1-1 Detector Cat's-Whisker

L'any 1923 un tècnic de ràdio, O.V. Lossev, va adonar-se com els díodes dels receptors de ràdio emetien llum davant el pas de corrent, així que va publicar-ne els detalls en una revista Russa (15).

La següent observació va ser l'any 1936 quan un físic dels Laboratoris Marie Curie de París, Georges Destriau, va publicar un article sobre l'emissió de llum d'un cristall de Sulfur de Zinc (ZnS) al ser travessat per un corrent elèctric. Destriau va ser qui va encunyar el nom d'electroluminescència a aquest fenomen.

Durant la Segona Guerra Mundial es va dur a terme molta recerca en el camp de l'electroluminescència, orientada a il·luminar les pantalles de radar. Tots els avenços que van aparèixer provocarien una nova generació de nous aparells electrònics.

### 3.1.2 El primer LED

No va ser fins l'any 1961 que es va posar en pràctica la tecnologia LED, quan dos investigadors de Texas Instruments, Bob Biard i Gary Pittman desenvolupaven díodes d'Arseniur de Gal·li (16). Durant proves i assajos, a través d'un microscopi van adonar-se que el díode emetia llum a la banda infraroja. Finalment, van aconseguir la patent del LED infraroig.

A partir de l'any 1960, un enginyer de General Electric, Nick Holonyak, Jr., va començar a treballar en el LED visible observant que la longitud d'ona del díode d'Arseniur de Gal·li (GaAs) es podia desplaçar a l'espectre visible canviant la seva composició a través del fòsfor (GaAsP) (17). Durant les seves tasques de recerca, Holonyak va desenvolupar un mètode per sintetitzar els cristalls de Fosfat d'Arseniur de Gal·li (GaAsP) (18). Amb aquest compost "sintonitzable" va aconseguir crear el primer LED de l'espectre visible l'any 1962 amb una eficiència d'aproximadament 0.1 lm/W, mentre la majoria dels investigadors estaven centrats en el desenvolupament del LED infraroig.

Els desenvolupaments recents de la tecnologia LED tenen molt a veure amb la composició interna, l'eficiència i la cromaticitat, per això s'ampliarà en apartats posteriors.

## 3.2 Principi de funcionament

A l'apartat 3.1.1 s'ha comentat el descobriment de Lossev en un díode (una unió P-N) així com el de Destriau en un cristall de Sulfur de Zinc. Degut a que els actuals díodes LED basen el seu principi en unions P-N, s'estudiarà l'efecte de l'electroluminescència en les unions P-N.

### 3.2.1 La unió P-N

Un díode és un component electrònic compost per una unió de dues regions de semiconductor (com ara silici, germani, arseniur de gal·li, etc.) que es diferencien entre si ja sigui solament en el seu dopatge (homounions), o en la seva composició i dopatge (heterounions) (Apartat 3.5.1) (19). Un material semiconductor no és un material conductor ni aïllant, sinó que s'oposa al pas del corrent en funció del dopatge que ha rebut (impureses que poden ser de ions com ara de Gal·li o Arsènic).

Una de les regions semiconductor del díode és la regió 'P', la qual ha estat dopada de tal manera que han quedat enllaços covalents incomplets en el material. Això causa la presència de "forats" en el material, els quals en el seu moviment es comporten com si fossin una càrrega positiva.

L'altra regió del díode és la regió N, dopada de tal manera que hi ha més electrons dels que són necessaris per completar els enllaços covalents. Això causa un excés d'electrons, que queden lliures per ser conduïts.

En la unió P-N es crea un camp elèctric (barrera) degut a la naturalesa de les dues regions (d'aproximadament 0,7V en un díode de silici), barrera que es va reduint si s'aplica una polarització directa sobre el dispositiu. Quan el díode es polaritza inversament, la barrera augmenta de potencial a mesura que augmenta la tensió de polarització (tot i així, hi circula una intensitat inversa molt petita, "*Leakage current*", Figura 3.2-1) fins arribar a la tensió màxima inversa o de ruptura, "*Breakdown Voltage*", moment en que el díode es destruiria.

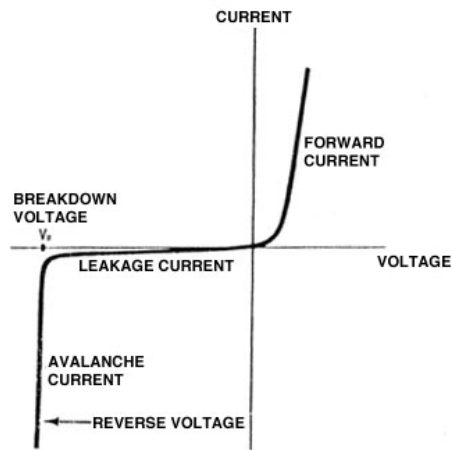


Figura 3.2-1 Corba característica del díode

Aquest fet explica per què el díode està dissenyat per deixar passar el corrent en un únic sentit, molt útil per treballar en rectificadors, tot i que n'hi ha d'altres pensats per treballar en polarització inversa, com el díode Zener.

### 3.2.2 Energia en la unió P-N

Primer de tot, es presenta el diagrama de l'energia dels electrons per a una unió P-N en equilibri, sense polarització (Figura 3.2-2). En sentit vertical ascendent, l'energia dels electrons és major. A temperatura ordinària, en la part N els electrons sobrants estan tots a la banda de conducció, mentre que a la part P els forats estan a la banda de valència, que és d'energia més baixa. Ambdues bandes estan separades per un "gap" d'energia prohibida. La corba que fan les bandes en la zona de la unió és per mantenir el nivell de Fermi uniforme, i és deguda a la presència d'un camp elèctric o potencial "de contacte" que impedeix que els electrons de la part N vagin cap a la part P, i que els forats de la part P vagin cap a la part N. Sols alguns electrons o forats amb més energia poden arribar a superar la barrera i passar cap a l'altra part (movent-se cadascun, en principi, en la seva pròpia banda d'energia) (20).

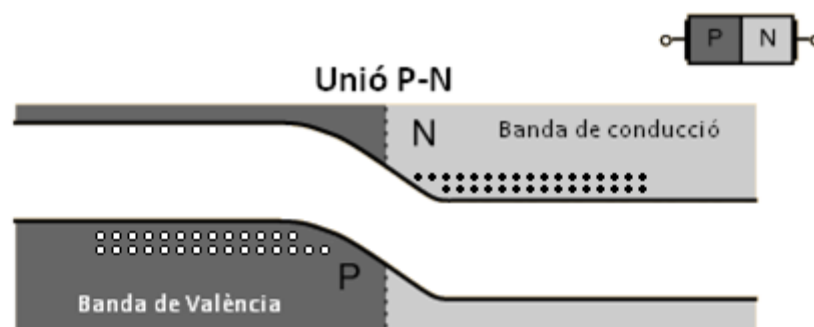


Figura 3.2-2 Unió P-N en equilibri

Si es polaritza inversament la unió, s'aprecia que l'alçada de la barrera s'incrementa, de manera que el pas d'electrons i de forats d'una part del material a l'altra és encara més difícil, així que no hi ha gens de conducció. (Figura 3.2-3).

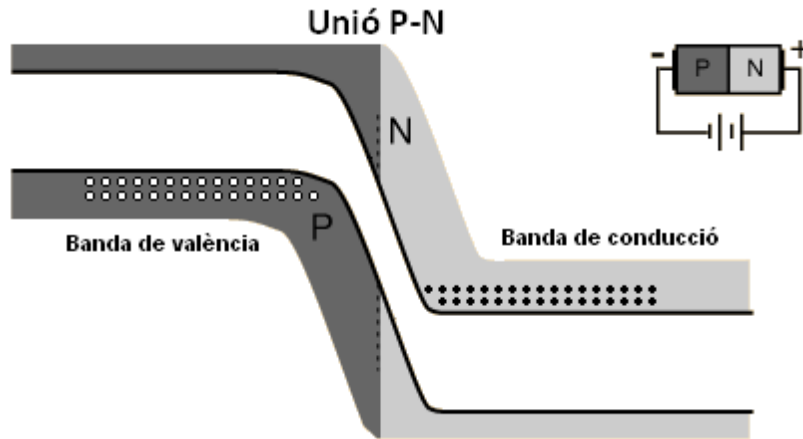


Figura 3.2-3 Unió P-N en polarització inversa

D'altra banda, si la unió es polaritza directament (Figura 3.2-4), l'alçada de la barrera disminueix de manera que els electrons i els forats poden superar-la més fàcilment, i ho fan amb ganes, ja que la tensió aplicada empeny, de fet, les càrregues cap a la unió (és a dir, empeny els electrons de la part N cap a l'esquerra, i els forats de la part P cap a la dreta). Un petit increment de la tensió aplicada fa que el nombre d'electrons o forats que poden superar la barrera, i de fet superen, augmenti molt ràpidament (exponencialment), envaint la part contrària.

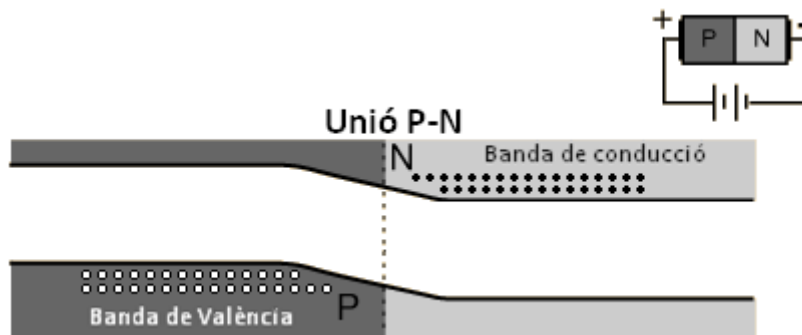


Figura 3.2-4 Unió P-N en polarització directa

La tensió aplicada al díode s'encarrega d'anar aportant electrons i forats, que es van dirigint cap a la unió i la van travessant, i així van alimentant el procés (Figura 3.2-5).

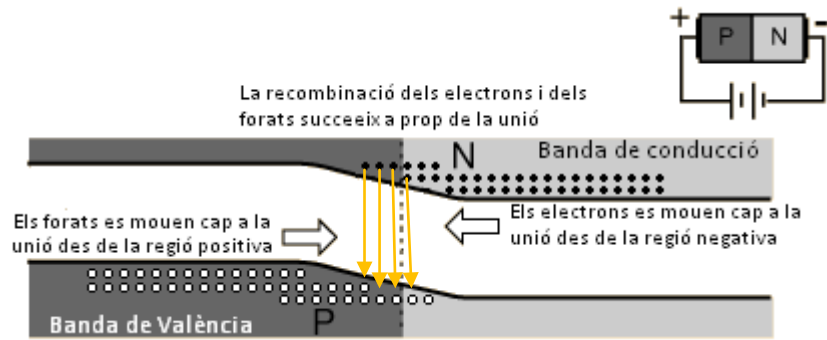


Figura 3.2-5 Conducció en polarització directa

### 3.2.3 Emissió de llum en la unió P-N

El fet que, per exemple, els electrons de la part N puguin envair la part P (o que els forats de la part P puguin envair la part N) fa que electrons i forats puguin trobar-se en un mateix punt de l'espai, fent que l'electró pugui "ocupar" el forat. Com que els electrons tenen energia superior al forats, quan un electró de la banda de conducció passa a ocupar un forat de la banda de valència (fet que s'anomena recombinació) ha de desprendre's de l'energia que li sobra. Aquesta energia o bé passa a energia cinètica o potencial interna dels ions o de les càrregues veïnes si hi ha hagut col·lisions –passant finalment a calor-, o bé es pot alliberar en forma de llum, emetent un fotó (Figura 3.2-6), en base al fenomen universal de *l'emissió espontània*. Com que en el nostre cas l'emissió espontània ha estat provocada pel corrent elèctric aplicat, la coneixem com a *electroluminescència*, tal i com s'ha comentat a l'apartat 3.1.1. Aquest és el principi d'emissió d'un LED.

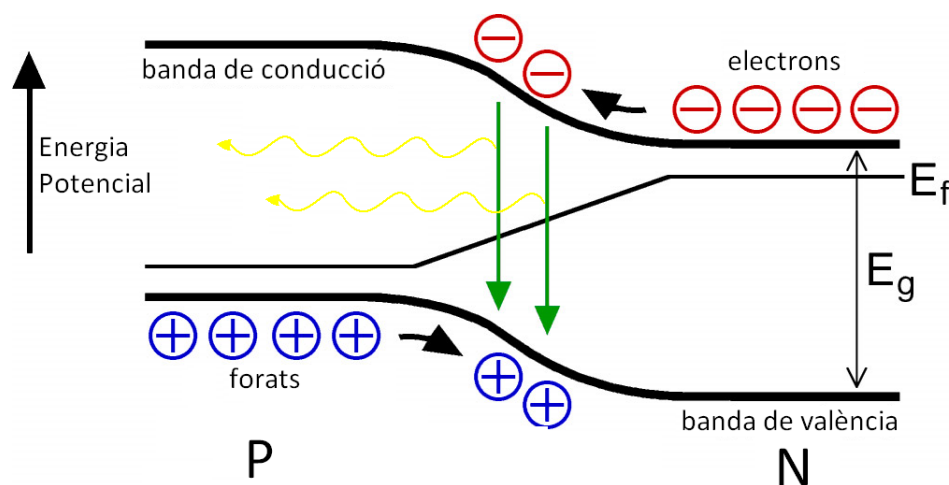


Figura 3.2-6 Generació de fotons en un LED



El díode LED no deixa de ser un component de dos terminals amb dues regions de semiconductor però, a diferència d'un díode comú, està fabricat amb uns determinats materials els quals la seva banda d'energia o "Energia del gap" és tal que, quan un electró troba un forat, l'energia que s'allibera té lloc amb fotons de l'espectre visible.

En principi, la llum pot ser emesa en qualsevol direcció, com correspon a l'emissió espontània, però l'encapsulat (apartat 3.2.4) pot influir en la direcció de sortida majoritària de la llum. Per exemple, a la Figura 3.2-7 es pot observar el detall de construcció d'un díode LED, on s'aprecia que la unió P-N es troba situada damunt una capa reflexiva i allotjada dins una càpsula que actua de lent, de tal manera que tots els fotons generats s'emetran preferentment en una determinada direcció.

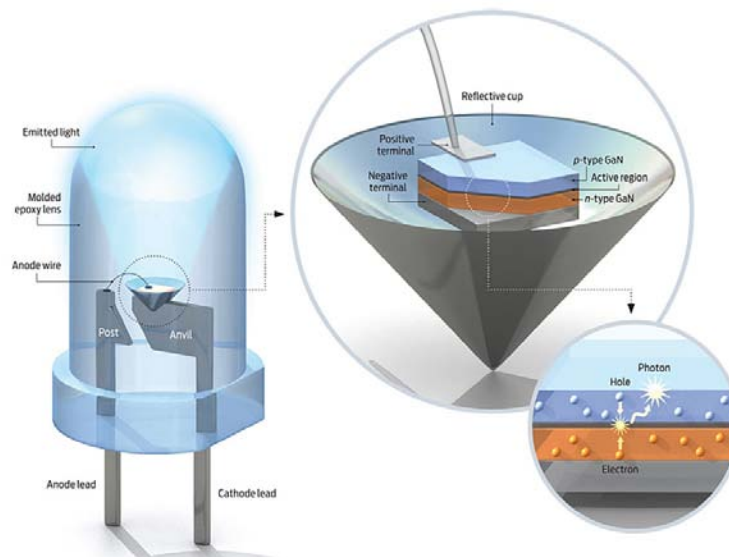


Figura 3.2-7 Construcció del díode LED

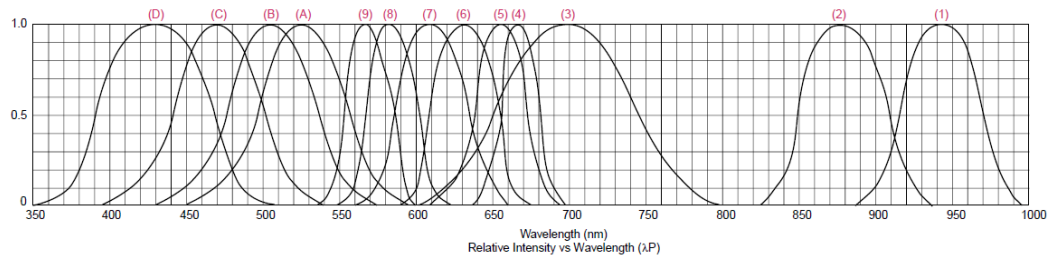
El color concret del fotó generat no és trivial, sinó que té a veure amb el material semiconductor amb què el díode LED està construït. Cada tipus de material té una energia del gap diferent ( $E_g$ ), la qual determina l'energia del fotó generat:

$$E_{\text{Fotó}} = h\nu \cong E_{\text{GAP}}$$

On:  $h$ : constant de Planck ( $6.6 \cdot 10^{-34}$  Js)  
 $\nu$ : freqüència de l'ona [Hz]

Per exemple, en un díode d'Arseniür de Gal·li, amb una  $E_{GAP} = 1.4eV$  ( $1 eV = 1,6 \cdot 10^{-19}J$ ), la longitud d'ona dominant seria  $\lambda = 870nm$ , que seria una radiació en l'espectre infraroig.

Es parla de longitud d'ona dominant ja que els fotons emesos no tenen sempre la mateixa energia, sinó que existeix un cert rang de salt en la unió que fa que els fotons tinguin longituds d'ona diferents però properes. Per exemple, a la Figura 3.2-8 es poden veure les corbes d'intensitat lluminosa de diferents LED que proporciona un fabricant (21). S'aprecia una distribució normal de les longituds d'ona emeses, amb una variància suficientment petita que permet produir llum força monocromàtica.



**Figura 3.2-8 Intensitat espectral de diferents tipus de LED**

A la Taula 3.2-1 es poden veure les longituds d'ona corresponents a cada color, amb la seva  $E_{GAP}$  (22):

| Color       | Wavelength, $\lambda$ (nm) | Photon energy $h\nu$ (eV) |
|-------------|----------------------------|---------------------------|
| Ultraviolet | < 390                      | > 3.18                    |
| Violet      | 390–455                    | 2.72–3.18                 |
| Blue        | 455–490                    | 2.53–2.72                 |
| Cyan        | 490–515                    | 2.41–2.53                 |
| Green       | 515–570                    | 2.18–2.41                 |
| Yellow      | 570–600                    | 2.06–2.18                 |
| Orange      | 600–625                    | 1.98–2.06                 |
| Red         | 625–720                    | 1.72–1.98                 |
| Infrared    | > 720                      | < 1.72                    |

**Taula 3.2-1  $E_{GAP}$  vs. longituds d'ona**

En l'apartat 3.3 s'estudiarà més detingudament la cromaticitat de la radiació emesa pels LED.

Es pot assenyalar, per acabar aquest apartat, que l'energia del gap no només influeix en l'energia dels fotons emesos, sinó que també té una certa relació amb la caiguda de tensió que apareix entre els terminals del díode. D'aquesta manera, si la caiguda de tensió d'un díode rectificador es troba al voltant dels 0,7V, en un díode LED vermell podria ser de 1.8V, mentre que en un díode ultraviolat podria arribar als 4V.

### 3.2.4 L'encapsulat

A la Figura 3.2-7 s'han apreciat totes les parts que componen un díode LED estàndard, on la zona activa és una petita part del component. Una altra part molt important i que determina les aplicacions del LED és l'encapsulat, que en general permet identificar el color que emet el LED i dirigir la radiació a conveniència, fabricat usualment amb una resina epoxi o bé amb silicona.

- **Color**

El color de l'encapsulat no és un filtre que únicament deixa passar radiació d'un espectre determinat, sinó que indica el color que emet la part activa del LED. Per als colors grocs, vermells i verds, usualment la càpsula és del mateix color (Figura 3.2-9), però per als LED infrarojos, blaus, ultraviolats (Apartat 3.3.1), blancs (Apartat 3.3.2) i d'alta lluminositat (Apartat 3.4.1) la càpsula és usualment transparent (23).

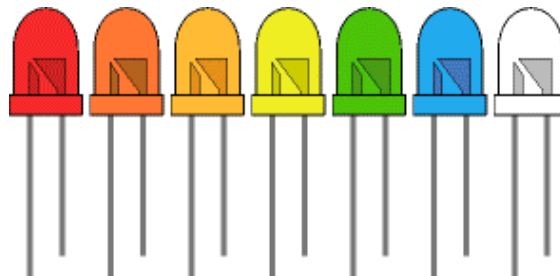


Figura 3.2-9 Colors de l'encapsulat

- **Morfologia**

A banda del color de l'encapsulat, al mercat hi ha encapsulats amb multitud de mides i formes. Tot i que s'estima que el 80% de la producció mundial de LED pertany als components cilíndrics de 5mm de diàmetre, també són usuals els cilíndrics de 3mm i 8mm de diàmetre. D'altra banda, es poden trobar encapsulats quadrats i triangulars. A la Figura 3.2-10 es poden observar diferents tipus de LED, tant pel color de l'encapsulat com per la seva morfologia.

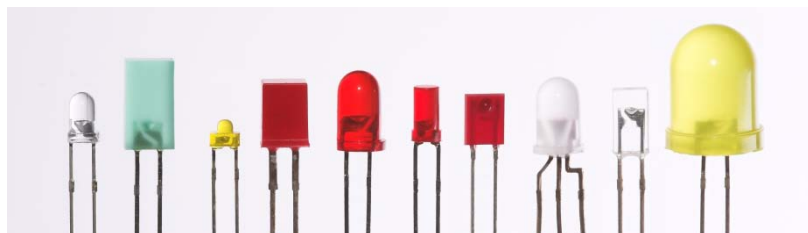


Figura 3.2-10 Morfologia de l'encapsulat

Tot i així, no és la secció transversal l'única característica predominant en la construcció de l'encapsulat dels LED, sinó que també ho és la secció longitudinal, que determina l'angle de projecció de la radiació lluminosa.

Si bé la secció semiesfèrica (Figura 3.2-11 Esquerra) o la parabòlica són les més comunes degut a que són capaces de concentrar la majoria de la radiació emesa en estret angle sòlid, la secció planar (Figura 3.2-11 Dreta) es caracteritza per emetre en un angle força més gran, mentre que la secció semiesfèrica invertida (Figura 3.2-12) emet la llum amb un angle sòlid de 180°.

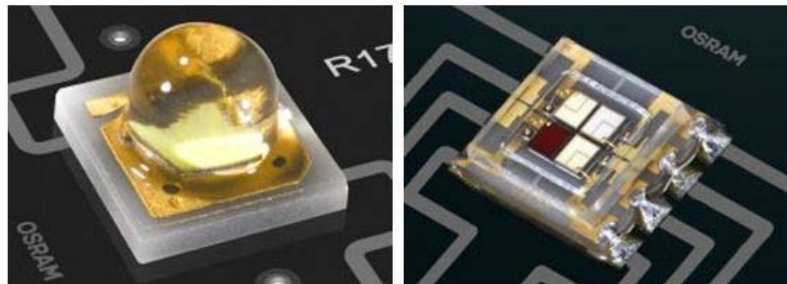


Figura 3.2-11 Morfologia cilíndrica i plana



Figura 3.2-12 Morfologia semiesfèrica invertida

Per últim, en la Figura 3.2-13 es poden observar diferents morfologies d'encapsulat que permeten projectar la radiació en diferents angles:

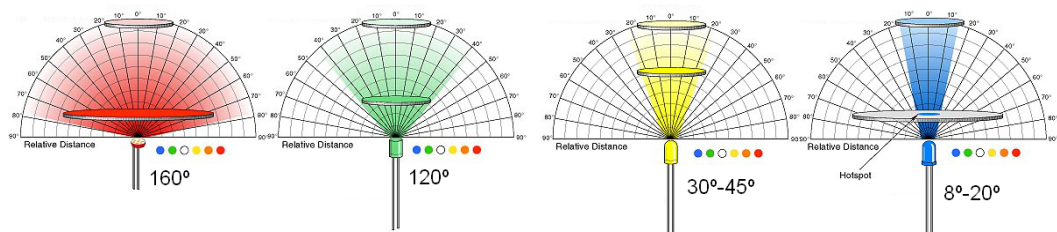


Figura 3.2-13 Angles d'il·luminació

### 3.3 Cromaticitat

En l'apartat anterior s'ha introduït la relació que hi ha entre el material semiconductor, l'energia del gap i l'energia de l'ona produïda en un LED.

D'aquesta manera, es pot introduir una taula resum (Taula 3.3-1) on es troben les característiques dels díodes LED per a cada color (24). Entre elles apareixen la longitud d'ona dominant i la de pic (que poden no ser les mateixes), la caiguda de tensió en la unió, les intensitats lluminosa i radiant, així com el material amb què estan fabricats:

|    | Longitud d'ona de pic (nm) | Longitud d'ona dominant (nm) | Color          | Caiguda de tensió (V) | Intensitat Lluminosa (mcd) | Intensitat Radiant (mW/sr) | Angle d'emissió | Material      |
|----|----------------------------|------------------------------|----------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|---------------|
| IR | 940                        | N/A                          | Infrared       | 1.3                   | N/A                        | 16mW@20mA                  | 22°-30°         | GaAlAs/GaAs   |
| IR | 885                        | N/A                          | Infrared       | 1.6                   | N/A                        | 31mW@50mA                  | 12°-20°         | GaAlAs/GaAs   |
| IR | 843                        | N/A                          | Infrared       | 1.7                   | N/A                        | 86mW@50mA                  | 12°-20°         | GaAlAs/GaAs   |
|    | 654                        | 641                          | Ultra Red      | 1.9                   | 1000mcd@20mA               | 13mW@20mA                  | 22°-30°         | GaAlAs/GaAlAs |
|    | 640                        | 625                          | HE Red         | 2.0                   | 220mcd@20mA                | 1.8mW@20mA                 | 12°-20°         | GaAsP/GaP     |
|    | 634                        | 624                          | Super E.Red    | 2.2                   | 8000mcd@20mA               | 45mW@20mA                  | 12°-20°         | InGaAlP       |
|    | 616                        | 610                          | Super Orange   | 2.0                   | 2000mcd@20mA               | 7mW@20mA                   | 22°-30°         | InGaAlP       |
|    | 609                        | 604                          | Orange         | 2.0                   | 220mcd@20mA                | 0.7mW@20mA                 | 12°-20°         | GaAsP/GaP     |
|    | 598                        | 593                          | Super Yellow   | 2.0                   | 5000mcd@20mA               | 10mW@20mA                  | 12°-20°         | InGaAlP       |
|    | 592                        | 589                          | Super P.Yellow | 2.3                   | 4000mcd@20mA               | 8mW@20mA                   | 22°-30°         | InGaAlP       |
|    | 582                        | 584                          | Yellow         | 2.1                   | 170mcd@20mA                | 0.3mW@20mA                 | 12°-20°         | GaAsP/GaP     |
|    | 3000K                      | N/A                          | Warm White     | 3.3                   | 5500mcd@20mA               | 17mW@20mA                  | 12°-20°         | InGaN         |
|    | 6000K                      | N/A                          | Pure White     | 3.3                   | 5500mcd@20mA               | 17mW@20mA                  | 40°-50°         | InGaN         |
|    | 8000K                      | N/A                          | Cool White     | 3.3                   | 5800mcd@20mA               | 23mW@20mA                  | 12°-20°         | InGaN         |
|    | 8000K                      | N/A                          | Cool White     | 3.4                   | 8400mcd@20mA               | 33mW@20mA                  | 12°-20°         | InGaN         |
|    | 8000K                      | N/A                          | Cool White     | 3.3                   | 16000mcd@20mA              | 60mW@20mA                  | 12°-20°         | InGaN         |
|    | 575                        | 573                          | Super L.Green  | 2.0                   | 1800mcd@20mA               | 3mW@20mA                   | 12°-20°         | InGaAlP       |
|    | 563                        | 569                          | HE Green       | 2.3                   | 210mcd@20mA                | 0.03mW@20mA                | 12°-20°         | GaP/GaP       |
|    | 563                        | 564                          | Super P.Green  | 2.1                   | 400mcd@20mA                | 0.6mW@20mA                 | 40°-50°         | InGaAlP       |
|    | 557                        | 560                          | Pure Green     | 2.2                   | 140mcd@20mA                | 0.2mW@20mA                 | 12°-20°         | GaP/GaP       |
|    | 522                        | 528                          | Aqua Green     | 3.4                   | 15,000mcd@20mA             | 30mW@20mA                  | 12°-20°         | InGaN         |
|    | 501                        | 502                          | Blue Green     | 3.4                   | 4300mcd@20mA               | 16mW@20mA                  | 40°-50°         | InGaN         |
|    | 455                        | 460                          | Super Blue     | 3.2                   | 3000mcd@20mA               | 61mW@20mA                  | 12°-20°         | InGaN         |
|    | 425                        | 447                          | Ultra Blue     | 4.0                   | 250mcd@20mA                | 5mW@20mA                   | 12°-20°         | SiC/GaN       |
| UV | 402                        | 420                          | Ultra Violet   | 3.8                   | 39mcd@20mA                 | 53mW@20mA                  | 12°-20°         | SiC/GaN       |
| UV | 397                        | 419                          | Ultra Violet   | 3.7                   | 35mcd@20mA                 | 39mW@20mA                  | 12°-20°         | SiC/GaN       |
| UV | 378                        | N/A                          | Ultra Violet   | 3.3                   | 150mcd@20mA                | 18mW@20mA                  | 10°             | GaN           |

Taula 3.3-1 Característiques de LED en funció del color

A la taula anterior apareixen certs detalls que encara no han estat comentats. Un d'ells és que a la columna de longitud d'ona de pic apareixen LED que emeten llum blanca i que, en comptes de longitud d'ona, es mostra una temperatura de color. Aquest concepte s'ampliarà a l'apartat 3.3.2, que fa referència a l'emissió de llum blanca.

D'altra banda, s'observa que totes les intensitats (lluminoses i radiants) estan normalitzades a un corrent de 20mA. En l'apartat 3.4.2 es prestarà una atenció especial a la intensitat elèctrica que poden suportar els LED.

### 3.3.1 Llum blava i ultraviolada

Després de la invenció del LED d'espectre visible (vermell) i l'infraroig, es van començar a produir LED que emetien, a més, grocs i verds fent ús dels mateixos materials (Alumini, Arsènic, Gal·li i Indi), encara que en proporcions diferents. Tot i així, l'energia del gap d'aquests materials (i dels seus compostos) no era suficient com per emetre fotons de longituds d'ona inferiors als 500nm (Figura 3.3-1).



Figura 3.3-1 LED blau i ultraviolat

Així doncs, no va ser fins l'any 1971 que un investigador dels Laboratoris RCA, Jacques Pankove, va desenvolupar un díode LED capaç d'emetre una petita quantitat de llum blava emprant Nitrur de Gal·li (GaN), mai abans utilitzat en components electrònics (25).

L'any 1995, un enginyer de Nichia Corporation, Shuji Nakamura va permetre començar a produir LED blaus amb una intensitat lluminosa acceptable, els quals la seva estructura estava basada en un o varis pous quàntics de Nitrur de Gal·li i d'Indi (InGaN) entremig de capes més gruixudes de Nitrur de Gal·li (GaN) (26). Variant la relació d'espessors d'aquestes capes es podria emetre llum en un espectre comprès entre el groc i l'ultraviolat. A més a més, actualment, els LED fabricats amb nitrurs són més eficients que els fabricats amb altres materials.

D'altra banda, amb nitrurs que contenen alumini, l'energia del gap és considerablement major, fet que condueix a emetre longituds d'ona encara més



curtes, contingudes en el domini ultraviolat. Últimament s'han aconseguit emetre fotons amb longituds d'ona fins als 210 nm. Els LED ultraviolats (sobretot 365nm) s'estan començant a aplicar per desinfecció i esterilització degut a que l'ADN dels microorganismes absorbeix la radiació ultraviolada, destruint-se completament (27). Un exemple són els esterilitzadors d'aigua per llum ultraviolada, encara en desenvolupament (Figura 3.3-2).



Figura 3.3-2 Esterilitzador d'aigua amb llum ultraviolada

### 3.3.2 Llum blanca

Un cop es van desenvolupar els LED blaus i ultraviolats, era el torn dels LED blancs. En aquells moments, es podien fabricar LED per tal d'emetre en tots els colors de l'espectre, però el blau i l'ultraviolat serien els que donarien pas a la producció dels LED blancs.

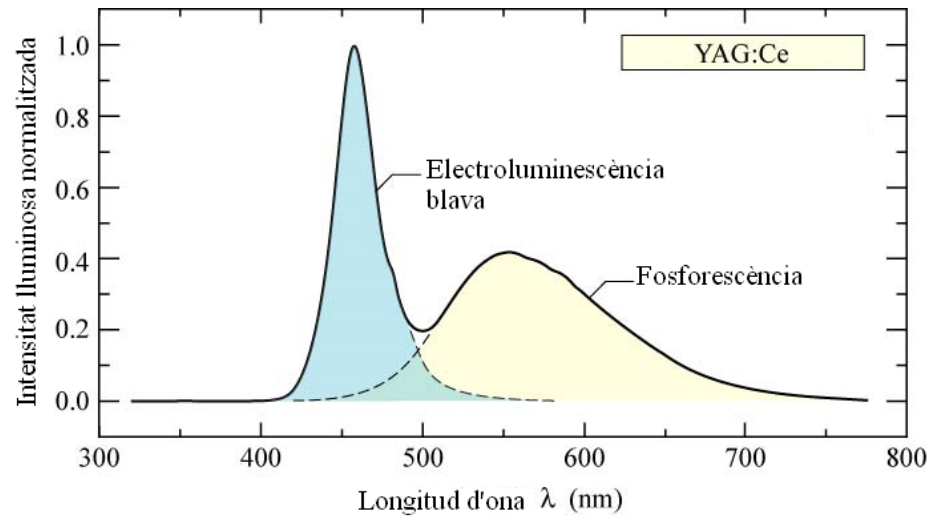
Bàsicament, hi ha dues maneres de generar llum blanca, la qual no és més que una barreja de colors:

- **LED amb conversió fosforescent.**
  - LED amb conversió fosforescent dicromàtica:

Els LED blancs més comuns al mercat són els dicromàtics, basats en un díode LED de color blau (GaN) i un convertidor de longitud d'ona fosforescent, Itri-Alumini-Granate dopat amb Ceri (Ce) (Ce-YAG), el qual la seva fórmula química és  $(Y_1K_aGd_a)_3(Al_1K_bGa_b)_5O_{12}:Ce$  (28).

El funcionament d'aquests LED consisteix bàsicament en la generació de llum blava, la qual una part s'absorbeix per la substància fosforescent (YAG) i és re-emesa en color àmbar. A la Figura 3.3-3 es pot veure la distribució espectral de la radiació

produïda per un LED amb conversió fosforescent dicromàtica (YAG).



**Figura 3.3-3 Distribució espectral d'un LED blanc dicromàtic**

Es pot veure que el LED blau genera una estreta distribució centrada als 450nm però que la conversió fosforescent és capaç d'utilitzar aquesta longitud d'ona per produir un ampli espectre de colors vermells, verds i sobretot, grocs; generant una llum blanca de qualitat acceptable.

- LED amb conversió fosforescent policromàtica

Un tipus semblant de LED blancs són els policromàtics, basats en un díode LED ultraviolat (GaN) i uns cristalls fosforescents que absorbeixen aquesta radiació, emetent tonalitats vermelles, verdes i blaves, oferint uns alts índexs de reproducció cromàtica, similars a les làmpades fluorescents.

Tot i l'alta qualitat de la llum que és capaç d'emetre, aquest tipus de LED té un rendiment força més baix en comparació amb el dicromàtic, degut a que tota la intensitat ha de ser absorbida i desplaçada en l'espectre, mentre que els LED dicromàtics únicament una petita part serà desplaçada.

- **LED RGB**

Una altra manera d'aconseguir una alta reproducció cromàtica sense que les pèrdues del desplaçament de longituds d'ona disminueixin l'eficiència dels LED és utilitzar díodes LED RGB (Vermell, Verd i Blau).



Al mercat es poden trobar diferents tipus de LED RGB, els més comuns són els de dos terminals i 3 díodes LED connectats en sèrie (Figura 3.3-4) i els de 4 terminals i 3 díodes amb càtode o ànode comú (Figura 3.3-5).

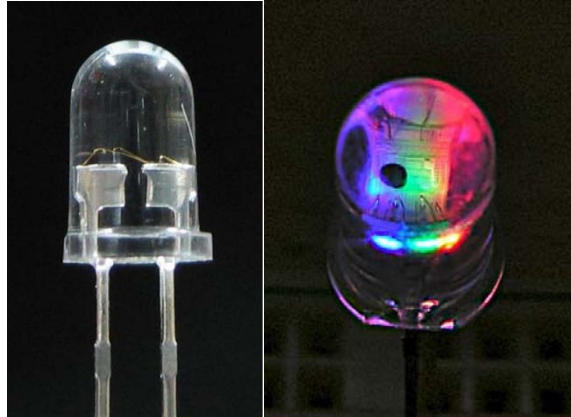


Figura 3.3-4 LED RGB de dos terminals



Figura 3.3-5 LED RGB de quatre terminals

### 3.3.3 LED bicolor i tricolor

Aquest apartat de LED bicolor i tricolor està fora del de llum blanca degut a que són uns components de dos o de tres terminals amb dos díodes LED al seu interior, cadascun d'ells capaç de produir un color diferent que, en el cas dels tricolor podrien compondre un tercer color.

Els LED bicolor i tricolor són uns dispositius optoelectrònics molt comuns al mercat degut a la seva capacitat de generar dos colors ben contrastats (habitualment verd i vermell) a un relatiu baix cost econòmic. S'utilitzen sobretot en dispositius electrònics com ordinadors, electrodomèstics, en vehicles, etc.

A la Figura 3.3-6 apareix un LED bicolor (dos terminals) i el seu esquema elèctric, on es pot veure que està compost per dos díodes connectats en antiparal·lel. D'altra banda, el LED tricolor (tres terminals) (Figura 3.3-7) és molt

més utilitzat que l'anterior degut a que el circuit i control electrònic són més simplificats, ja que és el mateix que controlar dos díodes LED separats que comparteixen el terminal negatiu.

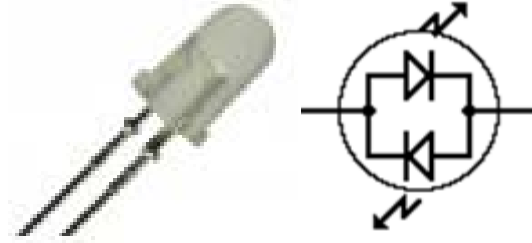


Figura 3.3-6 LED Bicolor de dos terminals

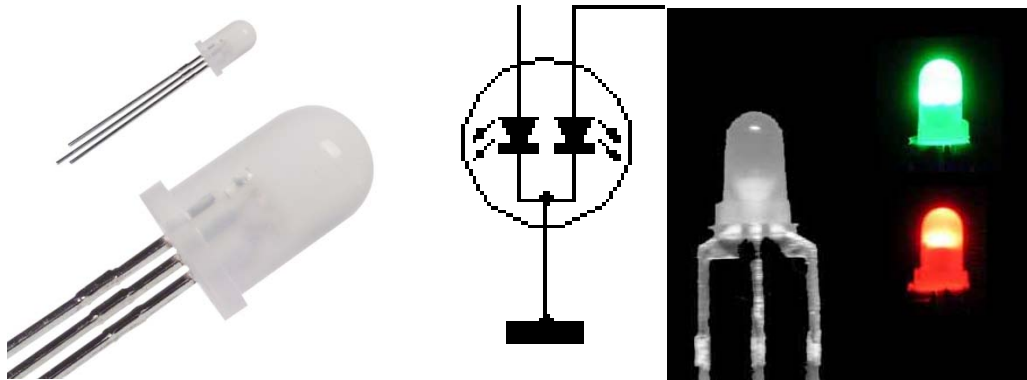


Figura 3.3-7 LED Tricolor de tres terminals

### 3.4 Eficiència

Des de l'invent de Holonyak l'any 1962 d'un díode LED vermell (GaAsP) amb una eficiència de 0.1 lm/W, al llarg de la història s'han centrat els esforços en dos objectius ben definits: la capacitat d'emetre en tots els colors de l'espectre visible i d'augmentar-ne l'eficiència.

A la Figura 3.4-1 es mostra el progrés històric del desenvolupament de l'eficiència lluminosa dels LED de l'espectre visible (29):

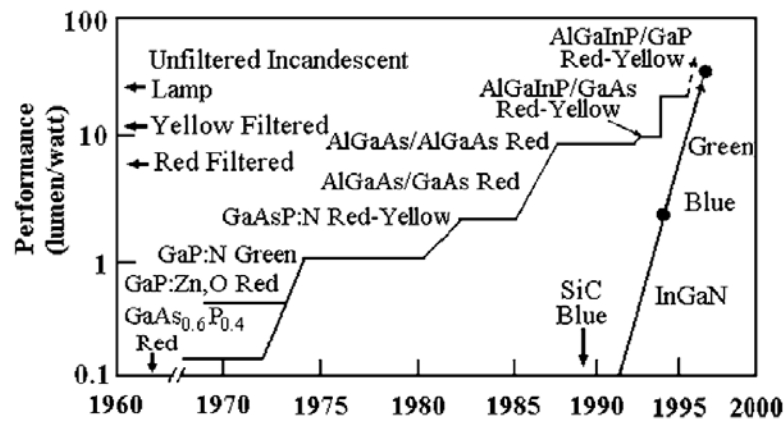


Figura 3.4-1 Desenvolupament històric de l'eficiència dels LED

Aquest desenvolupament històric va fer que un científic de Agilent Technologies, Dr. Ronald Haitz, enunciés una predicció coneguda com la Llei de Haitz, molt semblant a la Llei de Moore (també basada en la optimització dels processos de fabricació de dispositius semiconductors), on s'observa que cada dècada disminueix 10 vegades el cost per lumen mentre que la intensitat lluminosa radiada per un LED es multiplica per un factor de 20, sempre fent referència a cada color o longitud d'ona (30).

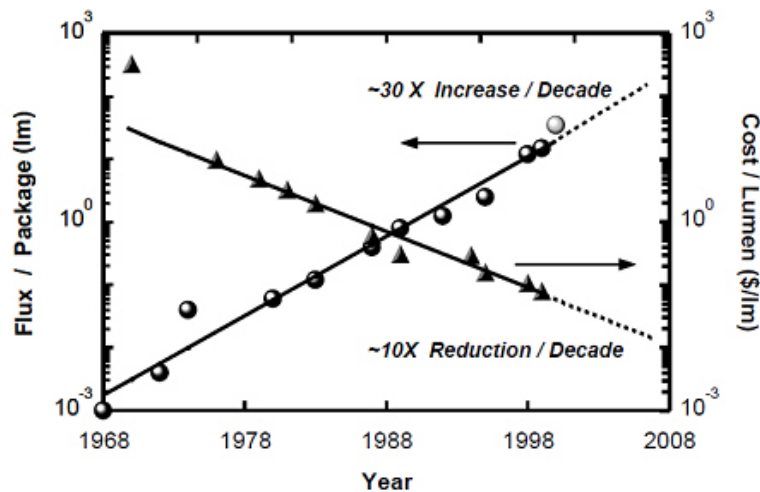


Figura 3.4-2 Llei de Haitz

Aquest augment en l'eficiència és degut a la millora dels processos productius i l'augment de la radiació extreta de dins el LED, ja que una part s'absorbeix internament. La clau està en la reflexió total a la superfície del semiconductor, de manera que amb petits angles d'incidència, amb un alt índex de refracció, un alt percentatge de la radiació pot sortir del semiconductor.

### 3.4.1 *Alta Iluminositat*

Aquestes millores en l'eficiència dels LED han donat pas a una nova generació de dispositius anomenats "LED d'alta lluminositat", els quals són capaços d'emetre una alta intensitat lluminosa amb poc consum elèctric. Actualment, s'han assolit índexs de més de 200 lm/W, mentre que una làmpada fluorescent podria proporcionar uns 120 lm/W.

D'altra banda, les noves estructures internes del LED han jugat un paper molt important per augmentar-ne l'eficiència, com les estructures de petites dimensions: els pous quàntics i els punts quàntics (Apartat 3.5.2). Disminuint el voltatge operatiu i augmentant la reflectància han fet que es puguin produir LED amb un rendiment molt superior a altres fonts de llum, amb un cost econòmic comparable.

A la Figura 3.4-3 es detallen les parts d'un LED blanc d'alta lluminositat, amb tecnologia *Flip-Chip*, recobriments de silici i un disseny per una òptima extracció de l'escalfor, que és un dels reptes que estan apareixent a mesura que es volen obtenir LED d'alta intensitat (31). Aquest tema es desenvoluparà al proper apartat 3.4.3.

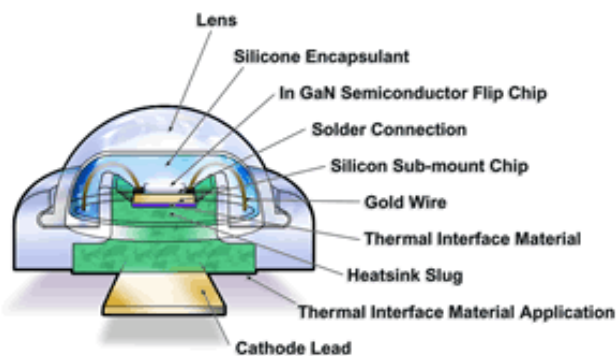


Figura 3.4-3 HBLED - *High Brightness LED*

### 3.4.2 Droop

Dos dels conceptes que s'han mencionat al llarg d'aquest estudi han estat el corrent (la intensitat elèctrica) i l'eficiència dels LED, però encara no s'ha vist la relació que hi ha entre ells.

Com en molts altres dispositius electrònics, la intensitat elèctrica i el rendiment no són directament proporcionals, sinó que l'eficiència és un fenomen no lineal de la intensitat.

En un dels *datasheets* que ens proporciona el fabricant LEDtronics, INC. (Figura 3.4-4), es pot apreciar com, a partir dels 50mA, la intensitat lluminosa no augmenta tan ràpidament com l'elèctrica, de manera que l'eficiència es desploma.

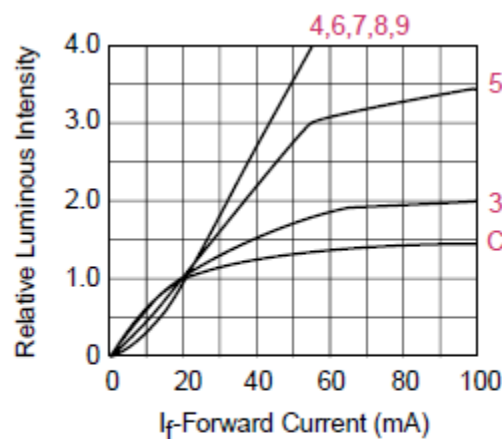


Figura 3.4-4 Intensitat Llumínica vs. Intensitat elèctrica

Aquest fenomen és conegut amb el nom de *droop*, caiguda, i actualment és un dels objectius dels investigadors en aquest camp (32). A causa del *droop*, els LED estan dissenyats per treballar únicament amb unes desenes de miliampers per donar eficiències de fins a 250 lm/W, de manera que el seu avantatge respecte les bombetes incandescent queda limitat: mentre un LED blanc d'alta lluminositat pot donar uns 250 lm/W a 0,16 €/lm, en una bombeta incandescent de 16 lm/W tenen un preu de 0,001 €/lm.

El problema del *droop* es dona únicament en els LED de nitrurs, és a dir, en els blaus, ultraviolats i els blancs. Investigacions recents han conclòs que aquesta limitació apareix en els pous quàntics que hi ha a la unió p-n, que atrapen els electrons i els forats per permetre la seva recombinació i evitar que es perdin.

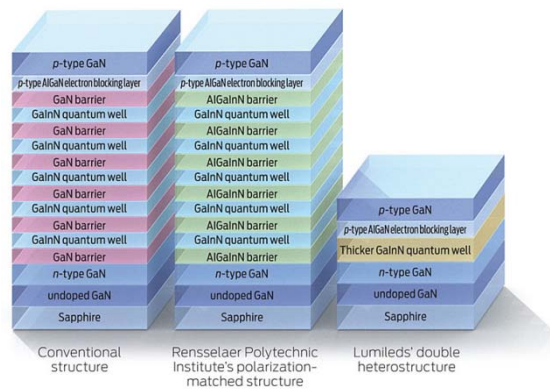


Figura 3.4-5 Estructures per la minimització del droop

Per la seva part, Philips Lumileds® ha desenvolupat una doble heteroestructura (Apartat 3.5.1) que disminueix els efectes del droop (Figura 3.4-5), tot i que aquest fenomen encara és objecte d'investigacions.

### 3.4.3 Gestió de la temperatura

Un altre dels conceptes clau en l'eficiència dels LED és el *Thermal Management* o la gestió de la temperatura, que pot fer que l'eficiència dels semiconductors sigui relativament gran o bé destruir-los.

Per tots els LED, la temperatura ambient juga un paper important en la seva eficiència, fent que un augment considerable de la mateixa deixi inservible el dispositiu. Els LED d'ús comú estan preparats per treballar a temperatures baixes, com es pot observar a la Figura 3.4-6.

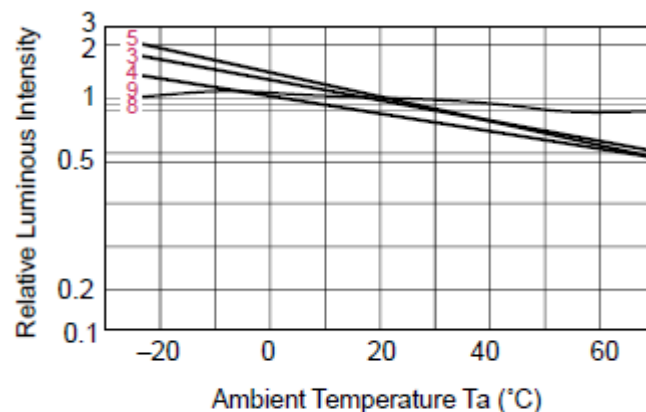


Figura 3.4-6 L·luminositat vs. temperatura ambient

Tot i així, l'ús continu dels LED fa que la temperatura a la unió augmenti, sent necessari extreure aquesta energia cap a l'exterior si es vol mantenir l'eficiència i la integritat del LED.

D'altra banda, pel què fa als LED d'alta intensitat, la temperatura a la unió augmenta molt ràpidament, de manera que es necessitarien components externs que ajudin a mantenir la temperatura òptima dins el xip. A la Figura 3.4-7 es pot apreciar el tall longitudinal d'un LED d'alta intensitat preparat per dissipar grans quantitats d'energia calorífica.

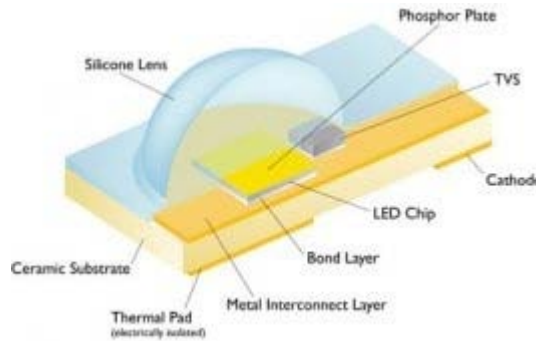


Figura 3.4-7 Philips Lumileds Rebel Power LED

#### 3.4.4 Durabilitat

Si es parla d'una bombeta incandescent, el temps de vida mitjà sol estar al voltant de les 1.000 hores, tot i que poden durar més o menys hores. Un cop acabat el temps de vida d'aquesta bombeta el filament es fon, quedant inservible.

No passa el mateix amb els díodes LED, on l'efecte més comú de l'envelliment és la pèrdua gradual de lluminositat (Figura 3.4-8), on sol començar a decaure a partir de les 8.000 hores, el temps de vida usual d'una làmpada fluorescent. Tot i així, actualment es poden trobar LED amb un temps de vida entre les 10.000 i 100.000 hores de funcionament.

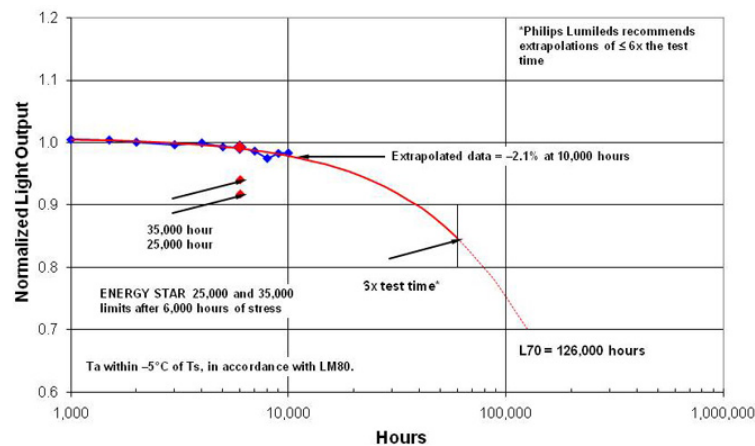


Figura 3.4-8 Durabilitat d'un HBLED de Philips Lumileds



A més a més, hi ha altres efectes que causen la fallada gradual dels LED que, entre altres, són:

- **Nucleació:** els defectes en el cristall de la zona activa fan que les dislocacions internes augmentin, accelerant-se amb el pas del corrent i l'augment de la temperatura, fent que part de la radiació es perdi dins la unió.
- **Electromigració:** el pas del corrent elèctric provoca el desplaçament d'electrons fora de la regió activa, provocant defectes en el cristall (Figura 3.4-9) i recombinant-se produint escalfor en comptes de llum (33).

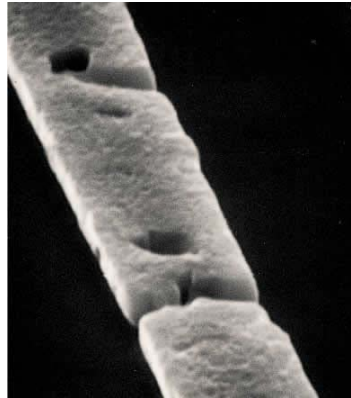


Figura 3.4-9 Efectes de l'electromigració

- **Sobreescalfament:** els augments de temperatura es tradueixen en posteriors augments de temperatura en la unió a causa de la pèrdua de conductivitat tèrmica, causant la destrucció d'aquesta. A més, el sobreescalfament causa dilatacions a la càpsula que creen tensions mecàniques en el cristall semiconductor, destruint-lo ràpidament.
- **Degradació de la càpsula:** alguns plàstics transparents tendeixen a engroguir amb l'escalfor, de manera que actuen de filtres i absorbeixen part de la radiació.
- **Descàrregues electrostàtiques:** igual que a la resta de dispositius semiconductors, els LED es veuen afectats per l'electricitat estàtica, i és que una descàrrega pot provocar una fallida instantània del LED, un desplaçament dels seus paràmetres o bé un dany latent que el degrada a més velocitat (34).
- **Polarització inversa:** encara que el funcionament del LED estigui basat en el díode rectificador, sovint la tensió de ruptura és menor, provocant la destrucció instantània de la unió.



### 3.5 Altres tipologies i estructures

El díode LED bàsic, com s'ha estudiat a l'apartat 3.2.1, consisteix en una unió P-N del mateix material anomenada homounió. Tot i així, investigacions força recents han treballat amb altres estructures i tipologies, que es presentaran a continuació (22).

#### 3.5.1 Heteroestructures

La maximització de l'emissió de llum a la zona activa del LED és l'objectiu primordial en la fabricació de LED. Les heteroestructures permeten eficiències majors que les homoestructures, és per aquest motiu que actualment els LED d'alta lluminositat estan basats en heteroestructures, que són unions fabricades amb materials diferents que, consegüentment, tenen energies del gap diferents.

A la Figura 3.5-1 (a) es pot apreciar el perfil de potencial d'una heterounió simple, on l'energia del gap del material 'n' és major que la del 'p'. D'altra banda, a la Figura 3.5-1 (b) s'observa una doble heterounió, que és una estructura que permet l'augment de la densitat de portadors en la zona central, confinant els electrons mitjançant una barrera de potencial i augmentant la probabilitat de recombinació.

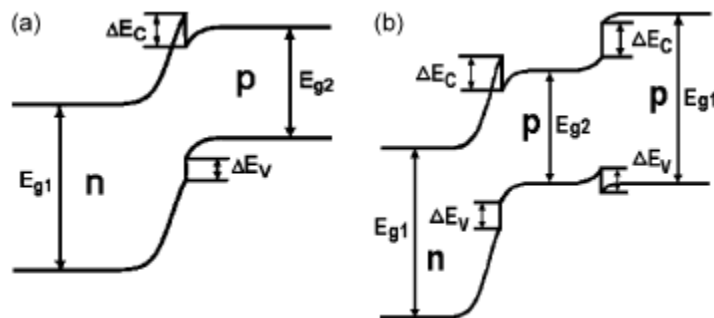


Figura 3.5-1 Heteroestructura i doble heteroestructura

#### 3.5.2 Estructures de petites dimensions

Quan una fina capa de semiconductor amb una determinada energia del gap es troba entremig de dos capes més gruixudes d'un semiconductor amb major energia del gap, es forma un pou quàntic.

A través dels pous quàntics es produeix un confinament quàntic dels electrons, elevant la taxa de recombinació i augmentant l'eficiència dels LED.

### 3.5.3 LED amb estructura Flip-Chip

Mitjançant l'estructura *Flip-Chip* s'aconsegueix extreure la llum directament del substrat, sense que els terminals metàl·lics dels LED convencionals n'atenuïn l'emissió.

A la Figura 3.5-2 es pot observar l'esquemàtic d'un LED *Flip-Chip* on els terminals no poden atenuar la radiació per estar fora del LED. Aquests permeten majors intensitats elèctriques degut a la seva alta conductivitat a causa dels seus contactes metal·litzats.

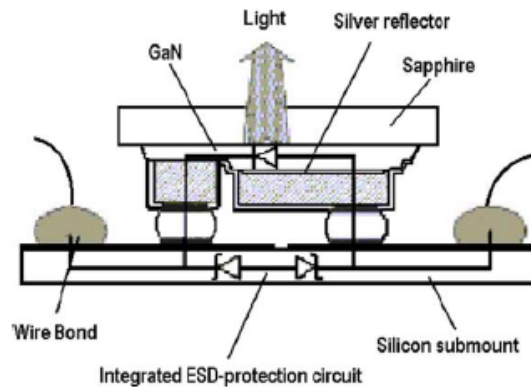


Figura 3.5-2 LED amb estructura *Flip-Chip*

### 3.5.4 OLED

Els LED orgànics són una tipologia de LED on la capa electroluminescent està formada per compostos orgànics, fonamentalment combinats amb carboni.

Els OLED tenen un greu problema tècnic que és el temps de vida dels materials orgànics, fent que al cap de 14.000 hores de funcionament la lluminositat decreixi per sota del 50% (35).

D'altra banda, els OLED presenten un avantatge prou significatiu: el poder-se imprimir sobre un substrat adequat, inclòs sobre un substrat flexible. Aquesta característica permet la creació de *displays* flexibles i enrotllables, així com la utilització per dispositius mòbils degut a la seva poca amplària.



Figura 3.5-3 *Display* OLED flexible

### 3.6 Aplicacions

En aquest apartat s'anomenaran algunes de les moltes aplicacions que té la tecnologia LED, prestant especial atenció a l'espectre d'emissió.

#### 3.6.1 LED infraroigs

Una de les aplicacions més conegudes dels LED infraroigs és el seu ús en comandaments a distància, usualment emetent a 940nm (36), modulant aquesta intensitat radiant de manera que s'hi pugui codificar informació.

Amb longituds d'ona inferiors podem trobar els LED infraroigs com a fonts de llum per a càmeres de vídeo (Figura 3.6-1) o de fotografia infraroges, permetent la presa d'imatges amb condicions de poca llum.



Figura 3.6-1 Càmera IR

A més, el seu ús s'ha estès a la indústria en forma de barreres infraroges o per a detecció de presència (Figura 3.6-2), molt utilitzades com a mecanismes de seguretat en maquinària, portes i accessos.

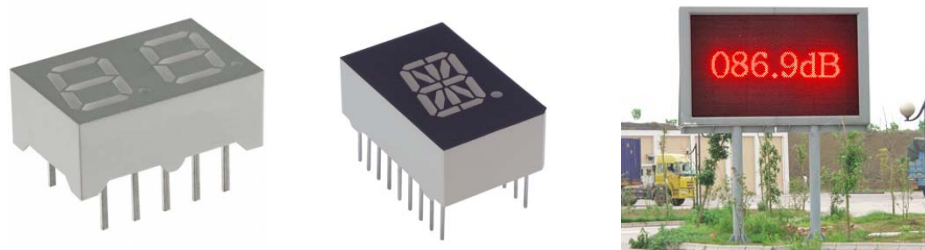


Figura 3.6-2 Barrera IR i detector de presència

### 3.6.2 LED d'espectre visible

En l'espectre visible, els LED s'han imposat en tota classe d'aparells electrònics en forma d'indicadors, degut a la seva versatilitat i el seu baix cost per a aquesta classe d'aplicacions.

Una aplicació molt coneguda són els *displays* de 7 segments, els alfanumèrics i els indicadors gegants, per mostrar tota classe d'informació, missatges i publicitat.



**Figura 3.6-3 Displays de 7 segments, alfanumèric i gegant**

Pel que fa a altres *displays*, en els de cristall líquid (LCD) la tecnologia LED és emprada per retroil·luminar-los, permetent la seva visualització en condicions de poca llum. Aquesta aplicació va donar lloc a les pantalles LCD retroil·luminades, avui en dia comunament esteses per tot el món en forma de televisors i pantalles d'ordinador.

Els desenvolupaments dels darrers anys han permès la creació de pantalles de matriu de LED, molt útils per el seu ús en exteriors i en tota classe d'esdeveniments. Aquest fet ha propiciat el seu desenvolupament i ús en l'àmbit domèstic amb el que avui es coneix amb el nom de televisors LED, jugant un paper molt important en la popularització del cinema 3D.

Pel que fa a dispositius de senyalització, l'aplicació estrella de la tecnologia LED ha estat la seva incorporació en els senyals de trànsit (Figura 3.6-4), substituint les antigues bombetes incandescent per matrius de LED de colors.



**Figura 3.6-4 Semàfor LED**

Els avantatges que aporten els semàfors LED respecte als que empen bombetes incandescentos o halògenes han estat la reducció del consum elèctric a la vegada que n'augmentava molt significativament el temps de vida no només per la superior durabilitat dels LED respecte les bombetes incandescentos sinó la vida útil d'aquestes últimes es veia reduïda a causa de la fatiga tèrmica en el filament.

A més a més, les lluminàries dels semàfors LED proporcionen major visibilitat, mentre que si alguns LED de la matriu deixen de funcionar o disminueix la seva lluminositat, el semàfor pot continuar funcionant gràcies als altres LED de la matriu.

Per últim, una altra aplicació que cada vegada és més comuna en l'enllumenat ornamental i decoratiu són els focus LED (Figura 3.6-5), utilitzant-se en tota classe d'efectes en pistes de ball, concerts i fonts d'aigua il·luminades.



Figura 3.6-5 Focus LED decoratiu

A la indústria, un dels usos que estan tenint els LED de colors es dona en màquines de visió artificial, on es requereix una llum brillant, enfocada i homogènia.

### 3.6.3 LED ultraviolats

Un dels usos ja comentats a l'apartat 3.3.1 dels LED ultraviolats són les seves aplicacions germicides, desinfectants i esterilitzadores. Fins i tot poden arribar a substituir les làmpades fluorescents de raigs ultraviolats que s'apliquen en l'àmbit mèdic, ja sigui per a la cura de malalties (fototeràpia) com per a la medicina estètica.

### 3.6.4 LED blancs

Tal i com s'ha exposat als apartats 3.4 i 3.5, els desenvolupaments recents per millorar l'eficiència lluminosa dels LED, propiciats sobretot per l'afany d'obtenir llum blanca de qualitat acceptable a preus competitius, han fet que avui dia sigui possible substituir una bombeta halògena per LED bàsicament en l'àmbit domèstic.

L'augment de la intensitat lluminosa per la mateixa potència elèctrica fa que els LED de llum blanca siguin econòmicament rentables per la seva aplicació en l'àmbit industrial i comercial, tot i que encara queda molt camí per recórrer i substituir definitivament les bombetes halògenes i les làmpades fluorescents.

Avui en dia es poden trobar làmpades LED de baixa potència, útils per a la il·luminació d'espais petits o per decoració, conservant les antigues lluminàries i sense haver de realitzar noves instal·lacions (Figura 3.6-6). Cada vegada és més usual trobar la mateixa tipologia de làmpades però que fan servir LED d'alta lluminositat.



**Figura 3.6-6 Substitució LED per halògena dicroica i E27**

Un altre dels camps d'aplicació dels LED ha estat sens dubte el de l'automoció (37). Recentment, molts fabricants estan apostant clarament pels indicadors, pilots i fars LED, buscant un augment significatiu de la visibilitat i una disminució del consum energètic en els vehicles. El cas pioner en l'ús de LED blancs ha estat AUDI AG., incorporant LED per a la il·luminació diürna en les lluminàries dels fars de forma totalment integrada amb el vehicle (Figura 3.6-7).



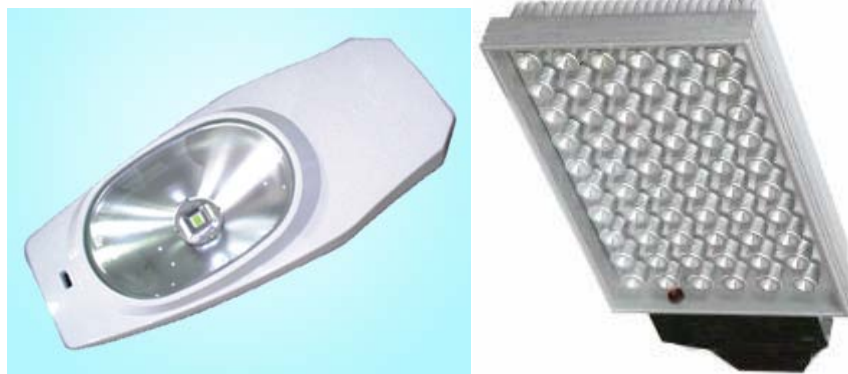
**Figura 3.6-7 Luminàries LED en un vehicle AUDI**

No només es fan servir els LED blancs en els automòbils, sinó que cada vegada és més usual trobar els pilots (indicadors de direcció, llums de posició, frens, etc.) basats en LED de colors (Figura 3.6-8).



**Figura 3.6-8 Pilots LED**

Per últim, una darrera aplicació cada vegada més present al mercat és la de l'enllumenat públic. L'afany de trobar un substitut eficient, durable i no contaminant per les làmpades de descàrrega d'alta intensitat (HID) fa que els desenvolupaments en matèria de llum blanca d'alta intensitat i d'alta lluminositat es centrin en l'enllumenat dels carrers.



**Figura 3.6-9 Luminàries LED**



A més a més, un dels avantatges clau de les làmpades LED és la direccionalitat del flux lluminós (Figura 3.6-9), actualment un problema molt regulat per la legislació (38) degut a l'excés de contaminació lluminosa a causa de lluminàries poc eficients.

D'altra banda, un dels majors problemes que tenen les lluminàries LED per a l'enllumenat públic és l'escalfor. A l'apartat 3.4.3 ja s'ha aprofundit en aquest tema, però molts dels esforços en recerca i desenvolupament per a la incorporació dels LED en l'enllumenat es centren en la gestió de l'escalfor, no només intentant millorar les qualitats físiques de la unió per disminuir les recombinacions que no produeixen llum, sinó en augmentar la transferència d'escalfor de la unió cap a l'exterior d'una forma eficient.

A la Figura 3.6-10 es poden observar diferents tipus de lluminàries LED per a exteriors les quals incorporen en la seva part posterior radiadors d'alumini, per millorar la transferència d'escalfor cap a fora del dispositiu.



**Figura 3.6-10 Radiadors d'alumini en lluminàries LED**



### 3.7 EI LED avui

Actualment, molts governs d'arreu del món estan prenent decisions en polítiques energètiques pel què fa a l'enllumenat, i és que l'amenaça del canvi climàtic amb l'esgotament dels residus fòssils ha propiciat un augment del preu de les energies.

Aquestes polítiques econòmiques animen a la població a deixar de comprar bombetes incandescents o halògenes (39), substituint-les per làmpades fluorescent compactes (CFL, *Compact Fluorescent Light*) (Figura 3.7-1) fins al punt d'arribar-les a subvencionar per tal d'estalviar el màxim d'energia possible, justificant-ho com una mesura per evitar les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera, a la vegada que aquestes tenen una major vida útil respecte les incandescents.



Figura 3.7-1 CFL, *Compact Fluorescent Light*

Malauradament, val a dir que les làmpades fluorescentes estan fabricades amb components químics, com el mercuri, que les fan molt més contaminants que les làmpades incandescents o halògenes, però aquest és un fet que sembla no prendre tanta importància com l'eficiència energètica.

Tot i així, les mesures preses tenen sentit per l'estalvi imminent d'energia que prometen. Actualment hi ha uns 12.000 milions de bombetes incandescents en tot el món que consumeixen 2 bilions de kilowatts hora anuals, 1/8 del total de l'energia elèctrica consumida. Aquest fet ha estat propiciat pel relatiu baix preu d'il·luminar una estància, 10.000 cops més barat que a principis del segle XX.

La tecnologia fluorescent data de l'any 1938, quan va ser introduïda per General Electric. D'altra banda, els LED van ser inventats el 1962 i introduïts el 1968, però no van prendre certa presència al mercat fins als anys 80. Així doncs, la tecnologia que més està evolucionant és aquesta última, apropant-se cada vegada més, sinó avançant, a l'eficiència de les làmpades fluorescentes.

En aquests moments, el sector dels LED factura 4.000 milions de dòlars anualment, tot i que no estan popularment acceptades per la població pel mateix motiu que les CFL: la qualitat de la llum. De tota manera, els fabricants ja han pres mesures per superar aquest problema, intentant fabricar llums LED amb un índex de reproducció cromàtica (CRI) superior. Un exemple és el de Cree, Inc., un dels fabricants més grans en el mercat dels LED, que ha llançat una làmpada de 12W amb un CRI de 92 (Figura 3.7-2) (el CRI d'una bombeta incandescent és 100) mentre que el d'una CFL és de 80, amb la mateixa intensitat lluminosa que una bombeta incandescent de 60W però amb una cinquena part del seu consum.



**Figura 3.7-2 Làmpada LED de CREE, Inc.**

Així doncs, Cree, Inc. és un dels fabricants líder en el mercat dels LED que inverteix tot el seu capital en aquesta tecnologia, mentre que GE i Siemens (propietari de Osram Opto Semiconductors i de Osram Sylvania) hi dediquen una part de la seva activitat.

L'altre gran nom en aquest mercat és Royal Philips Electronics, el número 1 de l'enllumenat a nivell mundial. Amb una quarta part de les seves ventes en il·luminació, aquesta empresa està prenent força importància en el mercat dels LED després de les darreres compres de Hewlett-Packard/Agilent Lumileds l'any 2005 i de l'absorció de Color Kinetics el 2006 per 791 milions de dòlars.

Les previsions diuen que en menys de 4 anys el mercat dels LED superarà els 12.000 milions de dòlars en vendes, així que si la llei de Haitz es continua complint, els governs insisteixen en prohibir la bombeta incandescent i les energies renovables augmenten el seu rendiment a la vegada que baixa el seu cost, els LED s'imposaran d'una manera impossible de preveure, probablement sorprenent.

### 3.7.1 Avantatges i inconvenients

Per finalitzar aquest capítol, s'ha cregut necessari incloure un apartat de resum dels avantatges i inconvenients de la tecnologia LED en comparació amb les altres tecnologies d'enllumenat actuals.

#### **Avantatges**

- Eficiència: com s'ha comentat a l'apartat 3.4, actualment l'eficiència de les làmpades LED ja supera la de les bombetes incandescents i fluorescents.
- Durabilitat: a l'apartat 3.4.4 es comentava que, mentre una làmpada incandescent no passa de les 1.000 hores de funcionament o una fluorescent de les 8.000, la tecnologia LED està dissenyada actualment per a durar més de 50.000 hores.
- Robustesa mecànica: al tractar-se de dispositius d'estat sòlid, els LED no tenen components relativament fràgils o mòbils, fent-los més immunes als cops i a les caigudes.
- Direccionalitat: a l'apartat 3.6.4 ja s'ha enunciat que un dels avantatges que tenen els LED respecte a altres fonts de llum és la seva direccionalitat, fent-los aptes per il·luminació arquitectural, decorativa i exterior.
- Colors: els LED poden estar fabricats per emetre íntegrament un color en concret, mentre que altres làmpades necessiten un filtre, que disminueix la seva eficiència.
- Temps de cicle: al tractar-se de dispositius semiconductors, els períodes d'encesa i d'apagada no són un problema per als LED, fent-los molt útils en telecomunicacions i immunes a les regulacions per amplada de pols, mentre que les làmpades fluorescents es deterioren més ràpidament amb les enceses i les apagades que amb el funcionament normal.
- Toxicitat: al contrari que les làmpades fluorescents, els LED no tenen mercuri.
- Emissió 100% visible: al contrari que les làmpades incandescents i la majoria de les fluorescents, els LED poden estar dissenyats per emetre només en l'espectre visible, sense emissió de raigs UV o IR.

#### **Inconvenients**

- Cost: tenint en compte el preu de mercat, el preu per lumen encara és elevat en comparació amb les làmpades fluorescents, HID o incandescents, tot i que s'està millorant dia a dia.

- Dependència de la temperatura: encara que la tecnologia LED produeix menys escalfor que altres tecnologies, és necessari estudiar i adaptar les lluminàries per evitar el sobreescalfament de la part activa.
- Índex de reproducció cromàtica: els IRC dels LED d'alta lluminositat encara estan força lluny de la referència d'una bombeta incandescent, tot i que amb els LED RGB és força més elevat.
- Electrònica addicional: de forma similar que amb les làmpades de descàrrega d'alta intensitat, que necessiten un balast per poder funcionar, els LED han de ser controlats mitjançant una part d'electrònica que reguli la intensitat adequadament.
- Perillositat de la llum blava: els LED blaus causen trastorns en el comportament humà, sobretot en la visió escotòpica (Apartat 2.3.1, visió en condicions de poca llum), degut a un augment de la sensibilitat de la vista cap a la llum blava.

## 4. Cas d'estudi

*Estudi de la Tecnologia LED aplicada a l'enllumenat* pretén ser un projecte de recerca d'enginyeria, proporcionant una base conceptual i tecnològica de la radiació òptica i aprofundint en tot allò que té a veure amb la tecnologia LED.

Anteriorment s'han comentat diferents aspectes, avantatges i inconvenients de la il·luminació per LED però el que finalment decideix si s'implanta un sistema LED a mitjana o gran escala és, sens dubte, la seva rendibilitat.

És per això que el capítol 4 està dedicat a un anàlisi d'implantació d'un cas real, com pot ser l'enllumenat públic d'una població de Catalunya.

### 4.1 L'enllumenat públic de Navàs

#### 4.1.1 Antecedents

Prenent com a referència un projecte anterior, *Millora de l'eficiència energètica de l'enllumenat públic de Navàs* (40), el qual va ser un projecte final de carrera objecte de l'estudi de l'enllumenat públic de Navàs (Apartat 4.1.2) i en el que es va fer una recol·lecció de dades completa de les seves instal·lacions i es va redactar un projecte i un pressupost per a l'adaptació de les mateixes a la legislació actual eliminant els elements contaminants, augmentant-ne d'aquesta manera la seva eficiència.

Aquest anterior estudi, a banda d'intentar adaptar les instal·lacions d'enllumenat a la legislació, pretenia la millora de l'eficiència eliminant l'energia reactiva mitjançant bateries de condensadors, optimitzar els períodes d'encesa i d'apagada a través de rellotges astronòmics i substituint les làmpades de vapor de mercuri per unes altres de vapor de sodi a alta pressió. En concret, per a la realització d'aquest estudi, s'aprofitaran les dades recollides (apartat 4.3) per elaborar un pla de substitució per làmpades LED (apartat 4.4) que millori l'eficiència de l'enllumenat públic d'aquest poble.

#### 4.1.2 Situació i emplaçament

Navàs és una població de 6.243 habitants (41) emplaçada a la Catalunya Central, a l'extrem nord de la comarca del Bages (Plànol 1), en un municipi de 80,60km<sup>2</sup> (Plànol 2) a una alçada de 365m per sobre el nivell del mar.

## 4.2 Legislació

Un dels objectius del projecte anteriorment descrit era la reducció de la contaminació lluminosa d'acord amb la legislació actual (38) (Annex A), substituint les lluminàries que emetien més del 15% del flux lluminós de la làmpada cap a l'hemisferi superior (FHS) ja que, segons el mapa de la protecció envers la contaminació lluminosa a Catalunya (42) (Plànol 3), Navàs pertany a la Zona E3 (àrees incloses en àmbits territorials que admeten una lluentor mitjana) i, per tant, cap dels seus punts de llum pot tenir un FHS superior al 15%.

A la Taula 4.2-1 apareix un resum dels tipus de FHS que hi ha catalogats, les zones on determinades làmpades complirien la normativa i alguns exemples.

| Tipus | Descripció   | FHS                       | Zona                | Exemples  |
|-------|--|---------------------------|---------------------|---|
| 1     | Boles sense protecció i similars                                   | $> 25$ FHS                | No apta             |     |
| 2     | Ornamentals amb protecció mínima i similars                        | $15 < \text{FHS} \leq 25$ | No apta E3, E4      |   |
| 3     | Ornamentals, globus amb reflector, llumeneres sense cubeta         | $5 < \text{FHS} \leq 15$  | E3                  |  |
| 4     | Asimètriques amb cubeta esfèrica, ornamentals amb reflector intern | $1 < \text{FHS} \leq 5$   | E2 en horari vespre |   |
| 5     | Asimètriques amb vidre pla   | $\text{FHS} < 1$          | E1, E2              |   |
| 6     | Projectors   | Segons orientació         | Segons orientació   |   |

Taula 4.2-1 Tipus de FHS

Pel què fa a l'abast d'aquest estudi, com que el cas real contemplarà la instal·lació de làmpades LED integrades amb la seva lluminària, caldrà escollir adequadament aquests projectors per tal de complir la normativa vigent.

### 4.3 Recol·lecció de dades

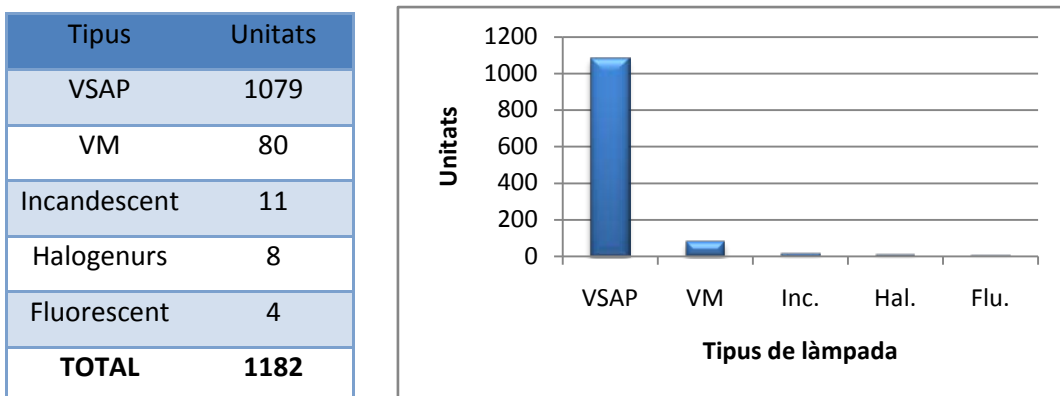
Abans de procedir a l'estudi econòmic, es fa necessària una recol·lecció de dades dels punts de llum instal·lats a la població de Navàs amb totes les característiques necessàries (situació, tipus de lluminària, tipus de làmpada, potència instal·lada) així com de la facturació anual, per tal de fer una estimació de l'estalvi obtingut amb la substitució de les lluminàries actuals per LED.

#### 4.3.1 Instal·lacions

L'enllumenat públic de Navàs està distribuït en 12 zones, cadascuna de les quals està controlada per un quadre de comandament i maniobra connectat a la xarxa elèctrica pública, amb característiques de control, potència i facturació independents. Al Plànol 4 es pot observar aquesta distribució, amb els carrers acolorits de tal manera que es pugui diferenciar la zona i amb indicadors numèrics que assenyalen l'emplaçament real dels quadres de comandament i maniobra.

Pel què fa als punts de llum, el Plànol 5 mostra la distribució de totes les lluminàries instal·lades, diferenciant entre aquelles que compleixen la normativa (indicadors blaus) amb aquelles que el seu FHS és superior al 15% (indicadors vermells).

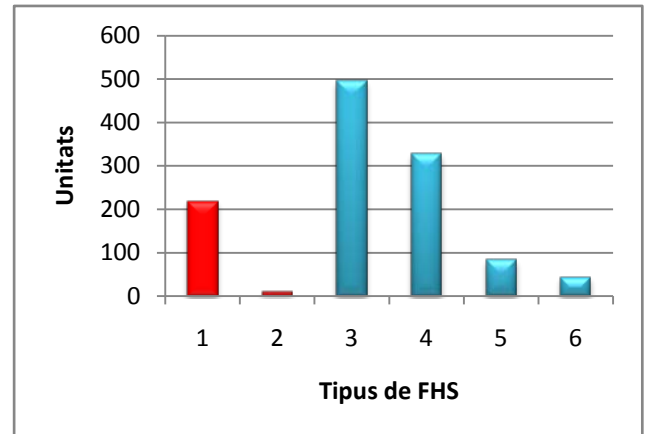
A l'Annex B apareixen les taules dels punts de llum instal·lats en tota la població, distribuïts en els 12 quadres de maniobra i amb les característiques següents: carrer, unitats, suport, tipus de FHS, tipus de làmpada i potència. A la Taula 4.3-1 es pot observar el resum de l'Annex B en funció del tipus de làmpada i a la Taula 4.3-2 en funció del tipus de FHS de la lluminària.



Taula 4.3-1 Punts de llum en funció del tipus de làmpada

On: VSAP: Vapor de Sodi a Alta Pressió  
VM: Vapor de Mercuri

| Tipus FHS    | Unitats     | FHS               |
|--------------|-------------|-------------------|
| 1            | 219         | > 25 FHS          |
| 2            | 10          | 15 < FHS ≤ 25     |
| 3            | 497         | 5 < FHS ≤ 15      |
| 4            | 329         | 1 < FHS ≤ 5       |
| 5            | 84          | FHS < 1           |
| 6            | 43          | Segons orientació |
| <b>TOTAL</b> | <b>1182</b> |                   |



Taula 4.3-2 Punts de llum en funció del FHS

S'observa, de la Taula 4.3-1, que la majoria (un 91,2%) de les làmpades instal·lades són de Vapor de Sodi a Alta Pressió, però les conclusions que es podrien extreure de la Taula 4.3-2 és que 229 lluminàries (un 19,4%) han de ser substituïdes per lluminàries o projectors que compleixin la legislació vigent.

#### 4.3.2 Facturació

Per tal de poder fer una comparativa acurada entre el consum elèctric actual i el consum futur si s'utilitzessin làmpades LED, serà necessària l'obtenció de la facturació de tots els contractes de l'enllumenat de Navàs. A través de les dades proporcionades per l'Ajuntament de Navàs, la relació de les tarifes contractades amb els corresponents quadres de maniobra apareix a la Taula 4.3-3.

| Quadre | Carrer               | Tarifa |
|--------|----------------------|--------|
| 1      | Font de la Ventaiola | 3.0.1  |
| 2      | Cardener             | 3.0.1  |
| 3      | Germans Arnalot      | 3.0.2  |
| 4      | Alcalde Serra        | 2.0.3  |
| 5      | Alcalde Serra        | 3.0.1  |
| 6      | Pavelló Nou          | 2.0.3  |
| 7      | Castelladral         | 2.0.3  |
| 8      | Pg. Ramon Vall       | 3.0.2  |
| 9      | Lleida               | 2.0.2  |
| 10     | Pç. de l'Ajuntament  | 3.0.2  |
| 11     | Verge de Montserrat  | 3.0.1  |
| 12     | Ctra. de Gaià        | 2.0.2  |

Taula 4.3-3 Tarifa contractada per número de quadre de maniobra



A més a més, s'ha obtingut la facturació anual d'un dels contractes, concretament el que correspon al quadre de comandament i maniobra número 11 (C/ Verge de Montserrat), des de l'Abril de 2007 fins al Març del 2008, tenint en compte que la discriminació horària es va contractar a partir del Juliol de 2008 (Taula 4.3-4).

| Mes   | G    | F    | M    | A    | M    | J    | J    | A    | S    | O    | N    | D     |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Punta | 1148 | 1048 | 784  |      |      |      | 200  | 300  | 746  | 1530 | 1330 | 3497  |
| Vall  | 4316 | 4600 | 4217 |      |      |      | 1800 | 2200 | 3802 | 5433 | 4881 | 10214 |
| TOTAL | 5464 | 5648 | 5001 | 3840 | 2687 | 2100 | 2000 | 2500 | 4548 | 6963 | 6211 | 13711 |

Taula 4.3-4 Consum quadre núm.11, anys 2007-2008 (kWh)

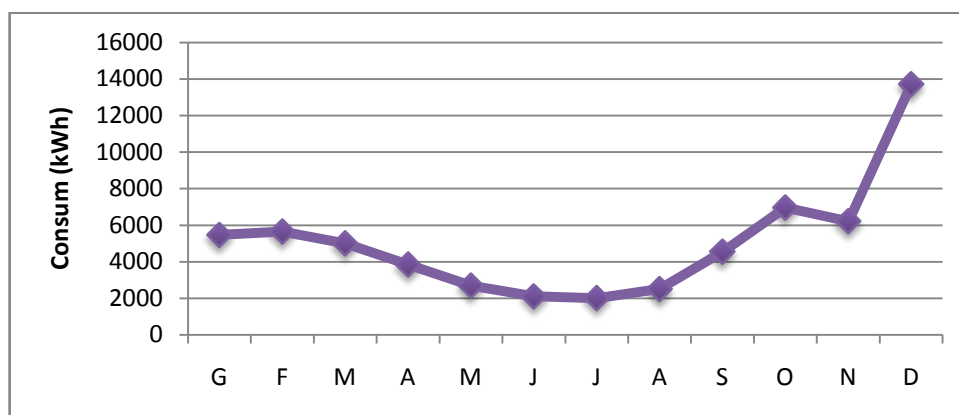


Figura 4.3-1 Consum mensual total quadre núm. 11, anys 2007-2008

S'observa, de les dades anteriors, que el consum segueix aproximadament la distribució de les hores nocturnes per cada mes de l'any, exceptuant el Desembre, on es duplica a causa del funcionament de l'enllumenat ornamental de Nadal.

Les dades de la Taula 4.3-4 cal complementar-les amb, com a mínim, la facturació d'un mes qualsevol per a tots els altres contractes, de manera que es pugui extrapolar la informació i obtenir així el consum anual de tota la instal·lació d'enllumenat públic. A la Taula 4.3-5 apareix la relació del consum de tots els quadres del mes de Febrer de 2008. Com a informació addicional, s'hi inclou la lectura del maxímetre, que la companyia elèctrica utilitza per bonificar o penalitzar la diferència entre la potència contractada i la potència màxima consumida.

| Quadre       | Potència Instal·lada (kW) | Potència Contractada (kW) | Maxímetre (kW) | Potència Consumida (kWh) |        |        |        | E.Reactiva (kVArh) |
|--------------|---------------------------|---------------------------|----------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------------------|
|              |                           |                           |                | PLA                      | PUNTA  | VALL   | TOTAL  |                    |
| 1            | 8,55                      | 17,321                    | 8              |                          | 347    | 1.548  | 1.895  |                    |
| 2            | 7,644                     | 13,856                    | 9              |                          | 607    | 2.769  | 3.376  |                    |
| 3            | 7,595                     | 20,786                    | 7              | 155                      | 626    | 1.783  | 2.564  | 4.405              |
| 4            | 5,46                      | 5,196                     | 6              |                          | 463    | 2.045  | 2.508  |                    |
| 5            | 10,25                     | 13,856                    | 12             |                          | 861    | 3.011  | 3.872  |                    |
| 6            | 12,63                     | 5,196                     | 0              |                          | 1.225  | 3.368  | 4.593  |                    |
| 7            | 9,175                     | 5,196                     | 14             |                          | 999    | 3.944  | 4.943  |                    |
| 8            | 26,29                     | 50                        | 33             | 0                        | 3.634  | 6.592  | 10.226 | 13.549             |
| 9            | 2,7                       | 4                         | 3              |                          | 212    | 979    | 1.191  |                    |
| 10           | 30,731                    | 23,62                     | 37             | 859                      | 3.297  | 9.487  | 13.643 | 20.016             |
| 11           | 13,684                    | 13,856                    | 21             |                          | 1.048  | 4.600  | 5.648  |                    |
| 12           | 2,55                      | 4                         | 3              |                          | 201    | 900    | 1.101  |                    |
| <b>TOTAL</b> | 137,259                   |                           |                | 1.014                    | 13.520 | 41.026 | 55.560 |                    |

**Taula 4.3-5 Consum Febrer 2008**

Així doncs, aquí finalitza la fase de recollida d'informació. En aquest punt ja es disposa de totes les dades necessàries per fer l'estudi d'aplicació al cas real.

## 4.4 Anàlisi de viabilitat tècnica

### 4.4.1 Consideracions

En l'estudi de viabilitat tècnica per al canvi d'antigues lluminàries i equips s'han de tenir en compte certes consideracions per a fer possible l'aplicació:

- **Tensió:** actualment, tots els punts de llum de les instal·lacions de Navàs estan connectats equitativament a línies trifàsiques de 400V, de manera que la tensió d'alimentació a cada punt de llum es preveu que sigui de 230V.
- **Support:** és necessari conèixer el suport on anirà la nova lluminària, doncs el suport pot ser del tipus subjectat a la paret o bé del tipus columna, de manera que la lluminària haurà d'adaptar-s'hi adequadament.
- **Flux lluminós:** el canvi de lluminàries ha de garantir la bona il·luminació de la zona, de manera que no comprometi la seguretat però tampoc es desaprofiti l'energia calculada. Actualment, la potència de les làmpades instal·lades està calculada segons l'alçada de la lluminària i la densitat de punts de llum, de manera que s'intentarà substituir-les per lluminàries amb fluxos similars.
- **Qualitat de la llum:** la millora de l'índex de reproducció cromàtica (IRC) no és l'objecte d'aquesta aplicació, però val a dir que qualsevol làmpada LED blanca té un IRC major que una de vapor de sodi a alta pressió i un IRC similar a les làmpades de vapor de mercuri.
- **FHS:** el flux lluminós cap a l'hemisferi superior és el criteri clau a l'hora de realitzar la substitució de lluminàries, doncs serà necessari que les noves tinguin un FHS inferior al 15%. Com s'ha comentat en l'apartat 3.7.1, els LED tenen l'avantatge que es poden fabricar per que la llum emesa sigui molt o poc direccional, de manera que la major part de lluminàries per exteriors que es troben al mercat són suficientment direccionals com per que en cap cas superin el 1% de FHS.

### 4.4.2 Pla d'implantació

Un pla d'implantació d'un nou sistema d'enllumenat a nivell de població hauria de ser gradual, per tal d'evitar afrontar una gran inversió no assumible per la majoria d'ajuntaments. És per aquest motiu que l'objecte d'aquesta aplicació no tindria sentit que fos un pla de substitució de totes les làmpades de la població, sinó únicament d'una determinada part, a decidir, del conjunt de l'enllumenat de Navàs.

Tenint en ment la legislació que s'està aplicant en aquest sector i de les circumstàncies actuals, és d'esperar que un bon pla d'implantació sigui el de la

substitució de totes aquelles lluminàries que ja no són aptes (un 20% del total) per làmpades LED, molt més eficients i adaptades a la legislació vigent.

Així doncs, a la Taula 4.4-1 apareix la relació de punts de llum amb un FHS és superior al 15% i que, per tant, han de ser substituïts:

| Quadre | Carrer              | Unitats | Suport    | FHS | Tipus | Potència (W) |
|--------|---------------------|---------|-----------|-----|-------|--------------|
| 4      | Jardins             | 3       | Columna   | 1   | VSAP  | 70           |
| 5      | Camp de Futbol      | 14      | Columna   | 1   | VSAP  | 100          |
| 6      | Pavelló Nou         | 16      | Columna   | 1   | VSAP  | 100          |
| 7      | Jardins             | 2       | Columna   | 1   | VSAP  | 100          |
| 8      | Bruc                | 7       | Columna   | 1   | VSAP  | 70           |
| 10     | Pg. Ramon Vall      | 112     | Columna   | 1   | VSAP  | 100          |
|        | Puig-Reig           | 9       | Columna   | 1   | VSAP  | 70           |
|        | Camí                | 6       | Columna   | 1   | VSAP  | 70           |
|        | Jardins             | 3       | Columna   | 1   | VSAP  | 70           |
|        | Joan Pascual        | 1       | Columna   | 1   | VSAP  | 70           |
|        | L'Alzineta          | 6       | Columna   | 1   | VSAP  | 70           |
|        | Escola Bressol      | 10      | Columna   | 2   | VSAP  | 70           |
|        | Pau Duarri          | 2       | Columna   | 1   | VSAP  | 70           |
|        | Pç. de l'Ajuntament | 2       | Braç      | 1   | VSAP  | 150          |
|        | Pç. de l'Ajuntament | 16      | Columna   | 1   | VM    | 250          |
| 12     | Plaça de l'Església | 8       | Columna   | 1   | VSAP  | 70           |
|        | Ptge. Pau Duarri    | 3       | Columna   | 1   | VSAP  | 70           |
|        | Plaça del CAP       | 5       | Ambiental | 1   | Inc.  | 40           |
|        | Llevant             | 4       | Columna   | 1   | VSAP  | 150          |

Taula 4.4-1 Punts de llum amb FHS>15%

D'aquesta manera, es preveu la substitució d'un total de 229 punts de llum, 7 del tipus braç i 222 del tipus columna.

#### 4.4.3 Elecció de les noves làmpades i lluminàries

Per poder realitzar una correcta substitució atenent a les consideracions de l'apartat 4.4.1, cal que el flux lluminós que tinguin les noves làmpades més direccionals sigui força similar al flux que realment s'aprofita de les que actualment hi ha instal·lades.

Per poder saber la direccionalitat del flux lluminós produït per les làmpades de vapor de sodi a alta pressió, és indispensable conèixer quin tipus de lluminària té cada punt de llum. En aquest cas, a excepció de les deu lluminàries de l'escola bressol, que són del tipus ornamental amb protecció mínima (FHS tipus 2), totes les altres són del tipus globus o bola (FHS tipus 1), on més de la meitat del flux generat es perd per l'hemisferi superior.

Així doncs, caldrà estudiar detingudament aquests dos casos per tal de trobar l'equivalència en làmpades LED.

- Luminàries ornamentals amb reflector (FHS tipus 2)

El flux cap a l'hemisferi superior (FHS) d'aquest tipus de lluminàries (Figura 4.4-1) és entre un 5 i un 15%, tot i que es pot veure gràficament quin és el patró d'emissió que segueixen aquestes lluminàries (Figura 4.4-2).



Figura 4.4-1 Luminàries ornamentals amb reflector

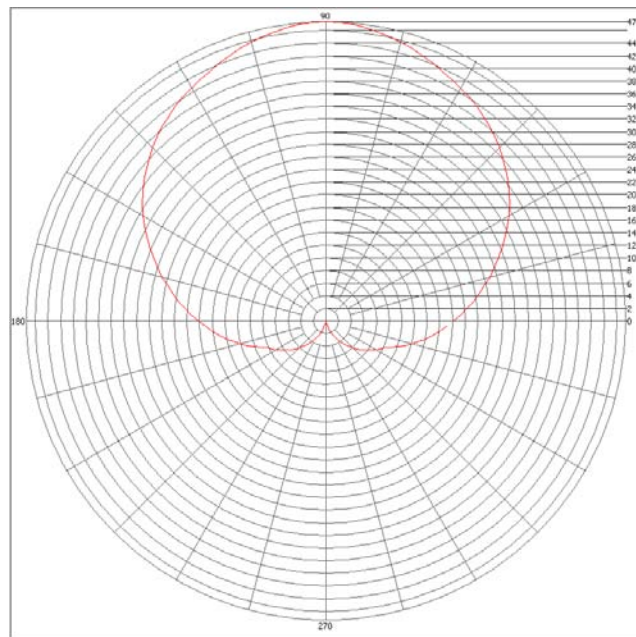
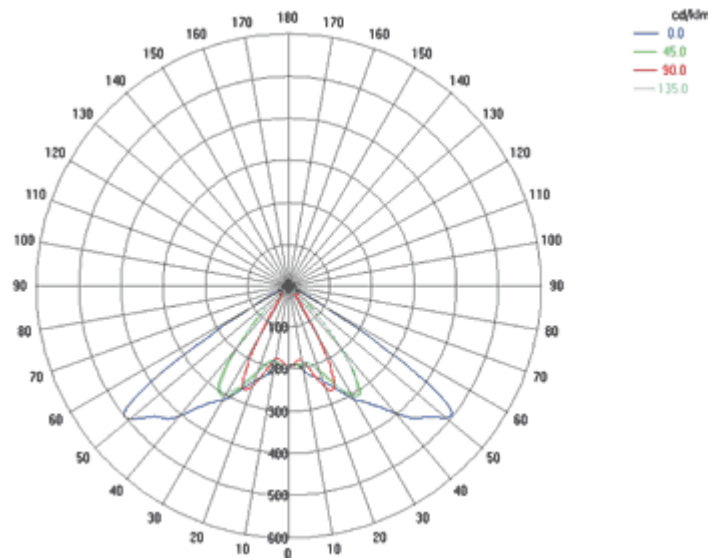


Figura 4.4-2 Patró d'emissió angular d'una lluminària ornamental amb reflector

Tenint en compte que a la realitat el patró d'emissió està verticalment invertit, una petita part del flux emès es perd. Tot i així, cal considerar la intensitat lluminosa que s'està produint, que en el cas de les bombetes VSAP de 70W equivaldria a uns 6.300lm (43). En aquest cas, s'ha estimat que entre 5.300 i 6.000lm es projecten en un angle de 180°.

A l'hora de buscar una possible làmpada LED que substitueixi les actuals de VSAP que hi ha instal·lades, també caldrà analitzar el patró d'emissió d'aquesta.

Una bona elecció poden ser les làmpades que comercialitza a Europa Joliet Technology, S.L. (Fulls de característiques a l'Annex C), les quals el patró d'emissió del flux lluminós es pot observar a la Figura 4.4-3 on, en funció de l'angle longitudinal partint de la normal a la làmpada, queden representades diferents corbes.



**Figura 4.4-3 Patró d'emissió angular de les làmpades Joliet LED Streetlight**

Segons les especificacions del fabricant, el flux total emès està comprès dins un angle de  $120^\circ$ , de manera que cal buscar l'equivalència de flux lluminós tenint en compte aquest angle.

Com que la corba de distribució del flux de la lluminària ornamental anterior és pràcticament esfèrica, es pot aproximar que, en un angle de  $120^\circ$  s'estarien aprofitant unes 2/3 parts del flux total emès que, amb una làmpada de 70W i de 6.300lm, s'estaria parlant d'uns 4.200lm. La resta de flux que la làmpada actual emet en una direcció molt horitzontal, fora dels  $120^\circ$ , es pot considerar que no s'aprofita tant, ja que s'escampa més per l'espai, abans d'arribar a il·luminar objectes del terra, i que per tant és un flux que no és necessari, tenint en compte la distància entre làmpades que hi ha instal·lades en la població.

Així doncs, el model JOL2 de Joliet (Figura 4.4-4) satisfà aquestes condicions, emetent 5.000lm de flux inicial dins un angle transversal de  $120^\circ$  i  $45^\circ$  d'angle longitudinal.





Figura 4.4-4 Joliet JOL2 75W

- Lluminières ornamentals tipus globus o bola (FHS tipus 1)

En el cas de les lluminàries tipus bola (Figura 4.4-5), estan catalogades amb un FHS del tipus 1, però es pot comprovar que el FHS supera de bon tros el 15%, arribant a xifres superiors al 50%. Aquest fet es posa de manifest a la Figura 4.4-6.



Figura 4.4-5 Lluminières tipus bola o globus

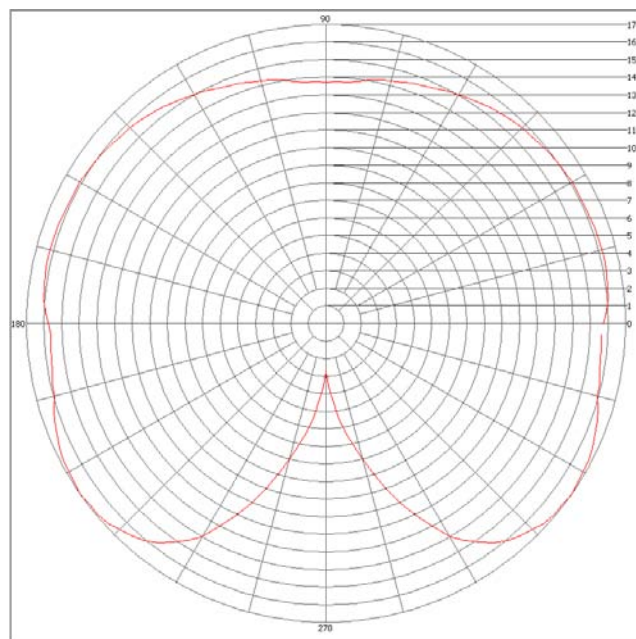


Figura 4.4-6 Patró d'emissió angular d'una lluminària tipus globus

Com que les lluminàries tipus bola instal·lades estan sobre un suport del tipus columna, la figura anterior està correctament situada, on es comprova que a la part del casquet de la làmpada que, a més, hi ha la columna, no hi ha flux lluminós. D'aquesta figura també podem extreure que més del 50% del flux total emès es perd cap a l'hemisferi superior, fent que la part útil de flux emès entre els 120° i 150° correspongui a menys de 1/3 del flux total emès.

Així doncs, a través de l'afirmació anterior, es pot construir una taula (Taula 4.4-2) amb les diferents potències que tenen les làmpades VSAP instal·lades actualment i el flux útil que correspondria a 1/3 part del flux total emès, així com la làmpada LED que es podria utilitzar en cada cas.

| Potència (W) | Flux total (lm) | Flux útil (lm) | Làmpada LED recomanada      | Flux útil (lm) | Potència (W)    |
|--------------|-----------------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------|
| <b>70</b>    | 6.300           | 2.100          | Joliet JOL28 (Figura 4.4-7) | 2.100          | <b>28</b>       |
| <b>100</b>   | 9.500           | 3.200          | Joliet JOL2 (Figura 4.4-4)  | 4.200          | <b>75</b>       |
| <b>150</b>   | 15.800          | 5.300          | Joliet JOL2 o JOL4          | 4.200 ó 8.400  | <b>75 ó 150</b> |
| <b>250</b>   | 28.000          | 9.300          | Joliet JOL4 (Figura 4.4-8)  | 8.400          | <b>150</b>      |

Taula 4.4-2 Comparativa VSAP - LED en lluminària tipus bola



Figura 4.4-7 Joliet JOL28 28W





**Figura 4.4-8 Joliet JOL4 150W**

En el cas de les làmpades VSAP de 150W i 250W, la millor solució és l'elecció del flux immediatament inferior, ja que si s'agafa la làmpada LED amb el flux superior, aquest és molt més gran del que hi ha actualment instal·lat, i s'estaria desaprofitant una bona part de l'energia consumida. Val a dir que la pèrdua de flux és força petita, al voltant del 15%.

En el cas de les làmpades del Pg. Ramon Vall, un total de 112 punts de llum, degut al seu caire ornamental i la proximitat dels uns amb els altres, el més econòmic i rentable serà la utilització de les làmpades amb el flux immediatament inferior, és a dir, les de 28W. Cal remarcar que la potència consumida de les làmpades LED ja inclou el consum dels equips electrònics (al voltant d'un 17% del consum total).

La majoria de les lluminàries de la Taula 4.4-1 són del tipus columna amb una bola al seu extrem, de manera que caldrà realitzar una adaptació de la lluminària. En aquests casos, serà necessària la utilització d'un suport especial per a columnes.

Així doncs, ja es pot elaborar la taula de substitució de lluminàries (Taula 4.4-3) on es podrà veure, entre altres coses, la potència instal·lada anterior i la seva equivalència amb làmpades LED.

| Quadre       | Carrer              | Unitats    | FHS | Potència (W)  | Potència Nova(W) | FHS nou |
|--------------|---------------------|------------|-----|---------------|------------------|---------|
| 4            | Jardins             | 3          | 1   | 70            | 28               | 5       |
| 5            | Camp de Futbol      | 14         | 1   | 100           | 75               | 5       |
| 6            | Pavelló Nou         | 16         | 1   | 100           | 75               | 5       |
| 7            | Jardins             | 2          | 1   | 100           | 75               | 5       |
| 8            | Bruc                | 7          | 1   | 70            | 28               | 5       |
|              | Pg. Ramon Vall      | 112        | 1   | 100           | 75               | 5       |
|              | Puig-Reig           | 9          | 1   | 70            | 28               | 5       |
| 10           | Camí                | 6          | 1   | 70            | 28               | 5       |
|              | Jardins             | 3          | 1   | 70            | 28               | 5       |
|              | Joan Pascual        | 1          | 1   | 70            | 28               | 5       |
|              | L'Alzineta          | 6          | 1   | 70            | 28               | 5       |
|              | Escola Bressol      | 10         | 2   | 70            | 28               | 5       |
|              | Pau Duarri          | 2          | 1   | 70            | 28               | 5       |
|              | Pç. de l'Ajuntament | 2          | 1   | 150           | 75               | 5       |
|              | Pç. de l'Ajuntament | 16         | 1   | 250           | 150              | 5       |
|              | Plaça de l'Església | 8          | 1   | 70            | 28               | 5       |
|              | Ptge. Pau Duarri    | 3          | 1   | 70            | 28               | 5       |
|              | Plaça del CAP       | 5          | 1   | 40            | 28               | 5       |
| 12           | Llevant             | 4          | 1   | 150           | 75               | 5       |
| <b>TOTAL</b> |                     | <b>229</b> |     | <b>23.710</b> | <b>10.150</b>    |         |

Taula 4.4-3 Substitució de Il·luminàries

La darrera línia de la Taula 4.4-3 permet veure que l'estalvi energètic és considerable (una reducció del 57%), de manera que la major eficiència de les il·luminàries LED davant les VSAP queda força justificada. De tota manera, cal observar si la substitució resultarà rentable o no, fet que s'estudiarà a l'apartat 4.5.

## 4.5 Anàlisi de viabilitat econòmica

Segons el pressupost, es calcula una inversió inicial d'uns 138.000€, dels quals un 2,4% corresponen a l'estudi. Per a poder fer l'estudi econòmic, cal enumerar tots els costos i els ingressos i quantificar-los en unitats monetàries.

Tot i així, no es tindrà en compte únicament la substitució de les lluminàries per realitzar l'anàlisi econòmic sinó que, com que aquesta substitució de làmpades i lluminàries és de caràcter obligatori, caldrà fer referència als diners estalviats en no instal·lar lluminàries noves per les làmpades de vapor de sodi a alta pressió.

### 4.5.1 Consideracions de costos i ingressos

Els costos d'explotació considerats són:

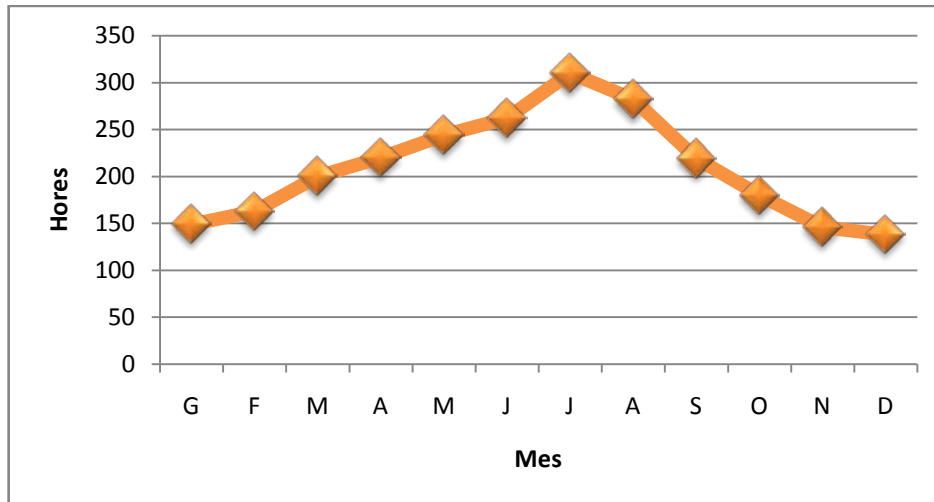
- Consum elèctric: l'energia elèctrica consumida per totes les làmpades noves i els seus equips electrònics (Apartat 4.5.2).
- Manteniment: es preveu el canvi de totes les làmpades per unes de noves al cap d'aproximadament 50.000 hores de funcionament, que és el temps de vida que indica el fabricant (Apartat 4.5.3).

Per altra banda, els beneficis que s'obtindran són:

- Estalvi energètic: el fet de deixar d'utilitzar làmpades VSAP per unes altres més eficients suposarà una reducció en la factura de la llum (Apartat 4.5.2).
- Manteniment: les làmpades VSAP tenen un temps de vida menor que les LED (de l'ordre de 24.000 hores), fet que significarà un estalvi en làmpades i en mà d'obra (Apartat 4.5.3).

### 4.5.2 Consum elèctric

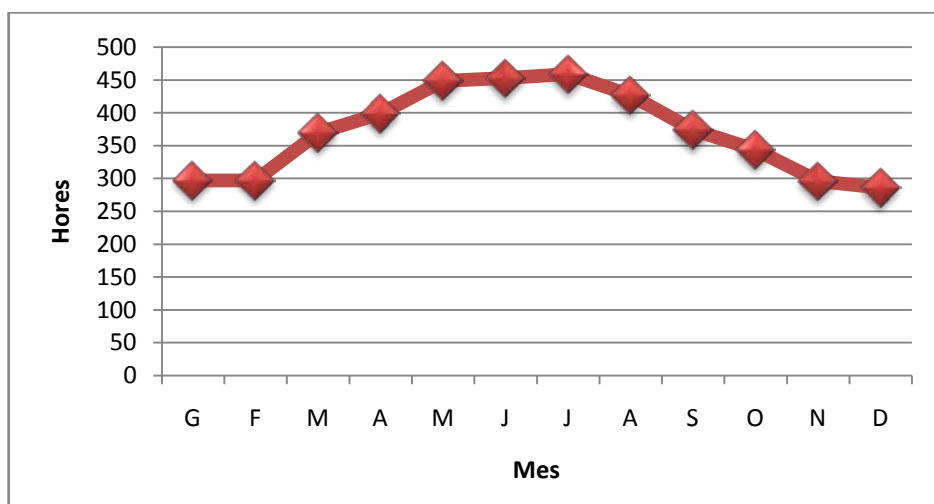
Per a poder determinar el consum elèctric amb exactitud, és necessari saber quantes hores diàries (o anuals) estaran en marxa les làmpades. Per a poder-ho fer, es poden extraure dades d'irradiació solar a la ciutat de Barcelona (44) (Figura 4.5-1).



**Figura 4.5-1 Hores de sol mensuals a Barcelona, any 2009**

El fet que dóna un total d'irradiació solar de 2513 hores. Tot i així, aquestes hores estan comptabilitzades quan el sol és visible, però l'enllumenat públic no es posa en marxa fins a l'ocàs i s'atura a l'ortus, a través del control dels rellotges astronòmics. Per aquest motiu, cal tenir accés a un programa capaç de computar la longitud del dia tenint en compte l'ortus i l'ocàs.

Una manera de trobar aquestes dades és a través de la pàgina web <http://www.mindspring.com/~cavu/sunset.html>, on es poden indicar les dates, la ubicació i algunes preferències. Un dels càlculs interessants que ofereix són les longituds dels dies acumulades mensualment, que es poden observar a la Figura 4.5-2.



**Figura 4.5-2 Longitud del dia acumulada mensualment a Barcelona, any 2009**

Així doncs, s'obté un total de 4456 hores de dia al llarg de l'any o, dit d'una altra manera, 4304 hores de nit anuals, el temps que estarà en funcionament l'enllumenat públic.

Per a poder calcular la potència consumida per les noves làmpades LED, únicament caldrà multiplicar la potència instal·lada per les hores de funcionament anuals. A més a més, es podrà aprofitar el càlcul per calcular la potència que haurien consumit les làmpades VSAP actualment instal·lades.

Per a poder realitzar la despesa en € del consum elèctric s'haurà de tenir en compte el preu del kWh sabent que les tarifes tenen discriminació horària i que un 20% del consum total es produeix en horari punta, mentre que l'altre 80% és consum vall. Totes aquestes dades queden resumides a la Taula 4.5-1.

|             | Potència Instal·lada (W) | Hores de funcionament anuals | Consum anual (kWh) | Preu kWh (€/kWh) |        | Consum Anual (€) | Estalvi Anual (€) |
|-------------|--------------------------|------------------------------|--------------------|------------------|--------|------------------|-------------------|
|             |                          |                              |                    | Punta            | Vall   |                  |                   |
| <b>VSAP</b> | 23.710                   | 4.304                        | 102.048            | 0,1373           | 0,0609 | <b>7.781</b>     | <b>4.450</b>      |
| <b>LED</b>  | 10.150                   |                              | 43.686             | 20%              | 80%    | <b>3.331</b>     |                   |

Taula 4.5-1 Consums anuals dels dos tipus de làmpada

Així doncs, deixant de banda el consum anual de les noves instal·lacions com un cost, interpretem que aquest canvi produeix uns beneficis de 4.450€ anuals en concepte d'estalvi energètic.

#### 4.5.3 Manteniment

El manteniment de les instal·lacions representa un cost addicional per al bon funcionament de l'enllumenat públic, doncs totes les làmpades tenen una vida útil i han de ser substituïdes al final d'aquesta.

Per poder representar correctament aquest cost dins l'estudi de viabilitat, es pot interpretar com un cost variable (a l'igual que el consum) de manera que per cada hora de funcionament aparegui un cost el qual al llarg de la vida útil de la làmpada permeti el canvi per una de nova. Aquest anàlisi és força similar al realitzat a l'apartat 4.5.2, interpretant que hi haurà un benefici o un cost al no haver de canviar les làmpades VSAP tot i que s'hauran de canviar les noves de LED.

A la Taula 4.5-2 apareix la relació de costos anuals que suposa canviar una làmpada al final de la seva vida útil, ja sigui VSAP o LED, tenint en compte el seu temps de vida i la seva utilització.

| Làmpada |              |         |          | Càlcul temps de vida |                        |                      | Relació de costos          |                |                      |                   |
|---------|--------------|---------|----------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| Tipus   | Potència (W) | Unitats | Preu (€) | Temps de Vida (h)    | Funcionament anual (h) | Temps de Vida (anys) | Cost unitari mà d'obra (€) | Cost anual (€) | Cost anual Total (€) | Estalvi anual (€) |
| VSAP    | 70           | 63      | 14,01    | 24.000               | 4.304                  | 5,58                 | 47,06                      | 689,97         | 2.440,56             | -4.485,63         |
|         | 100          | 144     | 11,47    |                      |                        |                      |                            | 1.511,48       |                      |                   |
|         | 150          | 6       | 12,74    |                      |                        |                      |                            | 64,34          |                      |                   |
|         | 250          | 16      | 13,85    |                      |                        |                      |                            | 174,77         |                      |                   |
| LED     | 28           | 175     | 266,80   | 50.000               | 11,62                  |                      | 4.019,08                   | 6.926,19       |                      |                   |
|         | 75           | 38      | 537,08   |                      |                        |                      | 1.756,81                   |                |                      |                   |
|         | 150          | 16      | 835,20   |                      |                        |                      | 1.150,30                   |                |                      |                   |

Taula 4.5-2 Despeses anuals pel canvi de làmpades

Com es pot apreciar l'estalvi és negatiu, i és que el fet de canviar les làmpades al final de la seva vida útil resulta molt més car amb les làmpades LED que amb les VSAP, de manera que suposarà un cost anual de 4.485€.

#### 4.5.4 Resum

Finalment, amb totes les dades de costos i beneficis, es pot elaborar una taula a mode de resum (Taula 4.5-3) per tal d'observar en quin grau la substitució de lluminàries és viable o no.

|                 | Consum Elèctric | Cost Manteniment | Total           |
|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| <b>VSAP</b>     | 7.781 €         | 2.440,56 €       | 10.221,56 €     |
| <b>LED</b>      | 3.331 €         | 6.926,19 €       | 10.257,19 €     |
| <b>Benefici</b> |                 |                  | <b>-35,63 €</b> |

Taula 4.5-3 Resum de costos i beneficis anuals

Com es pot veure, el benefici anual no és positiu, de manera que la inversió inicial no s'amortitza. Això no és una mala notícia, ja que adaptar l'enllumenat públic a la normativa de contaminació lluminosa no és mai una inversió que s'amortitzi, al contrari, no produeix cap benefici.

El que es pretén demostrar amb aquestes dades és que la substitució de làmpades de descàrrega per LED no representa un cost addicional, sinó que només comprèn una inversió inicial que no produeix costos ni beneficis econòmics però sí que produeix altres tipus de beneficis, com la millora de l'índex de reproducció cromàtica, l'eliminació de la contaminació lluminosa i la reducció del consum elèctric.



Tot i que l'estalvi energètic no suposi un benefici econòmic *a priori*, sí que el suposaria a mesura que els anys avancen, augmentant els preus de les tarifes elèctriques i disminuint els costos de fabricació de les tecnologies LED, de manera que l'estalvi econòmic comenci a prendre protagonisme per sobre del cost del manteniment.

## 4.6 Beneficis ambientals

La substitució de les antigues làmpades de descàrrega per les noves LED implica dos beneficis directes: la reducció del consum elèctric i de la contaminació lluminosa.

En apartats anteriors s'ha pogut observar en quin grau es milloren aquests dos conceptes, però en l'apartat actual s'intentarà determinar què representa l'estalvi energètic en termes globals de l'enllumenat públic de tot el poble.

### 4.6.1 Estalvi energètic

Recuperant les dades de consum elèctric de l'apartat 4.3.2, segons les dades de la Taula 4.3-4, es pot conèixer que el consum de Febrer representa el 9,3% del consum total anual d'energia elèctrica. Així doncs, podem extrapolar aquesta dada amb el consum del mes de Febrer de totes les instal·lacions d'enllumenat (Taula 4.3-5), obtenint el resultat assenyalat a la Taula 4.6-1.

| Consum Febrer (kWh) | Factor | Consum Anual (kWh) |
|---------------------|--------|--------------------|
| 111.120             | 0,093  | <b>1.193.694</b>   |

Taula 4.6-1 Consum anual global

A més a més, sabent l'estalvi en kWh que suposaria instal·lar les làmpades LED, es pot arribar a saber quina disminució suposa per a tot el conjunt de l'enllumenat públic (Taula 4.6-2).

|                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| <b>Consum VSAP</b>            | 102.048 kWh       |
| <b>Consum LED</b>             | 43.686 kWh        |
| <b>Estalvi</b>                | <b>58.362 kWh</b> |
| <b>Consum anual (abans)</b>   | 1.193.694 kWh     |
| <b>Consum anual (després)</b> | 1.135.332 kWh     |
| <b>Disminució consum</b>      | <b>4,9 %</b>      |

Taula 4.6-2 Disminució del consum elèctric

D'aquesta manera, es pot observar que el consum global d'energia disminuiria en gairebé un **5%**, fet que provoca un benefici directe al medi ambient en termes d'emissions contaminants, ja que la disminució de 58.362 kWh representen un estalvi de **5.25 Tones Equivalents de Petroli (TEP)** i la no emissió de **39.39 Tones de CO<sub>2</sub>** a l'atmosfera anuals.



#### 4.6.2 Altres consideracions mediambientals

Si bé l'estalvi energètic és una millora sostenible directa, hi ha altres conceptes que prenen importància en termes d'instal·lacions d'enllumenat.

Un aspecte a tenir en compte a l'hora d'instal·lar noves làmpades és escollir-ne unes de molt eficients, catalogades amb etiquetat energètic A o superior. En el cas de les làmpades LED, totes les escollides en aquest estudi ho compleixen.

L'altre tasca a tenir en compte és la correcta eliminació dels residus que es produeixen en la substitució de les làmpades i lluminàries, i és que s'ha d'evitar que aquests vagin a parar a un abocador. Un cop es retira el material antic, cal separar els residus pel seu tipus (metalls, vidres, plàstics, etc.) i llençar-los cadascun d'ells al seu corresponent contenidor en una deixalleria.

Les làmpades són elements més contaminants que les lluminàries, per això s'han de llençar a residus especials on seran eliminats correctament. Cal tenir molt en compte aquest concepte ja que, en el pitjor dels casos, llençar làmpades de vapor de mercuri a un abocador provoca efectes molt contaminants.

## 5. Conclusions

Després de tots els conceptes i les consideracions que s'han vist al Capítol 2, al llarg del Capítol 3 s'ha posat de manifest que el LED pertany a una tecnologia molt nova, amb molts fronts oberts i en ple desenvolupament. S'ha observat que s'està investigant amb diferents materials i amb diferents composicions, però també amb tot un ventall d'estructures que aporten noves possibilitats i millores.

La lluita per la reducció de costos i per l'augment de la competitivitat i de la innovació de les empreses de tot el món està propiciant que els materials siguin cada vegada de més qualitat, els dispositius LED més eficients i, al mateix temps, amb un preu més assequible.

En el Capítol 3 també s'ha vist quins són els avantatges i els inconvenients d'aquesta tecnologia i quin és el seu estat actual, així com les raons de perquè s'està implantant a un ritme determinat i perquè hi ha altres tipus de generadors de llum (en essència, les CFL) que de moment s'estan implantant de forma més generalitzada en la il·luminació domèstica pertot el món.

De tota manera, en el Capítol 4 es demostra que el fet d'utilitzar lluminàries LED, tot i suposar un avenç en les tecnologies d'enllumenat i un augment dels beneficis mediambientals, avui en dia encara no és una inversió amb grans resultats econòmics tot i que, actualment, l'aposta per aquesta tecnologia en l'àmbit de l'enllumenat és plantejable, mentre que fa uns anys haguera estat impensable, ja que il·luminar els carrers amb LED tenia uns costos totalment prohibitius.

En el cas real d'aplicació s'ha demostrat que invertir en tecnologia LED en l'enllumenat públic no és cap forma de llençar els diners, sinó que els avantatges són majors que els inconvenients ja que no es genera cap nova despesa amb la utilització d'aquesta.

Aquest fet, juntament amb les consideracions que s'han realitzat en els capítols primers d'aquesta Memòria, posa de manifest que en un futur molt proper, les inversions en LED en el camp de la il·luminació seran molt més rentables, fins al punt d'aplicar-se de forma massiva, substituint definitivament totes les làmpades incandescents, les de descàrrega i, molt probablement, les fluorescents.

## 6. Bibliografia

1. **Meister, Darryl.** *Nature of light.* 2010.
2. **Weisstein, Eric W.** *Poynting Vector.*  
<http://scienceworld.wolfram.com/physics/PoyntingVector.html> : Wolfram Research.
3. *Optical Tips and Tricks.* Light Ideas© Issue #3 : <http://www.lw4u.com/light-ideas-03.htm>.
4. **Javier García Fernández, Oriol Boix.** *Magnitudes y unidades de medida.*  
<http://edison.upc.edu/curs/llum/fotometria/magnitud.html>.
5. **José Martínez Abadía, Jordi Serra Flores.** *Manual básico de técnica cinematográfica y dirección de fotografía.* Barcelona : Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 2000. ISBN: 978-84-493-0985-4.
6. *Historical context of the SI .* <http://physics.nist.gov/cuu/Units/candela.html>.
7. **Jim Lochner, Merendith Jibb.** *Supernovae.* 2007.  
[http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/try\\_l2/supernovae.html](http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/try_l2/supernovae.html).
8. **Jeffrey A. Hart, Stefanie Ann Lenway, Thomas Murtha.** *A History of Electroluminescent Displays.* 1999.  
[http://www.indiana.edu/~hightech/fpd/papers/ELDs.html#\\_ftnref4](http://www.indiana.edu/~hightech/fpd/papers/ELDs.html#_ftnref4).
9. **Lardner, Dionysius.** *Treatise on heat.* 1833.
10. **Weisstein, Eric W.** *Planck Law.*  
<http://scienceworld.wolfram.com/physics/PlanckLaw.html>.
11. **Padley, Jann.** *Colour Management.*  
<http://www.jpse.co.uk/sensory/colourmanagementcontent.shtml>.
12. *Eye spectral and intensity response.* [http://www.telescope-optics.net/eye\\_spectral\\_response.htm](http://www.telescope-optics.net/eye_spectral_response.htm).
13. *epi-fluorescence with the microscope.* s.l. : University of Victoria.  
<http://web.uvic.ca/ail/techniques/epi-fluorescence.html>.
14. **Round, H. J.** *A Note on Carborundum.* 1907.

15. **Zheludev, Nikolay.** *The life and times of the LED - a 100-year history.* Abril 2007. NaturePhotonics, Volum 1.
16. *The first LED were infrared (invisible).* The Quartz Watch.  
<http://invention.smithsonian.org/centerpieces/quartz/inventors/biard.html>.
17. *Nick Holonyak, Jr. invented the first visible-spectrum light-emitting diode.* The Quartz Watch.  
<http://invention.smithsonian.org/centerpieces/quartz/inventors/holonyak.html>.
18. *Nick Holonyak, Jr. 2004 Lemenson-MIT Prize Winner.* Massachusetts Institute of Technology. <http://web.mit.edu/invent/a-winners/a-holonyak.html>.
19. *Physical Diode Theory.* Duke University.  
<http://people.ee.duke.edu/~cec/final/node85.html>.
20. *Biasing of P-N Junctions.* Universitat de Geòrgia. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/pnjun2.html>.
21. **LEDtronics, INC.** *General Information.*  
[http://www.ledtronics.com/html/general\\_information.htm](http://www.ledtronics.com/html/general_information.htm).
22. **F. K. Yam, Z. Hassan.** *Innovative advances in LED technology.* Microelectronics Journal, 2005 : Ed. Elsevier, Penang, Malaysia.
23. *Design LED and Lighting.* LED types.  
<http://www.designledlighting.com/ledtypes>.
24. **LEDtronics, INC.** *LEDtronics Discrete LED Color Chart.*  
<http://www.ledtronics.com/html/ColorChart.htm>.
25. **Rowe, Carol.** *Berkeley Honors CU's Jacques Pankove As One Of Four Technology Leaders.* University of Colorado, 2000.  
<http://www.colorado.edu/news/p/8e60f26924594b55010868e0a77996a1.html>.
26. **California, The Regents of the University of.** *Shuji Nakamura, Inventor of Blue Laser and Blue, Green, and White LEDs, Wins Two Major International Awards.* 2002. <http://engineering.ucsb.edu/news/77/>.
27. **Mirei Mori, Akiko Hamamoto, Masayuki Nakano, Masatake Akutagawa, Akira Takahashi, Toshitaka Ikehara, Yohsuke Kinouchi.** *Effects of ultraviolet LED on Bacteria.* Springer Berlin Heidelberg : 2006.
28. **S. Nakamura, G. Fasol.** *The Blue Laser Diodes.* s.l. : Springer, Berlin, 1997.

29. **G.B. Stringfellow, M.G. Craford, R.K. Willardson, E.R. Weber.** *Overview of Device Issues in High-Brightness Light-Emitting Diodes.* Semiconductors and Semimetals, Elsevier, 1997.
30. **Monteil, Benjamin.** *Exclusive interview of Steve Landau (Philips Lumileds).* 2009. <http://www.led-fr.net/exclusive-interview-of-steve-landau-philips-lumileds.htm>.
31. *High Brightness LED Tutorial - Overview.*  
[http://www.dowcorning.com/content/etronics/etronicsled/etronics\\_led\\_tutorial1.asp?DCWS=Electronics&DCWSS=](http://www.dowcorning.com/content/etronics/etronicsled/etronics_led_tutorial1.asp?DCWS=Electronics&DCWSS=).
32. **Stevenson, Richard.** *The LED's Dark Secret.* 2009.  
<http://spectrum.ieee.org/semiconductors/optoelectronics/the-leds-dark-secret/0>.
33. **Hyunsoo Kim, Hyundoek Yang, Chul Huh, Sang-Woo Kim, Seong-Ju Park, Hyunsang Hwang.** *Electromigration-induced failure of GaN multi-quantum well light emitting diode.* 2000.
34. **Corp., OSRAM.** *ESD Protection for LED Systems.*  
[http://www.osram.com/\\_global/pdf/Professional/LED/LED\\_Systems/Application\\_notes/2008-05-20-ESD\\_Applikation\\_englisch.pdf](http://www.osram.com/_global/pdf/Professional/LED/LED_Systems/Application_notes/2008-05-20-ESD_Applikation_englisch.pdf).
35. *OLED technology explained.* <http://www.oled-info.com/oled-technology>.
36. *The application of infrared LED.*  
[http://www.ledinside.com/the\\_application\\_of\\_infrared\\_LED](http://www.ledinside.com/the_application_of_infrared_LED).
37. **Morris, Nick.** *LED there be light.*  
<http://www.electrooptics.com/features/junjul06/junjul06leds.html>.
38. *Ley 6/2001, de 31 de mayo, de Ordenación Ambiental del Alumbrado para la Protección del Medio Nocturno.*
39. **Mills, Mark P.** *The LED Illumination Revolution.* 2008.  
[http://www.forbes.com/2008/02/27/incandescent-led-cfl-pf-guru\\_in\\_mm\\_0227energy\\_inl.html](http://www.forbes.com/2008/02/27/incandescent-led-cfl-pf-guru_in_mm_0227energy_inl.html).
40. **Bermúdez, Carlos.** *Millora de l'eficiència energètica de l'enllumenat públic de Navàs.* 2008.
41. **MuniCAT.** *Situació Geogràfica.* 2009.  
[http://www10.gencat.net/pls/municat/mun\\_p03.dad\\_ter?via=1&coo=H09&cod=0814190004&err=0](http://www10.gencat.net/pls/municat/mun_p03.dad_ter?via=1&coo=H09&cod=0814190004&err=0).

42. **Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient.** *Mapa de protecció envers la contaminació lluminosa a Catalunya.* 2006.  
[http://mediambient.gencat.net/cat/el\\_medi/atmosfera/lluminosa/Mapadeprotecci\\_enverslacontaminaci\\_lluminosaaCatalunya.jsp?ComponentID=112365&SourcePageID=29141#1](http://mediambient.gencat.net/cat/el_medi/atmosfera/lluminosa/Mapadeprotecci_enverslacontaminaci_lluminosaaCatalunya.jsp?ComponentID=112365&SourcePageID=29141#1).
43. **1000Bulbs.com.** *70 Watt High Pressure Sodium (HPS) Lamps.*  
<http://www.1000bulbs.com/category/70-watt-high-pressure-sodium-lamps/>.
44. **protiempo.es.** *Clima Barcelona - España.*  
<http://www.protiempo.es/clima.php?id=SPXX0015>.



# ANNEX

## Annex A Legislació

---

### Ley 6/2001, de 31 de mayo, de Ordenación Ambiental del Alumbrado para la Protección del Medio Nocturno.

---

#### Sumario:

- CAPÍTULO I. DISPOSICIONES GENERALES.
  - Artículo 1. Objeto.
  - Artículo 2. Finalidades.
  - Artículo 3. Exenciones de aplicación.
  - Artículo 4. Definiciones.
- CAPÍTULO II. RÉGIMEN REGULADOR DE LOS ALUMBRADOS.
  - Artículo 5. Zonificación.
  - Artículo 6. Limitaciones y prohibiciones.
  - Artículo 7. Características de las instalaciones y los aparatos de iluminación.
  - Artículo 8. Régimen estacional y horario de usos del alumbrado.
- CAPÍTULO III. ACTUACIONES DE LAS ADMINISTRACIONES PÚBLICAS.
  - Artículo 9. Obligaciones de las Administraciones públicas.
  - Artículo 10. Régimen de intervención de la Administración ambiental.
  - Artículo 11. Criterios para la contratación administrativa.
  - Artículo 12. Construcciones financiadas con fondos públicos.
- CAPÍTULO IV. RÉGIMEN ECONÓMICO.
  - Artículo 13. Fondo económico.
  - Artículo 14. Régimen de ayudas.
- CAPÍTULO V. RÉGIMEN SANCIONADOR Y POTESTAD DE INSPECCIÓN Y CONTROL
  - Artículo 15. Infracciones sancionables.
  - Artículo 16. Tipificación.
  - Artículo 17. Responsabilidad.



- **Artículo 18.** Procedimiento sancionador.
- **Artículo 19.** Cuantía de las sanciones.
- **Artículo 20.** Graduación de las sanciones.
- **Artículo 21.** Medidas cautelares.
- **Artículo 22.** Multas coercitivas y reparación de los daños.
- **Artículo 23.** Potestad sancionadora y órganos competentes.
- **Artículo 24.** Potestad de inspección y control.

- **DISPOSICIÓN ADICIONAL PRIMERA.**
- **DISPOSICIÓN ADICIONAL SEGUNDA.**
- **DISPOSICIÓN ADICIONAL TERCERA.**
- **DISPOSICIÓN ADICIONAL CUARTA.**
- **DISPOSICIÓN ADICIONAL QUINTA.**
- **DISPOSICIÓN TRANSITORIA PRIMERA.**
- **DISPOSICIÓN TRANSITORIA SEGUNDA.**
- **DISPOSICIÓN FINAL PRIMERA.**
- **DISPOSICIÓN FINAL SEGUNDA.**
- **DISPOSICIÓN FINAL TERCERA.**
- **DISPOSICIÓN FINAL CUARTA.**
- **DISPOSICIÓN FINAL QUINTA.**
- **DISPOSICIÓN FINAL SEXTA.**
- **DISPOSICIÓN FINAL SÉPTIMA.**

**EL PRESIDENTE DE LA GENERALIDAD DE CATALUÑA**  
Sea notorio a todos los ciudadanos que el Parlamento de Cataluña ha aprobado y yo, en nombre del Rey y de acuerdo con lo que establece el [artículo 33.2 del Estatuto de Autonomía de Cataluña](#), promulgo la siguiente *Ley 6/2001, de 31 de mayo, de Ordenación Ambiental del Alumbrado para la Protección del Medio Nocturno.*

#### **PREÁMBULO:**

La iluminación artificial durante la noche es uno de los requisitos imprescindibles para la habitabilidad de las zonas urbanas modernas y, en menor medida, de las

zonas rurales, y es también necesario para la realización de un gran número de actividades lúdicas, comerciales o productivas. No obstante, un diseño o un uso inadecuados de las instalaciones de alumbrado tiene consecuencias perjudiciales para la biodiversidad y el medio ambiente, en la medida en que se estén alterando, de manera desordenada las condiciones naturales de oscuridad que son propias de las horas nocturnas.

Por otra parte, una iluminación nocturna excesiva o defectuosa constituye una forma de contaminación, en tanto que afecta a la visión del cielo, el cual forma parte del paisaje natural y ha de ser protegido, tanto porque se trata de un patrimonio común de todos los ciudadanos como por la necesidad de posibilitar su estudio científico.

Finalmente, una iluminación nocturna que responda a criterios coherentes y racionales tiene una incidencia directa e inmediata en el consumo de las fuentes de energía y hace posible un notable ahorro energético. En este sentido, hay que tener en cuenta que el uso eficiente de los recursos es uno de los principios básicos de desarrollo sostenible a que aspira Cataluña.

Igualmente, hay que tener presente que el Parlamento ya se ha pronunciado, en varias resoluciones, sobre la necesidad de llevar a cabo las actuaciones adecuadas para afrontar la problemática derivada de la contaminación lumínica. Así, la Resolución 89/V, de 1996, hace referencia a la necesidad de impedir la dispersión lumínica; la Resolución 728/V, de 1998, instaba al Gobierno a impulsar un programa de actuaciones para combatir la contaminación lumínica, y la Resolución 616/V, de 1998, instaba al Gobierno a constituir una comisión técnica para la elaboración de una norma reguladora de este tipo de contaminación.

Todas estas razones, unidas a la progresiva concienciación ciudadana hacia la protección del medio, justifican la necesidad de regular, mediante la presente Ley, mecanismos que permitan dar respuesta a la problemática que plantea una iluminación nocturna inadecuada, y a las formas de contaminación lumínica que se deriven de ella, sin olvidar, en ningún momento, la importancia que el alumbrado nocturno tiene como elemento esencial para la seguridad ciudadana,

para la circulación y también para la vida comercial, turística y recreativa de las zonas habitadas. En todo caso, una regulación adecuada del alumbrado nocturno ha de contribuir a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, en las ciudades y en los pueblos.

La Ley, pues, determina la división del territorio en diversas zonas en función de las características y especificidades de cada una en relación con la claridad luminosa que puede ser admisible, y también regula los aspectos relativos a las intensidades de brillo permitidas, al diseño y la instalación del alumbrado y al régimen estacional y horario de usos.

La Ley establece, igualmente, las obligaciones de las Administraciones públicas para asegurar el cumplimiento de los objetivos que persigue, fija las ayudas económicas necesarias para dar apoyo a las posibles operaciones de adaptación de los alumbrados existentes a las nuevas prescripciones, regula el régimen sancionador correspondiente y, finalmente, impulsa campañas de concienciación ciudadana hacia la problemática ambiental que plantea la contaminación lumínica.

Toda esta regulación ha de permitir dar otro paso adelante hacia el compromiso global de toda la sociedad en la defensa y la conservación del medio, inserto en el marco de un desarrollo sostenible que haga posible el crecimiento del bienestar económico y social y lo compatibilice con la necesaria protección del medio

En este sentido, la aplicación de la presente Ley ha de servir para mejorar la eficiencia energética de las iluminaciones.

#### 6.1.1.1 CAPÍTULO I.

#### DISPOSICIONES GENERALES.

##### **Artículo 1.** Objeto.

Es objeto de la presente Ley la regulación de las instalaciones y los aparatos de alumbrado exterior e interior, por lo que respecta a la contaminación lumínica que pueden producir.

## **Artículo 2.** Finalidades.

La presente Ley tiene como finalidades:

- a. Mantener al máximo posible las condiciones naturales de las horas nocturnas, en beneficio de la fauna, de la flora y de los ecosistemas, en general.
- b. Promover la eficiencia energética de los alumbrados exteriores e interiores mediante el ahorro de energía, sin mengua de la seguridad.
- c. Evitar la intrusión lumínica en el entorno doméstico y, en todo caso, minimizar sus molestias y sus perjuicios.
- d. Prevenir y corregir los efectos de la contaminación lumínica en la visión del cielo.

## **Artículo 3.** Exenciones de aplicación.

1. Están exentos del cumplimiento de las obligaciones fijadas por la presente Ley, en los supuestos y con el alcance que sean fijados por vía reglamentaria:

- a. Los puertos, los aeropuertos, las instalaciones ferroviarias, las carreteras, las autovías y las autopistas.
- b. Los teleféricos y los otros medios de transporte detracción por cable.
- c. Las instalaciones y los dispositivos de señalización de costas.
- d. Las instalaciones de las Fuerzas y los Cuerpos de Seguridad y las instalaciones de carácter militar.
- e. Los vehículos de motor.
- f. En general, las infraestructuras cuya iluminación esté regulada por normas destinadas a garantizar la seguridad de la ciudadanía.

2. Se excluye del ámbito de aplicación de la presente Ley la luz producida por combustión en el marco de una actividad sometida a autorización administrativa o a otras formas de control administrativo, si no tiene finalidad de iluminación.

## **Artículo 4.** Definiciones.

1. A efectos de la presente Ley, se entiende por:
  - a. Contaminación lumínica: La emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones o rangos espectrales innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en que se han instalado las luminarias.
  - b. Difusión hacia el cielo: La forma de contaminación lumínica consistente en la emisión de flujos luminosos que se difunden hacia el firmamento.
  - c. Deslumbramiento: La forma de contaminación lumínica consistente en la emisión de flujos luminosos que dificultan o imposibilitan la visión.
  - d. Intrusión lumínica: La forma de contaminación lumínica consistente en la emisión de flujos luminosos que exceden del área donde son útiles para la actividad prevista e invaden zonas en que no son necesarios y en que pueden causar molestias o perjuicios.
  - e. Sobreconsumo: El consumo energético inútil o innecesario derivado de la emisión de flujos luminosos con exceso de intensidad o de distribución espectral.
  - f. Alumbrado exterior: La instalación prevista para alumbrar superficies situadas fuera de espacios cubiertos.
  - g. Alumbrado interior: La instalación prevista para alumbrar superficies situadas dentro de espacios cubiertos.
  - h. Brillo: El flujo de luz propia o reflejada, que puede ser:
    - a. 1. Brillo reducido: El que es de baja intensidad respecto a nivel referente de luz.
    - b. 2. Brillo mediano: El que tiene una intensidad intermedia respecto al nivel referente de luz.
    - c. 3. Brillo alto: El que tiene una intensidad acentuada respecto al nivel referente de luz.
  - i. Nivel referente de luz: Nivel de intensidad de flujos luminosos determinado por vía reglamentaria con vista al cumplimiento de las prescripciones de la presente Ley y de la normativa que la desarrolle.

- a. Flujo de hemisferio superior instalado: Flujo radiado por encima del plano horizontal por un aparato de iluminación o por un cuerpo, un edificio o un elemento luminoso.
- b. Horario nocturno: Franja horaria que va desde la hora que sea fijada por vía reglamentaria hasta la salida del sol.
- c. Modificación del alumbrado: Cambio en las instalaciones o los aparatos de alumbrado, con el alcance y las condiciones que sean determinadas por vía reglamentaria.
- d. Luminaria: Aparato que contiene una fuente de luz.
- e. Ahorro energético: Obtención de la luz necesaria con el mínimo consumo de energía.
- f. Eficiencia energética: Máximo aprovechamiento de una luminaria.

2. También a efectos de la presente Ley, y en cuanto al uso a que es destinado el alumbrado, se entiende por:

- a. Alumbrado exterior viario: El de las superficies destinadas al tránsito de vehículos.
- b. Alumbrado exterior para peatones: El de las superficies destinadas al paso de personas.
- c. Alumbrado exterior viario y para peatones: El de las superficies destinadas al tránsito de vehículos y al paso de personas.
- d. Alumbrado exterior ornamental: El de las superficies alumbradas con objetivos estéticos.
- e. Alumbrado exterior industrial: El de las superficies destinadas a una actividad industrial.
- f. Alumbrado exterior comercial y publicitario: El de las superficies destinadas a una actividad comercial o publicitaria.
- g. Alumbrado exterior deportivo y recreativo: El de las superficies destinadas a una actividad deportiva o recreativa.
- h. Alumbrado exterior de seguridad: El de las superficies que hay que vigilar y controlar.

- i. Alumbrado exterior de edificios: El de las superficies que, aunque formen parte de una finca de propiedad privada, son externas a las edificaciones.
- j. Alumbrado exterior de equipamientos: El de las superficies que, aunque formen parte de un equipamiento, público o privado, son externas a las edificaciones.

#### 6.1.1.2 CAPÍTULO II.

#### RÉGIMEN REGULADOR DE LOS ALUMBRADOS.

##### **Artículo 5.** Zonificación.

1. Para la aplicación de la presente Ley, el territorio se ha de dividir en zonas, en función de la vulnerabilidad a la contaminación lumínica.

2. La división del territorio en zonas se ha de establecer por vía reglamentaria y se ha de ajustar a la zonificación siguiente:

- a. Zona E1: Áreas incluidas en el plan de espacios de interés natural o en ámbitos territoriales que hayan de ser objeto de una protección especial, por razón de sus características naturales o de su valor astronómico especial, en las cuales sólo se puede admitir un brillo mínimo.
- b. Zona E2: Áreas incluidas en ámbitos territoriales que sólo admiten un brillo reducido.
- c. Zona E3: Áreas incluidas en ámbitos territoriales que admiten un brillo mediano.
- d. Zona E4: Áreas incluidas en ámbitos territoriales que admiten un brillo alto.
- e. Puntos de referencia: Puntos próximos a las áreas de valor astronómico o natural especial incluidas en la zona E1, para cada uno de los cuales hay que establecer una regulación específica en función de la distancia a que se hallen del área en cuestión.

3. Los Ayuntamientos pueden establecer una zonificación propia en su término municipal, siempre que no disminuya el nivel de protección aprobado en virtud

del apartado 2, salvo que concurren causas justificadas, de acuerdo con lo que sea regulado por reglamento.

**Artículo 6.** Limitaciones y prohibiciones.

1. El flujo de hemisferio superior instalado aplicable a las zonas establecidas en virtud del [artículo 5](#) se ha de regular por vía reglamentaria, para cada uno de los usos especificados por el [artículo 4.2](#) y para cualquier otro uso que sea determinado por reglamento.

2. Los niveles máximos de luz para cada uno de los usos especificados por el [artículo 4.2](#) se han de establecer por vía reglamentaria, teniendo en cuenta las recomendaciones internacionales, con mecanismos que permitan su adecuación en caso de modificación de las mencionadas recomendaciones.

3. Los proyectos de instalación de alumbrados que hayan de funcionar en horario nocturno han de ir acompañados de una Memoria que justifique su necesidad.

4. Los Ayuntamientos pueden establecer valores propios de flujo de hemisferio superior instalado, atendiendo a las características y especificidades de su territorio, siempre que no disminuya la protección otorgada en virtud del apartado 2, salvo que concurren causas justificadas, de acuerdo con lo que sea regulado por vía reglamentaria.

5. Los niveles máximos de luz establecidos en virtud del apartado 2 también son aplicables a los alumbrados Interiores, si producen intrusión lumínica hacia el exterior.

6. Se prohíben:

- a. Las luminarias, integrales o monocromáticas, con un flujo de hemisferio superior emitido que supere el 50 % de éste, salvo que iluminen elementos de un especial interés histórico o artístico, de acuerdo con lo que sea determinado por vía reglamentaria.



- b. Las fuentes de luz que, mediante proyectores convencionales o láseres, emitan por encima del plano horizontal, salvo que iluminen elementos de un especial interés histórico, de acuerdo con lo que sea determinado por vía reglamentaria.
- c. Los artefactos y dispositivos aéreos de publicidad nocturna.
- d. La iluminación de grandes extensiones de playa o de costa, excepto por razones de seguridad, en caso de emergencia o en los casos en que sea determinado por vía reglamentaria, en atención a los usos del alumbrado.
- e. La iluminación permanente de las pistas de esquí.
- f. La iluminación de instalaciones a falta de la Memoria justificativa que exige el apartado 3.

**Artículo 7.** Características de las instalaciones y los aparatos de iluminación.

1. Las instalaciones y los aparatos de iluminación se han de diseñar e instalar de manera que se prevenga la contaminación lumínica y se favorezca el ahorro, el uso adecuado y el aprovechamiento de la energía, y han de contar con los componentes necesarios para este fin.

2. Se han de establecer por vía reglamentaria las prescripciones aplicables a los aparatos de iluminación, en función, si procede, de las zonas establecidas de acuerdo con el [artículo 5](#) y de los niveles máximos fijados de acuerdo con el [artículo 6](#), especialmente por lo que respecta a:

- a. La inclinación y la dirección de las luminarias, las características del cierre y la necesidad de apantallarlas para evitar valores excesivos de flujo de hemisferio superior instalado, de deslumbramiento o de intrusión lumínica.
- b. El tipo de lámparas que hay que utilizar o de uso preferente.
- c. Los sistemas de regulación del flujo luminoso en horarios especiales, si procede.

3. Los aparatos de alumbrado exterior que, de conformidad con lo que disponen los apartados 1 y 2, cumplen los requisitos exigidos por lo que respecta a los componentes, el diseño, la instalación, el ángulo de implantación respecto a la

horizontal y la eficiencia energética, pueden acreditar mediante un distintivo homologado su cualidad para evitar la contaminación lumínica y ahorrar energía.

4. Se han de adoptar los programas de mantenimiento necesarios para la conservación permanente de las características de las instalaciones y los aparatos de iluminación.

5. De acuerdo con criterios de ahorro energético, se ha de priorizar en los alumbrados exteriores la utilización preferente de lámparas de vapor de sodio de alta presión (VSAP) y de baja presión (VSBP). Estas lámparas han de sustituir a las lámparas de vapor de mercurio en los procesos de renovación del alumbrado público, que han de tender a la reducción de la potencia instalada.

#### **Artículo 8.** Régimen estacional y horario de usos del alumbrado.

1. El alumbrado exterior, tanto el de propiedad pública como el de propiedad privada, se ha de mantener apagado en horario nocturno, tanto en zonas comerciales como en zonas industriales, residenciales o rurales, excepto en los casos siguientes:

- a. Por razones de seguridad.
- b. Para iluminar calles, caminos, viales, lugares de paso y, mientras sean destinadas a este uso, zonas de equipamiento y de aparcamiento.
- c. Para usos comerciales, industriales, agrícolas, deportivos o recreativos, durante el tiempo de actividad.
- d. Por otros motivos justificados, que se han de determinar por vía reglamentaria y se han de haber especificado en la Memoria justificativa que exige el [artículo 6.3](#).

2. Los Ayuntamientos han de regular un régimen propio de alumbrado para los acontecimientos nocturnos singulares, festivos, feriales, deportivos o culturales al aire libre, que han de compatibilizar la prevención de la contaminación lumínica y el ahorro energético con las necesidades derivadas de los acontecimientos mencionados.

3. Los criterios generales del régimen estacional y horario de usos del alumbrado exterior se han de regular por vía reglamentaria. La regulación ha de tener en cuenta las especificidades a que hacen referencia los apartados 1 y 2 y ha de fijar los condicionantes aplicables a la iluminación en horario nocturno de monumentos o de otros elementos de un interés cultural, histórico o turístico especial.

4. Lo que establece el presente artículo también es aplicable a los alumbrados interiores, tanto los de propiedad pública como los de propiedad privada, si producen intrusión lumínica en el exterior.

#### 6.1.1.3 CAPÍTULO III.

#### ACTUACIONES DE LAS ADMINISTRACIONES PÚBLICAS.

#### **Artículo 9.** Obligaciones de las Administraciones públicas.

Las Administraciones públicas, en el ámbito de sus competencias, han de velar para que:

- a. Los alumbrados distribuyan la luz de la manera más efectiva y eficiente y utilicen la cantidad mínima de luz para satisfacer los criterios de alumbrado.
- b. Las luminarias utilizadas sean cerradas o apantalladas, de acuerdo con lo que establecen los artículos 6 y 7.
- c. Los alumbrados exteriores que se instalen preferentemente tengan acreditada su calidad para evitar la contaminación lumínica y ahorrar energía, de acuerdo con lo que establece el [artículo 7.3](#).
- d. Los componentes de los alumbrados se ajusten adecuadamente a las características de los usos y de la zona iluminada y emitan preferentemente en la zona del espectro visible de longitud de onda larga.
- e. Los alumbrados estén conectados sólo cuando haga falta, mediante temporizadores, si procede.
- f. Los alumbrados se mantengan apagados en horario nocturno, cuando no sean necesarios.

- g. Las instalaciones y los aparatos de iluminación sean sometidos al mantenimiento adecuado para la conservación permanente de sus características.

**Artículo 10.** Régimen de intervención de la Administración ambiental.

1. Las características de los alumbrados exteriores, ajustadas a las disposiciones de la presente Ley y de la normativa que la desarrolle, se han de hacer constar en los proyectos técnicos anexos a la solicitud de autorización ambiental, a la solicitud de licencia ambiental o, en su caso, a la comunicación de la actividad, de acuerdo con lo que establece la [Ley 3/1998, de 27 de febrero, de la intervención integral de la Administración ambiental](#).
2. Lo que establece el apartado 1 también es aplicable a los alumbrados interiores, si producen intrusión lumínica en el exterior.

**Artículo 11.** Criterios para la contratación administrativa.

1. Las Administraciones públicas han de incluir en los pliegos de cláusulas administrativas de obras, de servicios y de suministros los requisitos que han de cumplir necesariamente el alumbrado exterior para ajustarse a los criterios de prevención y corrección de la contaminación lumínica establecidos por la presente Ley y por la normativa que la desarrolle.
2. El distintivo homologado a que se refiere el [artículo 7.3](#) para los aparatos de iluminación acredita que cumplen los requisitos fijados por el apartado 1 a efectos de la contratación administrativa.
3. Las construcciones, las instalaciones y las viviendas que requieren iluminación en horario nocturno han de presentar a la Administración pública competente una Memoria que justifique su necesidad. En todo caso, el proyecto de alumbrado se ha de ajustar al máximo a los criterios de prevención de la contaminación lumínica.

**Artículo 12.** Construcciones financiadas con fondos públicos.

Los proyectos de alumbrado exterior en construcciones, instalaciones y viviendas financiados con fondos públicos se han de ajustar necesariamente a los criterios de prevención de la contaminación lumínica que establece la presente Ley.

#### 6.1.1.4 CAPÍTULO IV. RÉGIMEN ECONÓMICO.

##### **Artículo 13.** Fondo económico.

1. Se crea el fondo para la protección del medio contra la contaminación lumínica, que se nutre de los recursos siguientes:

- a. El importe de los ingresos provenientes de las sanciones impuestas por la Administración de la Generalidad en aplicación de la presente Ley.
- b. Las aportaciones y las ayudas otorgadas por particulares, por empresas e instituciones públicas o privadas y por Administraciones públicas.
- c. Las aportaciones de los presupuestos de la Generalidad necesarias para garantizar el cumplimiento de los objetivos de la presente Ley.

2. La recaudación del fondo creado por el apartado 1 se afecta a la concesión de ayudas y subvenciones destinadas a la implantación de las medidas establecidas por la presente Ley y por la normativa que la desarrolle.

##### **Artículo 14.** Régimen de ayudas.

1. Se han de establecer líneas de ayudas específicas para promover la adaptación de los alumbrados exteriores a las prescripciones de la presente Ley.

2. Para el otorgamiento de las ayudas a que se refiere el apartado 1, es criterio preferente el hecho de que el alumbrado esté dentro de una zona E1 o un punto de referencia.

3. Las solicitudes que se formulen para recibir las ayudas a que se refiere el apartado 1 se han de presentar acompañadas del proyecto técnico de la instalación y del presupuesto correspondiente.

## 6.1.1.5 CAPÍTULO V. RÉGIMEN SANCIONADOR Y POTESTAD DE INSPECCIÓN Y CONTROL

### **Artículo 15.** Infracciones sancionables.

Constituyen infracción administrativa las acciones y las omisiones que contravienen a las obligaciones que establece la presente Ley, de acuerdo con la tipificación y la gradación que establece el [artículo 16](#).

### **Artículo 16.** Tipificación.

1. Son infracciones leves las acciones o las omisiones siguientes:

- a. Vulnerar dentro de un margen de hasta dos horas el régimen horario de uso del alumbrado.
- b. Exceder hasta el 20 % el flujo de hemisferio superior instalado autorizado.
- c. Infringir por acción o por omisión cualquier otra determinación de la presente Ley o de la reglamentación que la desarrolle, salvo que se incurra en una infracción grave o muy grave.
- d. Instalar luminarias o fuentes de luz contraviendo lo que dispone el [artículo 6.6.a\) y b\)](#).

2. Son infracciones graves las acciones o las omisiones siguientes:

- a. Vulnerar por más de dos horas el régimen horario de uso del alumbrado.
- b. Exceder en más del 20 % el flujo de hemisferio superior instalado autorizado.
- c. Instalar aparatos de iluminación que no cumplan los requisitos establecidos por la presente Ley y por la normativa que la desarrolle.
- d. Llevar a cabo una modificación del alumbrado exterior que altere su intensidad, su espectro o el flujo de hemisferio superior instalado de manera que dejen de cumplir las prescripciones de la presente Ley o de la normativa que la desarrolle.

- e. Cometer dentro de una zona E1 o en un punto de referencia una infracción tipificada como leve.
  - f. Obstruir la actividad de control o de inspección de la Administración.
  - g. Cometer dos o más infracciones leves.
3. Son infracciones muy graves las acciones o las omisiones siguientes:
- a. Cometer una infracción tipificada como grave, si causa un perjuicio importante al medio.
  - b. Cometer dentro de una zona E1 o en un punto de referencia una infracción tipificada como grave.
  - c. Cometer dos o más infracciones graves.

**Artículo 17.** Responsabilidad.

Son responsables de las infracciones de la presente Ley las personas físicas y jurídicas que han participado en la comisión del hecho infractor.

**Artículo 18.** Procedimiento sancionador.

El procedimiento administrativo aplicable para la imposición de las sanciones fijadas por la presente Ley es el que establece la normativa vigente reguladora del procedimiento sancionador.

**Artículo 19.** Cuantía de las sanciones.

- 1. Las infracciones leves se sancionan con multas de 25.000 pesetas (150,253 euros) a 100.000 pesetas (601,012 euros).
- 2. Las infracciones graves se sancionan con multas de 100.001 pesetas (601,018 euros) a 500.000 pesetas (3.005,060 euros).
- 3. Las infracciones muy graves se sancionan con multas de 500.001 pesetas (3.005,067 euros) a 5.000.000 de pesetas (30.050,605 euros).

**Artículo 20.** Graduación de las sanciones.

Las sanciones se gradúan teniendo en cuenta los criterios siguientes:

- a. La intencionalidad de la persona infractora.
- b. El grado de participación en el hecho por otro título que el de autor.
- c. La reincidencia, si por resolución firme se ha declarado la comisión en el plazo de un año de más de una infracción de la misma naturaleza.

#### **Artículo 21.** Medidas cautelares.

1. Si se detecta la existencia de una actuación contraria a las determinaciones de la presente Ley, la Administración competente ha de requerir al interesado, con audiencia previa, para que la corrija, y ha de fijar un plazo al efecto.

2. En caso de que el requerimiento a que se refiere el apartado 1 sea desatendido, la Administración competente puede acordar, por resolución motivada, y con audiencia previa del interesado, las medidas necesarias para desconectar y, en su caso, precintar el alumbrado infractor.

3. Las medidas cautelares determinadas por el presente artículo se pueden adoptar simultáneamente al acuerdo de incoación del procedimiento sancionador o en cualquier momento posterior de la tramitación, y no se pueden prolongar por más de tres meses.

#### **Artículo 22.** Multas coercitivas y reparación de los daños.

1. Se pueden imponer multas coercitivas, de una cuantía máxima de 100.000 pesetas (601,012 euros), y un máximo de tres consecutivas, para apremiar al cumplimiento de las obligaciones derivadas de las medidas cautelares o de las resoluciones sancionadoras que se hayan dictado.

2. Si una infracción de la presente Ley causa un daño a la biodiversidad del medio, el responsable tiene la obligación de repararlo, y ha de devolver prioritariamente la situación al estado originario, previo a la alteración. Si la reparación no es posible, el responsable de la infracción ha de indemnizar por los daños y perjuicios.



3. La imposición de multas coercitivas y la exigencia de la reparación del daño o de la indemnización por los daños y perjuicios causados es compatible con la imposición de las sanciones que correspondan.

**Artículo 23.** Potestad sancionadora y órganos competentes.

1. La potestad sancionadora para las infracciones tipificadas por la presente Ley corresponde a la Administración de la Generalidad y a los entes locales.

2. Los órganos competentes para imponer las sanciones fijadas por la presente Ley se han de determinar por reglamento.

**Artículo 24.** Potestad de inspección y control.

1. La potestad de inspección y control de los alumbrados que puedan ser fuente de contaminación lumínica corresponde al Departamento de Medio Ambiente y a los Ayuntamientos, y es ejercida por personal acreditado al servicio de la Administración respectiva, que tiene la condición de autoridad, sin perjuicio de lo que establece la disposición adicional tercera.

2. Los hechos constatados en el acta de inspección levantada por el personal acreditado a que se refiere el apartado 1 tienen valor probatorio, sin perjuicio de las pruebas que puedan aportar los interesados.

3. Las entidades o personas sometidas a inspección tienen la obligación de facilitar al máximo el desarrollo de las tareas de inspección y control.

**DISPOSICIÓN ADICIONAL PRIMERA.**

Los alumbrados exteriores existentes a la entrada en vigor de la presente Ley pueden mantener inalteradas sus condiciones técnicas, en los términos que establece la [disposición transitoria primera](#), pero han de ajustar el régimen de usos horarios al que determinan la presente Ley y la normativa que la desarrolle.

**DISPOSICIÓN ADICIONAL SEGUNDA.**

Si posteriorment a la entrada en vigor de la presente Ley se lleva a cabo una modificació sustancial de un alumbrado exterior que afecta su intensidad, su espectro o el flujo de hemisferio superior instalado se ha de ajustar en todo caso a las prescripciones de la Ley y de la normativa que la desarrolle.

### **DISPOSICIÓN ADICIONAL TERCERA.**

Las actuaciones de inspección y control de los alumbrados exteriores, por lo que respecta al cumplimiento de la presente Ley, pueden ser llevadas a cabo por entidades colaboradoras, que han de estar debidamente autorizadas y han de contar con los medios personales y materiales necesarios para el ejercicio de sus funciones.

### **DISPOSICIÓN ADICIONAL CUARTA.**

Los Ayuntamientos pueden delegar en los consejos comarcales la zonificación del término municipal a que les autoriza el [artículo 5.3](#), en los términos que establece la normativa sobre régimen local.

### **DISPOSICIÓN ADICIONAL QUINTA.**

El desarrollo reglamentario de la presente Ley ha de tener en cuenta, de acuerdo con los requisitos y los principios que la Ley establece, las alteraciones de la claridad natural causadas por la actividad humana, además de la instalación de alumbrados, que puedan derivar en formas de contaminación lumínica.

### **DISPOSICIÓN TRANSITORIA PRIMERA.**

Los alumbrados exteriores existentes a la entrada en vigor de la presente Ley se han de adaptar a las prescripciones de la Ley y de la normativa que la desarrolle en los plazos que sean fijados por vía reglamentaria, que en ningún caso pueden sobrepasar el período de ocho años, a contar desde dicha entrada en vigor, y que se han de determinar atendiendo, entre otros, a los criterios siguientes:

- a. Los usos del alumbrado.

- b. La clasificación de la zona en que se emplaza el alumbrado.
- c. Los perjuicios que causa el alumbrado para el medio o para la ciudadanía.
- d. La magnitud de las reformas que se hayan de llevar a cabo.
- e. La eficiencia energética del alumbrado.
- f. Los costes económicos de la adaptación.

### **DISPOSICIÓN TRANSITORIA SEGUNDA.**

La Generalidad, por medio del régimen de ayudas regulado por el [artículo 14](#) y de los otros mecanismos presupuestarios pertinentes, ha de colaborar con los Ayuntamientos para garantizar la adaptación de los alumbrados públicos de los términos municipales respectivos a las prescripciones de la presente Ley.

### **DISPOSICIÓN FINAL PRIMERA.**

El Departamento de Medio Ambiente ha de promover campañas de difusión y concienciación ciudadana en relación con la problemática que conlleva la contaminación lumínica.

### **DISPOSICIÓN FINAL SEGUNDA.**

De acuerdo con el principio de colaboración, se han de promover convenios de colaboración entre la Administración de la Generalidad y la Administración Local, así como, si procede, la Administración General del Estado, de cara al impulso y la implantación de las medidas que regula la presente Ley.

### **DISPOSICIÓN FINAL TERCERA.**

1. En el plazo de dos meses desde la entrada en vigor de la presente Ley, se ha de regular y constituir una comisión de prevención y corrección de la contaminación lumínica, con la participación de los diversos sectores implicados, con la función de impulsar y promover la aplicación de la presente Ley, y cualquier otra que le sea atribuida.

2. El desarrollo reglamentario de la presente Ley se ha de efectuar en el plazo de nueve meses a partir de la constitución de la comisión a que se refiere el apartado 1.

#### **DISPOSICIÓN FINAL CUARTA.**

Se faculta al Gobierno para actualizar, mediante Decreto, las multas fijadas por la presente Ley, de acuerdo con las variaciones del índice de precios al consumo.

#### **DISPOSICIÓN FINAL QUINTA.**

Se habilita al Gobierno para desarrollar y aplicar la presente Ley y al Consejero o Consejera de Medio Ambiente para hacer la regulación de la Comisión de Prevención y Corrección de la Contaminación Lumínica a que se refiere la [disposición final tercera](#).

#### **DISPOSICIÓN FINAL SEXTA.**

En el plazo que establece la [disposición final tercera](#) para el desarrollo reglamentario de la presente Ley, el Departamento competente ha de determinar los requisitos para otorgar el distintivo homologado a que se refiere el [artículo 7.3](#).

#### **DISPOSICIÓN FINAL SÉPTIMA.**

La presente Ley entra en vigor a los tres meses de su publicación.

Por tanto, ordeno que todos los ciudadanos a los que sea de aplicación esta Ley cooperen en su cumplimiento y que los Tribunales y autoridades a los que corresponda la hagan cumplir.

Palacio de la Generalidad, 31 de mayo de 2001.



Felip Puig i Godes,  
Consejero de Medio Ambiente.

Jordi Pujol,  
Presidente.

## Annex B Llistat de punts de llum

| Quadre | Carrer               | Unitats | Suport    | FHS | Tipus      | Potència |
|--------|----------------------|---------|-----------|-----|------------|----------|
| 1      | Cardener             | 9       | Bàcul     | 4   | VSAP       | 150      |
|        | Cardener             | 7       | Columna   | 4   | VSAP       | 150      |
|        | Ctra. del Mojal      | 9       | Columna   | 4   | VSAP       | 150      |
|        | Ter                  | 8       | Columna   | 4   | VSAP       | 150      |
|        | Llobregat            | 15      | Columna   | 4   | VSAP       | 150      |
|        | Segre                | 9       | Columna   | 4   | VSAP       | 150      |
| 2      | Font de la Ventaiola | 27      | Columna   | 4   | VSAP       | 150      |
|        | Font de Gusart       | 8       | Bàcul     | 4   | VSAP       | 150      |
|        | Font del Pere        | 1       | Bàcul     | 4   | VSAP       | 150      |
|        | Font del Pere        | 8       | Columna   | 4   | VSAP       | 150      |
|        | Font dels Plataners  | 6       | Columna   | 4   | VSAP       | 150      |
|        | Túnels               | 4       | Projector | 6   | Halogenurs | 36       |
| 3      | Àngel Guimerà        | 4       | Braç      | 3   | VM         | 125      |
|        | Ctra. del Mojal      | 1       | Braç      | 3   | VM         | 125      |
|        | Ctra. del Mojal      | 1       | Braç      | 3   | VSAP       | 250      |
|        | Ctra. del Mojal      | 8       | Braç      | 3   | VSAP       | 125      |
|        | Germans Arnalot      | 1       | Braç      | 3   | VSAP       | 250      |
|        | Germans Forcada      | 1       | Braç      | 3   | VSAP       | 125      |
|        | Germans Forcada      | 1       | Braç      | 3   | VSAP       | 250      |
|        | Germans Forcada      | 2       | Braç      | 3   | VSAP       | 150      |
|        | Germans Pons         | 7       | Braç      | 3   | VSAP       | 125      |
|        | Jacint Verdaguer     | 9       | Braç      | 3   | VSAP       | 125      |
|        | Sallent              | 1       | Braç      | 3   | VSAP       | 150      |
|        | Barri                | 7       | Braç      | 3   | VSAP       | 125      |
|        | Barri                | 5       | Braç      | 3   | VSAP       | 250      |
|        | Barri                | 1       | Braç      | 3   | VSAP       | 70       |
|        | Barri                | 3       | Braç      | 3   | VSAP       | 150      |
| 4      | Alcalde Serra        | 13      | Braç      | 4   | VSAP       | 100      |
|        | Creueta              | 1       | Braç      | 3   | VM         | 125      |
|        | Germans Arnalot      | 4       | Braç      | 4   | VSAP       | 100      |
|        | Germans Sellarés     | 5       | Braç      | 3   | VM         | 125      |
|        | Jacint Verdaguer     | 8       | Braç      | 3   | VM         | 125      |
|        | Jardins              | 3       | Columna   | 1   | VSAP       | 70       |
|        | Sallent              | 4       | Braç      | 3   | VM         | 125      |
|        | Sant Cugat           | 3       | Bàcul     | 4   | VSAP       | 150      |
|        | Sant Cugat           | 6       | Braç      | 4   | VSAP       | 100      |
|        | Sant Cugat           | 2       | Braç      | 3   | VM         | 125      |

| Quadre      | Carrer              | Unitats | Suport  | FHS  | Tipus | Potència |
|-------------|---------------------|---------|---------|------|-------|----------|
| 5           | Camp de Futbol      | 14      | Columna | 1    | VSAP  | 100      |
|             | Àngel Guimerà       | 2       | Braç    | 5    | VSAP  | 100      |
|             | Germans Forcada     | 2       | Columna | 5    | VSAP  | 100      |
|             | Germans Pons        | 2       | Braç    | 5    | VSAP  | 100      |
|             | Mojal               | 1       | Braç    | 4    | VSAP  | 100      |
|             | Mojal               | 2       | Braç    | 5    | VSAP  | 100      |
|             | Pg. Circumval·lació | 4       | Columna | 4    | VSAP  | 150      |
|             | Pg. Ramon Vall      | 12      | Columna | 3    | VSAP  | 100      |
|             | Pg. Ramon Vall      | 17      | Columna | 4    | VSAP  | 150      |
|             | Pg. Ramon Vall      | 1       | Columna | 5    | VSAP  | 100      |
|             | Plaça Gaudí         | 3       | Braç    | 5    | VSAP  | 100      |
|             | Plaça Gaudí         | 2       | Columna | 6    | VSAP  | 250      |
|             | Plaça Gaudí         | 18      | Columna | 4    | VSAP  | 150      |
| 6           | Pavelló Nou         | 16      | Columna | 1    | VSAP  | 100      |
|             | Pavelló Nou         | 4       | Bàcul   | 5    | VM    | 125      |
|             | Alcalde Serra       | 1       | Braç    | 3    | VSAP  | 70       |
|             | Castelladral        | 11      | Braç    | 3    | VSAP  | 70       |
|             | Creueta             | 3       | Braç    | 3    | VSAP  | 150      |
|             | Creueta             | 16      | Columna | 5    | VSAP  | 150      |
|             | Devesa              | 11      | Braç    | 3    | VSAP  | 70       |
|             | Pau Casals          | 2       | Braç    | 4    | VSAP  | 150      |
|             | Pau Casals          | 1       | Braç    | 3    | VSAP  | 70       |
|             | Pau Casals          | 9       | Braç    | 3    | VSAP  | 150      |
|             | Sant Cugat          | 8       | Bàcul   | 4    | VSAP  | 150      |
|             | Sant Cugat          | 6       | Braç    | 4    | VSAP  | 150      |
|             | Sta. Teresina       | 5       | Braç    | 4    | VSAP  | 150      |
|             | Torroella           | 6       | Braç    | 3    | VSAP  | 150      |
| Valldeperes | 4                   | Bàcul   | 4       | VSAP | 150   |          |
| 7           | Ali-Bei             | 5       | Bàcul   | 4    | VSAP  | 100      |
|             | Ali-Bei             | 3       | Bàcul   | 5    | VM    | 125      |
|             | Ali-Bei             | 8       | Braç    | 4    | VSAP  | 100      |
|             | Amadeu Maristany    | 8       | Braç    | 4    | VSAP  | 100      |
|             | Cadí                | 9       | Bàcul   | 4    | VSAP  | 100      |
|             | Castelladral        | 3       | Bàcul   | 4    | VSAP  | 100      |
|             | Castelladral        | 8       | Braç    | 4    | VSAP  | 100      |
|             | Devesa              | 4       | Braç    | 4    | VSAP  | 100      |
|             | Devesa              | 2       | Braç    | 3    | VSAP  | 100      |
|             | Jardins             | 2       | Columna | 1    | VSAP  | 100      |
|             | Pau Casals          | 2       | Bàcul   | 4    | VSAP  | 100      |
|             | Pau Casals          | 7       | Bàcul   | 4    | VSAP  | 100      |
|             | Pau Casals          | 4       | Braç    | 4    | VSAP  | 100      |
|             | Pedraforca          | 15      | Bàcul   | 4    | VSAP  | 100      |
|             | Pica d'Estats       | 4       | Bàcul   | 4    | VSAP  | 100      |
| Pirineu     | 7                   | Bàcul   | 4       | VSAP | 100   |          |

| Quadre        | Carrer              | Unitats | Suport  | FHS  | Tipus      | Potència |
|---------------|---------------------|---------|---------|------|------------|----------|
| 8             | Balmes              | 3       | Braç    | 3    | VSAP       | 70       |
|               | Bruc                | 7       | Columna | 1    | VSAP       | 70       |
|               | Ctra. de Berga      | 2       | Bàcul   | 3    | VSAP       | 150      |
|               | Ctra. de Berga      | 1       | Braç    | 3    | VSAP       | 150      |
|               | Ctra. de Viver      | 6       | Bàcul   | 3    | VSAP       | 70       |
|               | Ctra. de Viver      | 10      | Bàcul   | 3    | VSAP       | 100      |
|               | Delfina Bonet       | 2       | Braç    | 3    | VSAP       | 70       |
|               | Delfina Bonet       | 3       | Braç    | 3    | VSAP       | 100      |
|               | Dels Ametllers      | 4       | Columna | 5    | VSAP       | 150      |
|               | Indústria           | 9       | Braç    | 3    | VSAP       | 70       |
|               | Lleida              | 4       | Braç    | 3    | VSAP       | 70       |
|               | Mojal               | 3       | Braç    | 3    | VSAP       | 70       |
|               | Mossèn Morta        | 4       | Braç    | 3    | VSAP       | 100      |
|               | Navarons            | 8       | Braç    | 3    | VSAP       | 70       |
|               | Navarons            | 1       | Braç    | 3    | VSAP       | 100      |
|               | Pg. Circumval·lació | 15      | Columna | 5    | VSAP       | 150      |
|               | Pg. Ramon Vall      | 112     | Columna | 1    | VSAP       | 100      |
|               | Pau Casals          | 3       | Braç    | 3    | VSAP       | 70       |
|               | Pla de Bages        | 6       | Bàcul   | 4    | VSAP       | 150      |
|               | Puig-Reig           | 2       | Braç    | 3    | VSAP       | 70       |
|               | Puig-Reig           | 9       | Columna | 1    | VSAP       | 70       |
|               | Plaça Catalunya     | 4       | Columna | 6    | Halogenurs | 400      |
|               | Sant Jordi          | 3       | Braç    | 3    | VSAP       | 100      |
| Santa Eulàlia | 24                  | Braç    | 3       | VSAP | 70         |          |
| Sta. Teresina | 6                   | Braç    | 3       | VSAP | 70         |          |
| Sta. Teresina | 7                   | Braç    | 3       | VSAP | 100        |          |
| Tarragona     | 1                   | Braç    | 3       | VSAP | 70         |          |
| Tarragona     | 1                   | Braç    | 3       | VSAP | 100        |          |
| Tarragona     | 3                   | Braç    | 5       | VSAP | 100        |          |
| 9             | Dels Ametllers      | 18      | Bàcul   | 4    | VSAP       | 150      |



| Quadre        | Carrer              | Unitats   | Suport  | FHS          | Tipus        | Potència |
|---------------|---------------------|-----------|---------|--------------|--------------|----------|
| 10            | Camí                | 6         | Columna | 1            | VSAP         | 70       |
|               | Canigó              | 3         | Braç    | 4            | VM           | 100      |
|               | Canigó              | 1         | Braç    | 3            | VSAP         | 125      |
|               | Ctra. de Berga      | 10        | Bàcul   | 3            | VSAP         | 100      |
|               | Ctra. de Berga      | 18        | Braç    | 3            | VSAP         | 150      |
|               | Ctra. de Berga      | 8         | Columna | 5            | VM           | 250      |
|               | Ctra. de Castellet  | 1         | Braç    | 3            | VSAP         | 125      |
|               | Ctra. de Castellet  | 18        | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | de la Pau           | 10        | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | del Sol             | 10        | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | Església            | 7         | Braç    | 3            | VSAP         | 150      |
|               | Jardins             | 3         | Columna | 1            | VSAP         | 70       |
|               | Joan Pascual        | 6         | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | Joan Pascual        | 4         | Braç    | 3            | VSAP         | 150      |
|               | Joan Pascual        | 1         | Columna | 1            | VSAP         | 70       |
|               | Josep Anselm Clavé  | 4         | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | Josep Anselm Clavé  | 1         | Braç    | 3            | VSAP         | 150      |
|               | Josep Forcada       | 1         | Braç    | 4            | VSAP         | 100      |
|               | Josep Forcada       | 11        | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | Migdia              | 1         | Braç    | 3            | VM           | 125      |
|               | Migdia              | 7         | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | L'Alzineta          | 6         | Columna | 1            | VSAP         | 70       |
|               | Pau Duarri          | 1         | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | Passatge del Riu    | 7         | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | Pg. Circumval·lació | 19        | Columna | 5            | VSAP         | 250      |
|               | Escola Bressol      | 10        | Columna | 2            | VSAP         | 70       |
|               | Pau Casals          | 3         | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | Pau Duarri          | 16        | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | Pau Duarri          | 2         | Columna | 1            | VSAP         | 70       |
|               | Pç. de l'Ajuntament | 2         | Braç    | 1            | VSAP         | 150      |
|               | Pç. de l'Ajuntament | 16        | Columna | 1            | VM           | 250      |
|               | Pç. de l'Ajuntament | 6         | Pilona  | 6            | Incandescent | 21       |
|               | Plaça de l'Església | 3         | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | Plaça de l'Església | 8         | Columna | 1            | VSAP         | 70       |
|               | Ptge. Pau Duarri    | 3         | Columna | 1            | VSAP         | 70       |
|               | Sant Genís          | 8         | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | Sant Josep          | 11        | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
|               | Sant Josep          | 1         | Braç    | 3            | VSAP         | 150      |
|               | Sant Josep          | 3         | Columna | 3            | VSAP         | 100      |
|               | Sardana             | 4         | Braç    | 3            | VSAP         | 70       |
| Torrent       | 7                   | Braç      | 3       | VSAP         | 70           |          |
| Vicenç Vidal  | 9                   | Braç      | 3       | VSAP         | 70           |          |
| Plaça del CAP | 3                   | Columna   | 6       | VSAP         | 150          |          |
| Plaça del CAP | 5                   | Ambiental | 1       | Incandescent | 40           |          |

| Quadre       | Carrer              | Unitats | Suport    | FHS  | Tipus       | Potència |
|--------------|---------------------|---------|-----------|------|-------------|----------|
| 11           | Barcelona           | 8       | Braç      | 3    | VSAP        | 70       |
|              | Bonavista           | 4       | Braç      | 3    | VSAP        | 70       |
|              | Ctra. de Berga      | 9       | Bàcul     | 3    | VSAP        | 250      |
|              | Ctra. de Gaià       | 2       | Bàcul     | 3    | VSAP        | 250      |
|              | Ctra. de Gaià       | 1       | Braç      | 3    | VSAP        | 150      |
|              | Josep Alsina        | 10      | Braç      | 3    | VSAP        | 70       |
|              | Est. Autobusos      | 20      | Projector | 6    | VM          | 250      |
|              | Est. Autobusos      | 4       | Projector | 6    | Fluorescent | 36       |
|              | de la Pau           | 12      | Braç      | 3    | VSAP        | 70       |
|              | Pau Duarri          | 12      | Braç      | 3    | VSAP        | 70       |
|              | Ptge. del Riu       | 4       | Braç      | 3    | VSAP        | 70       |
|              | Puig-Reig           | 5       | Braç      | 3    | VSAP        | 70       |
|              | Sant Jordi          | 1       | Braç      | 3    | VSAP        | 70       |
|              | s/n                 | 4       | Braç      | 4    | VSAP        | 100      |
|              | Verge de Montserrat | 5       | Braç      | 3    | VSAP        | 70       |
|              | Vicenç Vidal        | 2       | Braç      | 4    | VSAP        | 100      |
|              | Vicenç Vidal        | 6       | Braç      | 3    | VSAP        | 70       |
| Vista Alegre | 5                   | Braç    | 3         | VSAP | 70          |          |
| 12           | Bonavista           | 3       | Bàcul     | 4    | VSAP        | 150      |
|              | Bonavista           | 1       | Braç      | 4    | VSAP        | 150      |
|              | Ctra. de Gaià       | 3       | Bàcul     | 4    | VSAP        | 150      |
|              | Llevant             | 4       | Bàcul     | 4    | VSAP        | 150      |
|              | Llevant             | 4       | Columna   | 1    | VSAP        | 150      |
|              | Vista Alegre        | 2       | Bàcul     | 4    | VSAP        | 150      |

**On Tipus:**

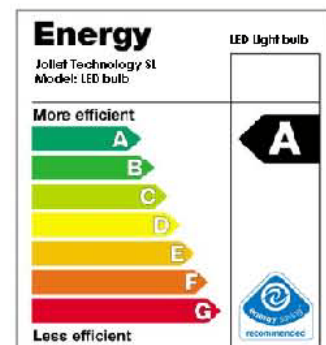
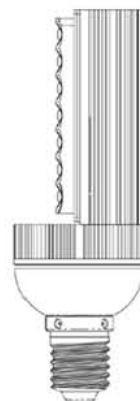
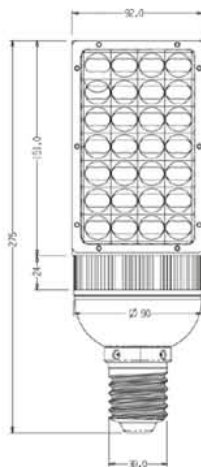
- Fluorescent
- Halogenurs
- Incandescent
- VM: Vapor de Mercuri
- VSAP: Vapor de Sodi a Alta Pressió

## Annex C Fulls de característiques

### JOLIET High Power LED Streetlight Bulb 28W



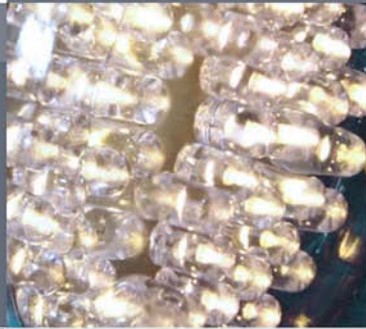
| Model              | JOLIET High Power LED Streetlight 28W                    |
|--------------------|--|
| Equivalent         | To 75W /150W HPS bulbs at 6 /7 meters height             |
| Input voltage      | 85-265VAC  |
| Dimension          | ø90 x 275 mm   |
| Emission Color     | Pure White, Warm White                                   |
| Color temperature  | Pure White; 5,000 – 7,000K / Warm White : 3,000 – 4,000K |
| CRI                | Ra > 75  |
| Luminescence Angle | 120°   |
| Lumens             | 2100 lm  |
| Working Voltage    | 24 v DC  |
| Power Consumption  | 28W  |
| Lamp Lens          | Acrylic  |
| Light Body         | Aluminium Alloy and PC                                   |
| Lamp Base          | E40  |
| IP Rating          | IP60   |
| Certification      | CE, RoHS, UL   |
| Packing            | Individual box in master carton of 10 bulbs              |
| Carton Size        | 690 x 330 x 315mm  |
| Design life        | Up to 50 000 hours                                       |
| Warranty           | 12 months  |
| IP rating          | IP60   |



...Light Emitting Diode...

# LED street lighting

www.led-france.com www.led-uk.com



JOLIET



Joliet Technology SL Joliet Technology France SAS

## Masthead LED street lights



The masthead LED lamp is designed for simple replacement of existing lamp units without the expense and disruption of changing the lamp post or wiring.

This LED lamp unit has a multi purpose clamp fitting allowing it to be fixed to most standard tubular supports. Custom fixing brackets or universal mounting tubes are available on request.

Other LED products from Joliet Technology include: replacement LED bulbs for existing street lights, tunnel lights suitable for all underground applications and customised solar powered street lighting systems



LED -The future of street lighting



...Light Emitting Diode...

# MASTHEAD street lighting

www.led-france.com www.led-uk.com



JOLIET

### High lumen output

LED offers up to eight times more brightness than incandescent lamps without emissions harmful to the environment.

### Tremendous energy savings

High power LED light sources are extremely efficient returning a 50 to 80% saving over conventional sodium or mercury lamps.

### Long life

Operating for an average of 10 hours per day LED has a life span of up to 13 years, 50,000 hours. Unlike traditional light bulbs LED is not fragile and susceptible to breakage or vandalism.

### High colour index

LED has a unique colour index providing bright, true colours during nighttime hours.

### Revolutionary photometric design

Highly focused LED optical system provides a regular rectangular beam pattern with uniform brightness, reducing dark patches and light loss between light sources.

### No glare or strobe effect

LED light sources do not produce glare or strobe effects common in conventional street lighting, reducing visual fatigue for drivers and pedestrians alike.

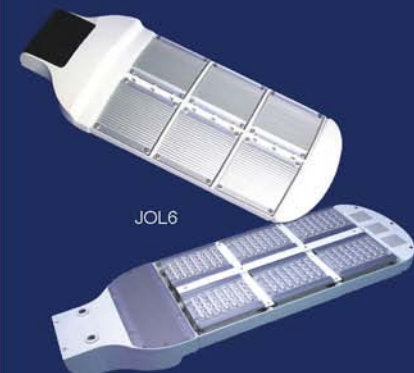
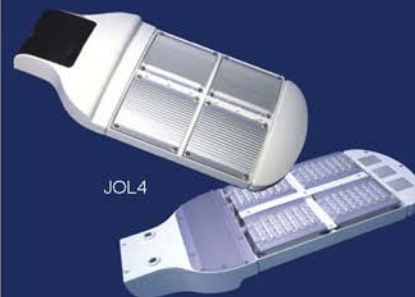
### No dust absorption or yellowing

Because LED operates at low voltage and low temperature there is no reduction in brightness or yellowing, which is associated with traditional street lighting, over the life span of the LED

### Instant start

Unlike sodium lights, LED lights do not require a time delay to reach optimum brightness levels.

## THE BENEFITS OF LED LIGHTING



Joliet Technology SL Joliet Technology France SAS

info@joliet-europe.com

...Light Emitting Diode...

# MASTHEAD street lighting

www.led-france.com www.led-uk.com



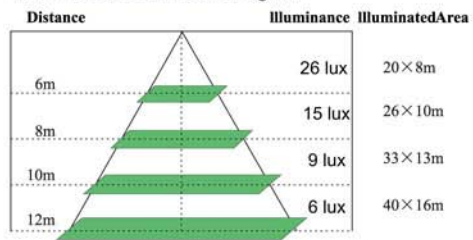
JOLIET

## PHOTOMETRIC PROPERTIES JOL2 LED MASTHEAD STREETLIGHT

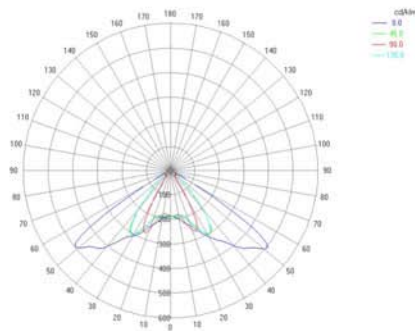
### Revolutionary photometric design

Highly focused LED optical system provides a regular rectangular beam pattern with uniform brightness, reducing dark patches and light loss between light sources.

### Illumination at different heights



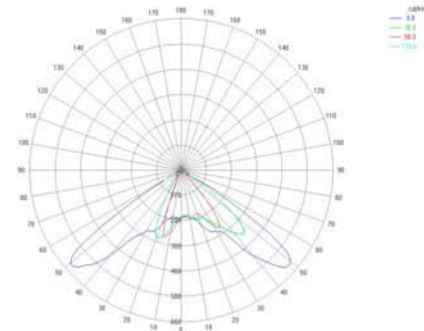
### Light distribution curve for horizontal installation



Beam pattern - horizontal installation



### Light distribution curve for inclined installation



Beam pattern - inclined installation





**PHOTOMETRIC PROPERTIES  
JOL4 LED MASTHEAD STREETLIGHT**

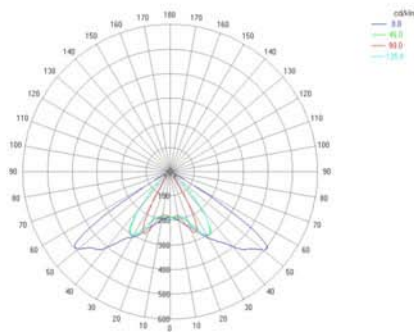
**Revolutionary photometric design**

Highly focused LED optical system provides a regular rectangular beam pattern with uniform brightness, reducing dark patches and light loss between light sources.

**Illumination at different heights**

| Distance | Illuminance | Illuminated Area |
|----------|-------------|------------------|
| 6m       | 53 lux      | 20 × 8m          |
| 8m       | 30 lux      | 26 × 10m         |
| 10m      | 18 lux      | 33 × 13m         |
| 12m      | 13 lux      | 40 × 16m         |

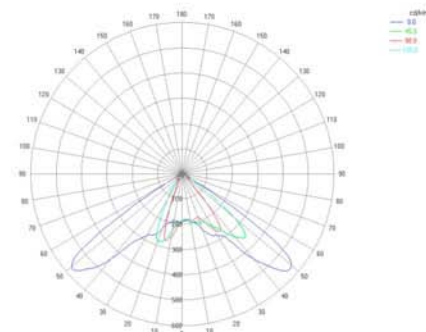
**Light distribution curve for horizontal installation**



Beam pattern - horizontal installation



**Light distribution curve for inclined installation**

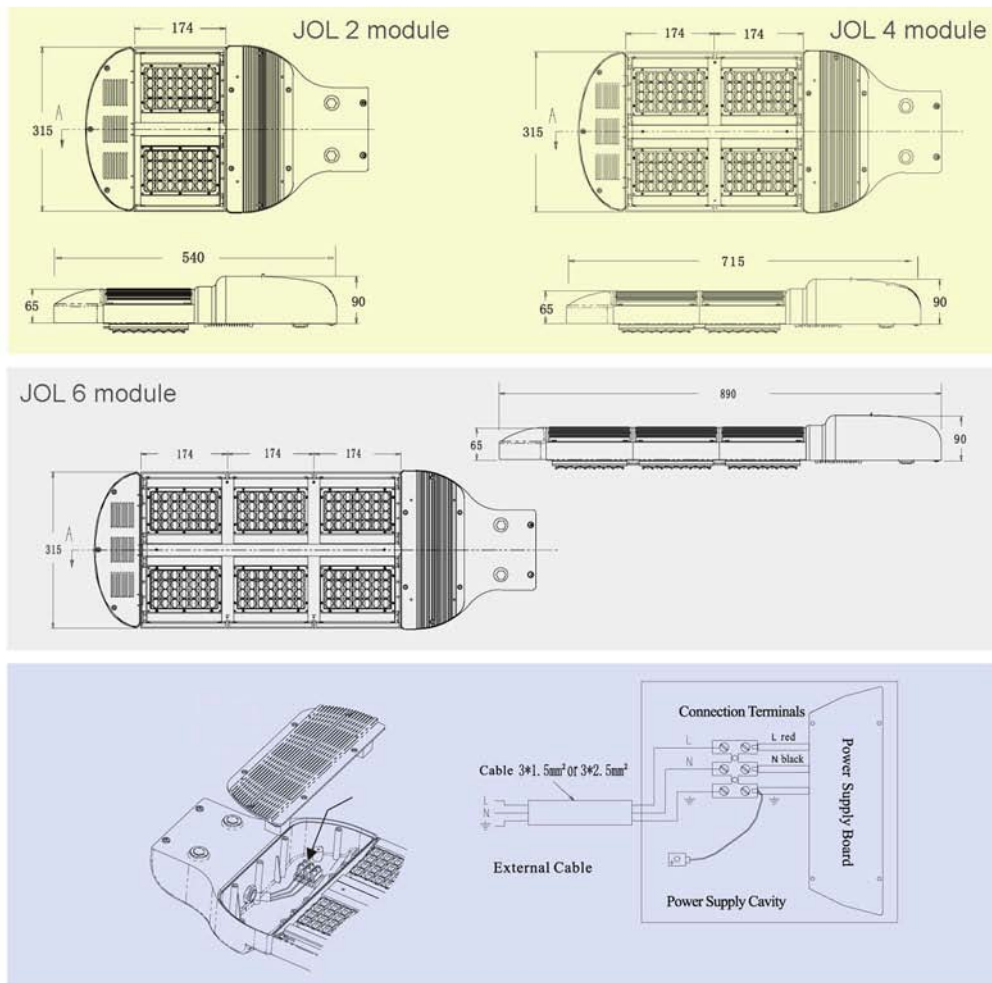


Beam pattern - inclined installation





Masthead LED street lights - Product details





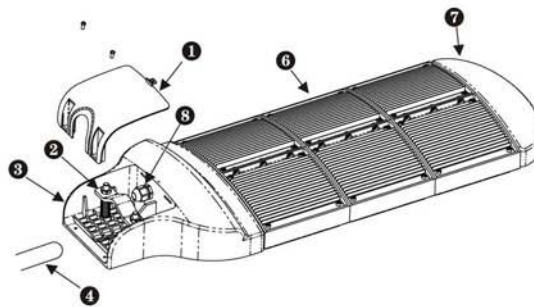


Integrated High Power LED Streetlight and Lamp Pole Installation details (example JOL6)

1. Remove the black rubber cover (1)
2. Adjust the clamp (2) to suit the lamp pole's diameter, and then put the streetlight on the lamp pole (4)
3. Tighten the two M10 nuts on the clamp (2) to secure the lamp to the lamp pole (4) pay attention to adjust the angle of the lamp when locking
4. Undo the six screws on the power supply cover plate (5) and remove the cover plate (5)
5. Pass the cable into the power supply cavity through the cable passage (8)
6. Tighten the waterproof cable passage nut (8) The cable should have sufficient length to make connections
7. Bare the cables by about 6mm, connect the cables (9) and replace the cover plate ensuring that the rubber seal remains in place.
8. Replace the black rubber cover.

Components details

- (1) Rubber Cover
- (2) Mounting clamp
- (3) Lamp body
- (4) Lamp Pole
- (5) Power Supply cover plate
- (6) LED Modules & cooling covers
- (7) Frame
- (8) Waterproof cable passage
- (9) Power Supply connectors

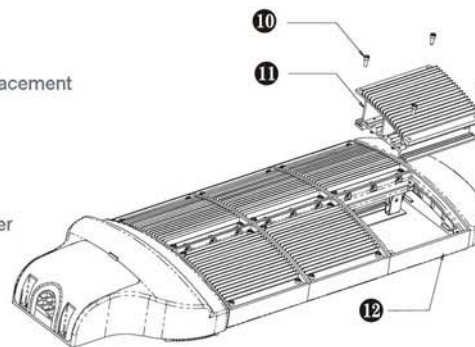


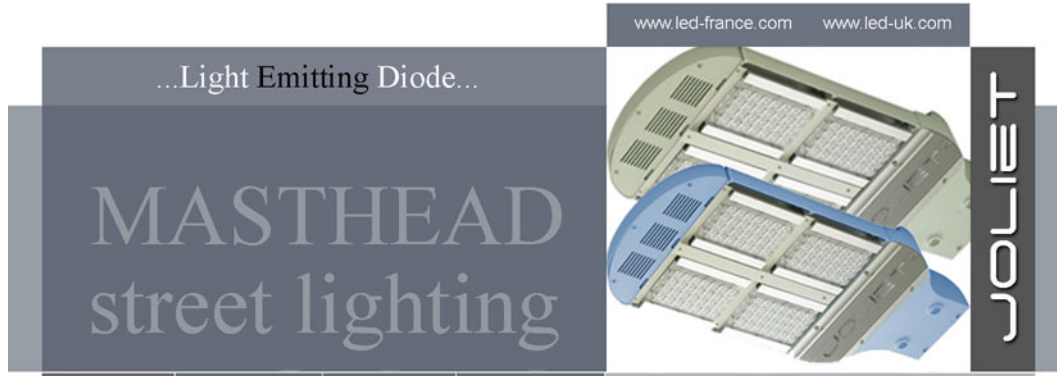
The diameter for lamp pole : 40mm – 60mm

Integrated High Power Led Streetlight Module replacement

- (10) Fixed screws (5 angles)
- (11) LED Module
- (12) Frame

1. Remove the 4 screws (10) from the cooling cover
2. Gently slide the LED Module (2) outwards
3. Turn the LED Module (2), on its side
4. Unplug the power supply cable
5. Remove the entire LED Module (2)





Technical data



| Item                                 | 2 LED Module - JOL2                                    | 4 LED Module - JOL4   | 6 LED Module - JOL6                                    |
|--------------------------------------|--|---|--|
| Input Voltage                        |  | 85 – 264 VAC  |  |
| Frequency Power                      |  | 47 ~ 63 Hz  |  |
| Power Factor                         |  | > 0.9   |  |
| Total Harmonic Distortion (THD)      |  | < 20 %  |  |
| Power Efficiency                     |  | 85 %  |  |
| LED Working Voltage                  |  | 12/24 VDC   |  |
| LED Consumption                      | 56W  | 112W  | 168W   |
| Power Supply Consumption             | 10W  | 20W   | 30W  |
| Lamp Global Consumption              | 75 W   | 150 W   | 225W   |
| High Pressure Sodium Lamp Equivalent | 150 W (on 7m height pole)<br>250 W (on 6m height pole) | 250 W   | 400W   |
| LED Luminous Efficiency              |  | > 80 lm/w   |  |
| LED Initial Flux                     | 5,000 lm (Tj=25°C)                                     | 10,000 lm (Tj=25°C)   | 15,000 lm (Tj=25°C)                                    |
| LED Maintain Flux                    | 4,600 lm<br>(Tj=60°C, Ta=25°C)                         | 9,300 lm<br>(Tj=60°C, Ta=25°C)                              | 14,000 lm<br>(Tj=60°C, Ta=25°C)                        |
| Lamp's Flux                          | 4,200 lm<br>(Tj=60°C, Ta=25°C)                         | 8,400 lm<br>(Tj=60°C, Ta=25°C)                              | 12,600 lm<br>(Tj=60°C, Ta=25°C)                        |
| Effective Illuminated Area           |  | Height = 6m : 20 x 8 cm<br>Height = 8m : 26 x 10 cm         | Height = 10m : 33 x 13 cm<br>Height = 12m : 40 x 16 cm |
| Color Temperature (CCT)              |  | Pure White : 5,000 ~ 7,000 K – Warm White : 3,000 ~ 4,000 K |  |
| Color Index (CRI)                    |  | Ra > 75   |  |
| Light Source                         |  | Emission (1Watt)  |  |
| Light Distribution Curve             |  | Asymmetric (Bat Wing) / Rectangular Beam                    |  |
| The maximum Light Intensity Angle    | 120° =<br>140° =                                       | Horizontal Axis : 110°<br>Horizontal Axis : 130°            | Vertical Axis : 45°<br>Vertical Axis : 45°             |
| Working Temperature                  |  | -30°C ~ 50°C  |  |
| Working Humidity                     |  | 10% ~ 90% RH  |  |
| Storage Temperature                  |  | 10°C ~ 85°C   |  |
| Working Life                         |  | > 50,000 Hrs  |  |
| Certification                        |  | CE, RoHS  |  |
| Light Body & Lampshade Material      |  | Aluminium Alloy and PC                                      |  |
| Dimensions (mm)                      | 540(L)x315(I)x90(H)                                    | 715(L)x315(I)x90(H)   | 890(L)x315(I)x90(H)                                    |