



**Escola Politècnica Superior
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL DE FI DE CARRERA

TÍTOL: Disseny de sistemes d'alimentació òptica per a sistemes sensors autònoms

TITULACIÓ: Enginyeria tècnica de Telecomunicació. Especialitat en Sistemes de Comunicació.

AUTOR: Carles Riera Marguí

DIRECTOR: Àngel Cuadras

DATA: 24 de febrer del 2006

Agraïments:

Aquest projecte no hagués pogut estar possible, sense l'ajuda d'una sèrie de persones i amics.

Cal destacar l'ajuda del director del projecte l'Àngel Cuadras, ja que m'ha ajudat en el desenvolupament del projecte. També per la paciència que ha tingut durant aquest temps. Per altra banda cal destacar l'ajuda d'en Francis el qual m'ha ajudat en tots els problemes que he tingut al laboratori, com també als professors del departament que sempre han col·laborat en cas de que tingués algun dubte i als companys de laboratori amb els quals he compartit molt bones estones.

Finalment i per mi el més important, destaco l'ajuda de tots els amics i amigues tant els d'Olot com els de Barcelona, com també els companys de pis en especial en Jordi i Xevi, en Francesc, en Jordi Favà, en Lluís, l'Oriol, en Lluç, en Guillem, en Job, en Roc, en Pere, l'Isaac, l'Edu, en kike, en Dani M, en Xavi, en Dani, la Mireia, la Laura i la Laurita, la Maria, la Gemma, la Noelia, la Noemí, la Berta, la Rut, l'Anna, la Prada, la Marta, la Núria, la Sònia, l'Ester, la Montse, la Bet, la Roser, la Mari etc. En fi a tots els amics nous i als de sempre, tot pel seu suport, ajuda i per tal de fer sempre les estones més divertides, ja que sense ells no hagués estat possible viure aquests 4 anys tant feliçment.

Com no també a la família.

Títol: Disseny de sistemes d'alimentació òptica per a sistemes sensors autònoms.

Autor: Carles Riera Marguí

Director: Àngel Cuadras

Data: 24 de Febrer de 2006

Resum

Els sensors autònoms requereixen sistemes d'alimentació de manteniment mínim. En el present projecte per aconseguir-ho s'utilitza l'energia lumínica. Per tal de captar la llum (energia) que prové del sol (llum natural) i de les làmpades o fluorescents (llum artificial) s'utilitzen cel·les solars dissenyades per interiors, les quals tenen la propietat de captar l'energia òptica i transformar-la en electricitat.

Per altra banda s'ha realitzat un estudi de com afecten les diferents fonts de llum a les cel·les. D'aquesta manera s'ha pogut observar que la cel·la té millor rendiment com més aprop té la font lluminosa. També s'han realitzat mesures d'irradiància amb l'espectroradiòmetre i d'il·luminària amb el luxòmetre tant en interiors com en exteriors.

Per aconseguir tenir un sistema autònom, és necessari emmagatzemar aquesta energia. Això s'aconsegueix mitjançant l'ús de les bateries recarregables i aquesta energia s'utilitza durant els períodes en els quals la cel·la no rep llum. S'ha comprovat que una cel·la és capaç de carregar una bateria.

Title: TFC/PFC Model

Author: Carles Riera Marguí

Director: Àngel Cuadras

Date: February, 24th 2006

Overview

Autonomous sensors are a alimentation system that needs a minimum maintenance. In order to achieve this objective we use bright energy. The energy (solar energy) and the lamps are captured by solar or photovoltaic cells which transform optical energy to electricity.

For the other hand, we have made a research about how the different light sources affect the cells. In that way, we have observed that the cell has a better yield when the light source is closer to it. Other measures have been made in the project concerning lightness in both indoor and outdoor places using the spectrometer (irradiance) and the luxometer (brightness).

However, to achieve an autonomous system it is necessary to store optical energy. We get this eith recargable batteries, and we us this energy during the night or in no-light periods. It has been proved that a cell is able to load a battery.

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	1
CAPÍTOL 1. FONAMENTS TEÒRICS	2
1.1. Sistemes de sensors autònoms.	2
1.2. Mesura de la radiació (la fotometria i la radiometria).....	3
1.2.1. L'espectroradiòmetre.....	4
1.2.2. El luxòmetre.....	5
1.2.3. Conversió de les unitats radiomètriques a les unitats fotomètriques.....	6
1.2.3.1. Radiació monocromàtica.	6
1.2.3.2. Radiació policromada.	7
1.3. Les cel·les solars.....	8
1.3.1. Principi de funcionament.	8
1.3.2. Tipus de cel·les solars.	8
1.3.3. Model elèctric de la cel·la solar.	10
1.3.4. Punt de màxima potència.	12
1.3.5. Punt de treball.	13
1.3.6. Rendiment de la conversió.	13
1.4. Característiques de les bateries recarregables.	13
1.4.1. Característiques de les bateries comercials més utilitzades.....	17
1.4.1.1. Comparació entre les bateries de Ni-MH i Ni-Cd.....	17
1.4.1.2. Comparativa entre les bateries de liti, Ni-Cd i Ni-MH.	18
CAPÍTOL 2. MATERIAL I MÈTODE	20
2.1. L'espectroradiòmetre i el luxòmetre.	20
2.2. Les cel·les solars fotovoltaïques.....	20
2.3. Les bateries recarregables.....	21
2.4. Components elèctrics.....	22
2.5. El PICDEMZ.....	22
CAPÍTOL 3. MESURES EXPERIMENTALS	24
3.1. Mesures d'irradiància i de il·luminària.....	24
3.1.1. Mesures experimentals.	25
3.2. Mesures experimentals amb les cel·les solars.	28
3.2.1. Potència sumministrada per les cel·les (punt òptim de treball).....	31
3.2.2. Simulació amb TopSpice.....	36
3.2.3. Agrupació de cel·les solars.....	38
CAPÍTOL 4. DISSENY PRELIMINAR I RESULTATS EXPERIMENTALS	41
4.1. Implementació del carregador de bateries.....	41

4.2. Resultats experimentals	42
4.2.1. Càrrega de la bateria amb els diferents reguladors.	42
4.2.2. Descàrrega de la bateria amb diferents resistències de càrrega.....	44
4.2.3. Comportament de la temperatura de la bateria en els processos de càrrega i descàrrega.....	45
4.2.4. Proves amb el model PICDEMZ.	46
4.3. Avaluació dels resultats	46
ESTUDI D'AMBIENTALITZACIÓ	49
CONCLUSIONS	50
REFERÈNCIES	51
BIBLIOGRAFIA	52
ANNEX 1. MESURES REALITZADES AMB L'ESPECTRORADIÒMETRE ...	55
ANNEX 2. MESURES AMB LES DIFERENTS CEL·LES SOLARS	60
ANNEX 3. CARACTERÍSTIQUES DE LES BATERIES RECARREGABLES.	78

INTRODUCCIÓ

Els sistemes electrònics consumeixen energia pel seu funcionament. Aquesta té un cost i moltes vegades prové de fonts no renovables, cosa que perjudica el mediambient. Degut a aquest motiu en molts camps es potencia l'ús d'energies renovables com poden ser la solar o eòlica entre altres. En el present projecte es desitja aprofitar la radiació solar mitjançant cel·les fotovoltaïques, les quals transformen la radiació lumínica en elèctrica. A més són capaços de captar tant la radiació solar (llum natural) com la emesa per fluorescents o làmpades (llum artificial).

L'objectiu del present projecte és aconseguir subministrar energia elèctrica a unes bateries recarregables mitjançant l'ús de cel·les solars o fotovoltaïques. Com a exemple d'aplicació, es desitja que aquestes alimentin el PICDEMZ en els moments en que no hi hagi llum. D'aquesta manera es pretén aconseguir un sistema autònom que requereixi el mínim manteniment possible.

El projecte s'ha estructurat en quatre capítols. El primer presenta els aspectes teòrics sobre la radiació, les cel·les fotovoltaïques i les bateries recarregables. El segon presenta les característiques principals del material escollit. En el tercer es presenten les proves experimentals que s'ha dut a terme amb les cel·les i els diferents instruments per mesurar la radiació solar i finalment en el quart s'implementa el carregador de bateries i es realitzen proves amb el sistema que es desitja alimentar: el PIDEMZ.

CAPÍTOL 1. FONAMENTS TEÒRICS

Aquest capítol mostra els fonaments previs per al disseny del projecte. Cal destacar els conceptes de sistemes de sensors autònoms, la mesura de la radiació (fotometria i radiometria), les cel·les solars fotovoltaïques i les característiques de les bateries recarregables.

1.1. Sistemes de sensors autònoms.

Els sistemes autònoms es caracteritzen per ser sistemes de mesura amb un consum molt baix. Cal que l'alimentació es pugui dur a terme amb bateries i per tant aconseguir que duri el màxim temps possible.. Per tal d'aconseguir que el sistema sigui autònom s'ha d'evitar que aquest requereixi d'un manteniment, o que aquest sigui mínim (canvi de bateries un cop s'ha acabat el cicle de vida d'aquesta). Així l'estalvi de manteniment del sistema el converteix en un sistema autònom. El sistema d'alimentació amb què treballarem en el projecte van dirigits a sistemes de sensors autònoms

L'objectiu principal del present projecte és aconseguir emmagatzemar l'energia òptica en bateries recarregables les quals capten l'energia gràcies a unes cel·les fotovoltaïques. D'aquesta manera i gràcies a les bateries podem alimentar al sistema el qual funcionarà amb l'energia subministrada per les bateries que s'aniran carregant mentre la cel·la estigui il·luminada per llum natural o bé per llum artificial.

L'alimentació dels sistemes de sensors es realitza amb una tensió contínua i sol estar entre els 2,7 V i els 5V. La potència mitja de consum dels sistemes de sensors autònoms que transmeten la seva informació utilitzant un protocol de xarxes sense fils no hauria de ser superior als 100 μ W [1]. D'altra banda el consum màxim el trobarem en els moments de transmissió i recepció d'informació. Així quan el sistema està en repòs el consum és mínim. Per tal de què el sistema no requereixi cap manteniment el temps de repòs hauria de ser superior al temps d'operació, ja que sinó les bateries no es podrien recarregar. A més al consum anterior cal sumar-li el consum d'interfícies i altres elements intermedis.

En el present projecte utilitzarem el sistema a alimentar utilitza un protocol de xarxes sense fils de sensors o de control que requereix una baixa velocitat de transmissió anomenat ZigBee[18]. Aquest és un protocol molt similar al bluetooth[19]. El bluetooth és un protocol que transmet veu i dades entre diferents equips mitjançant un enllaç de radiofreqüència. Es caracteritza per necessitar un consum baix (1 mW per a una distància de 10 m) i una alta velocitat de transferència. Per altra banda ZigBee es diferencia del bluetooth per:

- Tenir un consum menor al del bluetooth.
- Tenir una menor velocitat de transferència.
- Els dos protocols estan pensats per sistemes utilitzats en aplicacions portàtils (PDA's, mòbils ...), encara que ZigBee és més adequat per a l'automatització de la llar (domòtica).
- Funcionament molt simple.
- Baix cost.

1.2. Mesura de la radiació (la fotometria i la radiometria).

L'energia òptica (radiació òptica) és tota aquella que es pot contemplar o veure com a llum. La llum és la part visible de l'espectre electromagnètic, va des de 380 nm fins a 780 nm i es descompon amb els diferents colors bàsics. A la Fig. 1-1 es pot veure l'espectre de la radiació i a la taula 1-1 el marge de longitud d'ona de les diferents parts de la llum dins de l'espectre electromagnètic. En el present projecte ens centrarem en les regions de l'espectre visible, l'ultravioleta i l'infraroig proper a 300 nm fins a 1100 nm[1].

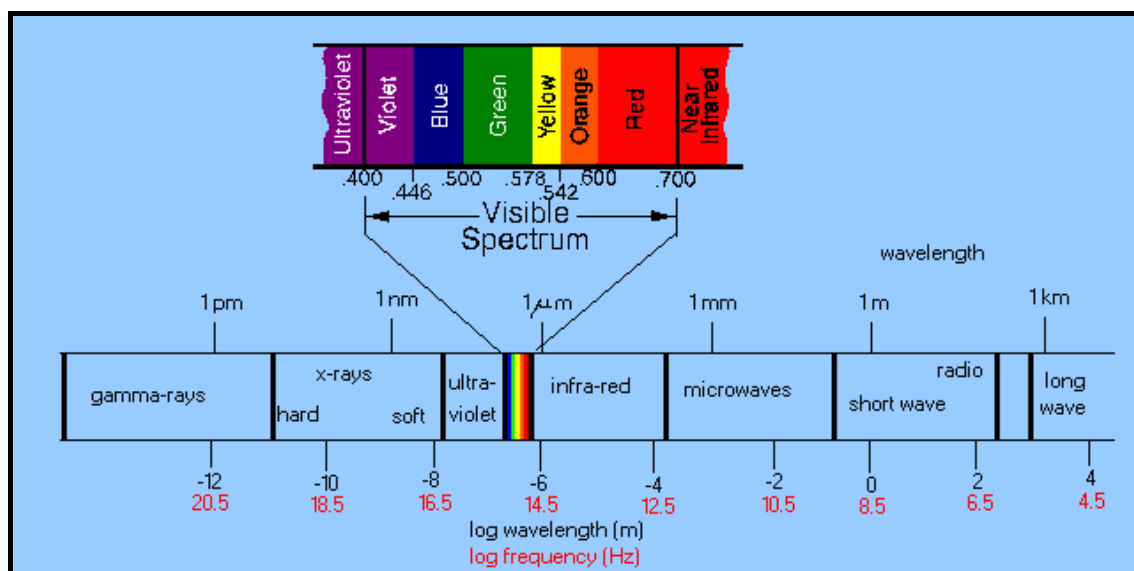


Fig. 1-1. Espectre de la radiació.

Taula 1-1. Llum de l'espectre electromagnètic.

Tipus de radiació	Intervals de les longituds d'ona (λ) (nm)
Raigs Gamma	$<10^{-2}$
Raigs X	10^{-2} - 10^1
Ultravioleta	10^1 - $4 \cdot 10^2$
Espectre visible	$4 \cdot 10^2$ - $7,8 \cdot 10^2$
Infraroig	$7,8 \cdot 10^2$ - 10^6
Regió de microones	10^6 - $3 \cdot 10^8$
Ones de radio	$> 3 \cdot 10^8$

La radiació es pot mesurar amb unitats radiomètriques o amb unitats fotomètriques. La diferència entre aquests és que la radiometria té en compte tot l'espectre de la radiació electromagnètica, és a dir totes les bandes d'energia mentre que la fotometria només té en compte l'espectre visible, o sigui la que l'ull humà pot observar. La taula 1-2 mostra les magnituds radiomètriques (les que intervendran al projecte), el seu símbol, l'equació per obtenir la magnitud, la seva descripció i les seves unitats de mesura internacionals. Per altra banda la taula 1-3 mostra les magnituds fotomètriques, el seu símbol i la seves unitats en el sistema internacional[1].

Taula 1-2, Unitats de mesura del Sistema internacional per la radiometria.

Terme radiomètric	Símbol	Descripció	Equació	Unitat
Energia radiant	Q_e o Q_r	Energia		J
Irradiància	E_{ir} o E_e	Potència incident per unitat de superfície del blanc	$E_e = \frac{d\Phi_e}{ds}$	W/m^2
Radiància	L_e o L_r	Flux radiant emes per unitat de superfície i per angle sòlid	$L_e = \frac{dI_e}{ds \cos \theta}$	$W/sr m^2$

Taula 1-3, Unitats de mesura del Sistema internacional per la fotometria.

Terme fotomètric	Símbol	Unitat
Flux Iluminós	P_{II}	Lm
Excitànica Iluminosa	M_{II}	Lm/m^2 o lux
Intensitat Iluminosa	I_{II}	Cd o lm/sr
II-luminària	E_{II}	Lm/m^2 o lux

Per tal de conèixer l'energia disponible que tenim en els diferents indrets i així escollir el millor espai pels sensors autònoms s'han realitzat mesures amb dos tipus de mesuradors de llum: el luxòmetre (fotometria) i l'espectroradiòmetre (radiometria).

1.2.1. L'espectroradiòmetre.

L'espectroradiòmetre realitza una espectroscòpia òptica que serveix per mesurar la intensitat de llum en l'espectre òptic, concretament en les regions compreses entre l'ultravioleta i l'infraroig.

Actualment l'espectroradiòmetre s'utilitza en moltes aplicacions, com poden ser la mesura dels colors (en la llum) i la mesura de la radiació electromagnètica entre altres.

El funcionament és bastant simple, primerament detectem la llum amb el detector el qual transmet la llum per la fibra òptica fins a l'entrada de l'espectroradiòmetre on troba una xarxa de difracció, que detecta la llum i la transmet cap a un altre mirall pla que reflecta la llum cap a un altre mirall. Un segon mirall esfèric capta la llum dispersada i s'encarrega de focalitzar i projectar la imatge de l'espectre fins al detector. Aquest procediment el podem observar a la Fig. 1-2 [14].

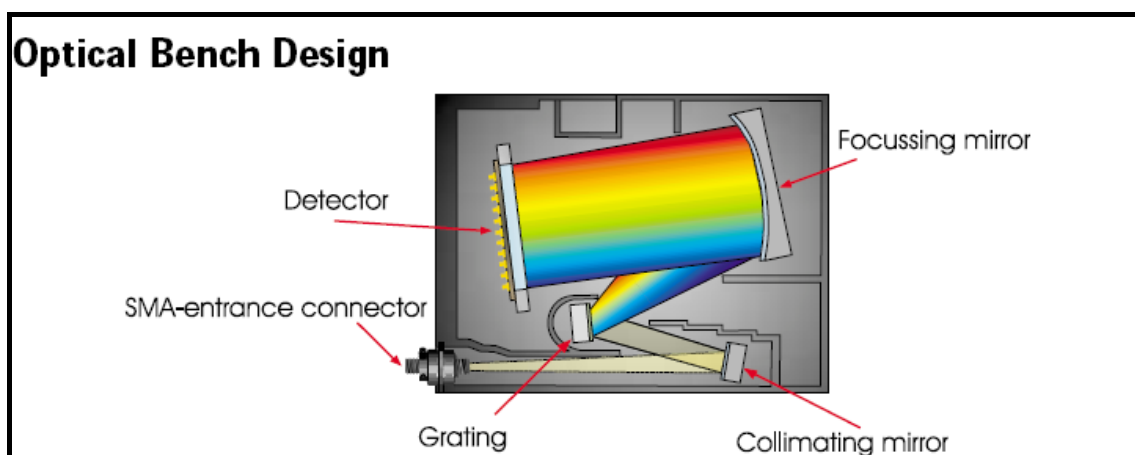


Fig. 1-2. Procediment que utilitza l'espectroradiòmetre per mesurar la llum.

Les mesures de l'espectroradiòmetre són $\mu\text{watt} / \text{cm}^2 / \text{nm}$. La principal diferència amb el luxòmetre és que l'espectroradiòmetre permet mesurar regions que no són visibles per l'ull humà.

1.2.2. El luxòmetre.

El luxòmetre és un aparell que permet mesurar la il·luminària en un cert instant. El funcionament per captar la llum és molt simple, ja que a diferència de l'espectroradiòmetre, el luxòmetre utilitza un sensor (fotodíode de silici amb un filtre especial) el qual s'encarrega de captar la llum de l'índret seleccionat. S'utilitza en múltiples aplicacions com pot ser a l'hora de dur a terme reportatges fotogràfics, anuncis. La Fig. 1-3 mostra com és un luxòmetre i el sensor que utilitza per mesurar la llum [20].



Fig. 1-3. Luxòmetre utilitzat per captar la llum visible.

1.2.3. Conversió de les unitats radiomètriques a les unitats fotomètriques.

En aquest s'estudia la manera amb què es converteixen les unitats fotomètriques a radiomètriques. D'aquesta manera s'obtidran les mesures del luxòmetre i de l'espectroradiòmetre amb les mateixes unitats, cosa que permetrar poder comparar les mesures[1].

1.2.3.1. Radiació monocromàtica.

Una vegada realitzades les mesures interessa convertir els $[W/m^2]$ a $[lux]$ o viceversa per tal de poder determinar quin dels dos aparells és el més adequat. Per tal de poder realitzar aquesta conversió s'utilitza la constant de radiació k_m ($683 / 100$), la radiació mesurada X_{ir} i l'eficiència energètica $v(\lambda)$ aquests paràmetres ens permeten fer la conversió d'unitats fotomètriques a radiomètriques. Així mateix trobem que la fórmula general és la següent[1]:

$$X_{ill} = k_m \cdot X_{ir} \cdot v(\lambda) \quad (1.1)$$

Sabent que la irradiància E_{ir} , es col·loca al lloc de la X_{ir} i la il·luminació E_{ill} és obtinguda per la X_{ill} , l'equació ens quedarà de la següent manera:

$$E_{ill} = k_m \cdot E_{ir} \cdot v(\lambda) \quad (1.2)$$

On cal dir que el paràmetre $v(\lambda)$ és l'eficiència energètica de la longitud d'ona corresponent (λ). La intensitat lluminosa d'una font de llum blanca està definida pel producte dels watts emesos per cada longitud d'ona pel rendiment d'aquesta longitud. Aquest factor es coneix com la corva v -lambda. Aquesta corva defineix la relació entre la sensació de llum humana i el concepte físic de llum. La Fig. 1-4 mostra el gràfic de $v(\lambda)$, que hem utilitzat.

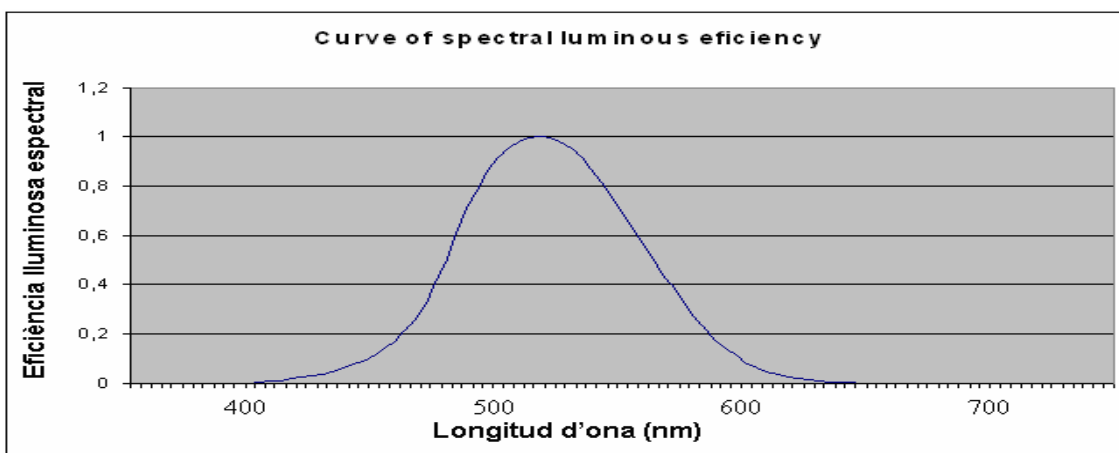


Fig. 1-4. Gràfic de $V(\lambda)$ utilitzat per realitzar les operacions (DIN 5031 / LIE 1924).

1.2.3.2. Radiació policromada.

Quan la font de radiació és policromada s'aplica la fórmula (1), però integrant dins del marge de les longituds d'ona visibles per l'ull humà. D'aquesta manera es pot comparar la irradiància amb la il·luminària[1].

$$X_{ill} = k_m \cdot \int_{380}^{780} X_{ir} \cdot v(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1.3)$$

La integral es pot resoldre numèricament. Les constants que la formen s'han definit anteriorment. Un exemple de la radiació (X_{ir}) mesurada per l'espectroradiòmetre es pot observar a la Fig. 1-5.

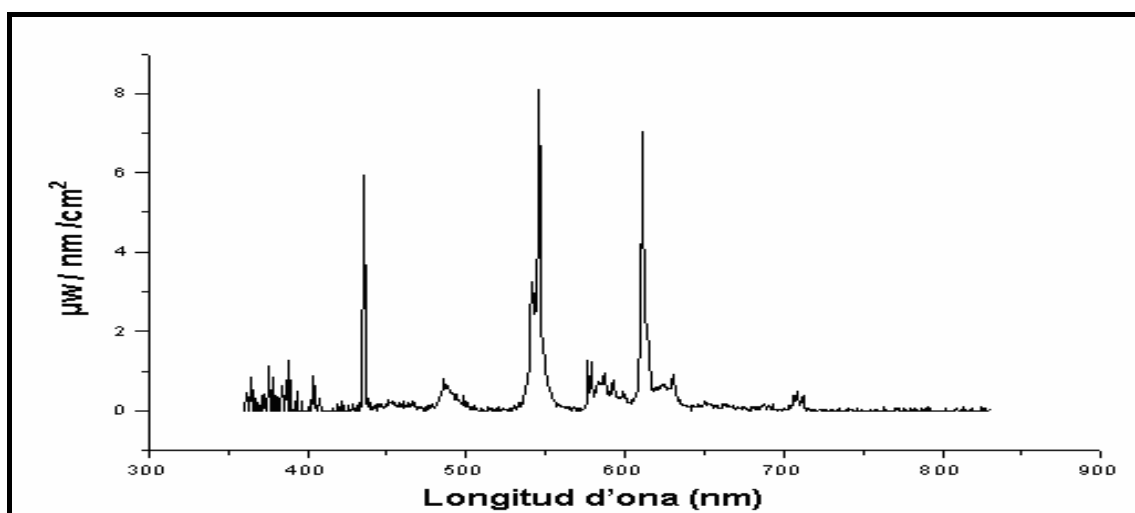


Fig 1-5. Mesura de radiació (X_{ir}) corresponent a un fluorescent circular.

En la Fig. 1-6 el que trobem és simplement la multiplicació de X_{ir} per $v(\lambda)$, i per la constant k_m . Així només faltaria integrar l'àrea d'aquesta figura i sabrem els luxus que ens dona la mesura realitzada amb l'espectroradiòmetre.

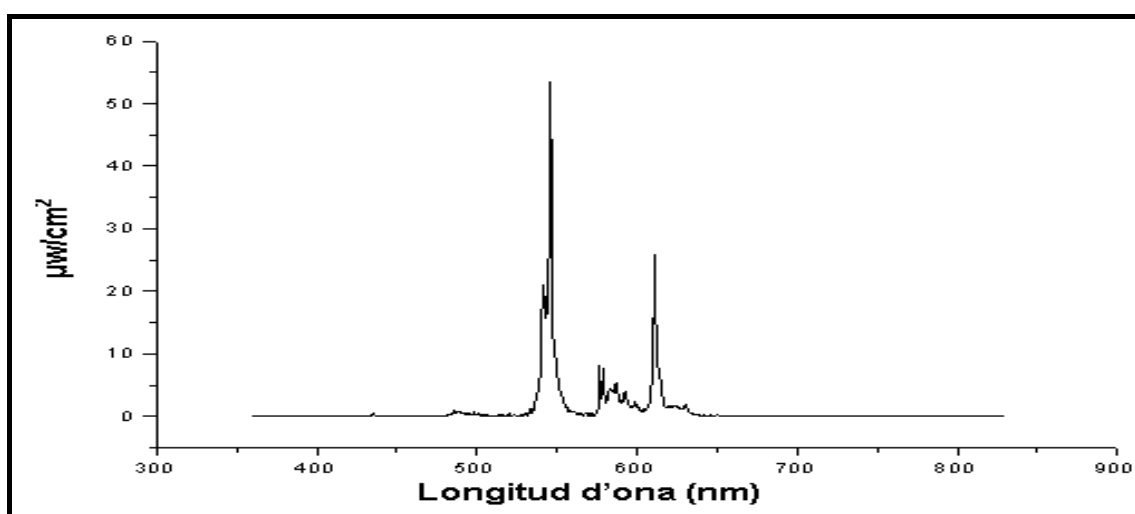


Fig1-6. Resultat de la multiplicació de X_{ir} per $v(\lambda)$ i k_m

1.3. Les cel·les solars.

En aquest apartat farem una introducció de les cel·les solars per tal de conèixer el seu funcionament i els diferents tipus que n'existeixen[13].

1.3.1. Principi de funcionament.

Les cel·les solars estan compostades per varis materials semiconductors. Actualment el 95% de les cel·les solars que es fabriquen es fan amb silici (Si), que és el segon material més abundant a la superfície de la Terra. La cel·la solar consta d'una matriu dopada amb semiconductors de tipus *n* (amb un electró més), semiconductors de tipus *p* (amb un electró menys) i d'una zona d'unió *p-n* (Fig 1-7)[1], [2] [13].

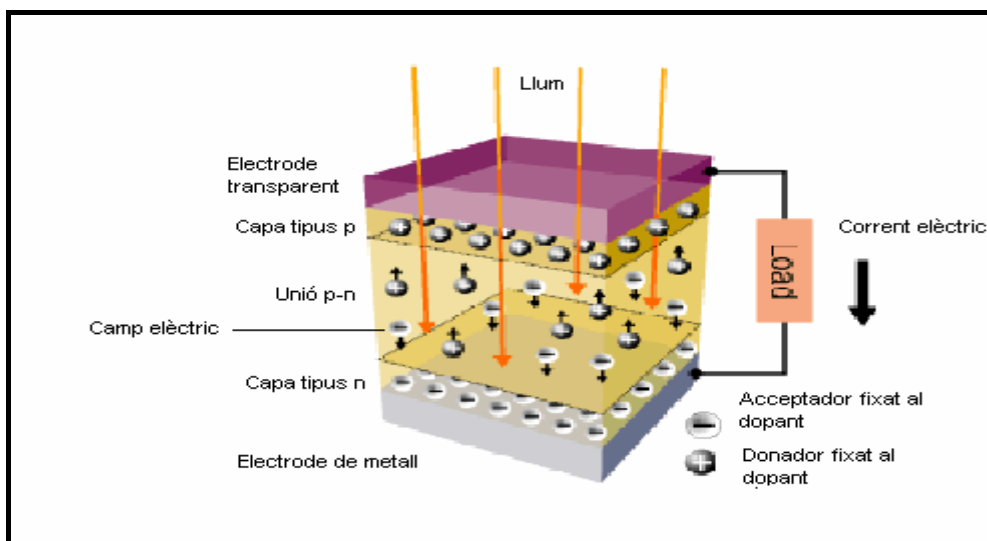


Fig. 1-7. Distribució de les càrregues en una cel·la solar de silici.

Els electrons de la capa *n*, on estan amb més concentració, tenen tendència a difondre's cap a la capa *p* que té menys electrons. El contrari passa amb els forats lliures, hi ha més forats lliures a la capa *p* que a la *n*. El resultat d'aquest fenomen és la neutralització de les càrregues a la zona d'unió *p-n*. La unió *p-n* també genera un camp elèctric degut a la seva situació, entre dues zones amb càrrega oposada. El camp elèctric de la unió *p-n* separa els parells electró-forat que generen els fotons i va del costat *n* al costat *p*. D'aquesta manera es genera el corrent elèctric, en el cas del silici pot arribar a generar un potencial de 0.5V quan s'il·lumina. D'altra banda mitjançant contactes metàl·lics a les zones *p* i *n* es pot aconseguir extreure la càrrega elèctrica que es genera a partir de la llum.

1.3.2. Tipus de cel·les solars.

Actualment al mercat es poden trobar diferents tipus de cel·les solars (Fig. 1-8) que varien segons l'estructura dels materials. Així podem trobar:

- **Cel·les de silici monocristal·lí (1)** : Les plaques monocristal·lines (1/3 a 1/2 mil·límetre d'espessor) es tallen d'un gran lingot monocristal·lí que s'ha desenvolupat a uns 1400°C aproximadament, a més per a la construcció d'aquestes cel·les necessitem silici pur, el qual s'ha de dipositar sobre un cristall de forma que mantingui una estructura perfectament ordenada. Aquestes cel·les són les que ens donen un millor rendiment, encara que el procés per elaborar-les és el més costós.
- **Cel·les de silici policristal·lí (2)** : Per tal d'elaborar aquestes plaques, primer de tot es fon el silici, el qual més endavant es diposita sobre un motlle i llavors es deixa reposar. Finalment es fan les plaques, les quals presenten colors entre el blau i el gris, degut a que els components que s'han dipositat sobre el motlle canvien d'orientació cada cert espai. Aquest procés és més barat que l'anterior, encara que les cel·les que obtenim són menys eficients.

En aquestes dues operacions la meitat del silici utilitzat es perd en forma de pols a l'hora de tallar les plaques.

- **Cel·les de silici amorf (3)** : Aquestes cel·les són les més econòmiques. Les cel·les de silici amorf no conserven l'estructura cristal·lina, ja que el silici es abocat en substrats de baix cost com poden ser el cristall i el plàstic. Tot i ser les que tenen més baix rendiment presenten molts avantatges com una deposició i un assemblatge més fàcil, la capacitat de ser dipositades en substrats o materials de construcció barats i la facilitat de producció en massa. Les tonalitats de colors d'aquestes cel·les són marró o gris fosc.

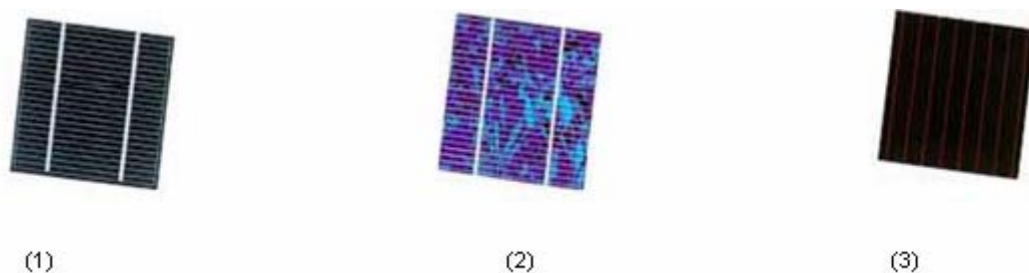


Fig. 1-8. Diferents tipus de cel·les solars.

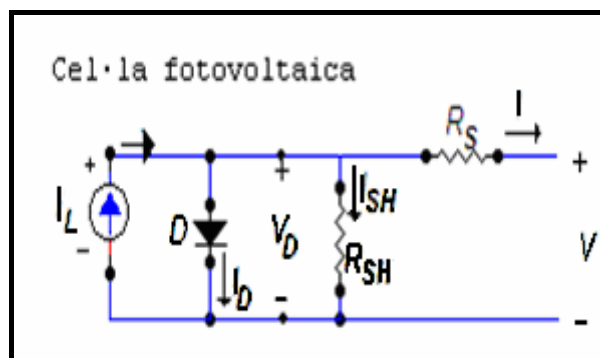
A més també podem destacar les cel·les fabricades amb materials orgànics, aquestes estan construïdes amb polímers (methanofullerenes) i presenten un rendiment menor en comparació amb les fabricades a partir del silici. També s'està investigant en la incorporació de les cel·les solars ens els materials de la construcció. La taula 1-4 mostra el rendiment dels diferents tipus de cel·les esmentades.

Taula 1-4. Rendiment dels diferents tipus de cel·les.

Tipus de cel·la solar	Rendiment
Silici monocristal·lí	14 %-17%
Silici policristal·lí	13%-15%
Silici amorf	5%-7%
Material orgànic	0.9%-2.5%

1.3.3. Model elèctric de la cel·la solar.

La cel·la solar es basa en l'efecte fotovoltaic, en el qual la llum que incideix sobre un dispositiu semiconductor de dos capes produeix una diferència de potencial entre les elles. Com ja s'ha dit aquest voltatge és capaç de conduir un corrent a través d'un circuit extern i així poder produir treball útil. La cel·la fotovoltaica es pot modelar com una font de corrent (I_L) quedant en paral·lel al díode D que forma la unió p-n de la cel·la. R_s (resistència en sèrie) és la resistència dels contactes i cables externs, i R_{sH} (resistència de shunt) representa les pèrdues que produeixen els corrents de fuga de la cel·la. En la Fig. 1-9 s'il·lustra el model elèctric[1].


Fig. 1-9. Model elèctric de la cel·la fotovoltaica.

D'aquesta manera si apliquem la primera llei de Kirchhoff obtenim:

$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad (1.4)$$

on I_L representa la intensitat generada per la cel·la, I_D és el corrent que travessa el díode, I_{SH} correspon al corrent de pèrdues i I és la intensitat que surt de la cel·la. Les intensitats I_D i I_{SH} poden expressar-se com:

$$I_{SH} = \frac{V_D}{R_{SH}} \quad (1.5)$$

$$V_D = V + R_s I \quad (1.6)$$

$$I_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{q \cdot V_D}{\eta \cdot K_B \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (1.7)$$

On V_D és la tensió en borns de la cel·la, V és la tensió de sortida i I_0 , és el corrent invers de saturació del díode D . Cal recordar que η representa una constant d'idealitat ($\eta=2$), K_B és la constant de Boltzman's ($K_B= 1.3854 \cdot 10^{-23} \text{J/}^\circ\text{C}$), T ($^\circ\text{C}$) correspon a la temperatura d'operació de la cel·la i q és la càrrega elèctrica dels electrons ($q= 1.6022 \cdot 10^{-19}$).

Per tal de simplificar les expressions podem definir el següent paràmetre:

$$VT = \frac{KB \cdot T}{q} \longrightarrow VT = 25.7 \text{ mV a } 25^\circ\text{C} \quad (1.8)$$

Així utilitzant les expressions anteriors obtenim la intensitat generada per la cel·la solar:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + R_s \cdot I}{\eta \cdot VT}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (1.9)$$

El corrent I_L és proporcional a la radiació solar global i depèn de la temperatura d'operació T :

$$I_L = K \cdot E_{ir} \quad (1.10)$$

On k depèn de la superfície de la cel·la i és una constant i E_{ir} és la irradiació solar (w/m^2).

La Fig. 1-10 mostra la representació gràfica genèrica de (1.7). Així en l'eix d'abscisses trobem la tensió i al d'ordenades la intensitat.

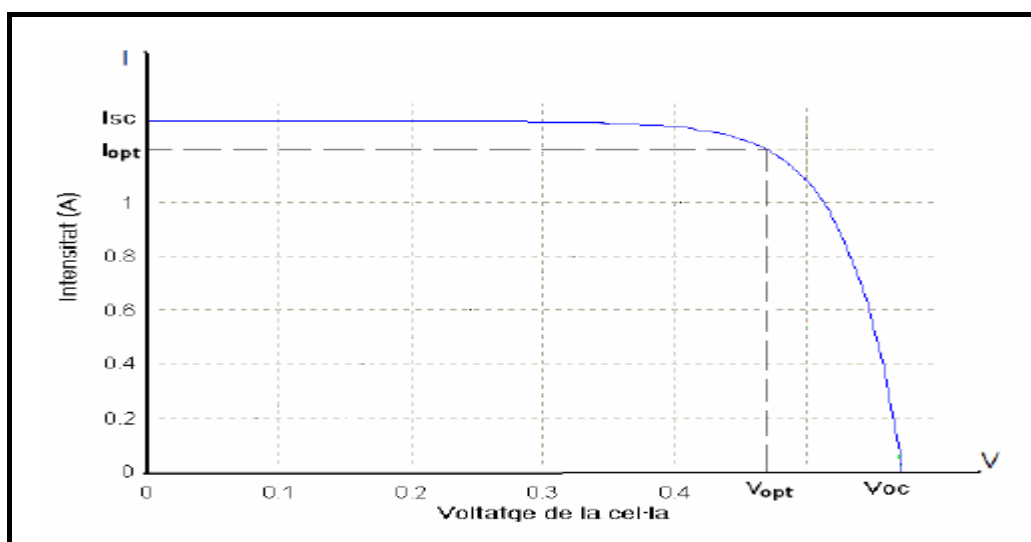


Fig. 1-10. Corba de característiques I-V genèrica d'una cel·la solar

On I_{sc} , V_{oc} , I_{opt} i V_{opt} són respectivament la intensitat de curtcircuit, la tensió de circuit obert i la intensitat i tensió on s'obté la màxima potència, en aquest

cas el punt òptim de treball de la cel·la solar, que més endavant buscarem experimentalment amb les cel·les que tenim.

Seguidament però descriurem amb més detall aquets paràmetres, els quals solen ser especificats pels fabricants de les cel·les solars.

El corrent de curtcircuit (I_{sc}) l'obtenim al curtcircuitar la sortida de la cel·la.

D'aquesta manera i utilitzant l'expressió (1.7) i considerant $V=0$ i $R_s=0$ obtenim:

$$I_{sc} = I = I_L \quad (1.11)$$

El valor de la tensió de la cel·la quan es troba en circuit obert és V_{oc} . La intensitat de sortida és nul·la, ja que no hi ha cap càrrega connectada a la cel·la fotovoltaica. D'aquesta manera:

$$I_L = I_D \quad (1.12)$$

1.3.4. Punt de de màxima potència.

A nosaltres ens interessa saber quin és el punt òptim de treball de les nostres cel·les, això ho fem per treure'n el màxim rendiment d'aquestes. Així el punt òptim de la corba de característiques I-V de la cel·la de la Fig. 1-10 és aquell on s'extreu la màxima potència de la cel·la. Gràficament és el punt de la corba de característiques tangent a les corbes de potència. Tot i així és normal que el fabricant ofereixi a banda de I_{sc} i V_{oc} , els valors de V_{opt} i I_{opt} com també P_{max} , per una o varies excitacions radiants determinades. D'aquesta manera expressem la potència màxima com:

$$P_{max} = I_{opt} \cdot V_{opt} \quad (1.13)$$

La càrrega òptima ve donada per:

$$R_{opt} = \frac{V_{opt}}{I_{opt}} \quad (1.14)$$

El factor de forma es defineix com:

$$FF = \frac{I_{opt} \cdot V_{opt}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{P_{max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (1.15)$$

A l'annex 2 es pot observar els factors de formes obtinguts per les diferents cel·les utilitzades.

D'aquesta manera,

$$P_{max} = V_{oc} \cdot I_{oc} \cdot FF \quad (1.16)$$

Si la corba de característiques de la Fig. 1-10 fos ideal, seria rectangular i el factor de forma (FF) seria 1. Tot i així a la pràctica normalment es troba entre 0.75 i 0.85.

1.3.5. Punt de treball.

Depenent de la resistència de càrrega (R_L) que utilitzem el sistema pot treballar en diferents situacions:

- Punt òptim: $R_L = R_{opt}$.
- Tensió constant: $R_L > R_{opt}$.
- Corrents constant: $R_L < R_{opt}$.

1.3.6. Rendiment de la conversió.

El rendiment o eficiència de la conversió de les cel·les es mesura amb el paràmetre η que ens dona la relació entre la potència màxima entregada per la cel·la i la potència que rep sota una determinada irradiació solar (E_{ir} en W/m^2) i temperatura ($T(^{\circ}C)$).

$$\eta = \frac{P_{max}}{A \cdot E_{ir}} = FF \cdot \frac{V_{oc} \cdot I_{sc}}{A \cdot E_{ir}} \quad (1.17)$$

1.4. Característiques de les bateries recarregables.

Aquest apartat presenta les característiques de les diferents bateries recarregables (liti-ió, Ni-Cd i Ni-MH), i es fa una comparativa per tal de trobar la més adient pel projecte.

Les bateries actualment corresponen a la manera més fàcil d'emmagatzemar energia. A més ofereixen una tensió relativament constant i estable durant la major part del seu cicle de descàrrega. Les seves funcions principals en els sistemes autònoms són l'emmagatzematge d'energia que es produeix durant tot el dia i oferir una tensió estable per les càrregues.

Sempre cal tenir present que hi haurà períodes on l'energia disponible serà major que la consumida i al revés. Així, quan la potència de consum és superior a la potència disponible cal que la bateria subministri la seva energia per suplir la falta d'energia exterior. Cal tenir amb compte que la durada de les bateries depèn de la seva capacitat.

D'aquesta manera per tal d'escollir una bateria que s'adapti a les necessitats del projecte cal tenir amb compte les premisses anteriors i les característiques de les bateries que es mostren seguidament [1], [3]; [4], [5]

- **Densitat d'energia (pes):** La densitat d'energia és la quantitat d'energia que la bateria pot emmagatzemar per unitat de pes. S'expressa en $W \cdot h / kg$. Com més elevada sigui millor i fa referència a quanta energia es pot transformar o emmagatzemar segons la composició física i química de la bateria.

- **Densitat d'energia (volum):** És la quantitat d'energia emmagatzemada per unitat de volum, s'expressa en Wh/l i com més gran sigui millor.
- **Potència específica:** És la potència que la bateria pot subministrar per unitat de pes, s'expressa en W/kg. També com més elevada sigui més aplicacions tindrà la nostra bateria.
- **Eficiència:** És la fracció d'electricitat que torna la bateria en proporció a la quantitat d'electricitat que ha estat necessària per a carregar-la. Com més alta sigui millor, i el valor ideal seria del 100%. L'eficiència es va dregadant a mesura que passa el temps.
- **Número de cicles de càrrega i descàrrega:** És el número de vegades que la bateria pot ser recarregada, o sigui que pot tornar a tenir la capacitat completa després del seu ús. És una indicació de vida de la bateria. Com en els casos anteriors també com més alt sigui millor.
- **Temps de recarrega normal:** És el temps necessari per recarregar completament la bateria. Com més petit sigui millor.
- **Temps de recarrega ràpida (50% i 99%):** Són els temps necessaris per tal de recarregar la bateria a la meitat o al 99 % de la seva capacitat. Aquesta característica és útil només si la càrrega de la bateria és lenta. Com en el cas anterior com més curt sigui aquest temps millor.
- **Capacitat/ Amper per hora (Ah):** La capacitat s'obté integrant el corrent de descàrrega en ampers (A) dins d'un període específic. L'amper per hora equival a un amper per 1 hora per 3600C (coulombs de càrrega)
- **Voltatge mínim (cut off):** Com ja sabem no tota l'energia de les bateries pot ser utilitzada, part d'energia es perd en forma de calor. Les bateries es situen al seu voltatge mínim abans del final de descàrrega completa, i part de l'energia de la bateria queda sense utilitzar. Les aplicacions que requereixen molt corrent tenen el voltatge mínim abans que altres amb menys necessitat de corrent.
- **Auto descàrrega:** Totes les bateries presenten una certa quantitat d'autodescàrrega, la més gran la trobem en les bateries de base de níquel. Aquestes es descarreguen entre el 10% i el 15% de la seva capacitat les primeres 24 hores. L'auto descàrrega augmenta amb l'edat i l'ús de les bateries i serà més o menys bona depenen de les característiques de les bateries que utilitzem.
- **Resistència interna:** Com ja hem dit les bateries són capaces de alliberar una corrent molt elevada, aquesta està limitada per la resistència interna de les bateries. D'aquesta manera la resistència interna influeix amb l'energia que pot entregar la bateria durant un determinat període de temps. Una bateria amb una impedància petita pot entregar molt corrent sota demanda, en canvi una bateria amb la impedància elevada es col·lapsa quan ha d'entregar una gran quantitat de corrent. Per exemple les bateries de NiMH, tenen una major capacitat

que les de NiCd (un 70% més), per altra banda però tenen una resistència interna superior a les de NiCd.

En una bateria d'elements en sèrie, la resistència interna per element es multiplica pel número d'elements. A la taula 1-5 podem veure el corrent màxima de descàrrega dels elements d'una bateria de Ni-Cd en funció de la seva resistència interna.

Taula 1-5. Corrent màxima de descàrrega dels elements d'una bateria de NiCd, en funció de la seva resistència interna.

Resistència interna per element (mOhms)	Corrent màxima de descàrrega (A)
4	70
5 a 9	30
10 a 12	Menys de 25
12 a 17	Menys de 15

Quan es tanca el circuit elèctric, la resistència de la bateria produeix una caiguda de tensió degut a la seva resistència interna, així el voltatge subministrat és inferior al que es mesura en circuit obert. Això significa que part de l'energia de la bateria es consumeix i es disipa a l'interior de la bateria en forma de calor.

- **Velocitat de càrrega/descàrrega:** Qualsevol bateria es pot carregar o descarregar a diferents velocitats. El temps de càrrega/descàrrega ve determinat pel corrent. La velocitat de càrrega/descàrrega s'especifica amb el terme velocitat- (C-rate). 1C, equival a una hora de descàrrega, 0,5 a dues hores i així respectivament. Com podem veure com més petit sigui el valor millor, ja que tardarà més a descarregar-se. La velocitat C s'utilitza també per descriure la velocitat de càrrega de la bateria, i per tant com més gran sigui millor, ja que la bateria es carregarà més rapidament.

$$\text{Intensitat} = \text{Capacitat} \cdot \text{velocitat}_{(C)} \quad (1.18)$$

- **Càrrega i descàrrega de les bateries:** Cal considerar que la calor és el gran enemic dels elements de NiCd i encara més dels de NiMH. Si un cop carregada la bateria totalment, seguim subministrant corrent, aquesta es dissiparà en forma de calor, i pot provocar el deteriorament de la bateria o fins i tot destruir-la. Degut a aquest problema existeixen carregadors de bateries, que detecten el moment de càrrega màxima, ja que en aquest punt s'observa un pic en el voltatge (augmenta fins a un màxim i després disminueix), finalitzant així el procés de càrrega.
- **Final de descàrrega:** Totes les bateries tenen un final de descàrrega, que és el punt on el 99% de l'energia de la bateria s'ha consumit, una vegada arribats a aquest punt el voltatge comença a disminuir rapidament. Cal dir que és aconsellable evitar la descàrrega de la bateria una vegada arribats a aquest punt.

A la taula 1-6 podem observar la tensió de final de descàrrega de diferents tipus de bateries, com ja hem dit s'hi descarreguem la bateria per sota d'aquesta tensió n'estem fent un mal ús i per tant estem disminuint el cicle de vida d'aquesta.

Taula 1-6. Tensió final de descàrrega de les bateries

Tipus de bateria	Tensió final de descàrrega
Li-Ió	3 V/cel·la
Lití	2,5 V/cel·la
Níquel	1 V/cel·la

Segons la velocitat (C) del procés de descàrrega d'una bateria el voltatge disminuirà a més o menys velocitat. A la Fig. 1-11 es pot observar:

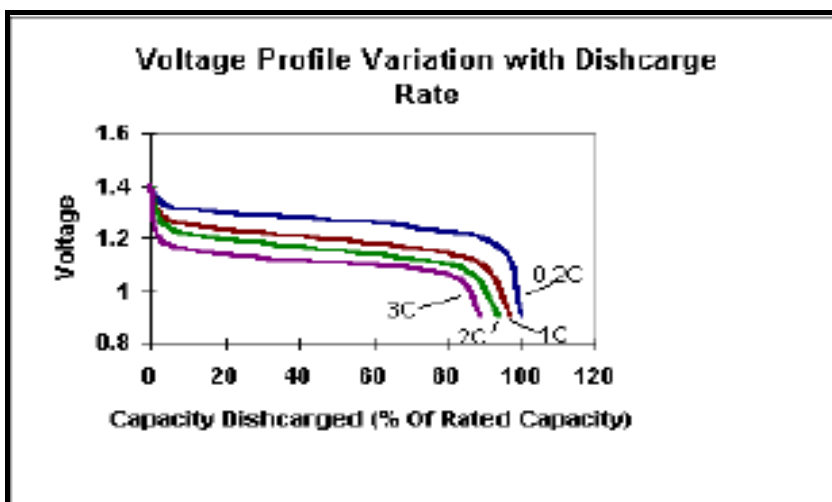


Fig. 1-11. Característiques de descàrrega d'una bateria de Níquel.

Naturalment com més velocitat de descàrrega tenim més ràpid s'esgota el voltatge de la bateria. Normalment les bateries es descarreguen a una velocitat de 1C o 0,2C.

Per contra en la càrrega ens interessa que la bateria es carregui molt rapidament.

En el projecte que duem a terme ens interessa per tant carregar la bateria rapidament amb les cel·les fotovoltaïques, a més s'ha de tenir amb compte que les bateries es descarregaran a velocitat lenta, cosa que ens afavoreix ja que mantindrem més temps la capacitat i el voltatge.

D'altra banda la capacitat mínima de la bateria bé determinada per l'energia que ha d'oferir. Així l'expressió per trobar l'energia de que cal disposar a la bateria es pot expressar com;

$$E_{emmagatzemada} = \int_{P_{com} > disp} E_{consum} - E_{disponible} dt \quad (1.19)$$

L'expressió (3.1) es calcula interpretant el període on la potència consumida és superior a la disponible. La capacitat mínima de la bateria ($C'_{bat,min}$), expressada amb [Ah] serà:

$$C'_{bat,min} = \frac{Emmagatzem}{V_{nomial} \cdot 3600} [Ah] \quad (1.20)$$

1.4.1. Característiques de les bateries comercials més utilitzades.

En aquest apartat farem una comparació de les característiques de les bateries comercials més utilitzades. D'aquesta manera veurem els avantatges i inconvenients que aporta cadascuna, les característiques de la càrrega, la descàrrega, dels efectes mediambientals, els efectes d'auto-descàrrega, els cicles de vida que tenen, la seva resistència interna i els possibles efectes de memòria que puguin tenir estan definides a l'annex 3 [6], [7].

1.4.1.1. Comparació entre les bateries de Ni-MH i Ni-Cd.

Primer de tot es compararan les bateries de Ni-MH amb les de Ni-Cd, degut a les similituds que presenten.

A la taula 1-7 podem observar les diferents característiques principals de les bateries de Ni-MH i Ni-Cd.

Taula 1-7. Comparació de les característiques de les bateries de Ni-MH i les de Ni-Cd.

Característiques d'aplicació	Comparació entre Ni-MH i Ni-Cd
Voltatge nominal	1.25 per les dues bateries
Capacitat de descàrrega	Ni-MH és un 40% millor que no Ni-Cd
Pendent de descàrrega	Equivalent
Voltatge de final de descàrrega	Equivalent
Alta capacitat de descàrrega	Eficaç en els mateixos instants
Capacitat de descàrrega a temperatures altes	Ni-MH és lleugerament millor que no Ni-Cd
Procés de càrrega	Semblant encara que en les bateries de Ni-MH cal controlar la sobrecàrrega
Temps d'auto-descàrrega	Ni-MH és lleugerament superior a Ni-Cd
Cicle de vida	Les bateries de Ni-Cd tenen un cicle de vida una mica més elevat
Propietats mecàniques	Equivalents
Impacte mediambiental	En el cas de les bateries de Ni-MH és més reduït, ja que no contenen cadmi com les bateries de Ni-Cd.

1.4.1.2. Comparativa entre les bateries de liti, Ni-Cd i Ni-MH.

Per tal d'escollir el tipus de bateria que s'adapti millor al projecte farem una breu comparativa dels tres tipus de bateries que hem estudiat.

A la taula 1-8 podem observar les diferències principals entre els tres tipus de bateries estudiades. Per altra banda a la Fig. 1-12 es pot veure gràficament la diferència entre la densitat d'energia de les diferents bateries estudiades[6], [7], [8], [11].

Taula 1-8. Comparativa entre els diferents tipus de bateries estudiades.

Tipus de bateria	Cost (e/kWh)	Energia específica	Potència específica	Densitat d'energia (Wh/kg)	Càrrega/descàrrega (cicles de vida)	Eficàcia	Aplicacions principals
Liti-íó	2000	200	300	80-100	>1000	98	Articles electrònics, principalment portàtils.
Ni-MH	1200	100	200	60-80	500	75	Productes electrònics portàtils
Ni-Cd	800	1000	50	40-60	500-1500	60-85	Joguines, làmpades...

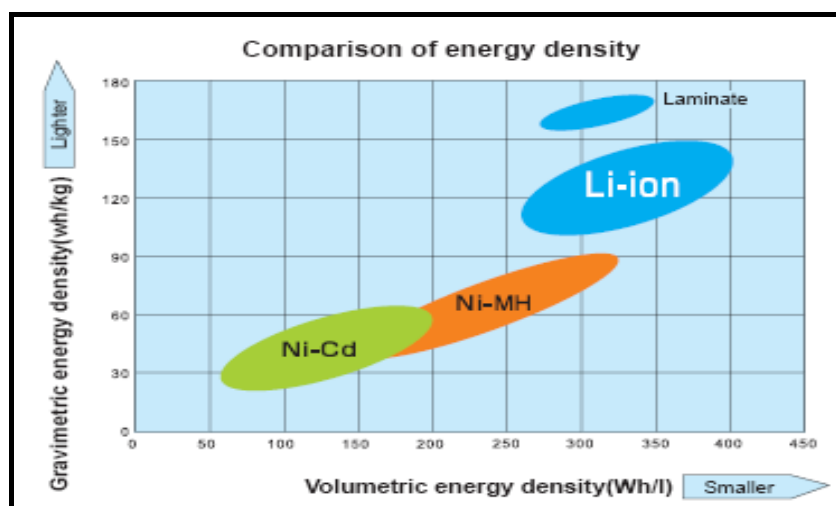


Fig. 1-12. Comparació de la densitat d'energia de les diferents bateries estudiades.

Com podem observar a la taula les bateries de liti-íó, són les que presenten una millor eficàcia com també la densitat d'energia més elevada (Fig. 1-12 i taula 1-8), encara que el seu cost és el més elevat.

Les bateries de Liti-íó són les que presenten una auto-descàrrega més petita, concretament del 10% per altra les bateries de Ni-Cd i les de Ni-MH presenten

una corba d'auto-descàrrega que augmenta a mesura que van passant els cicles. A destacar que la capacitat té un comportament pràcticament igual en el cas de les bateries de Ni-Cd i les de Liti-íó, però que en les de Ni-MH disminueix a mesura que van passant els cicles[6], [7], [8], [11].

CAPÍTOL 2. MATERIAL I MÈTODE.

En aquest segon capítol farem una breu exposició del material que utilitzarem per dur a terme el treball experimental del projecte, com també de les companyies fabricants i el model del material utilitzat.

2.1. L'espectroradiòmetre i el luxòmetre.

En el primer capítol s'han descrit la funció dels dos aparells per mesurar la intensitat de llum. Si recordem la diferència principal és que l'espectroradiòmetre és més precís, degut que mesura la il·luminària en les regions que van de l'ultravioleta fins a l'infraroig, per contra el luxòmetre només mesura en la regió que és visible per l'ull humà, l'espectre visible.

Per tal de dur a terme la part experimental, utilitzarem els dos aparells. AVANTES és el fabricant de l'espectroradiòmetre, concretament es disposa del model AvaSpec-102 que realitza mesures de il·luminària entre els 300 nm i els 1100 nm[14]. D'altra banda ISO-TECH [20] és el fabricant del luxòmetre utilitzat, concretament el model de que es disposa és el 1335 (ISO-TECH light meter).

2.2. Les cel·les solars fotovoltaïques.

Partint del projecte anterior, es disposa de 6 cel·les solars fotovoltaïques dissenyades per treballar a l'interior, les característiques d'aquestes estan presents a la taula 2-1. Les cel·les s'il·lustren a la figura 2-1.

La companyia fabricant d'aquest producte és RWE SCHOOT Solar, procedent de Nord Amèrica i amb seus també a Europa.

Per tal d'escollir les més adequades en la part experimental s'ha fet un estudi, d'aquesta manera hem pogut saber les que ens proporcionen millors característiques [1], [2], [13].

Taula 2.1- Dimensions de les cel·les solars fotovoltaïques.

Tipus de cel·la	Amplada (cm)	Alçada (cm)	Àrea (cm ²)
Cel·la 1	15	5,5	82,5
Cel·la 2	9,5	4,7	44,65
Cel·la 3	9,5	2,6	24,7
Cel·la 4	8	4,7	37,6
Cel·la 5	6	3,2	19,2
Cel·la 6	4	2,8	11,2

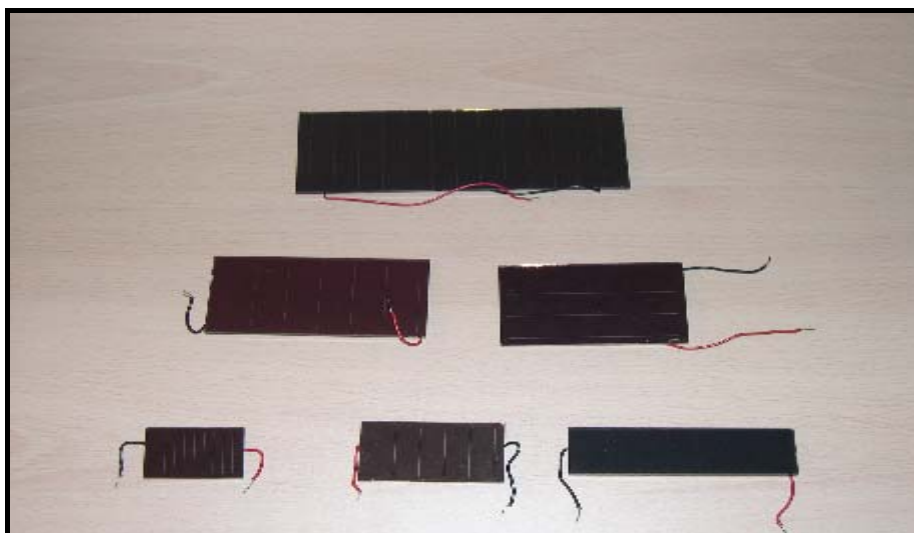


Fig. 2-1. Diferents tipus de cel·les solars utilitzades.

2.3. Les bateries recarregables.

En el capítol anterior s'ha fet una descripció de les característiques de les bateries recarregables més utilitzades actualment.

Com es pot observar cada bateria té els seus avantatges i inconvenients. Finalment, i avaluant les necessitats del projecte, s'ha decidit d'escollir les bateries de Liti-ió, bàsicament perquè són les que donen millor eficiència i densitat d'energia, tot en un tamany més reduït. A més tenen una auto-descàrrega molt baixa cosa que ens afavoreix, ja que interessa tenir un sistema autònom. Per tant, volem que els efectes d'auto-descàrrega siguin el menor possibles, també cal considerar el bon comportament que tenen les bateries a diferents temperatures. D'aquesta manera per dur a terme la part experimental s'utilitzaran unes bateries de Liti-ió model ML2016 (Lithium Manganese Dioxide Rechargeable Batteries) de Maxell. La taula 2-2 en mostra les característiques principals i la figura 2-2 il·lustra les la duració de la descàrrega segons el corrent que la bateria hagi de subministrar[1], [8], [9], [10], [11].

Taula 2.2- Característiques pricipals de la bateria de liti.

Model	ML2016	
Composició	(Li-Al) aleació de diòxid de magnesi/ electroliti orgànic	
Voltatge nomina (V)	3	
Capacitat nominal (mAh)	25	
Corrent de descàrrega nominal (μA)	200	
Cicle de vida segons la càrrega i la descàrrega	Entre 500 i 1500 cicles depenent de les característiques de la càrrega i descàrrega.	
Rang de temperatures d'operació (°C)	Mínima: -20	Màxima: +60
Intensitat màxima de càrrega que pot suportar la bateria (mA)	2	

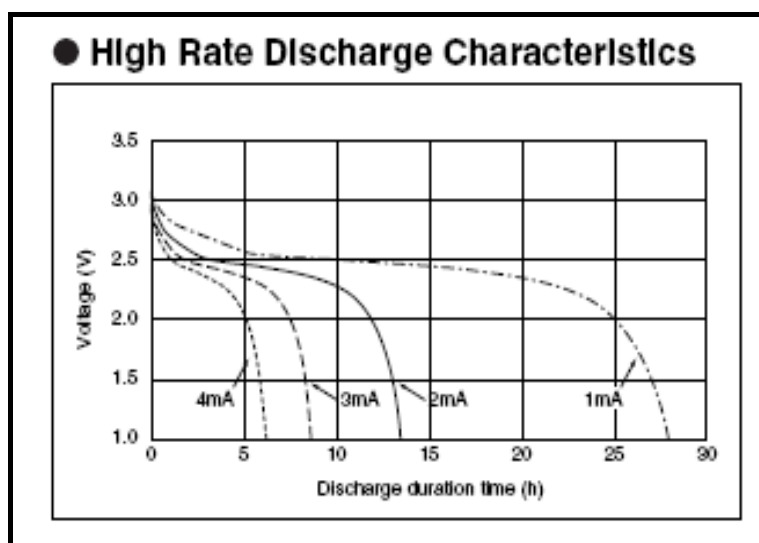


Fig.2-2. Descàrrega de la bateria de liti segons el corrent de demanda.

Aquestes són les característiques principals.

2.4. Components elèctrics.

En la part experimental es desitja implementar un carregador de bateries, aquest ha de tenir un voltatge d'entrada màxim de 3,2 volts, degut a això s'ha escollit la opció d'utilitzar un regulador de tensió que limita la tensió, concretament utilitzarem el LP2966 i ens el subministra *National Semiconductor* [17]. Concretament utilitzarem dos reguladors de tensió un que limita la tensió a 3 V i l'altre a 3,3 V, en la part experimental es faran proves amb els dos i s'escollirà el que s'adapti millor al circuit. Cal tenir amb compte que el corrent necessària perquè el regulador funcioni és de 300 μ A, per altra banda el voltatge màxim que es pot subministrar és de 10 V. D'aquesta manera caldrà escollir les cel·les que ens aportin millors característiques per tal de que funcioni el sistema.

2.5. EI PICDEMZ.

PICDEMZ correspon a un sistema format per un transmissor i un receptor els quals operen amb el protocol ZigBee descrit al capítol 1. La figura 2-3 il·lustra un dels components de PICDEMZ [15], [18].

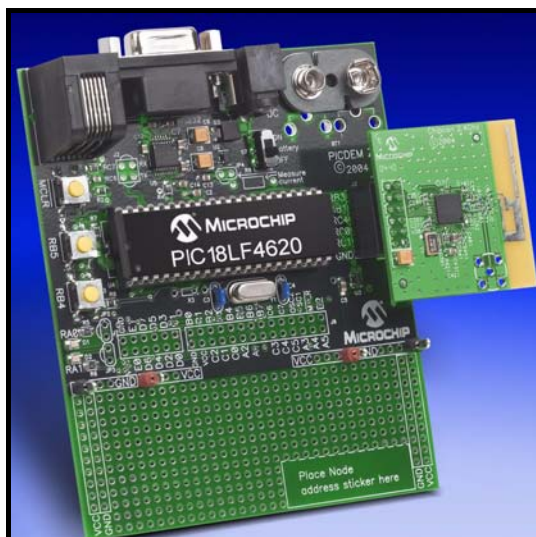


Fig. 2-3. Transmisor del PICDEMZ.

Com ja s'havia dit l'objectiu principal del projecte era el disseny d'un sensor autònom, d'aquesta manera el que es pretèn dur a terme és l'alimentació d'un dels components que formen el PICDEMZ.

PICDEMZ permet l'opció de dur a terme una demostració pràctica. La demostració és molt senzilla, primer de tot cal alimentar el transmisor i el receptor, després s'espera fins que s'hagi establert la connexió entre ells. Una vegada la connexió estigui establida només és necessari premer S2 del receptor, aquest envia un senyal al transmisor que fa que D1 (Led 1) s'il·lumini. PICDEMZ també permet el procés invers. Per tal d'alimentar un dels components del PICDEMZ necessitem 30 mA d'intensitat.

CAPÍTOL 3. MESURES EXPERIMENTALS.

En aquest capítol es mostren totes les mesures de il·luminària fetes amb el luxòmetre i l'espectroradiòmetre. Per altra banda es mostren les mesures realitzades amb les cel·les solars o fotovoltaïques. Primer de tot s'han mesurat el voltatge i la intensitat de la nostra cel·la en unes determinades condicions, a més hem afegit diferents resistències de càrrega per tal d'observar el seu comportament i si era capaç o no de proporcionar-les-hi energia elèctrica. Una vegada dut a terme les proves experimentals hem decidit de verificar els resultats fent proves amb un escenari no real com és un programa de simulació. En aquest cas hem utilitzat el TopSpice. Finalment s'han comparat les mesures experimentals amb les obtingudes amb el programa de simulació. Així hem pogut determinar si eren o no fiables. També hem trobat el punt òptim de treball de les nostres cel·les i per tant determinar quina o quines s'ajusten més a les nostres necessitats. A més a més hem fet també proves agrupant les cel·les en sèrie i en paral·lel que hem utilitzat per tal de veure el resultat de l'agrupació.

Les mesures s'han realitzat amb les cel·les solars o fotovoltaïques descrites al capítol dos. A destacar que aquestes estan formades per agrupacions de cel·les tant en paral·lel com en sèrie.

3.1. Mesures d'irradiància i de il·luminària.

Es desitja realitzar mesures d'il·luminària amb el luxòmetre i l'espectroradiòmetre. El primer mesura la il·luminària (llum en l'espectre visible), per altra banda el segon mesura la irradiància. Les mesures proporcionades per l'espectroradiòmetre, permeten veure l'energia ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) que reben les cel·les solars.

Aquestes mesures a més serviran per tal de conèixer la il·luminària en diferents indrets i així ens permetrà poder determinar la col·locació més adequada per tal d'alimentar el carregador de bateries. Les mesures s'han realitzat a la torre de professors, concretament a la primera planta i els indrets escollits són:

- El laboratori 125.
- El passadís de la primera planta (finestra Sud).

La Fig 3-1 ens mostra els llocs on s'han realitzat les mesures:

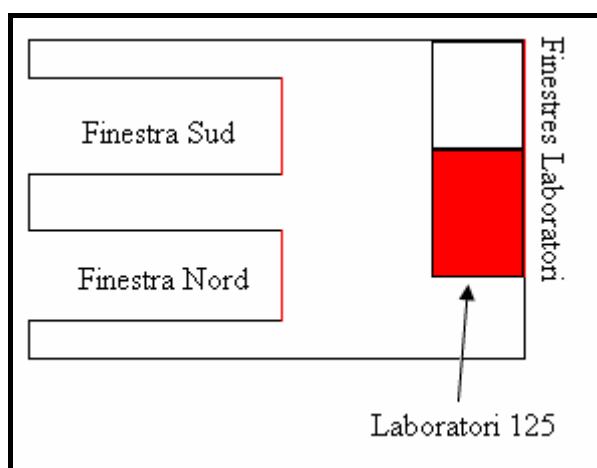


Fig 3-1. Llocs on s'han realitzat les mesures

Tot i així cal dir que l'indret on s'han realitzat la majoria de mesures és en el laboratori, ja que és el lloc on es realitzaran les futures proves d'emmagatzement d'energia per un sensor autònom.

3.1.1. Mesures experimentals.

Seguidament presentem les mesures obtingudes en les diferents situacions. A la taula 3-1 es pot observar l'indret i les condicions amb què s'han realitzat les mesures amb el luxòmetre i l'espectroradiòmetre

Taula 3-1. Indret i condicions amb què s'han realitzat les mesures amb el luxòmetre i l'espectroradiòmetre.

Nº de mesura	Condicions amb què s'ha realitzat la mesura
Mesura 1	Fluorescent circular del sostre (2m d'altura).
Mesura 2	Posició a 0,5 m del fluorescent de la taula.
Mesura 3	Posició a 10 cm del fluorescent de la taula.
Mesura 4	Posició a 0 m del fluorescent de la taula (tocant el fluorescent).
Mesura 5	Mesura de la llum natural amb la finestra tancada.
Mesura 6	Mesura de la llum natural amb la finestra oberta.
Mesura 7	Mesura de la llum natural de la finestra del passadís.

Realment però la cel·la rep l'energia que ens proporciona la mesura de l'espectroradiòmetre. Degut a això s'ha decidit calcular la potència que incideix

a la cel·la solar, d'aquesta manera la podrem comparar amb la que obtenim realment i veurem si el rendiment que obtenim d'aquesta és el desitjat. La Fig. 3-2 ens il·lustra el procés.

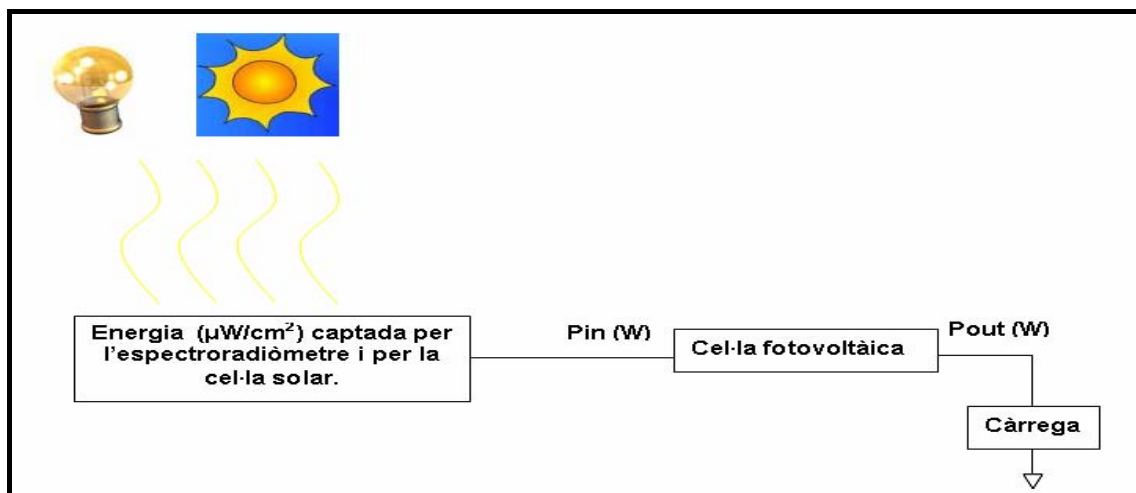


Fig.3-2. Energia captada per l'espectroradiòmetre i la cel·la fotovoltaica.

Els càlculs a realitzar per tal d'obtenir la potència d'entrada de la cel·la parteixen de la mesura obtinguda gràcies a l'espectroradiòmetre i dels fonaments descrits al capítol 1. Així expremem la irradiància (Àrea (μW / cm²)) obtinguda per l'espectroradiòmetre com:

$$X_{ill} = \int_{380}^{780} X_{ir} \cdot d\lambda \tag{3.1}$$

La potència incident a la cel·la s'expressa com:

$$P_{in} (W) = X_{ill} (\mu W/cm^2) \cdot \text{Àrea cel·la fotovoltaica} (cm^2) \tag{3.2}$$

I la potència de sortida (Pout) correspon a la potència que realment ens donen les cel·les solars.

Les dimensions i l'àrea de les cel·les es poden trobar l'apartat 2-2 del capítol 2. L'energia que obtenim (Àrea) es pot veure a la taula 3-2.

Taula 3-2. Energia obtinguda amb l'espectroradiòmetre..

	Energia (μW/cm2)
Mesura 1	127,81
Mesura 2	414,53
Mesura 3	2154,95
Mesura 4	4021,85
Mesura 5	94,51
Mesura 6	250,12
Mesura 7	200,54

La Fig. 3-3 il·lustra una comparació de tres dels diferents espectres mesurats amb l'espectroradiòmetre.

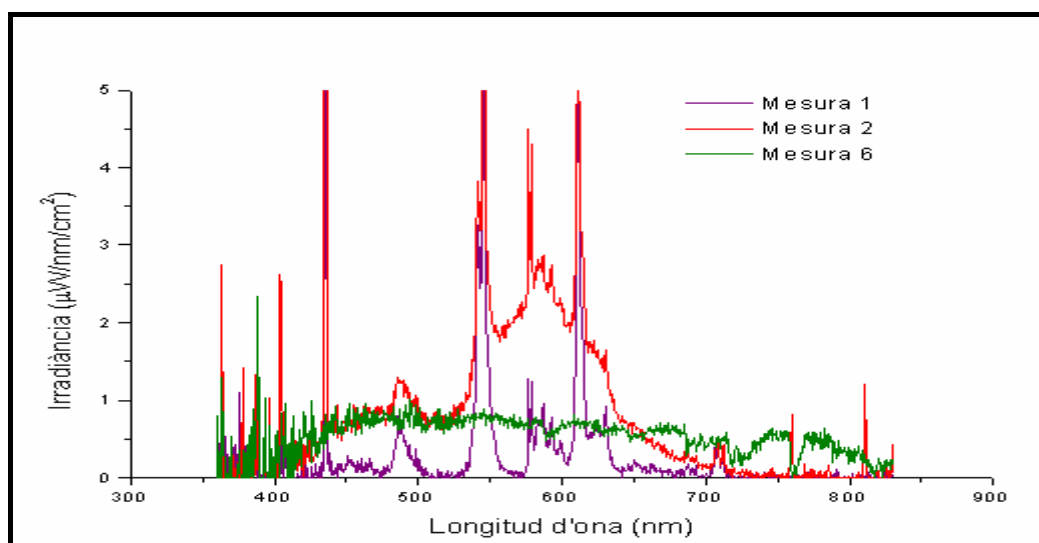


Fig. 3-3. Espectres de la mesura 1, 2 i 6.

La figura 3-3 il·lustra els espectres de les mesures 1, 2 i 6. Tal i com s'observa les mesures que estan més aprop de la font de llum presenten una major irradiància. Cal destacar també que les mesures amb la llum interior presenten més pics d'intensitat d'irradiància que no la llum natural (mesura 6). Aquests pics, no tenen una contribució significativa a la irradiància total. La irradiància total és comparable per a totes les fonts de llum, independentment de la seva naturalesa.

Per altra banda interessa convertir les mesures d'irradiància (mesures de l'espectroradiòmetre) en luxus per tal de comparar amb les mesures realitzades amb el luxòmetre. El procés a seguir per tal de fer la conversió de les mesures està present a l'apartat 1.2.3 del capítol 1. La taula 3-3 mostra les mesures realitzades amb els dos aparells i la diferència de luxus presents entre ells.

Taula 3-3. Taula que compara les mesures realitzades pel luxòmetre i l'espectroradiòmetre.

	Luxòmetre (luxus)	Espectroradiòmetre (luxus)
Mesura 1	422	461,09
Mesura 2	1332	1499,71
Mesura 3	4170	7558,23
Mesura 4	12670	13913,99
Mesura 5	220	207,19
Mesura 6	450	518,03
Mesura 7	440	470,04

Tal i com s'observa a la taula 3-3 la diferència entre les mesures és molt petita. Per tant, per dur a terme les mesures posteriors s'utilitzarà el luxòmetre. Cal destacar també que les mesures de l'espectroradiòmetre en general presenten una quantitat de lux més elevada. Les mesures realitzades per l'espectroradiòmetre ens aporta més informació que no pas les realitzades amb el luxòmetre.

3.2. Mesures experimentals amb les cel·les solars.

L'objectiu és estudiar el comportament del corrent i del voltatge de les diferents cel·les de què disposem en diferents escenaris d'il·luminària. Variant la il·luminària veurem com reaccionen i quina quantitat d'energia elèctrica són capaces de donar-nos. Les proves s'han realitzat en una habitació interior (Laboratori 125).

A més hem afegit una resistència de càrrega R_L , que suposarem que actua com a un dispositiu que consumeix energia i que en aquest cas la cel·la ha d'alimentar. En les figures 3-4 fins a 3-9, podem veure la relació entre el voltatge i la intensitat, segons la il·luminària que reben les cel·les.

Bàsicament ens centrarem en tres tipus diferents d'il·luminària com són, la llum d'una làmpada, la llum que prové des de l'exterior i la llum d'un fluorescent.

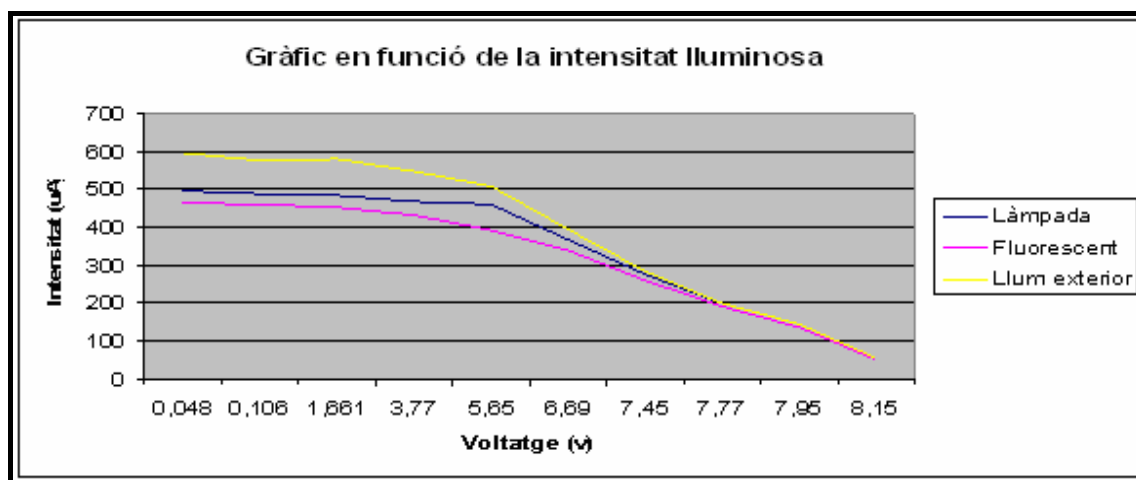


Fig 3-4. Resultats experimentals de la cel·la 1 en fases diferents de il·luminària al laboratori 125.

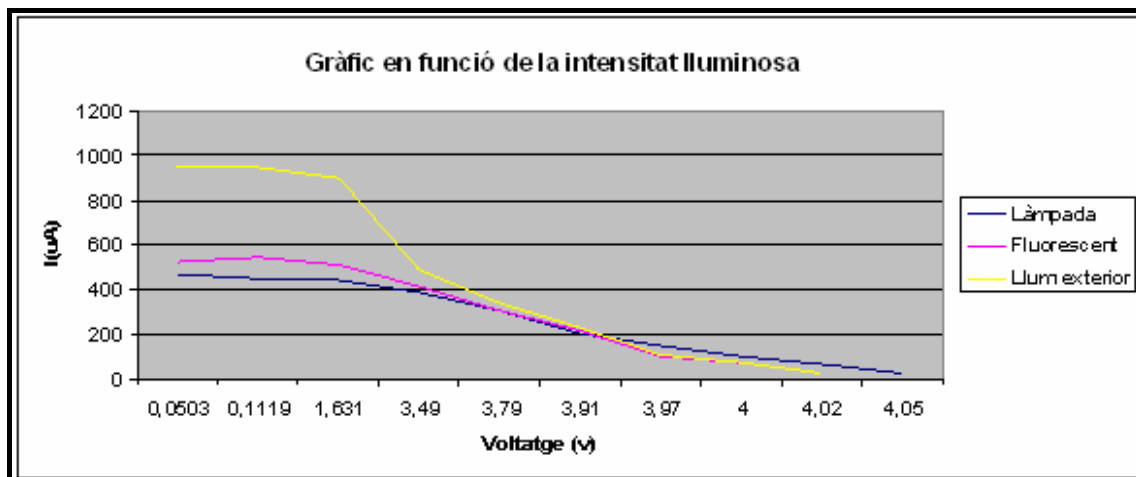


Fig 3-5. Resultats experimentals de la cel·la 2 en fases diferents de il·luminària al laboratori 125.

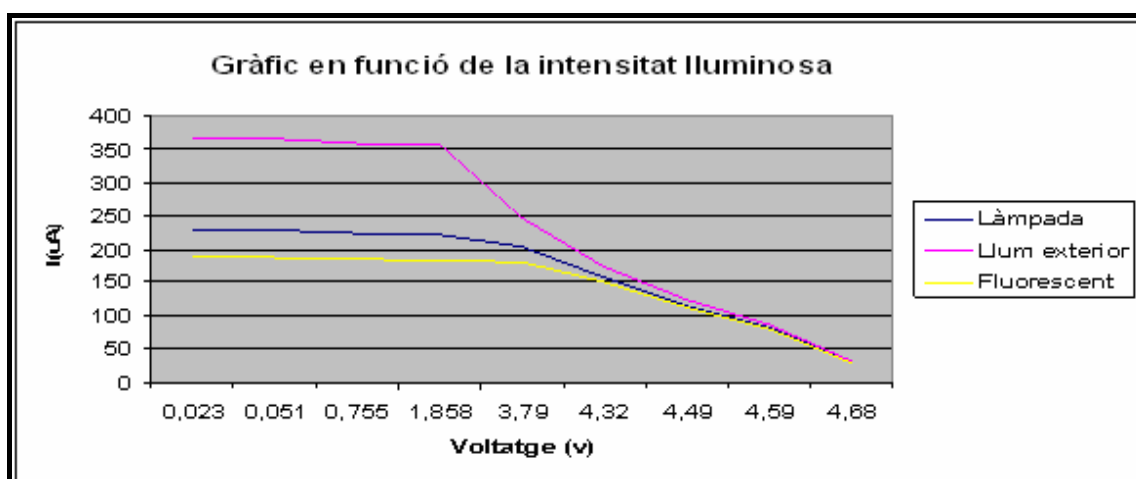


Fig 3-6. Resultats experimentals de la cel·la 3 en fases diferents de il·luminària al laboratori 125.

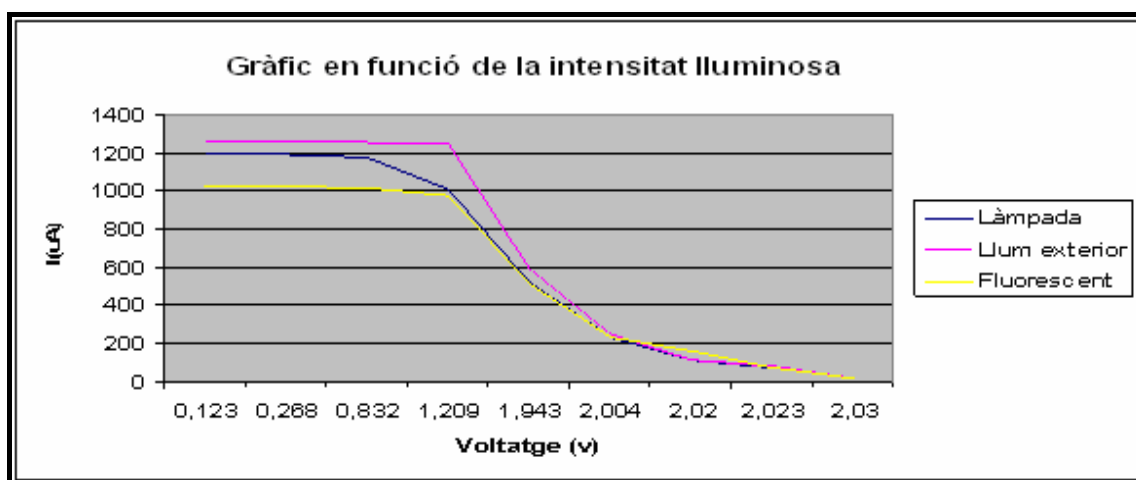


Fig 3-7. Resultats experimentals de la cel·la 4 en fases diferents de il·luminària al laboratori 125.

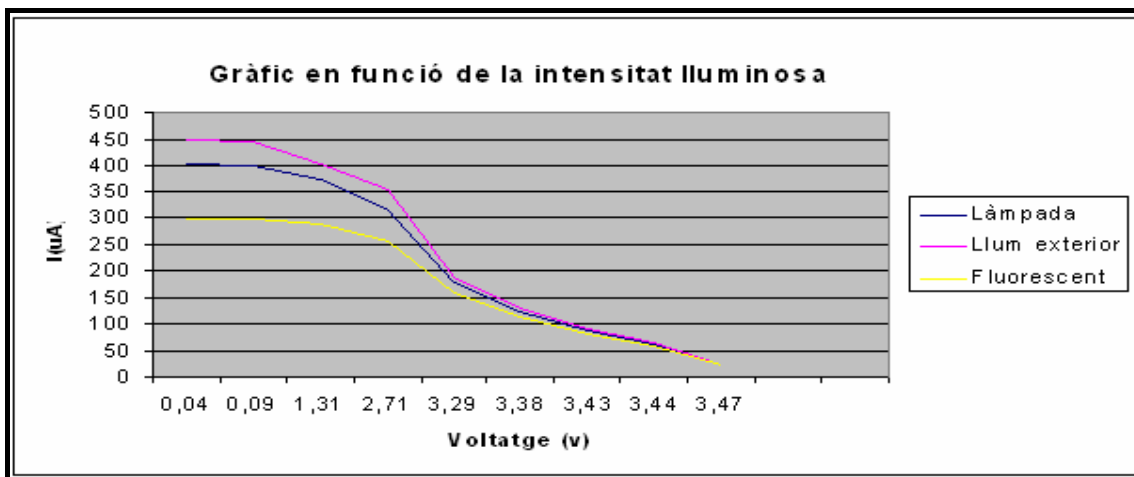


Fig 3-8. Resultats experimentals de la cel·la 5 en fases diferents de il·luminària al laboratori 125.

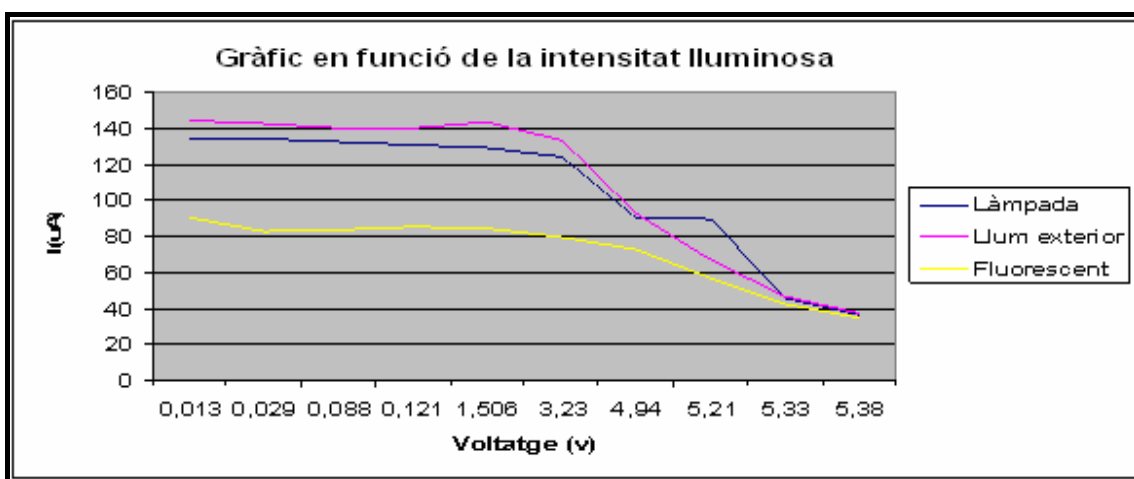


Fig 3-9. Resultats experimentals de la cel·la 6 en fases diferents de il·luminària al laboratori 125.

En els gràfics anteriors es pot observar el comportament de les cel·les en diferents condicions d'il·luminària. En totes les mesures hi ha una diferència d'il·luminària que pot variar uns 200 luxus aproximadament. Naturalment quan més il·luminària rebin les cel·les més voltatge i corrent de sortida tindran. Degut a això les mesures fetes amb major il·luminària presenten un millor comportament que no les altres.

Les cel·les estan dissenyades per captar energia a l'interior. Tot i així, cal destacar que amb la llum provinent de l'exterior presenten un comportament semblant que a la de l'interior.

Tal i com s'espera, les cel·les amb major tamany aporten millors característiques que no les altres. Per altra banda la intensitat de les cel·les dependrà de l'agrupació de cel·les, que podrà ser en sèrie o en paral·lel. A l'apartat 3.2.5, parla sobre la diferència que hi ha entre les diferents agrupacions de cel·les.

Ens interessa saber també el comportament de I_{oc} i V_{oc} per una font de llum, però variant la cel·la que exposem a la font i també la variació de I_{oc} i V_{oc} d'una cel·la segons la font de llum que reben. Així la taula 3-4 mostra la variació de I_{oc} i V_{oc} d'un tipus de llum (fluorescent, llum exterior) segons les cel·les que utilitzes i la taula 3-5 mostra com varien I_{oc} i V_{oc} d'una cel·la segons el tipus de llum que reben.

Taula 3-4. Variació de I_{oc} i V_{oc} de la mesura 2 (fluorescent a 0,5 m) segons la cel·la utilitzada.

Mesura 2	V_{oc} (V)	I_{oc} (mA)
Cel·la 1	6,43	0,472
Cel·la 2	4,06	0,539
Cel·la 3	4,69	0,539
Cel·la 4	1,98	0,950
Cel·la 5	5,3	0,285
Cel·la 6	5,29	0,8

Taula 3-5. Variació de I_{oc} i V_{oc} per la cel·la 1 però amb diferents fonts de llum.

Cel·la 1	V_{oc} (V)	I_{oc} (mA)
Mesura 1	5,49	0,186
Mesura 2	6,43	0,472
Mesura 3	7,66	1,31
Mesura 4	7,87	1,63
Mesura 5	6,53	0,640
Mesura 6	7,24	0,842
Mesura 7	6,39	1,64

Tal i com s'observa a la taula 3-4 I_{oc} i V_{oc} pateixen un comportament diferent segons el tipus de cel·la que s'utilitza, aquest és el comportament correcte, ja que tal com s'ha dit anteriorment cada cel·la és una agrupació de diferents cel·les en sèrie i en paral·lel. Per altra banda la taula 3-5 mostra la variació de I_{oc} i V_{oc} segons el tipus de font lluminosa a què exposem la cel·la. Aquests paràmetres també varien, per tant podem dir que segons la distància de la font a la cel·la obtindriem una millor o pitjor relació de potència.

3.2.1. Potència suministrada per les cel·les (punt òptim de treball).

Com ja hem dit abans el punt òptim de treball, és aquell on la cel·la ens dona la màxima potència [1.11]. La potència subministrada per les cel·les la podem obtenir gràcies als resultats experimentals de l'apartat anterior. Per obtenir les mesures de potència només cal utilitzar la següent expressió:

$$P (W)=V \cdot I \quad (3.3)$$

Així només cal aplicar la fórmula anterior i es podrà calcular la potència que subministra la cel·la per les diferents resistències de càrrega que s'han utilitzat en fer les mesures experimentals. Les figures 3-10 fins 3-15 mostren el punt de màxima potència (punt òptim de treball) de cada cel·la en diferents condicions d'il·luminària.

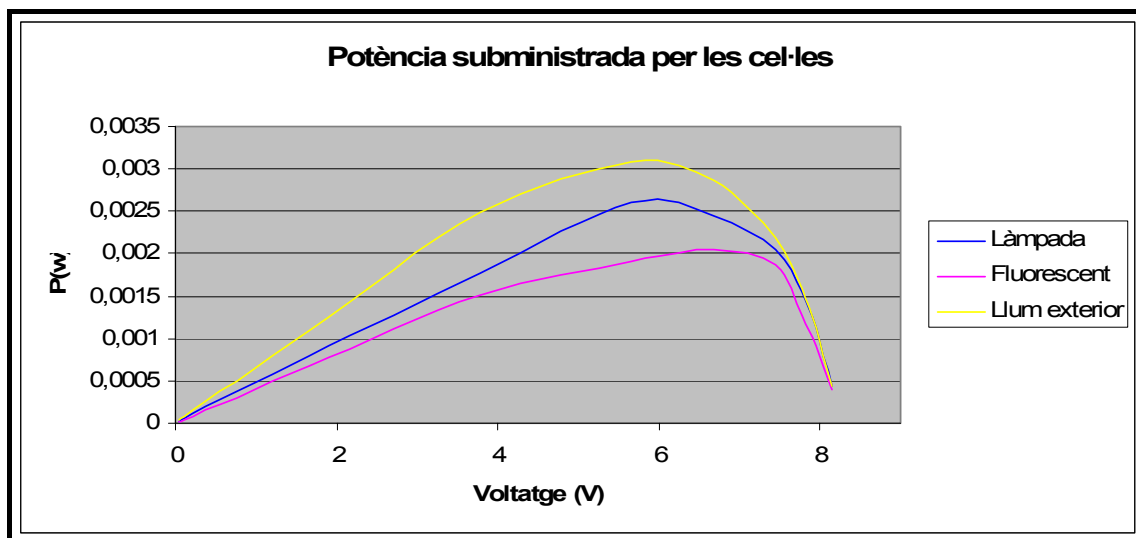


Fig. 3-10. Punt òptim de treball de la cel·la 1 en diferents condicions d'il·luminària.

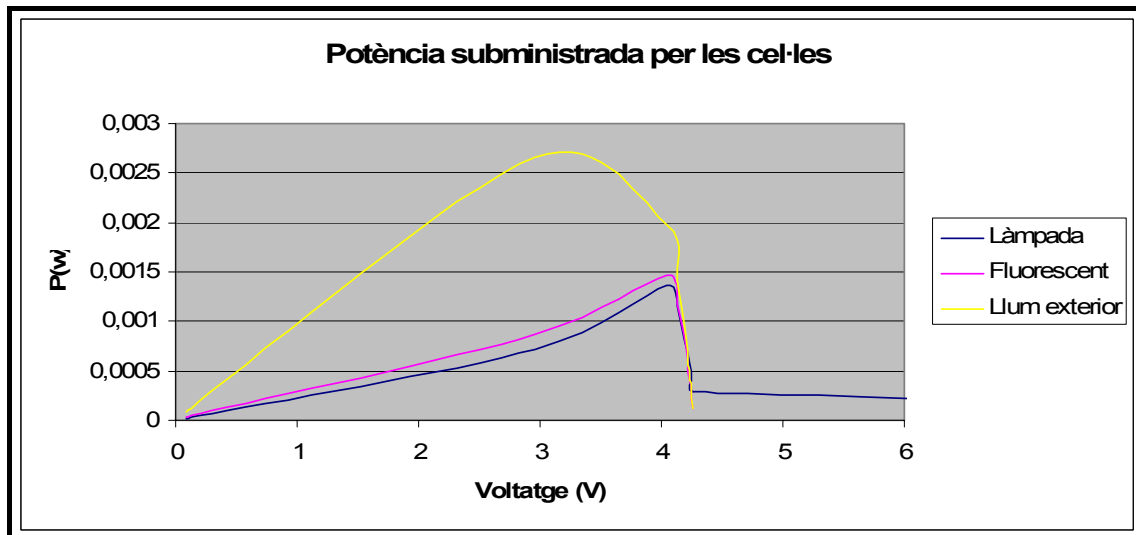


Fig. 3-11. Punt òptim de treball de la cel·la 2 en diferents condicions d'il·luminària.

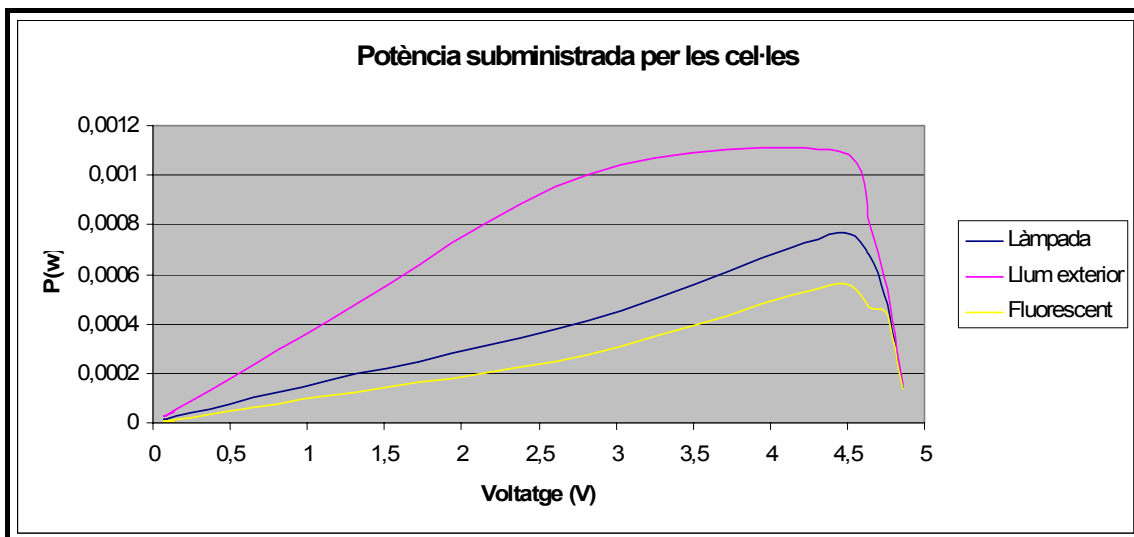


Fig. 3-12. Punt òptim de treball de la cel·la 3 en diferents condicions d'il·luminària.

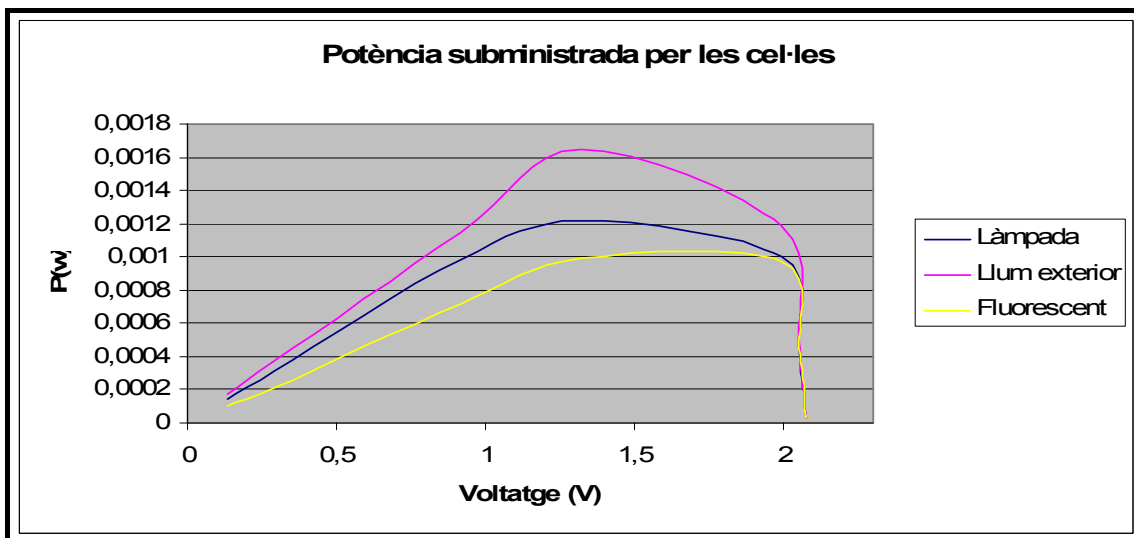


Fig. 3-13. Punt òptim de treball de la cel·la 4 en diferents condicions d'il·luminària.

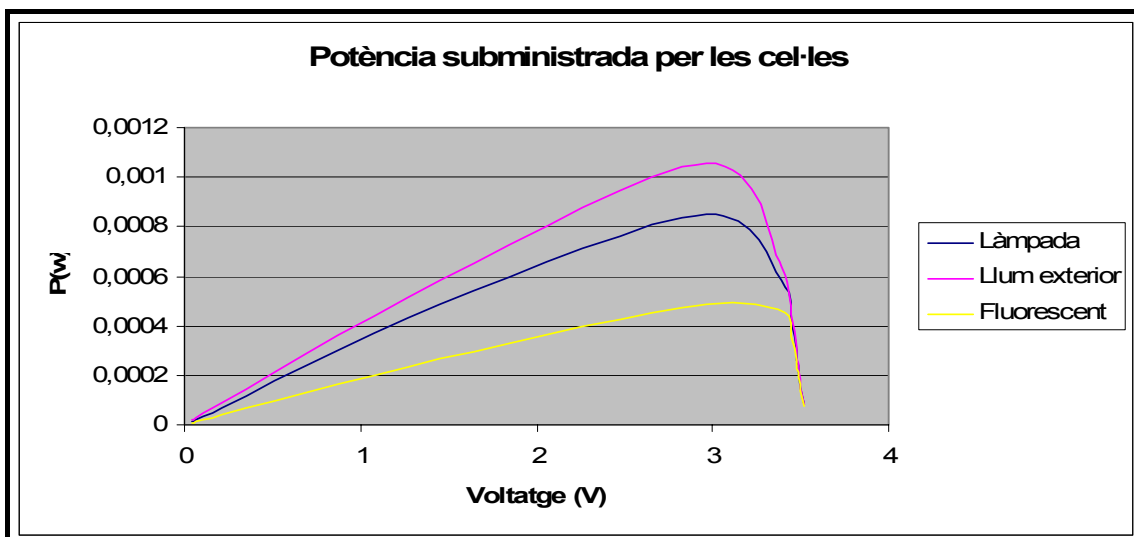


Fig. 3-14. Punt òptim de treball de la cel·la 5 en diferents condicions d'il·luminària.

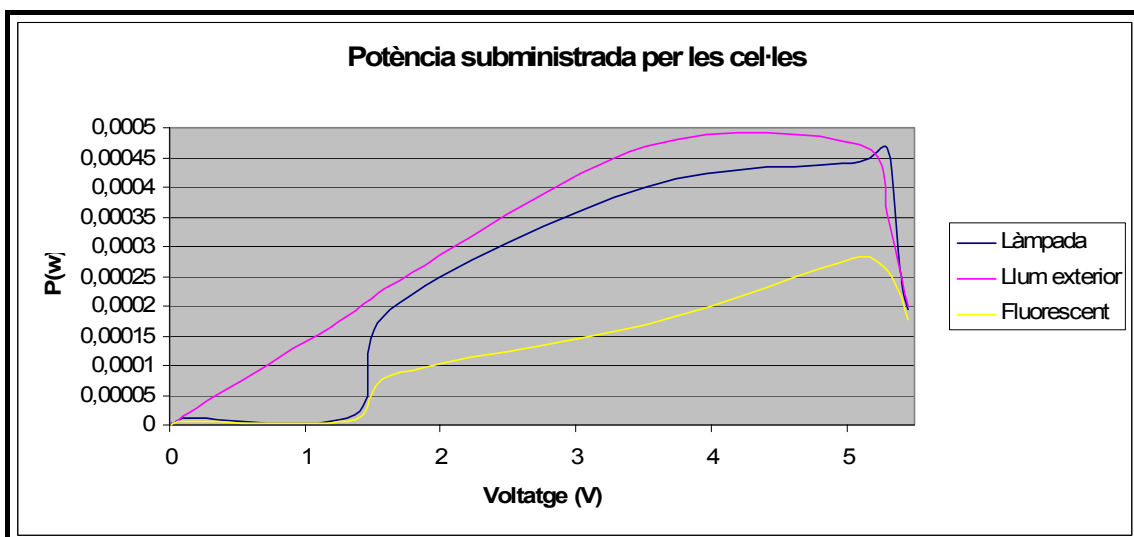


Fig. 3-15. Punt òptim de treball de la cel·la 6 en diferents condicions d'il·luminària

A la taula 3-6 es pot observar la il·luminària de les cel·les, el seu voltatge òptim, la seva intensitat òptima i la seva resistència òptima. Aquests paràmetres els hem trobat fent les mesures amb diferents condicions d'il·luminària. A l'annex 2 es poden consultar totes les taules de mesura que s'han realitzat en el present projecte, incloent les que s'han utilitzat per trobar el punt òptim de treball de les cel·les fotovoltaïques.

Taula 3-6. Característiques principals per trobar el punt òptim de treball.

Tipus de cel·la	Il·luminària (luxus)	Vopt (V)	Iopt (μ A)	Ropt (Kohms)	Popt (W)
Cel·la 1. Làmpada.	1030	5,65	460	12,01	0,00259
Cel·la 1. Llum exterior.	1221	6,095	507	12,01	0,00309
Cel·la 1. Fluorescent.	1013	6	342	17,75	0,00205
Cel·la 2. Làmpada.	1034	3,49	392	8,17	0,00136
Cel·la 2. Llum exterior.	1297	2,95	901	3,25	0,00265
Cel·la 2. Fluorescent.	1000	3,53	415	8,17	0,00146
Cel·la 3. Làmpada.	1026	3,79	202,5	17,75	0,000767
Cel·la 3. Llum exterior.	1291	4,44	247	17,75	0,00109
Cel·la 3. Fluorescent.	1027	3,105	180,8	17,75	0,000561
Cel·la 4. Làmpada.	1042	1,209	1007	997 ohms	0,001217
Cel·la 4. Llum exterior.	1357	1,32	1248	997 ohms	0,00164
Cel·la 4. Fluorescent.	1103	1,017	977	997 ohms	0,00099
Cel·la 5. Làmpada.	1035	2,713	313,6	8,17	0,00085
Cel·la 5. Llum exterior.	1346	2,97	355	8,17	0,00105
Cel·la 5. Fluorescent.	1117	1,933	253,3	8,17	0,000489
Cel·la 6. Làmpada.	1037	5,21	89,2	80,5	0,000464
Cel·la 6. Llum exterior.	1380	5,101	92,3	55,6	0,00047
Cel·la 6. Fluorescent.	997	3,92	72,3	55,6	0,000283

Els gràfics anteriors mostren la potència que pot oferir cada cel·la en diferents condicions d'il·luminària i de llum. D'aquesta manera la cel·la 1 i la cel·la 2 són les que aporten el millor rendiment, ja que són les que donen una potència més gran. A més tal com s'espera aquestes dos cel·les són les que tenen una major dimensió. Per altra banda destacar que les mesures amb llum exterior són les que ens aporten major potència, seguides per les mesures de la làmpada i finalment per les del fluorescent.

La cel·la 1 i la 2 seràn doncs les cel·les fotovoltaïques escollides per realitzar les proves posteriors, degut a que tenen millors característiques que les altres cel·les amb què s'ha treballat.

De la taula 3-6 cal destacar que si les cel·les que ofereixen un voltatge elevat, no són capaces després d'oferir una intensitat elevada. El mateix passa inversament, o sigui si la cel·la ofereix una intensitat elevada, no és capaç després d'oferir un voltatge elevat. Això depèn de com estan agrupades, les cel·les agrupades en sèrie ofereixen voltatge elevat per altra banda la intensitat que proporcionen és petita. Per contra les cel·les que tenen més presència d'agrupacions en paral·lel ofereixen una millor intensitat, encara que el voltatge proporcionat sigui petit. A més a més, la màxima potència es pot extreure no només d'un punt sinó d'un interval proper de 0,5 V (cel·la 4-> 0,5 V / Fig.3-13)

3.2.2. Simulació amb TopSpice.

Aquest apartat ens servirà per veure si les mesures experimentals realitzades mantenen una correlació amb un model senzill definit amb TopSpice. Aleshores es simularà aquest model amb TopSpice, considerant els valors de corrent obtinguts experimentalment. D'aquesta manera aconseguim tenir uns mesures amb condicions ideals que ens serviran per comparar-les amb les mesures reals dutes a terme al laboratori. El model emprat ha sigut el d'una font de corrent descrit a la figura 3-1.

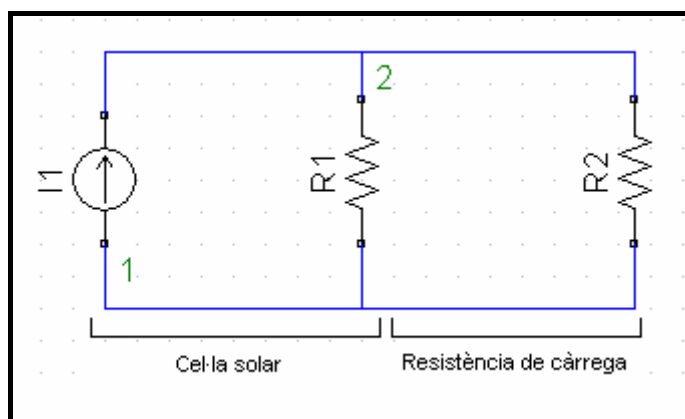


Fig. 3-11. Model de cel·la analitzat amb TopSpice.

On el valor de $I1$ i $R1$ variarà segons la il·luminària que rebi la cel·la, i on $R2$ correspon a la resistència de càrrega que s'ha d'alimentar. Atenent al fet que les cel·les amb què s'han realitzat les proves corresponen a una agrupació de cel·les. Degut a que el fabricant no ens dona les característiques de les

agrupacions, es considera un model general d'associació de N cel·les. Considerant el model elèctric descrit en el capítol i en el cas de tenir una agrupació de cel·les en sèrie la resistència equivalent que s'obtidria es pot expressar com:

$$R_{eq} = N \cdot R_s + (N-1)R_{sH} \quad (3.1)$$

Per altra banda si l'agrupació d'aquestes és en paral·lel ho expremem com:

$$R_{eq} = R_{sH} / (N + NR_s) \quad (3.2)$$

On s'ha considerat que els diodes estan amb tall.

En les simulacions amb TopSpice també s'han considerat tres escenaris diferents d'il·luminària (diferents corrents), o sigui la il·luminació amb un fluorescent, la il·luminació amb una làmpada i la il·luminació amb la llum exterior. Les figures 3-12 i 3-13 mostren els resultats de comparar les mesures d'il·luminària amb les mesures de TopSpice amb la llum provinent de l'exterior. Per altra banda, els resultats experimentals que falten es poden trobar a l'annex 2.

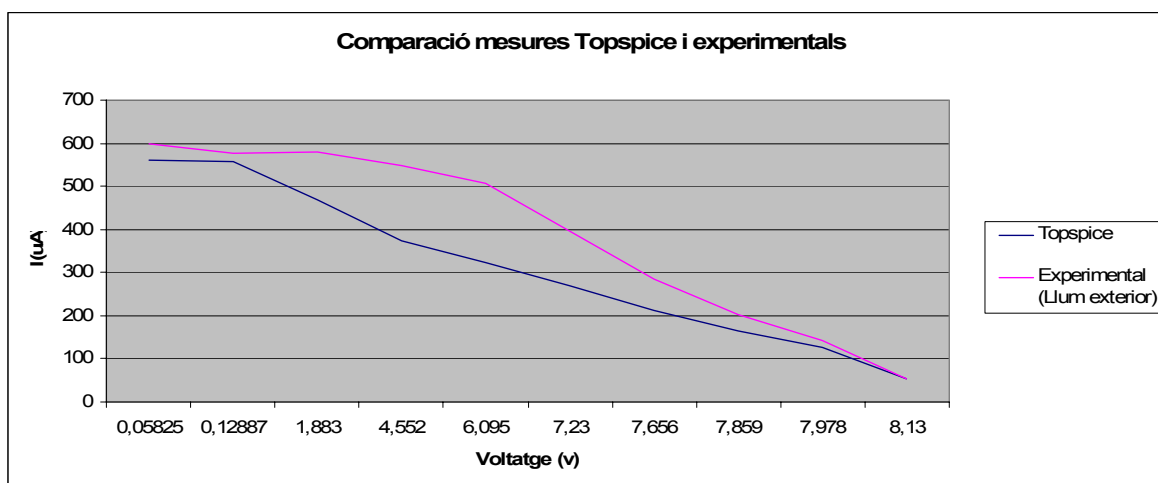


Fig. 3-12. Comparació des resultats experimentals amb els resultats de TopSpice de la cel·la 1

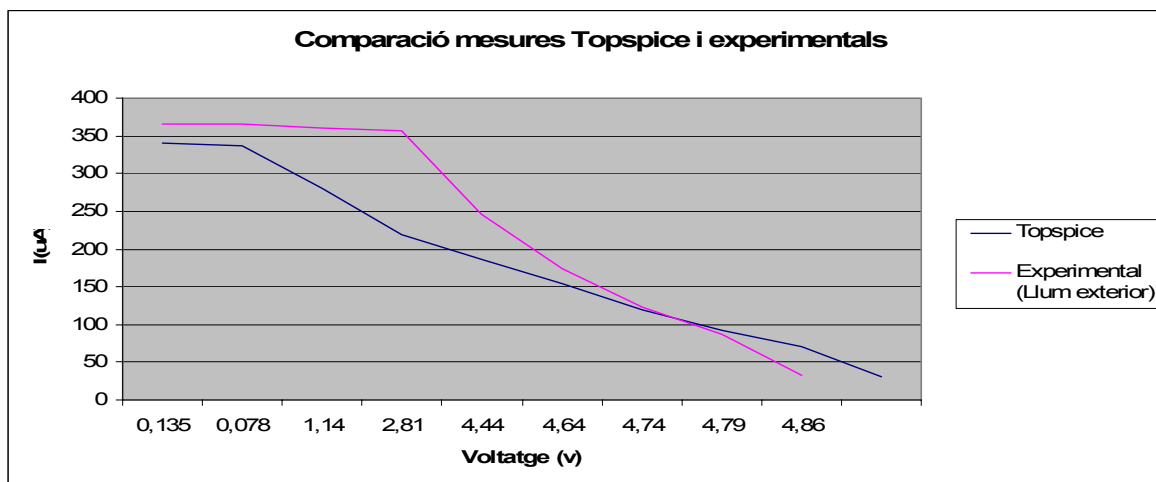


Fig. 3-13. Comparació des resultats experimentals amb els resultats de TopSpice de la cel·la 3

Finalment s'ha decidit de posar la resta de mesures de llum exterior a l'annex 2, degut presentaven un comportament molt similar amb les mostrades a les figures 3-12 i 3-13.

Observant les figures, es pot dir que el model analitzat amb TopSpice, ajusta bé els valors dels extrems, però que per altra banda no els de la zona intermitja. Com ja s'ha dit les cel·les fotovoltaïques que utilitzem són una agrupació de cel·les en sèrie o en paral·lel. D'aquesta manera una possible solució per tal d'aconseguir acotar més els valors de la zona intermitja seria complicar el model analitzat amb TopSpice, incloent algun diode o agrupament de diodes, tenint amb compte que la cel·la és una agrupació de cel·les, encara que aleshores no tindriem un model senzill.

3.2.3. Agrupació de cel·les solars.

Les cel·les solars comercials es subministren agrupades en mòduls de diverses cel·les. Aquestes es poden agrupar en sèrie o en paral·lel. Si les agrupem en sèrie la intensitat que s'obté és la mateixa per tot el circuit, encara que les tensions es sumen, per altra banda si les agrupem en paral·lel es manté la tensió de la cel·la i es sumen els corrents. El que hem fet nosaltres ha estat agrupar una agrupació de cel·les per tal d'observar-ne el seu comportament. Així hem fet proves amb les cel·les que tenien millors característiques, la cel·la 1 i 2. Les hem agrupat en paral·lel i en sèrie per veure el seu comportament. Les proves s'han dut a terme amb TopSpice. A les taules 3-7 i 3-8 podem observar les característiques de les cel·les utilitzades.

Taula 3-7. Característiques de la cel·la 1.

Cel·la 1	Il·luminària (luxus)	Voltatge (V)	Intensitat (mA)	Potència òptima (mW)
	300-500 ⁽¹⁾	6.925	0.228	1,57
	1013 ⁽²⁾	7.92	0.466	3,69
	1665 ⁽³⁾	8,2	0.677	5,51

Taula 3-8. Característiques de la cel·la 2.

Cel·la 2	Il·luminària (luxus)	Voltatge (V)	Intensitat (mA)	Potència òptima (mW)
	300-500 ⁽¹⁾	3.93	0.231	0,9
	946 ⁽²⁾	4.07	0.526	2,14
	1665 ⁽³⁾	4.177	0.775	3,23

A la taula 3-9 s'observen els resultats de les proves amb TopSpice.

Taula 3-9. Resultats de les proves amb TopSpice.

Opció 1: Dos cel·les de (15-5.5) cm en paral·lel ⁽¹⁾	
Intensitat: 4.52E-04 A	Voltatge: 4.56E-02 V
Opció 2: Dos cel·les de (15-5.5) cm en paral·lel amb una de (9.5-4.7) cm en paral·lel ⁽¹⁾	
Intensitat: 3.22E-04 A	Voltatge: 5.47 V
Opció 3: Cel·la de (15-5.5) cm en paral·lel amb cel·la de (9.5-4.7) cm ⁽¹⁾	
Intensitat: 2.92E-04 A	Voltatge: 4.98 V
Opció 4: Dos cel·les de (15-5.5) cm en paral·lel amb dos de (9.5-4.7) cm en paral·lel ⁽¹⁾	
Intensitat: 2.92E-04 A	Voltatge: 4.98 V
Opció 5: Cel·la de (15-5.5) cm en sèrie amb cel·la de (15-5.5) cm ⁽¹⁾	
Intensitat: 2.28E-04 A	Voltatge: 6.92 V
Opció 6: Cel·la de (15-5.5) cm en paral·lel amb cel·la de (9.5-4.7) cm ⁽²⁾	
Intensitat: 7.65E-04 A	Voltatge: 5.89 V
Opció 7: Cel·la de (15-5.5) cm en paral·lel amb cel·la de (9.5-4.7) cm i en sèrie amb cel·la de (15-5.5) cm ⁽²⁾	
Intensitat: 4.66E-04 A	Voltatge: 7.92 V
Opció 8: Dos cel·les de (15-5.5) cm en paral·lel amb cel·la de (9.5-4.7) cm en paral·lel ⁽³⁾	
Intensitat: 5.26E-04 A	Voltatge: 4.05 V
Opció 9: Dos cel·les de (9.5-4.7) cm en paral·lel amb cel·la de (15-5.5) cm en paral·lel ⁽³⁾	
Intensitat: 9.05E-04 A	Voltatge: 4.98 V
Opció 10: Cel·la de (15-5.5) cm en paral·lel amb cel·la de (9.5-4.7) cm ⁽³⁾	
Intensitat: 9.95E-04 A	Voltatge: 5.47 V

Per altra banda la taula 3-10 mostra les mesures reals de les opcions que ens donen millors característiques (opció 9 i 10).

Taula 3-10. Resultats experimentals d'agrupació de cel·les solars.

Opció 9: Dos cel·les de (9.5-4.7) cm en paral·lel amb cel·la de (15-5.5) cm en paral·lel ⁽³⁾	
Intensitat: 8,57E-04 A	Voltatge: 4.9 V
Opció 10: Cel·la de (15-5.5) cm en paral·lel amb cel·la de (9.5-4.7) cm ⁽³⁾	
Intensitat: 9.4E-04 A	Voltatge: 5.33 V

Les millors opcions tal i com mostra la taula 3-9 són la 9 i la 10 aquestes ens proporcionen un voltatge i una intensitat adequada per carregar la bateria. Per altra banda si s'observen les característiques de la bateria presents al capítol 2 es pot veure que també es podria carregar la bateria utilitzant una única cel·la que proporcioni la intensitat i voltatge adequats per carregar-la. La diferència es que no s'obtidria tanta intensitat i que per tant la càrrega de la bateria seria més lenta.

CAPÍTOL 4. DISSENY PRELIMINAR I RESULTATS EXPERIMENTALS

En aquest capítol es procedirà a complir un dels objectius principals: carregar una bateria amb energia solar, per tal de poder alimentar un sistema autònom. Es desitja que la bateria subministri l'energia que necessita el sistema autònom per funcionar en els períodes on la cel·la solar no rep llum (durant la nit o en condicions adverses) i per tant no pot generar cap mena d'energia ni pel sistema autònom ni per la bateria. Idealment, en els instants de llum, el sensor autònom hauria de funcionar amb l'energia que l'hi proporciona la llum. A més la bateria s'aniria carregant mentre la cel·la estigui amb contacte amb la llum solar o artificial [9]. Les especificacions principals dels elements a utilitzar es poden trobar al capítol 2.

En la implementació del carregador de bateries es realitzaran proves de càrrega amb les cel·les solars que ens aporten més potència, proves de descàrrega amb diferents resistències de càrrega i proves de la variació de la temperatura que pot patir la bateria en la càrrega i descàrrega. Les mesures es duran a terme amb el sistema d'adquisició de dades [16] que és capaç de realitzar mesures de la variació del voltatge i la variació de la temperatura en un període de temps. Recordem que en el capítol 1 s'explica que la temperatura és el gran enemic de les bateries. Degut a això es fa un exhaustiu control de la variació de temperatura en la càrrega i descàrrega de la bateria de liti-ió.

4.1. Implementació del carregador de bateries.

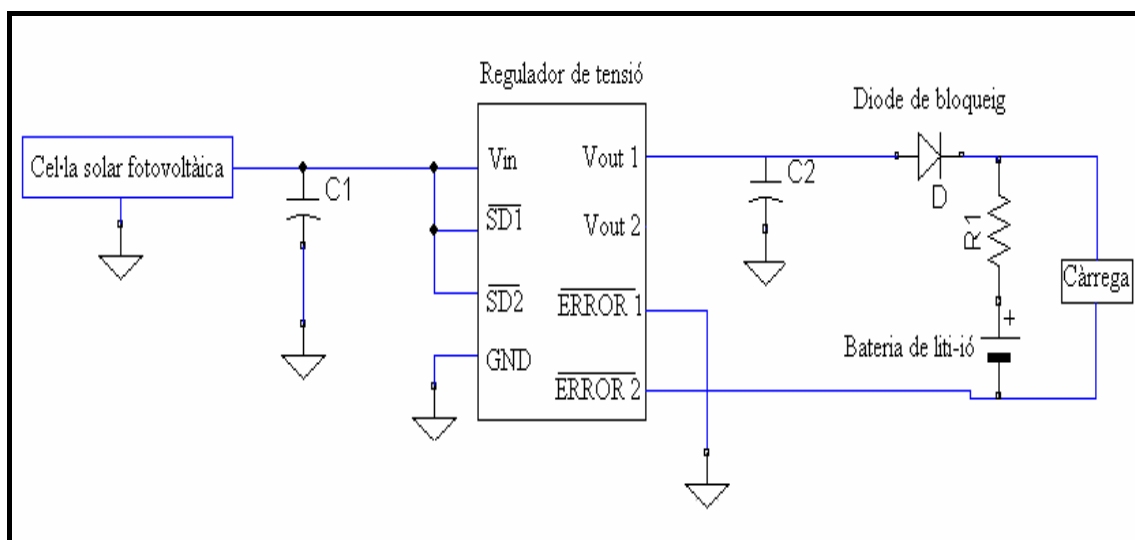
La taula 4-1 mostra els elements escollits per dur a terme el carregador de bateries, les seves principals característiques i el preu, d'aquesta manera també podrem tenir una aproximació del que podria costar el sistema.

Taula 4-1. Elements escollit per la implementació del carregador de bateries.

Element	Característiques principals	Preu (€)
Cel·la 1	(15 ₍₁₎ -5,5 ₍₂₎) cm	
Cel·la 2	(9,5 ₍₁₎ -4,7 ₍₂₎) cm	
Cel·la 3	(6 ₍₁₎ -3,2 ₍₂₎) cm	
Regulador de tensió	LP2966 (low-dropout) 3 i 3,3v	2
Elements electrònics (R,C)	Resistències i condensadors	0,5
Bateria de liti-ió (ML2016)	3 V	4,1

El preu no s'ha pogut trobar, degut a que les cel·les eren de mostra (gentilesa de RWE SCHOOT). Per altra banda dir que el sistema és econòmic a falta de saber el preu de les cel·les.

Primerament procedirem al muntatge del carregador, l'esquema d'aquest es pot observar a l'esquema 1:



Esquema 1. Esquema del carregador de bateries.

On:

$$C1 = C2 = 1 \mu\text{F} \text{ i } R1=2 \text{ K}\Omega.$$

La bateria (ML2016) sempre es carregarà a tensió. El procediment de funcionament és molt simple. Primer de tot la cel·la rep l'energia de la llum solar, aquesta la transmet al regulador, el qual estabilitza la tensió a 3 V o 3,3 V depenent del regulador que s'utilitzi. Cal tenir amb compte que la bateria es pot alimentar com a molt a 3,2 V. Degut a això s'han escollit dos tipus de reguladors, tenint amb compte que el díode de germani (díode de bloqueig) consumeix 0,4 V. Per tant a la bateria arriben 2,7 V o 3 V depenent del regulador que s'utilitzi i finalment trobem una resistència de protecció (R1) i la bateria que desitgem carregar, tal i com recomana el fabricant.

4.2. Resultats experimentals.

Seguidament es mostrarà el procediment que s'ha seguit i els resultats obtinguts a l'hora de carregar i descarregar la bateria.

4.2.1. Càrrega de la bateria amb els diferents reguladors.

Per dur a terme la càrrega de la bateria ho podem fer amb tres tipus de cel·les diferents, la cel·la 1, la 2 i la 5, que ens ofereixen el voltatge i la intensitat adequades. A l'annex 2 podem consultar les seves característiques en diferents condicions d'il·luminària.

Primer de tot procedim a fer la càrrega amb la cel·la 1 que és la que aporta més potència.

Per carregar la bateria hem seguit l'esquema 1 i el procediment que s'ha explicat a l'apartat 3.1. Primer de tot s'ha carregat la bateria amb la cel·la 1 amb una il·luminància d'aproximadament 1000 luxus. Els resultats de la càrrega de la bateria amb la cel·la 1 amb el regulador de 3 V i amb el de 3,3 V es mostren a la figura 4-1.

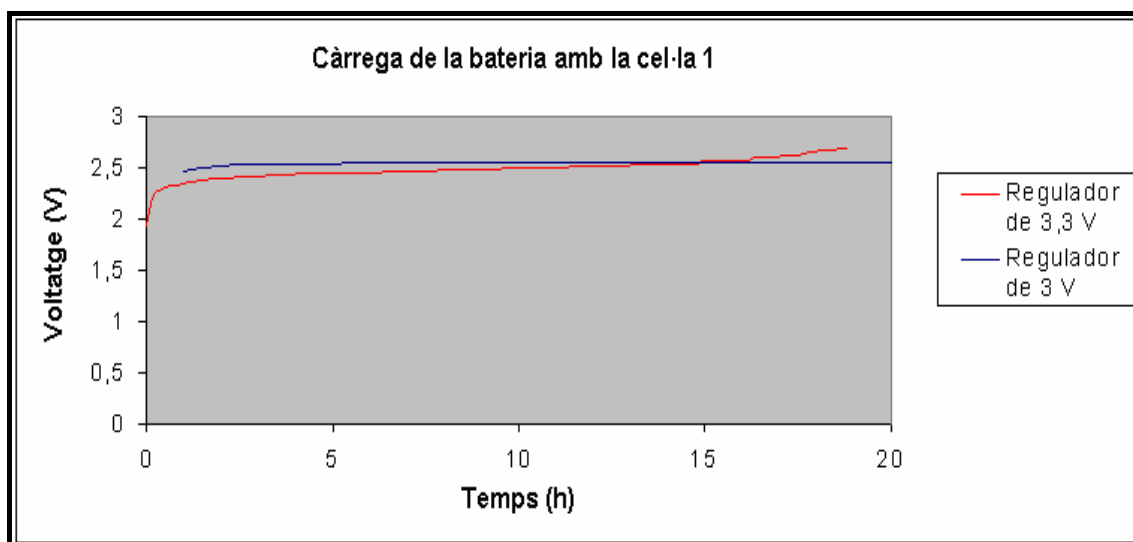


Fig. 4-1. Càrrega de la bateria de liti-ió amb la cel·la 1 i el regulador de 3 V.

Les figures 4-2 i 4-3 mostren la càrrega de la bateria amb la cel·la 2 i 5 i utilitzant el regulador de 3,3 V.

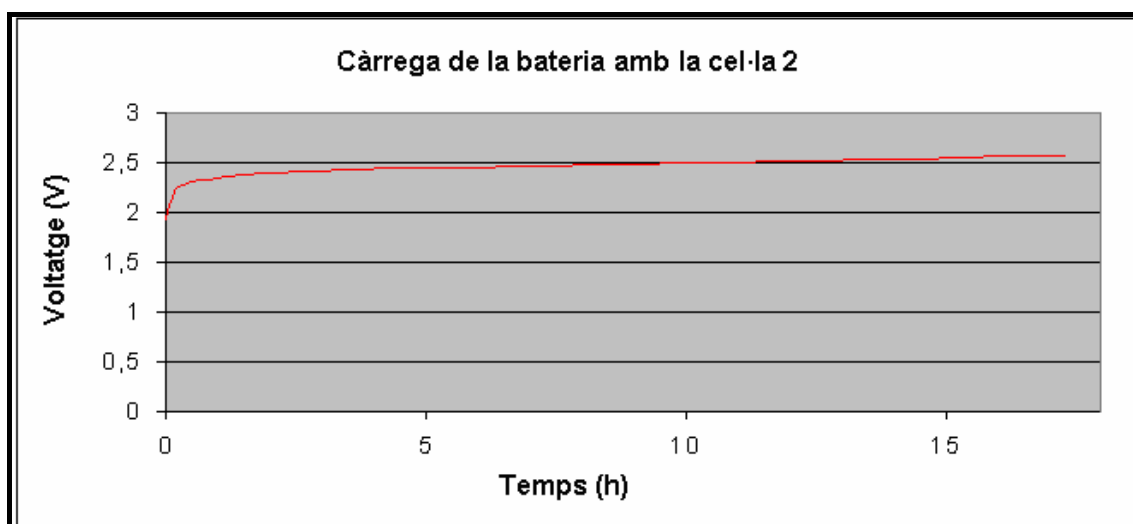


Fig. 4-2. Càrrega de la bateria de liti-ió amb la cel·la 2 i el regulador de 3,3 V.

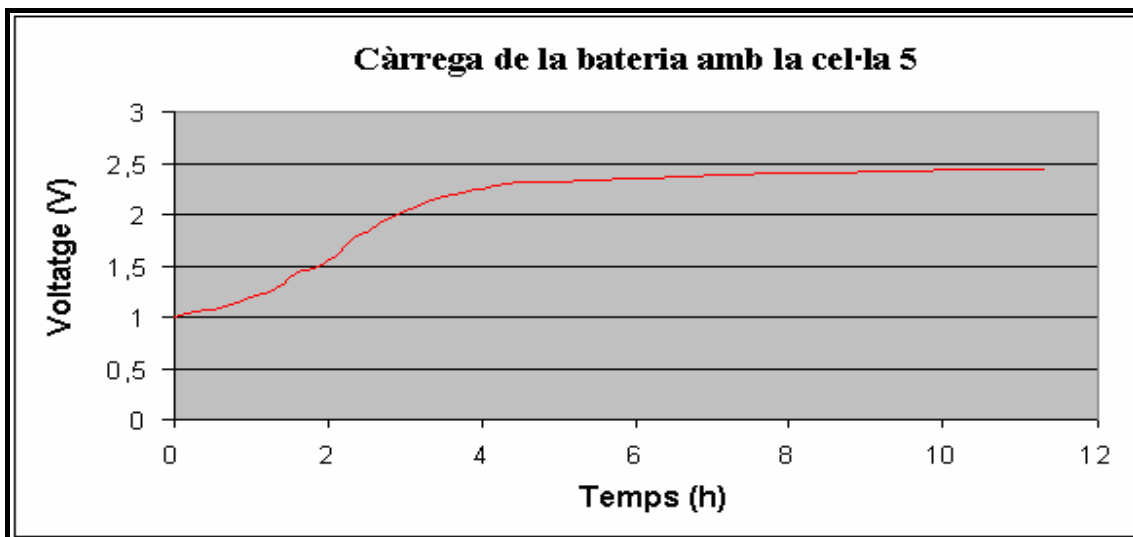


Fig.4-3. Càrrega de la bateria de liti-ió amb la cel·la 5 i el regulador de 3,3 V.

4.2.2. Descàrrega de la bateria amb diferents resistències de càrrega.

La descàrrega amb diferents resistències (R_L), servirà per poder veure el comportament de la bateria en diferents condicions de descàrrega, ja que depenent del valor de la resistència la bateria haurà d'entregar més o menys corrent. És a dir, com més gran sigui el valor de la resistència menys intensitat consumirà el sistema. Per altra banda, com més petita sigui R més intensitat consumirà. En total s'han fet quatre descàrregues diferents, la primera amb una resistència de 15 k Ω , la segona amb una resistència de 2 k Ω , la tercera amb una resistència de 500 Ω i la quarta d'una durada més curta d'una resistència de 100 Ω . les figures 4-4, 4-5 i 4-6 il·lustren el procés de descàrrega.

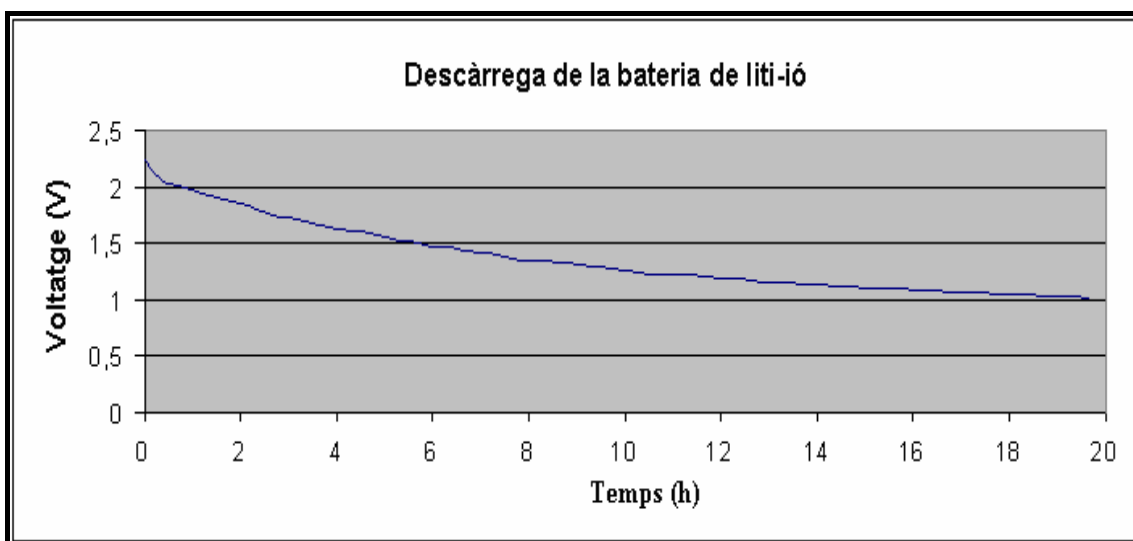


Fig. 4-4. Descàrrega de la bateria de liti-ió amb una resistència R_L de 15 k Ω .

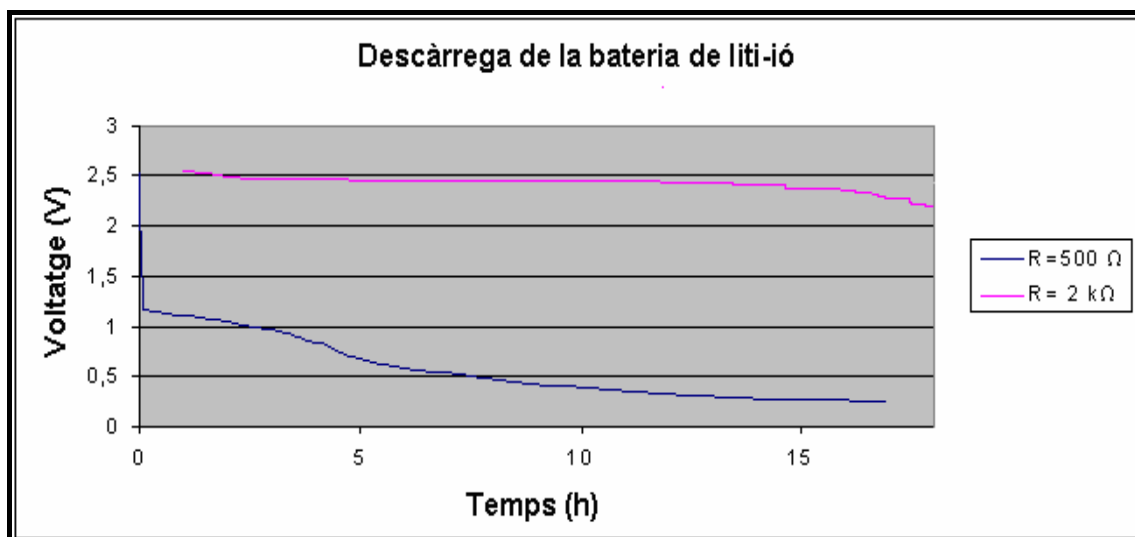


Fig. 4-5. Descàrrega de la bateria de liti-ió amb una resistència R_L de 2 kΩ i 500 Ω.

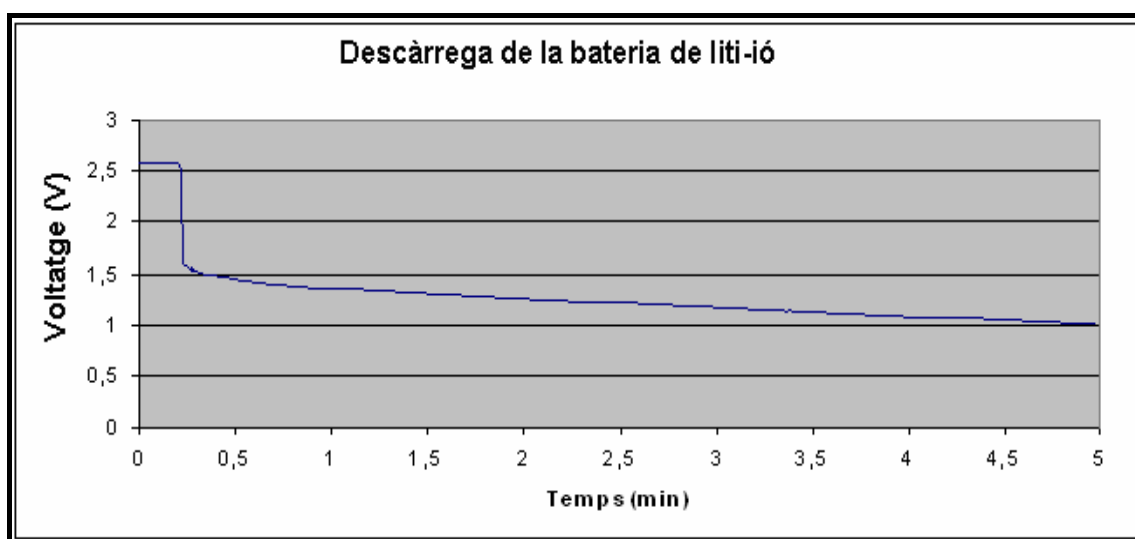


Fig. 4-6. Descàrrega de la bateria de liti-ió amb una resistència R_L de 100 Ω.

4.2.3. Comportament de la temperatura de la bateria en els processos de càrrega i descàrrega.

En el capítol 1 havíem dit que la temperatura és el gran enemic de les bateries recarregables, degut a aquest motiu s'ha fet un seguiment de l'evolució de la temperatura en els processos de càrrega i descàrrega. La figura 4-7 n'il·lustra el comportament.

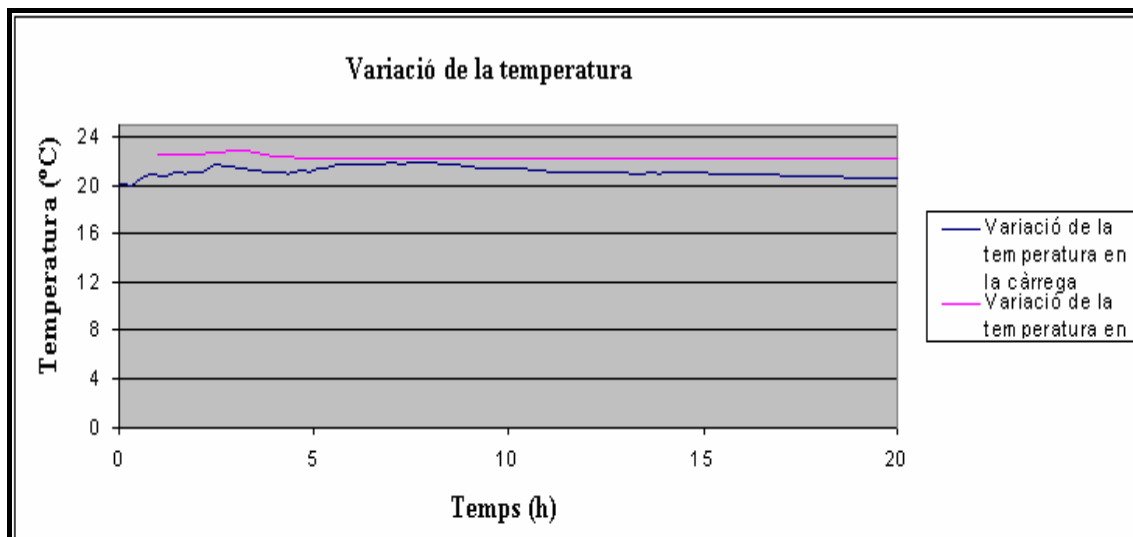


Fig. 4-7. Variació de la temperatura en el procés de càrrega i descàrrega.

4.2.4. Proves amb el model PICDEMZ.

L'objectiu de les proves és que el transmissor o el receptor de PICDEMZ funcioni amb la bateria un instant de temps.

Les proves s'han realitzat de dues maneres diferents. La primera s'ha realitzat amb la font d'alimentació, i ens ha servit per tal de determinar la tensió mínima que necessitava la placa per dur a terme la demostració pràctica. D'aquesta manera s'ha pogut observar que per una tensió mínima de 2,1 V el transmissor s'inicialitzava correctament i es connectava amb el receptor. D'altra banda tenim que el corrent que consumeix, és de 30 mA, els quals poden ser teòricament subministrats per la bateria en un curt interval de temps. Seguidament s'han realitzat les proves amb una bateria. Aquesta estava carregada fins a una tensió de 2,7 V aproximadament. Una vegada connectada al sistema s'ha pogut observar que aquest no s'inicialitzava. Per altra banda s'ha pogut observar una disminució dràstica del voltatge, degut al fet que no subministrava el corrent necessari per alimentar el sistema.

4.3. Avaluació dels resultats.

La càrrega de les bateries s'ha realitzat satisfactoriament tant en 3 V com en 3,3 V, encara que utilitzant el regulador de 3,3 V hem aconseguit que la bateria tingui més càrrega. Això és degut a què el díode consumeix aproximadament 0,2 V i per tant amb el regulador de 3 V reduïem l'eficiència del circuit del carregador de bateries, ja que necessitariem més temps per carregar la bateria. Per tant finalment les proves s'han realitzat amb el regulador de 3,3 V. Per altra banda quan el voltatge al díode és de 0 V vol dir que la bateria està carregada amb el voltatge màxim que el sistema li pot proporcionar. Finalment cal dir que la intensitat proporcionada per la cel·la juga un paper molt important: quan més gran és aquesta més ràpidament es carregarà la bateria. Cal dir però, que el

limit d'intensitat que pot suportar la bateria està fixat a 2 mA, valor al qual no aconseguim arribar amb les cel·les utilitzades.

Per altra banda tenim el procés de descàrrega. Experimentalment s'han dut a terme quatre descàrregues amb quatre resistències diferents: com més petita sigui aquesta més corrent l'hi haurà de subministrar la bateria. La taula 4-2 mostra el corrent de demanda que es necessitaria per alimentar cada resistència, suposant que la bateria està carregada fins 2,6 V.

Taula 4-2. Corrent de demanda de les diferents resistències.

Resistència (k Ω)	Corrent de demanda (mA)
15	0,173
2	1,3
0,5	5,2
0,1	26

Si s'observen les figures de descàrrega es pot veure que la descàrrega amb la resistència de 15 k Ω i amb la de 2 k Ω segueix un comportament correcte. Per altra banda amb les de 500 Ω i 100 Ω veiem que la bateria es col·lapsa i que no pot entregar el corrent demanat per la resistència. A causa d'això el voltatge de la bateria disminueix dràsticament. D'aquí podem extreure que els sistemes que consumeixin més de 5 mA no podran ser alimentats amb la bateria que s'utilitza en el present projecte.

El comportament de la temperatura es pot veure a la figures 4-7. Observant-la podem dir que la temperatura es manté pràcticament constant en ambdós processos, cosa que significa un bon resultat, ja que demostra que el comportament de les bateries és l'adequat. És a dir, no cal tenir un control de la temperatura.

Finalment tenim les proves amb el PICDEMZ, les quals no ha resultat del tot satisfactòries. Recordem que les bateries oferien una tensió entre 2,5 i 2,7 V, a les quals el sistema podia funcionar. El sistema demanda 30 mA, corrent al qual no es pot arribar amb aquesta bateria. Es conclou que la resistència interna de la bateria és massa gran. El full d'especificacions de la bateria no dona el valor de la resistència interna. De tota manera, revisant la literatura s'ha trobat que valors típics de resistència interna per aquest tipus de bateria són de l'ordre de 300 Ω [11], tal i com il·lustra la figura 4-8.

S'arriba a la conclusió de que una sola bateria no pot oferir el corrent demanat pel PICDEMZ. Per tal de superar aquesta limitació és necessari agrupar les bateries en paral·lel per tal de reduir-ne la resistència interna i augmentar així la intensitat. Tenint amb compte el corrent que pot subministrar una bateria, necessitariem 4 bateries en paral·lel per poder aconseguir que el sistema funcionés.

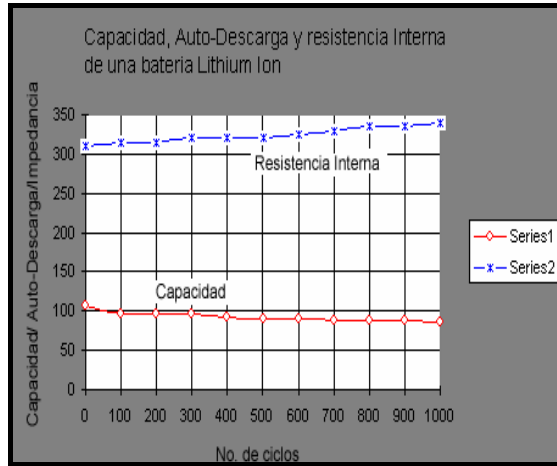


Fig. 4-8. Capacitat (mAh) i resistència interna (Ω) d'una bateria de liti-ió [11].

ESTUDI D'AMBIENTALITZACIÓ

En el present projecte es desitja dissenyar un sistema d'alimentació òptica per a sistemes de sensors autònoms. Per aconseguir l'alimentació d'aquest sistema s'utilitza una font d'energia renovable com és l'energia solar o fotovoltaica, la qual és la més respectuosa amb el mediambient. Les fonts d'energia renovables presenten un impacte ambiental reduït, sobretot pel que fa referència a emissions contaminants de l'aire i l'aigua. A més a l'utilitzar una energia renovable es prescindeix de l'ús d'altres energies més contaminants. Cal dir a més que els sistemes fotovoltaics no produeixen soroll, vibracions, emissions i a més el seu impacte visual és reduït menys en el cas de grans sistemes. Els mòduls solars més utilitzats es fabriquen amb silici, que es pot obtenir del reciclatge de components electrònics. Les úniques emissions són presents en l'el·laboració de les cel·les fotovoltaïques, on també s'utilitza una gran quantitat d'energia.

Per altra banda tenim les bateries i les bateries, moltes d'elles contenen materials nocius pel mediambient com poden ser el Mercuri, el cadmi, el magnesi o el zinc. A més requereixen un tractament especial en cas de que continguin alguna substància tòxica. Les més perilloses són les de Níquel Cadmi (Ni-Cd), encara que actualment s'estan substituïnt per les de Metall Hidrur, degut a les seves semblances. En el present projecte s'han utilitzat bateries de liti-ió que actualment són les menys perilloses pel mediambient.

CONCLUSIONS

L'objectiu principal del projecte era la implementació d'un sistema per carregar bateries recarregables, el qual ens havia de servir per alimentar durant un temps un sistema autònom. La implementació del carregador de bateries ha resultat satisfactòria, ja que les bateries de liti s'han pogut carregar correctament amb les cel·les solars o fotovoltàiques.

L'estudi del punt òptim de treball de les cel·les solars o fotovoltàiques que ens ha servit per escollir les més adequades. També s'ha estudiat com afecta la il·luminària tant d'interiors com d'exterior a les cel·les. D'aquesta manera s'ha arribat a la conclusió que la proximitat de la font lluminosa amb la cel·la és molt important, ja que com més pròxima és millors característiques (I_{oc} i V_{oc}) ens proporciona la cel·la. A més cal destacar també que el tipus de font de llum que tinguem (llum natural o artificial) influeix a la cel·la. També s'ha realitzat un estudi de les bateries recarregables, encarregades d'emmagatzemar l'energia provinent de la cel·la solar. D'aquesta manera s'ha dut a terme càrregues i descàrregues en diferents condicions. En aquest processos de càrrega i descàrrega s'ha fet un estudi de com afecta la temperatura a les bateries de liti. La temperatura s'ha mantingut constant en ambdós processos, cosa que significa que no ha alterat els resultats de càrrega ni de descàrrega.

En el transcurs del desenvolupament del projecte s'han adquirit diversos coneixements relacionats amb el món de les cel·les solars, sobre els diferents instruments per mesurar la radiació com el luxòmetre o l'espectroradiòmetre que ens ha permet veure l'espectre de l'energia solar i la de fluorescents i làmpades (llum artificial). Finalment també sobre el funcionament i les característiques de les bateries recarregables. Aquesta sèrie de coneixements ens han servit per la implementació del carregador de bateries i per dur a terme les proves amb el PICDEMZ. A destacar que el sistema no s'ha pogut alimentar correctament amb una sola bateria, degut a que no proporcionava prou corrent. També s'han realitzat proves agrupant dues bateries en paral·lel per tal de reduir així la resistència interna de les bateries, tot i així encara no obteniem la corrent desitjada.

Finalment i per estudis posteriors s'aporten solucions al disseny escollit en aquest projecte per tal de poder-ne millorar el rendiment i aconseguir alimentar al PICDEMZ. La primera és agrupar quatre o més bateries en paral·lel, d'aquesta manera aconseguim reduir-ne la resistència interna i augmentar directament el corrent que proporciona. Concretament en necessitariem un mínim de quatre. Una altra opció és escollir noves bateries amb una resistència interna més petita per tal de que subministrin més corrent.

REFERÈNCIES

[1] Maria Lourdes Castella Gener. PFC. Alimentació de sensors autònoms amb energia òptica.

Tipus Ref: Paper

[2] Teoria plaques solars.

Tipus Ref: Digital

Web/URL's: <http://www.portalsolar.com/portalsolar/energia-solar-celdas-solares.htm>

[3] Característiques de les bateries recarregables.

Tipus Ref: Digital

Web/URL's: <http://www.icmm.csic.es/jaalonso/velec/baterias/bateria.htm>

[4] Característiques de les bateries recarregables.

Tipus Ref: Digital

Web/URL's: <http://www.jrc.es/pages/iptsreport/vol36/spanish/ENE1S366.htm>

[5] Característiques de les bateries recarregables

Tipus Ref: Digital

Web/URL's: <http://www.cienciateca.com/ctslibat.html>

[6] Característiques de les bateries de Ni-Cd.

Tipus Ref: Digital

Web/URL's: http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_104.htm

[7] Comparativa de les bateries de liti-ió, Ni-Cd i Ni-MH.

Tipus Ref: Digital

Web/URL's: <http://www.buchmann.ca/article9-page1-spanish.asp>

[8] Energeizer

Tipus Ref: Digital

Web/URL's: <http://www.energeizer.com>

[9] Farnell in one

Tipus Ref: Digital

Web/URL's: <http://www.farnell.com/datasheets/48500.pdf>

[10] Farnell in one

Tipus Ref: Digital

Web/URL's: <http://es.farnell.com/jsp/endecaSearch/partDetail.jsp?SKU=3031962&N=401>

[11] Característiques de les bateries de Liti-ió

Tipus Ref : Digital

Web/URL's : <http://www.buchmann.ca/article5-page5-spanish.asp>

[13] RWE SCHOTT Solar for indoor cells 20-10-05

Tipus Ref : Digital

Web/URL's : www.rweschottsolar.com

Referència de ZigBee i bluetooth

Handbook of batteries

[14] AVANTES. 09-01-06

Tipus Ref : Digital

Web/URL's : www.avantes.com

[15] Microchip (PICDEMZ). Microchip development Tools

Tipus Ref : Digital & paper

Web/URL's : www.microchip.com

[16] Agilent

Tipus Ref : Digital

Web/URL's : www.agilent.com

[17] National semiconductors

Tipus Ref : Digital & paper

Web/URL's : www.national.com

[18] ZigBee protocol.

Tipus Ref : Digital

Web/URL's : www.zigbee.org

[19] Bluetooth protocol

Tipus Ref : Digital

Web/URL's : www.bluetooth.com

[20] Amidata. Informació tècnica del luxòmetre.

Tipus Ref : Digital

Web/URL's : www.amdiata.es

BIBLIOGRAFIA

[1] Callaway, Edgar H.. Wireless Sensor Networks : Architectures and protocols. 2004. Auerbach publications.

Tipus Ref : paper.

[2] David Linden. Handbook of batteries.

McGrawHill. Second edition.

Tipus Ref : paper.



epsc

**Escola Politècnica Superior
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ANNEXOS

TÍTOL DEL TFC/PFC: Disseny de sistemes d'alimentació òptica per a sistemes sensors autònoms.

TITULACIÓ: Enginyeria tècnica de Telecomunicació. Especialitat en Sistemes de Telecomunicació.

AUTOR: Carles Riera Marguí

DIRECTOR: Àngel Cuadras

DATA: 24 de febrer de 2006

ANNEX 1. MESURES REALITZADES AMB L'ESPECTRORADIÒMETRE ...	55
1.1. Mesures realitzades amb l'espectroradiòmetre.....	55
ANNEX 2. MESURES AMB LES DIFERENTS CEL·LES SOLARS.....	60
2.1. Resultats experimentals.....	60
2.1.1. Resultats experimentals de la cel·la 1.....	60
2.1.2. Resultats experimentals de la cel·la 2.....	62
2.1.3. Resultats experimentals de la cel·la 3.....	64
2.1.4. Resultats experimentals de la cel·la 4.....	66
2.1.5. Resultats experimentals de la cel·la 5.....	67
2.1.6. Resultats experimentals de la cel·la 6.....	69
2.2. Comparació dels resultats experimentals amb els resultats de Topspice.....	71
2.2.1. Comparació resultats Topspice i experimentals considerant una il·luminària a través d'un fluorescent.....	71
2.2.2. Comparació resultats Topspice i experimentals considerant una il·luminària a través d'una làmpada.....	73
2.2.3. Comparació dels resultats amb Topspice i experimentals considerant una il·luminació amb la llum exterior.....	76
ANNEX 3. CARACTERÍSTIQUES DE LES BATERIES RECARREGABLES. 78	
3.1. Característiques de les bateries de Ni-MH i de Ni-Cd.	78
3.2. Característiques de les bateries de Liti.	81

ANNEX 1. MESURES REALITZADES AMB L'ESPECTRORADIÒMETRE

Mostrarem totes les mesures realitzades amb l'espectroradiòmetre, com també les gràfiques corresponents i les àrees d'aquestes que ens determinen el nombre de luxos que donen les mesures realitzades amb l'espectroradiòmetre. Això servirà per tal de poder comparar les mesures del luxòmetre amb les de l'espectroradiòmetre.

1.1. Mesures realitzades amb l'espectroradiòmetre.

Aquest annex és una continuació de les mesures mostrades al capítol 3. A la taula 1-1 es mostren els indrets i les condicions on s'han realitzat les diferents mesures.

Taula 1-1. Condicions i indrets on s'han realitzat les mesures de la llum.

Nº de mesura	Condicions amb què s'ha realitzat la mesura
Mesura 1	Fluorescent circular del sostre (2m d'altura).
Mesura 2	Posició a 0,5 m del fluorescent de la taula.
Mesura 3	Posició a 10 cm del fluorescent de la taula.
Mesura 4	Posició a 0 m del fluorescent de la taula (tocant el fluorescent).
Mesura 5	Mesura de la llum natural amb la finestra tancada.
Mesura 6	Mesura de la llum natural amb la finestra oberta.
Mesura 7	Mesura de la llum natural de la finestra del passadís.

Seguidament es mostraran les gràfiques obtingudes amb el programa de simulació. La integral d'aquesta gràfica correspondrà al nombre de luxos de la mesura realitzada amb l'espectroradiòmetre.

D'aquesta manera les figures 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, i 1-6 mostren les gràfiques que s'han obtingut després de realitzar les operacions citades a l'apartat x.x del capítol 1.

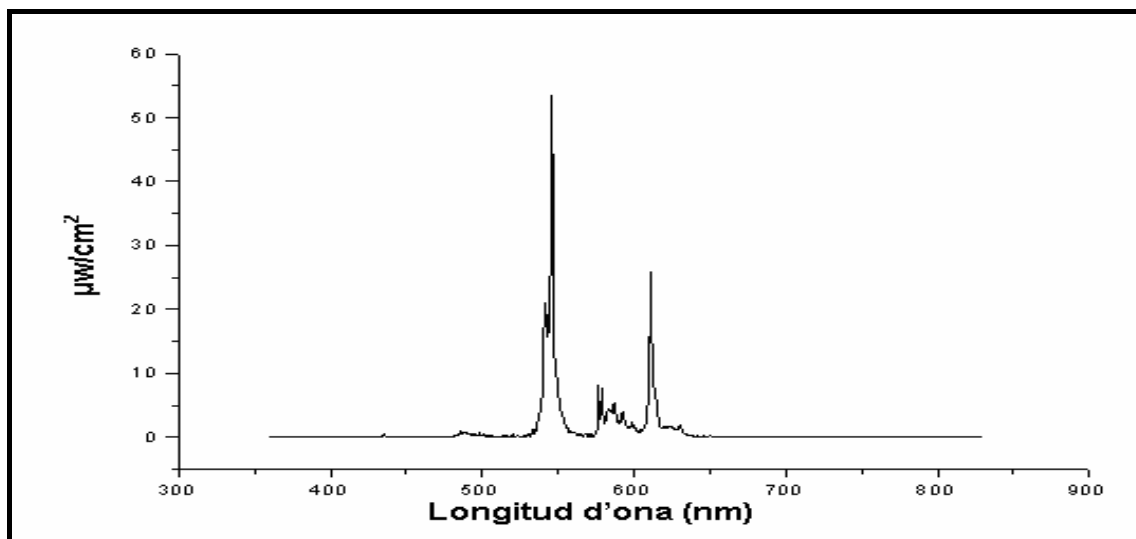


Fig.1-1. Mesura 1.

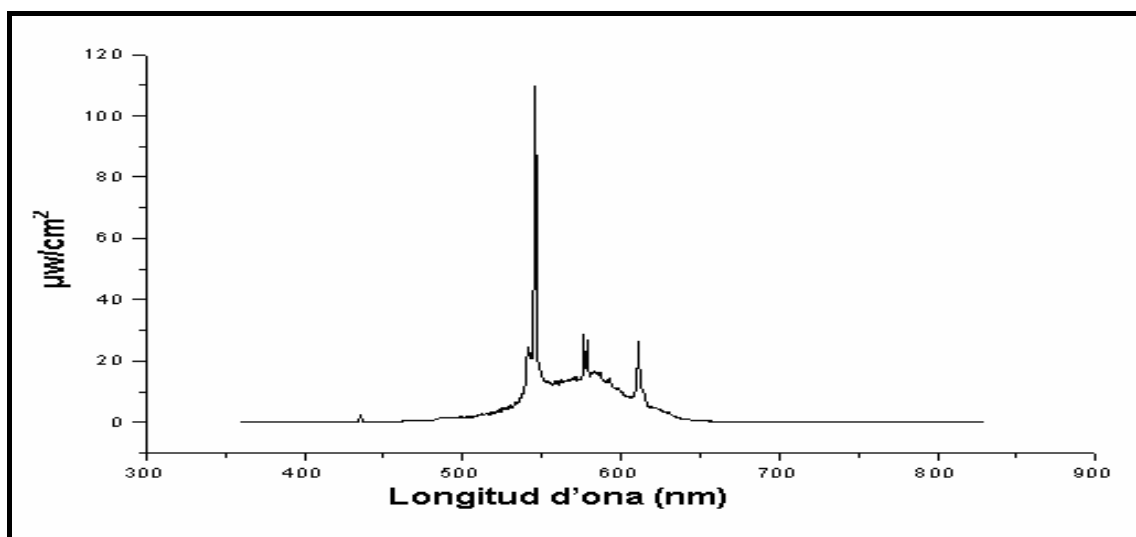


Fig. 1-2. Mesura 2.

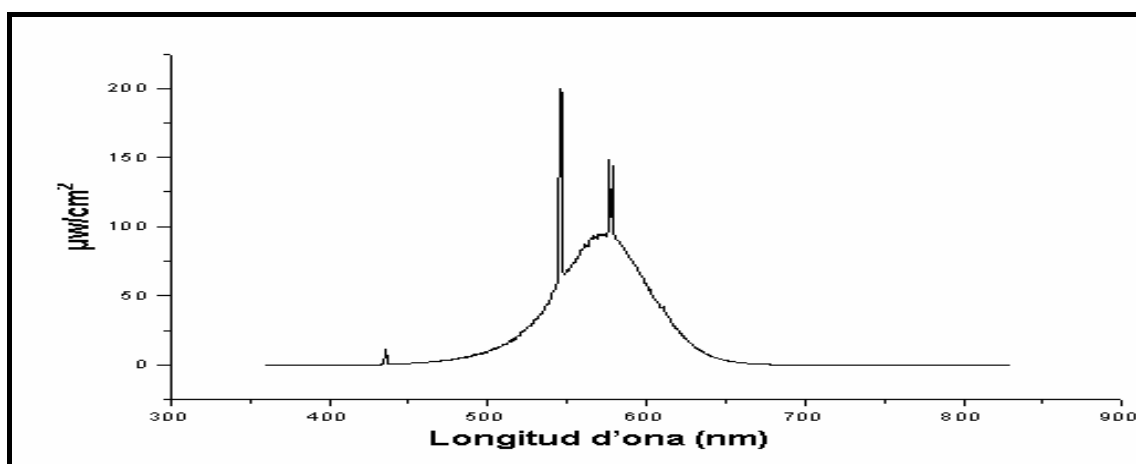


Fig. 1-3. Mesura 3.

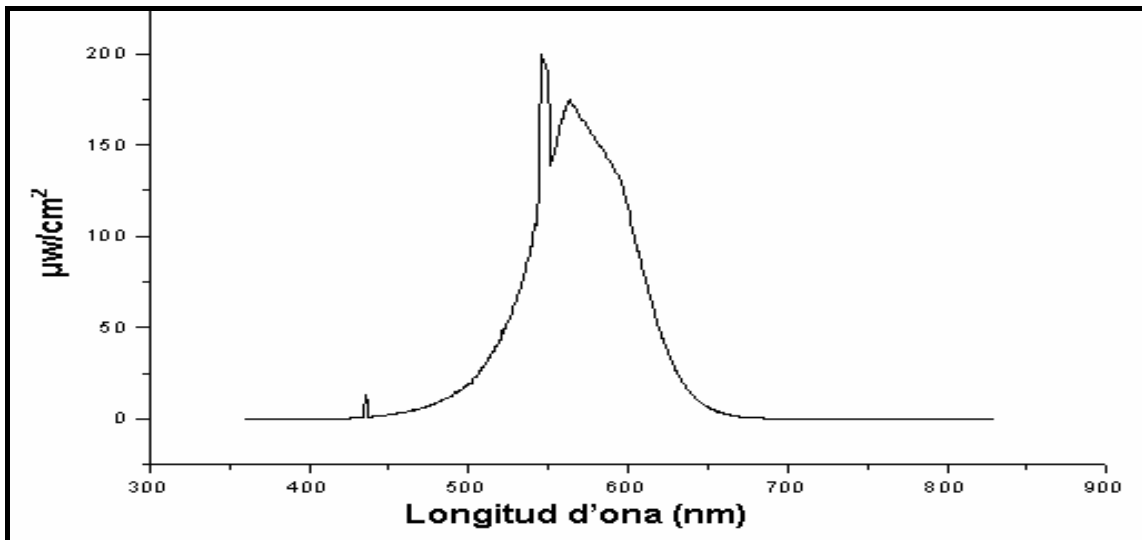


Fig.1-4. Mesura 4.

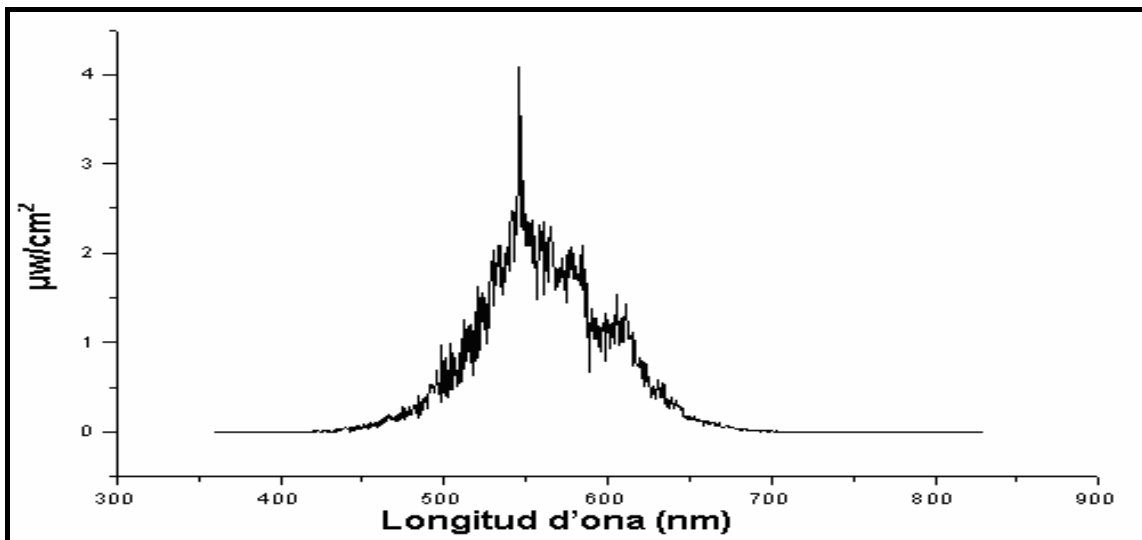


Fig. 1-5. Mesura 5.

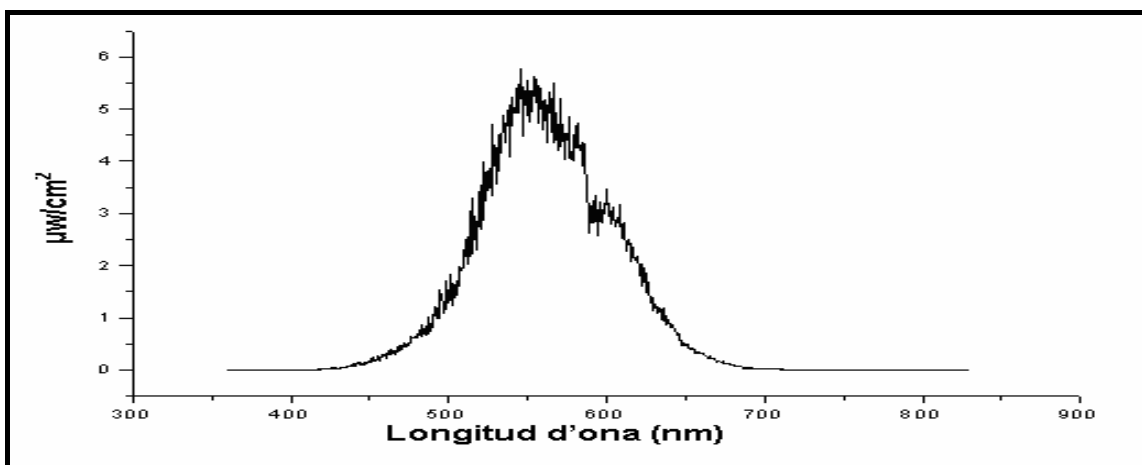


Fig. 1-6. Mesura 6.

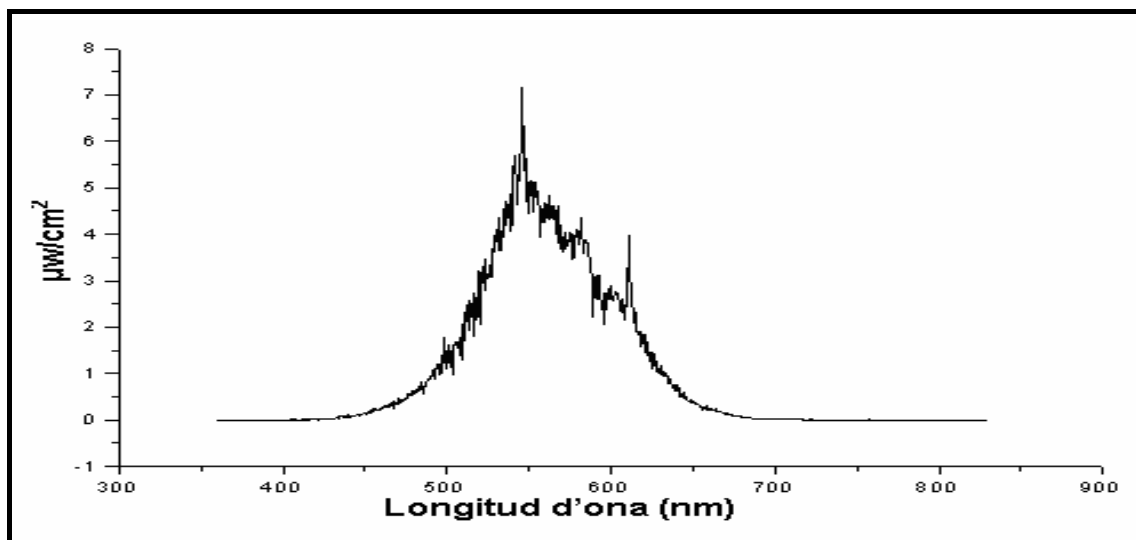


Fig. 1-7. Mesura 7.

Finalment el que fem és calcular l'àrea de les gràfiques anteriors, d'aquesta manera s'obté la mesura de l'espectroradiòmetre en lux, cosa que ens permet comparar-la amb la del luxòmetre. La taula 1-2 mostra els resultats que ens ofereix la interfície utilitzada, com també les característiques principals de cada figura.

Taula 1-2. Característiques i àrea de les figures anteriors.

Integration of mesura1_C from zero:			
i = 1 --> 824			
x = 360,04 --> 830,52			
Àrea (w/cm²)	Peak at (pic)	Width (amplada (cm))	Height (altura (cm))
461,09501	545,77	1,73	53,43609
Integration of mesura2_C from zero:			
i = 1 --> 824			
x = 360,04 --> 830,52			
Àrea (w/cm²)	Peak at (pic)	Width (amplada (cm))	Height (altura (cm))
1499,71455	545,77	1,73	109,76298
Integration of mesura3_C from zero:			
i = 1 --> 824			
x = 360,04 --> 830,52			
Àrea (w/cm²)	Peak at (pic)	Width (amplada (cm))	Height (altura (cm))

		(cm))	(cm))
7558,23995	545,19	2,88	199,98453
Integration of mesura4_C from zero:			
i = 1 --> 824			
x = 360,04 --> 830,52			
Àrea (w/cm²)	Peak at (pic)	Width (amplada (cm))	Height (altura (cm))
13913,99378	545,19	63,72	199,83992
Integration of mesura5_C from zero:			
i = 1 --> 824			
x = 360,04 --> 830,52			
Àrea (w/cm²)	Peak at (pic)	Width (amplada (cm))	Height (altura (cm))
207,19681	545,77	20,74	4,09287
Integration of mesura6_C from zero:			
i = 1 --> 824			
x = 360,04 --> 830,52			
Àrea (w/cm²)	Peak at (pic)	Width (amplada (cm))	Height (altura (cm))
518,03923	545,77	75,98	5,77433
Integration of mesura7_C from zero:			
i = 1 --> 824			
x = 360,04 --> 830,52			
Àrea (w/cm²)	Peak at (pic)	Width (amplada (cm))	Height (altura (cm))
470,04772	545,77	47,77	7,14851

La taula ens permet observar l'àrea de la gràfica (mesura de l'espectroradiòmetre en luxes), la posició del pic més elevat, l'amplada i l'altura de la gràfica.

ANNEX 2. MESURES AMB LES DIFERENTS CEL·LES SOLARS

El present annex aporta totes les mesures realitzades amb les cel·les solars. Aquestes han servit per tal d'escollir les més adients, així aquest annex mostra les característiques principals de cada cel·la i com es desenvolupen cadascuna en diferents condicions d'il·luminària.

2.1. Resultats experimentals.

Seguidament mostrarem els resultats experimentals que hem trobat per cada tipus de cel·la. Si recordem teniem sis diferents tipus de cel·les tal com mostra la taula 2-1 on podem observar també les seves dimensions.

Taula 2-1. Dimensions de les cel·les fotovoltaïques utilitzades.

Tipus de cel·la	Amplada (cm)	Alçada (cm)
Cel·la 1	15	5,5
Cel·la 2	9,5	4,7
Cel·la 3	9,5	2,6
Cel·la 4	8	4,7
Cel·la 5	6	3,2
Cel·la 6	4	2,8

El model que hem utilitzat per realitzar les mesures el podem veure a la Fig.2-1.

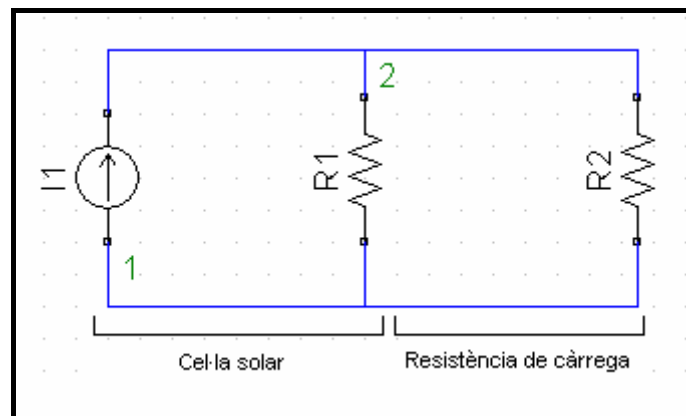


Fig.2-1. Esquema seguit per realitzar les mesures.

2.1.1. Resultats experimentals de la cel·la 1.

D'aquesta manera a la taula 2-2, 2-3 i 2-4 podem observar les característiques de la cel·la 1 en diferents escenaris d'il·luminària.

Taula 2-2. Característiques de la cel·la 1 il·luminada amb una làmpada.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1030	8,32	0,048	0,000498	0,000023904
218,6	1030	8,32	0,1062	0,00049	0,000052038
3,25	1030	8,32	1,661	0,000483	0,000802263
8,17	1030	8,32	3,77	0,000468	0,00176436
12,01	1030	8,32	5,65	0,00046	0,002599
17,75	1030	8,32	6,69	0,000367	0,00245523
26,89	1030	8,32	7,45	0,0002753	0,002050985
38,8	1030	8,32	7,77	0,0001992	0,001547784
55,6	1030	8,32	7,95	0,0001421	0,001129695
150,2	1030	8,32	8,15	0,0000544	0,00044336

On la fila marcada correspon a la fila en què la cel·la ens aporta les seves millors característiques i la seva potència més gran. D'on podem extreure també:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,002599	0,627

Taula 2-3. Característiques de la cel·la 1 il·luminada amb llum natural.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1221	8,209	0,05825	0,000598	3,48335E-05
218,6	1221	8,209	0,12887	0,000575	7,41003E-05
3,25	1221	8,209	1,883	0,00058	0,00109214
8,17	1221	8,209	4,552	0,000548	0,002494496
12,01	1221	8,209	6,095	0,000507	0,003090165
17,75	1221	8,209	7,23	0,000396	0,00286308
26,89	1221	8,209	7,656	0,000286	0,002189616
38,8	1221	8,209	7,859	0,000202	0,001587518
55,6	1221	8,209	7,978	0,000143	0,001140854
150,2	1221	8,209	8,13	0,0000547	0,000444711

On la fila marcada correspon a la fila en què la cel·la ens aporta les seves millors característiques i la seva potència més gran. D'on podem extreure també:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,00309	0,629

Taula 2-4. Característiques de la cel·la 1 il·luminada amb un fluorescent.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1013	7,92	0,0458	0,000466	2,13428E-05
218,6	1013	7,92	0,0982	0,000462	4,53684E-05
3,25	1013	7,92	1,491	0,000454	0,000676914
8,17	1013	7,92	3,49	0,000431	0,00150419
12,01	1013	7,92	4,88	0,000393	0,00191784
17,75	1013	7,92	6	0,000342	0,002052
26,89	1013	7,92	7,13	0,0002609	0,001860217
38,8	1013	7,92	7,44	0,0001904	0,001416576
55,6	1013	7,92	7,63	0,000136	0,00103768
150,2	1013	7,92	7,89	0,0000523	0,000412647

On la fila marcada correspon a la fila en què la cel·la ens aporta les seves millors característiques i la seva potència més gran. D'on podem extreure també:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,002052	0,55

2.1.2. Resultats experimentals de la cel·la 2.

Com en l'apartat anterior a la taula 2-5, 2-6 i 2-7 es poden veure els resultats experimentals de la cel·la 2.

Taula 2-5. Característiques de la cel·la 2 il·luminada amb una làmpada.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1034	4,08	0,0503	0,000468	2,35404E-05
218,6	1034	4,08	0,1119	0,000451	5,04669E-05
3,25	1034	4,08	1,631	0,000444	0,000724164
8,17	1034	4,08	3,49	0,000392	0,00136808
12,01	1034	4,08	3,79	0,000308	0,00116732
17,75	1034	4,08	3,91	0,0002076	0,000811716
26,89	1034	4,08	3,97	0,000148	0,00058756
38,8	1034	4,08	4	0,0001017	0,0004068
55,6	1034	4,08	4,02	0,0000714	0,000287028
150,2	1034	4,08	4,05	0,0000269	0,000108945

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,00136	0,716

Taula 2-6. Característiques de la cel·la 2 il·luminada amb llum natural.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8 ohms	1277	4,27	0,09375	0,000955	8,95313E-05
218,6ohms	1277	4,27	0,209	0,000947	0,000197923
3,25	1277	4,27	2,95	0,000901	0,00265795
8,17	1277	4,27	4,04	0,000491	0,00198364
12,01	1277	4,27	4,13	0,000343	0,00141659
17,75	1277	4,27	4,19	0,000231	0,00096789
38,8	1277	4,27	4,23	0,00011	0,0004653
55,6	1277	4,27	4,25	0,0000772	0,0003281
150,2	1277	4,27	4,267	0,0000286	0,000122036

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,00265	0,65

Taula 2-7. Característiques de la cel·la 2 il·luminada amb un fluorescent.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8 ohms	1000	4,07	0,0516	0,000526	2,71416E-05
218,6ohms	1000	4,07	0,1164	0,000544	6,33216E-05
3,25	1000	4,07	1,705	0,00051	0,00086955
8,17	1000	4,07	3,53	0,000415	0,00146495
12,01	1000	4,07	3,82	0,0003066	0,001171212
17,75	1000	4,07	3,93	0,0002163	0,000850059
38,8	1000	4,07	4,03	0,0001027	0,000413881
55,6	1000	4,07	4,05	0,0000722	0,00029241
150,2	1000	4,07	4,08	0,0000272	0,000110976

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,00146	0,68

2.1.3. Resultats experimentals de la cel·la 3.

Com en l'apartat anterior a la taula 2-8, 2-9 i 2-10 es poden veure els resultats experimentals de la cel·la 3.

Taula 2-8. Característiques de la cel·la 3 il·luminada amb una làmpada.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1026	4,76	0,0229	0,0002295	5,25555E-06
218,6	1026	4,76	0,0508	0,0002276	1,15621E-05
3,25	1026	4,76	0,755	0,0002237	0,000168894
8,17	1026	4,76	1,858	0,0002215	0,000411547
17,75	1026	4,76	3,79	0,0002025	0,000767475
26,89	1026	4,76	4,32	0,0001572	0,000679104
38,8	1026	4,76	4,49	0,0001143	0,000513207
55,6	1026	4,76	4,59	0,0000814	0,000373626
150,2	1026	4,76	4,68	0,0000311	0,000145548

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,000767	0,7

Taula 2-9. Característiques de la cel·la 3 il·luminada amb llum natural.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1291	4,9	0,135	0,000365	0,000049275
218,6	1291	4,9	0,07795	0,0003649	2,8444E-05
3,25	1291	4,9	1,14	0,00036	0,0004104
8,17	1291	4,9	2,81	0,000357	0,00100317
17,75	1291	4,9	4,44	0,000247	0,00109668
26,89	1291	4,9	4,64	0,000174	0,00080736
38,8	1291	4,9	4,74	0,000123	0,00058302
55,6	1291	4,9	4,79	0,0000873	0,000418167
150,2	1291	4,9	4,86	0,0000328	0,000159408

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,00109	0,61

Taula 2-10. Característiques de la cel·la 3 il·luminada amb un fluorescent.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1027	4,66	0,0188	0,0001881	3,53628E-06
218,6	1027	4,66	0,0405	0,0001875	7,59375E-06
3,25	1027	4,66	0,603	0,0001858	0,000112037
8,17	1027	4,66	1,502	0,0001832	0,000275166
17,75	1027	4,66	3,105	0,0001808	0,000561384
26,89	1027	4,66	4,06	0,0001503	0,000466682
38,8	1027	4,66	4,36	0,0001113	0,000451878
55,6	1027	4,66	4,47	0,00008	0,0003488
150,2	1027	4,66	4,6	0,0000307	0,000137229

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,00056	0,64

2.1.4. Resultats experimentals de la cel·la 4.

A la taula 2-11, 2-12 i 2-13 es poden veure els resultats experimentals de la cel·la 4.

Taula 2-11. Característiques de la cel·la 4 il·luminada amb una làmpada.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1042	2,033	0,1225	0,001202	0,000147245
218,6	1042	2,033	0,2683	0,001191	0,000319545
667	1042	2,033	0,832	0,00118	0,00098176
997	1042	2,033	1,209	0,001007	0,001217463
3,25	1042	2,033	1,943	0,000518	0,001006474
8,17	1042	2,033	2,004	0,0002309	0,000462724
17,75	1042	2,033	2,02	0,0001086	0,000219372
26,89	1042	2,033	2,023	0,0000741	0,000149904
150,2	1042	2,033	2,03	0,0000135	0,000027405

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,00121	0,5

Taula 2-12. Característiques de la cel·la 4 il·luminada amb llum natural.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1357	2,075	0,1337	0,001268	0,000169532
218,6	1357	2,075	0,296	0,001264	0,000374144
667	1357	2,075	0,913	0,001254	0,001144902
997	1357	2,075	1,32	0,001248	0,00164736
3,25	1357	2,075	1,992	0,000593	0,001181256
8,17	1357	2,075	2,048	0,000248	0,000507904
17,75	1357	2,075	2,066	0,000114	0,000235524
26,89	1357	2,075	2,067	0,0000774	0,000159986
150,2	1357	2,075	2,073	0,0000139	2,88147E-05

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,00164	0,62

Taula 2-13. Característiques de la cel·la 4 il·luminada amb un fluorescent.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1103	2,017	0,10117	0,001028	0,000104003
218,6	1103	2,017	0,2123	0,001022	0,000216971
667	1103	2,017	0,701	0,001015	0,000711515
997	1103	2,017	1,017	0,000977	0,000993609
3,25	1103	2,017	1,898	0,000511	0,000969878
8,17	1103	2,017	1,979	0,0002284	0,000452004
17,75	1103	2,017	1,991	0,0001593	0,000317166
26,89	1103	2,017	2,003	0,0000733	0,00014682
150,2	1103	2,017	2,012	0,0000136	2,73632E-05

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,00099	0,47

2.1.5. Resultats experimentals de la cel·la 5.

A la taula 2-14, 2-15 i 2-16 es poden veure els resultats experimentals de la cel·la 5.

Taula 2-14. Característiques de la cel·la 5 il·luminada amb una làmpada.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1035	3,5	0,0416	0,000402	1,67232E-05
218,6	1035	3,5	0,0916	0,000397	3,63652E-05
3,25	1035	3,5	1,31	0,000374	0,00048994
8,17	1035	3,5	2,713	0,0003136	0,000850797
17,75	1035	3,5	3,29	0,000178	0,00058562
26,89	1035	3,5	3,38	0,0001234	0,000417092
38,8	1035	3,5	3,43	0,0000871	0,000298753
55,6	1035	3,5	3,44	0,0000613	0,000210872
150,2	1035	3,5	3,47	0,0000231	0,000080157

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,00085	0,6

Taula 2-15. Característiques de la cel·la 5 il·luminada amb llum natural.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1346	3,53	0,04554	0,000449	2,04475E-05
218,6	1346	3,53	0,1014	0,000442	4,48188E-05
3,25	1346	3,53	1,45	0,000402	0,0005829
8,17	1346	3,53	2,97	0,000355	0,00105435
17,75	1346	3,53	3,39	0,000188	0,00063732
26,89	1346	3,53	3,44	0,000129	0,00044376
38,8	1346	3,53	3,48	0,0000903	0,000314244
55,6	1346	3,53	3,49	0,0000634	0,000221266
150,2	1346	3,53	3,52	0,0000236	0,000083072

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,00105	0,66

Taula 2-16. Característiques de la cel·la 5 il·luminada amb un fluorescent.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1117	3,4	0,0296	0,0002983	8,82968E-06
218,6	1117	3,4	0,0652	0,0002981	1,94361E-05
3,25	1117	3,4	0,927	0,0002877	0,000266698
8,17	1117	3,4	1,933	0,0002533	0,000489629
17,75	1117	3,4	2,89	0,0001579	0,000456331
26,89	1117	3,4	3,17	0,0001119	0,000354723
38,8	1117	3,4	3,26	0,0000804	0,000262104
55,6	1117	3,4	3,31	0,0000575	0,000190325
150,2	1117	3,4	3,36	0,0000221	0,000074256

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,000489	0,48

2.1.6. Resultats experimentals de la cel·la 6.

A la taula 2-17, 2-18 i 2-19 es poden veure els resultats experimentals de la cel·la 6.

Taula 2-17. Característiques de la cel·la 6 il·luminada amb una làmpada.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1037	5,52	0,013	0,0001342	1,7446E-06
218,6	1037	5,52	0,0285	0,000134	0,000003819
667	1037	5,52	0,0884	0,0001323	1,16953E-05
997	1037	5,52	0,1207	0,0001302	1,57151E-05
12,01	1037	5,52	1,506	0,0001288	0,000193973
26,89	1037	5,52	3,23	0,0001241	0,000400843
55,6	1037	5,52	4,94	0,0000898	0,000443612
80,5	1037	5,52	5,21	0,0000892	0,000464732
118,3	1037	5,52	5,33	0,0000452	0,000240916

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,000464	0,62

Taula 2-18. Característiques de la cel·la 6 il·luminada amb llum natural.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	1380	5,56	0,0136	0,000144	1,9584E-06
218,6	1380	5,56	0,0301	0,000142	4,2742E-06
667	1380	5,56	0,094	0,0001402	1,31788E-05
997	1380	5,56	1,364	0,0001401	0,000191096
12,01	1380	5,56	1,63	0,000143	0,00023309
26,89	1380	5,56	3,52	0,000133	0,00046816
55,6	1380	5,56	5,101	0,0000923	0,000470822
80,5	1380	5,56	5,3	0,0000667	0,00035351
118,3	1380	5,56	5,41	0,0000461	0,000249401

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,0004	0,58

Taula 2-19. Característiques de la cel·la 6 il·luminada amb un fluorescent.

Resistència de càrrega (RI/Kohms)	Intensitat lluminosa (luxus)	Voltatge de la cel·la (v)	Voltatge RI (v)	Intensitat RI (A)	Potència oferida (w)
100,8	997	5,34	0,0095	0,00009	0,000000855
218,6	997	5,34	0,019	0,0000828	1,5732E-06
667	997	5,34	0,0588	0,000083	4,8804E-06
997	997	5,34	0,0852	0,0000854	7,27608E-06
12,01	997	5,34	0,984	0,0000845	0,000083148
26,89	997	5,34	2,13	0,0000794	0,000169122
55,6	997	5,34	3,92	0,0000723	0,000283416
80,5	997	5,34	4,6	0,0000563	0,00025898
118,3	997	5,34	5,08	0,0000422	0,000214376

Igual que en el cas anterior la fila en negreta correspon a la fila on s'obtenen les millors característiques. D'aquesta manera es pot trobar:

Potència òptima (w)	Factor de forma (FF)
0,00028	0,59

2.2. Comparació dels resultats experimentals amb els resultats de Topspice.

En aquest apartat es mostraran els gràfics que comparen les mesures experimentals amb les mesures realitzades amb TopSpice. Els gràfics comparatius corresponen a tres condicions d'il·luminària diferents: il·luminació amb una làmpada, il·luminació amb un fluorescent i il·luminació a través de la llum que prové de l'exterior. Cal recordar que els gràfics comparatius amb una condició d'il·luminària exterior es mostren al capítol 2.

2.2.1. Comparació resultats Topspice i experimentals considerant una il·luminària a través d'un fluorescent.

Les figures de la 2-2 fins a la 2-7 mostren els gràfics comparatius de les mesures experimentals i el Topspice considerant la il·luminació de les cel·les a través d'un fluorescent.

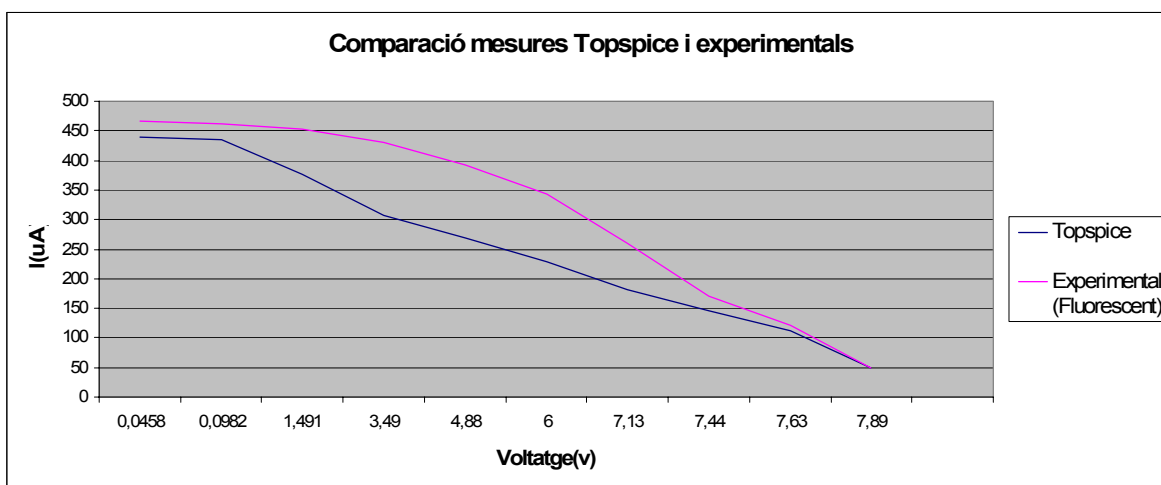


Fig. 2-2. Comparació de les mesures de la cel·la 1 considerant la il·luminació amb el fluorescent.

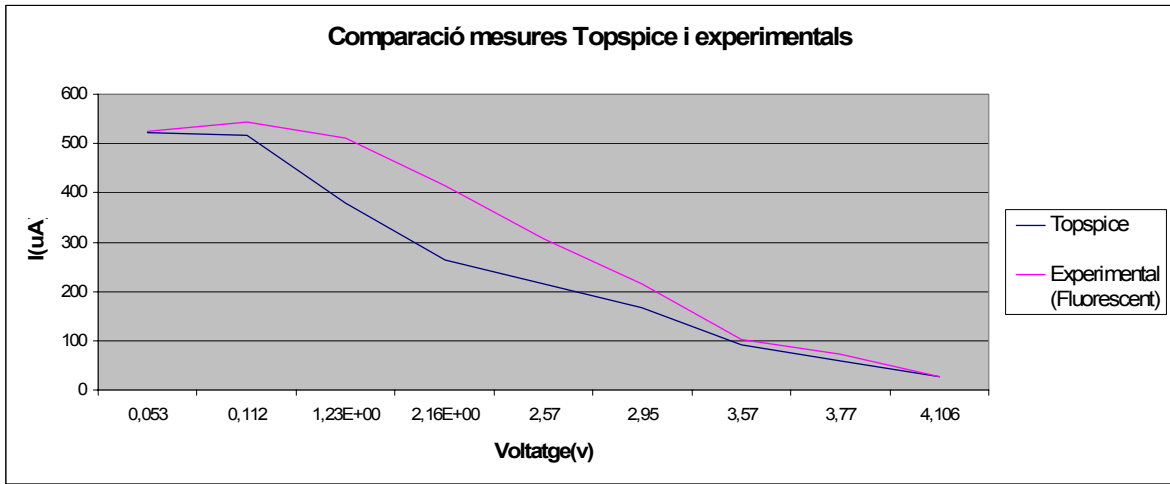


Fig. 2-3. Comparació de les mesures de la cel·la 2 considerant la il·luminació amb el fluorescent.

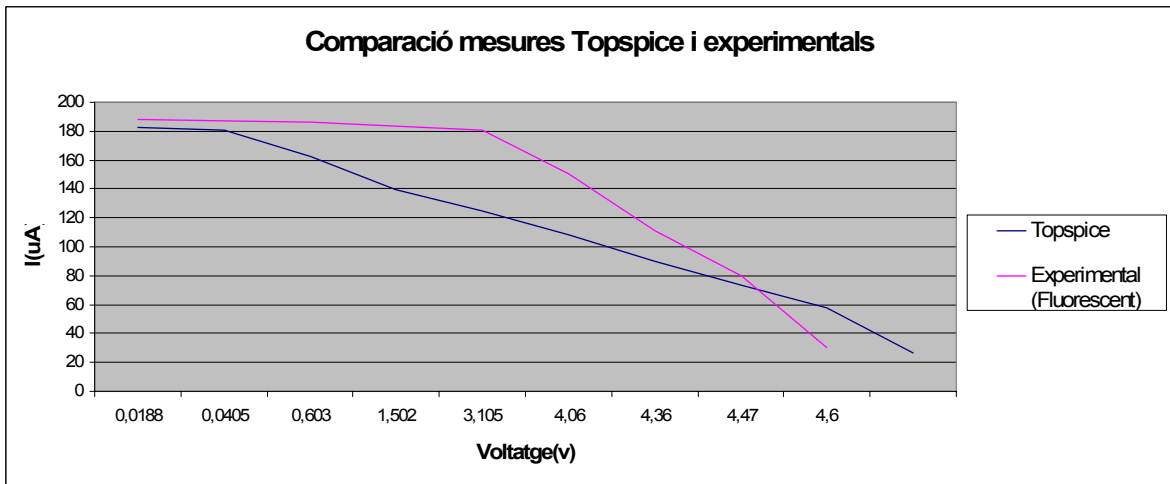


Fig. 2-4. Comparació de les mesures de la cel·la 3 considerant la il·luminació amb el fluorescent.

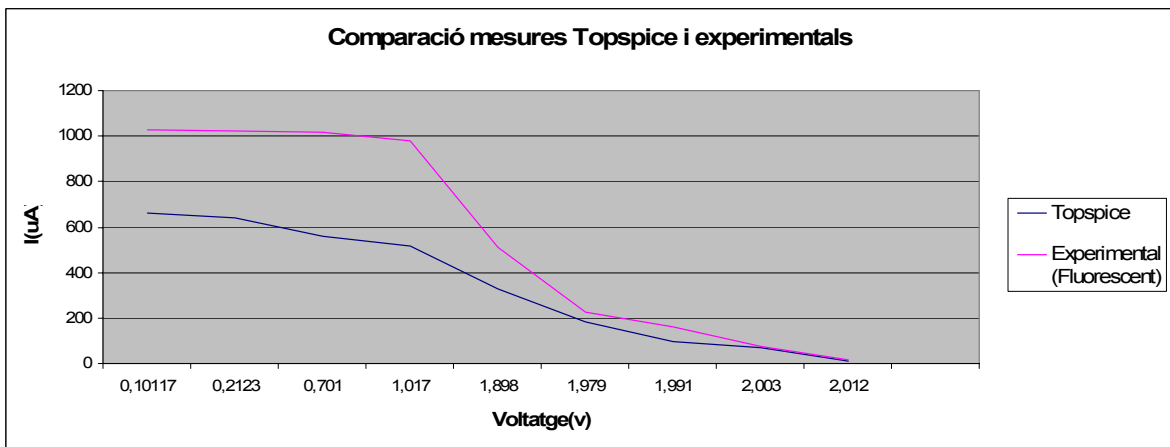


Fig. 2-5. Comparació de les mesures de la cel·la 4 considerant la il·luminació amb el fluorescent.

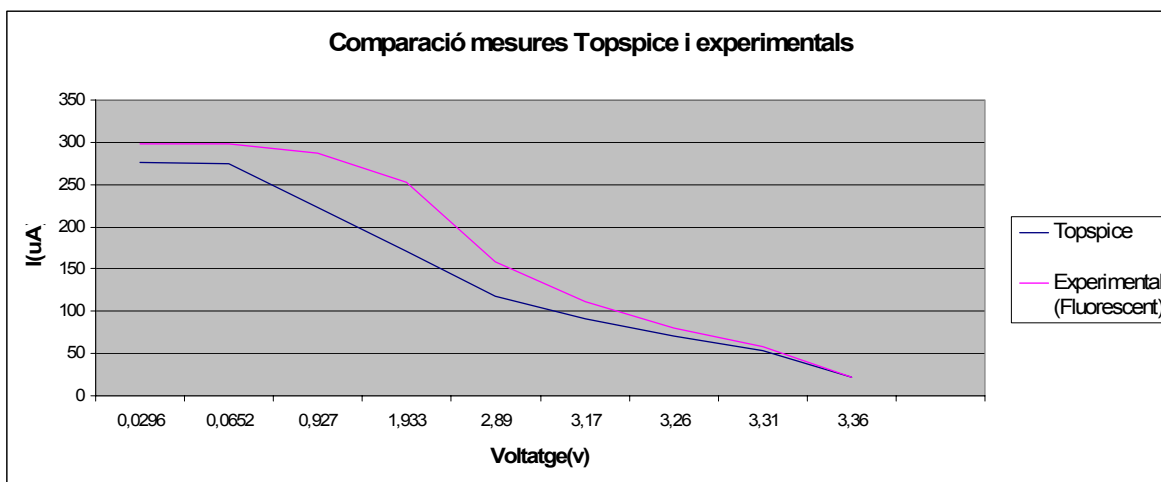


Fig. 2-6. Comparació de les mesures de la cel·la 5 considerant la il·luminació amb el fluorescent.

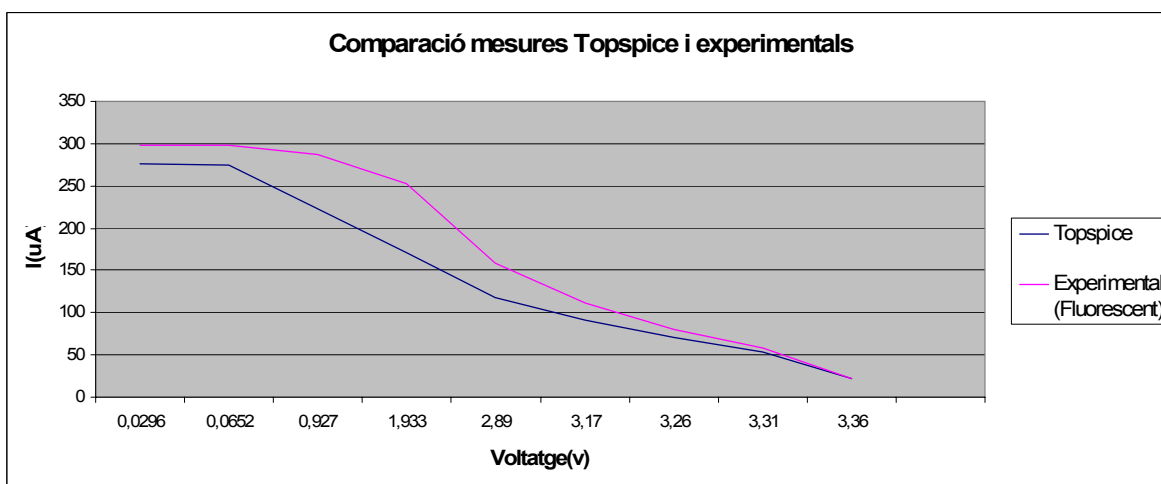


Fig. 2-7. Comparació de les mesures de la cel·la 6 considerant la il·luminació amb el fluorescent.

2.2.2. Comparació resultats Topspice i experimentals considerant una il·luminària a través d'una làmpada.

Les figures 2-8 fins a la 2-13 mostren els gràfics comparatius de les mesures experimentals i el Topspice considerant la il·luminació de les cel·les a través d'una làmpada.

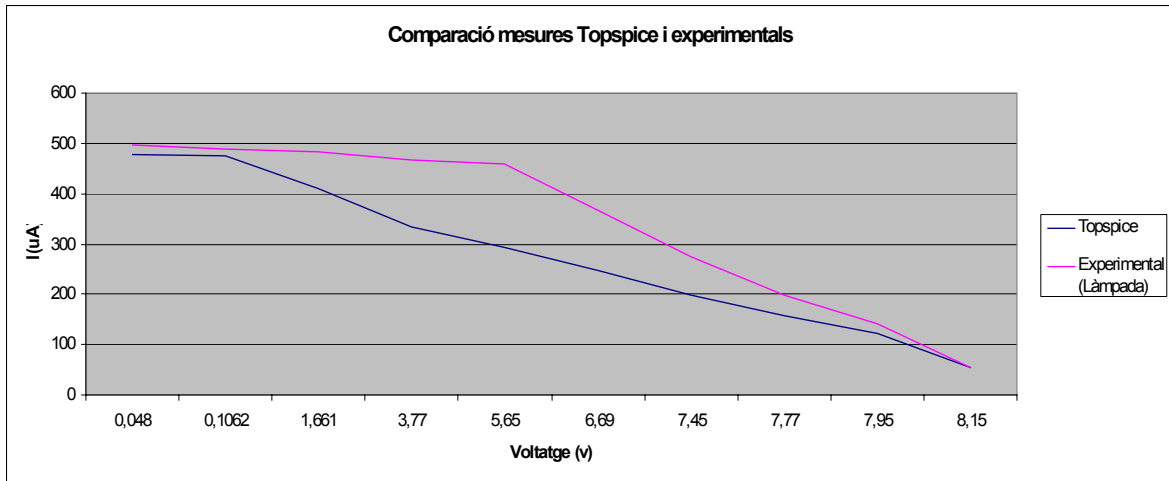


Fig. 2-8. Comparació de les mesures de la cel·la 1 considerant la il·luminació d'una làmpada.

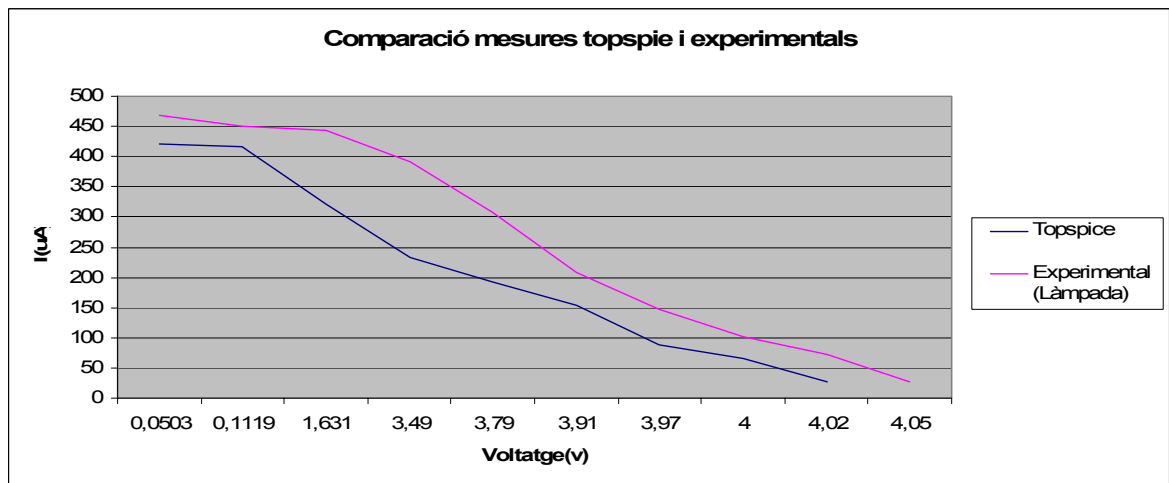


Fig. 2-9. Comparació de les mesures de la cel·la 2 considerant la il·luminació d'una làmpada.

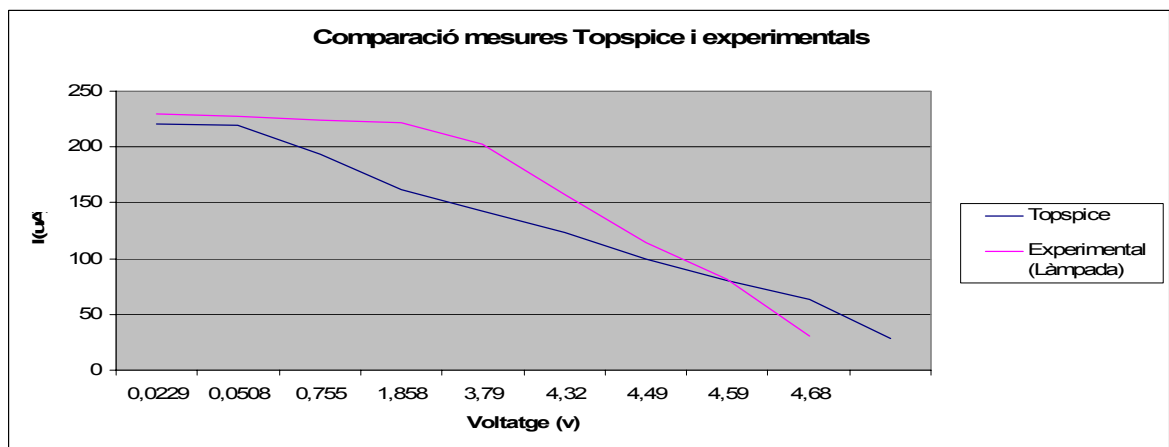


Fig. 2-10. Comparació de les mesures de la cel·la 3 considerant la il·luminació d'una làmpada.

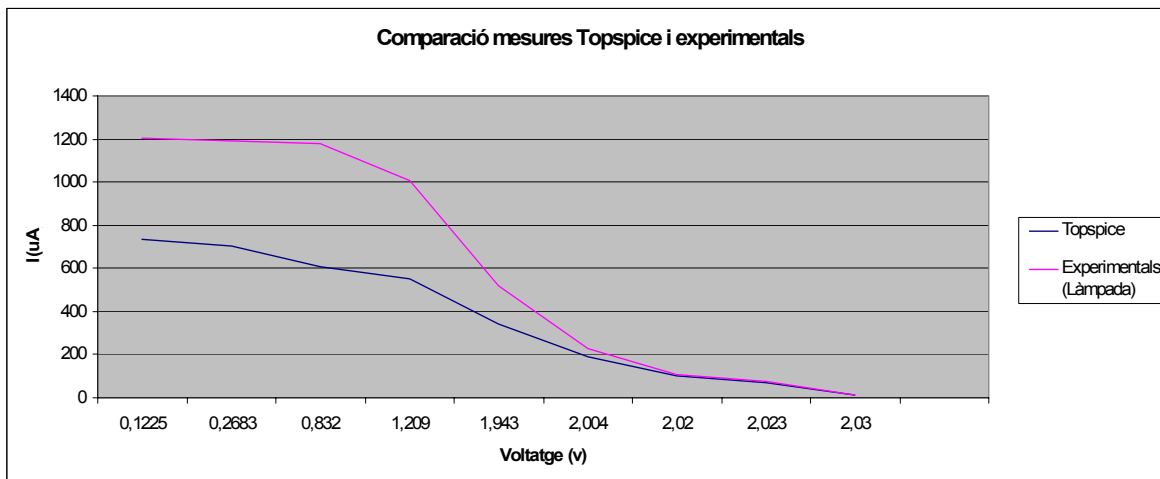


Fig. 2-11. Comparació de les mesures de la cel·la 4 considerant la il·luminació d'una làmpada.

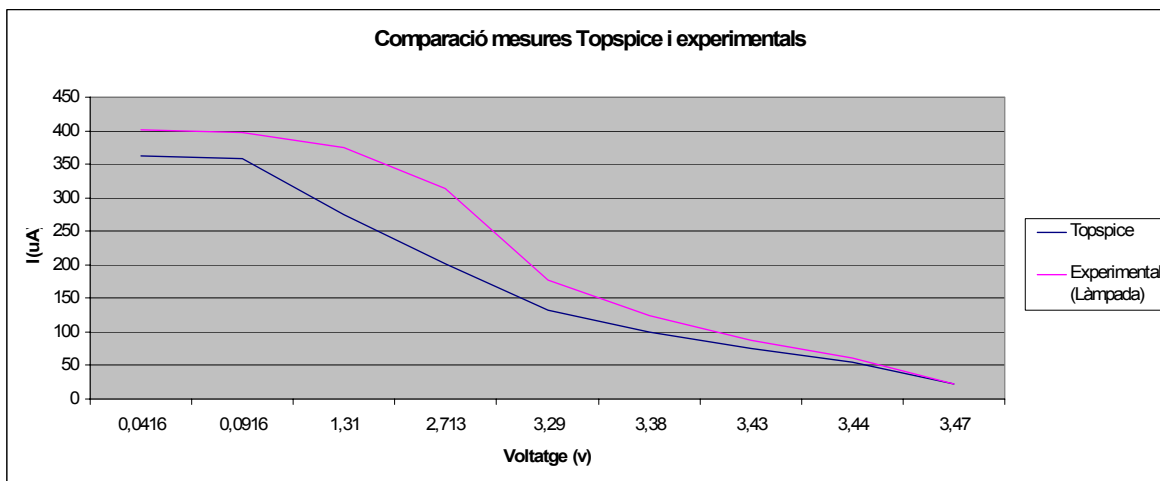


Fig. 2-12. Comparació de les mesures de la cel·la 5 considerant la il·luminació d'una làmpada.

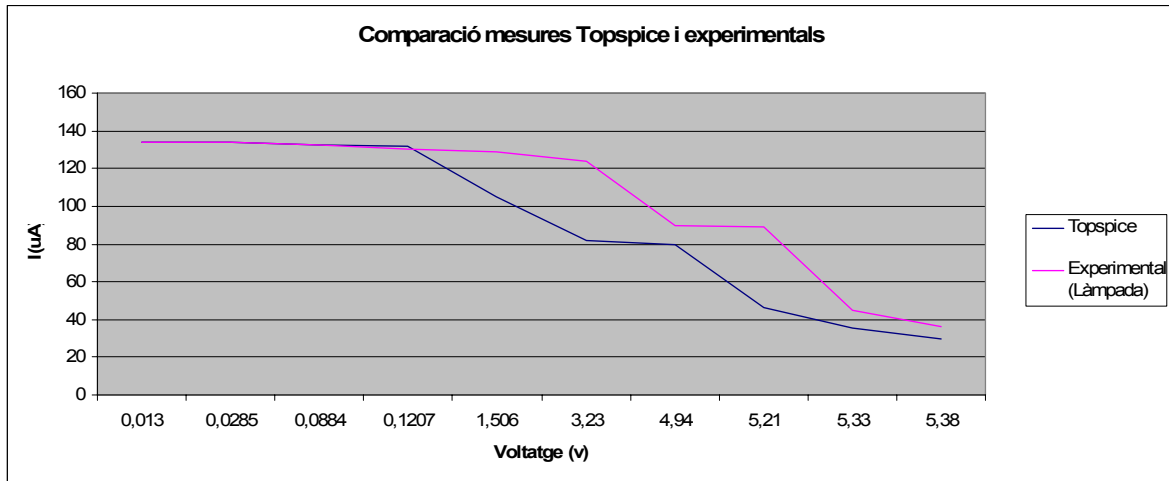


Fig. 2-13. Comparació de les mesures de la cel·la 6 considerant la il·luminació d'una làmpada.

2.2.3. Comparació dels resultats amb Topspice i experimentals considerant una il·luminació amb la llum exterior.

Les figures 2-14 fins 2-17 mostren la comparació dels resultats obtinguts experimentalment i amb TopSpice considerant una il·luminació amb llum exterior. En aquest cas només es mostraran les gràfiques comparatives de les cel·les 2, 4, 5 i 6, ja que les mesures amb la cel·la 1 i 3 estan presents a l'apartat 3.2.3.1 del capítol 3.

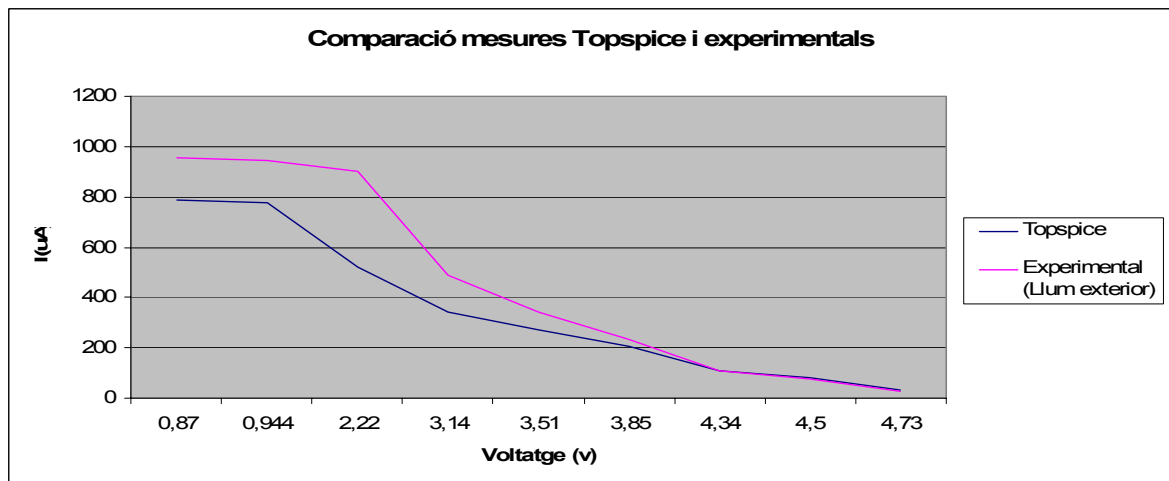


Fig. 2-14. Comparació des resultats experimentals amb els resultats de TOPSPICE de la cel·la 2

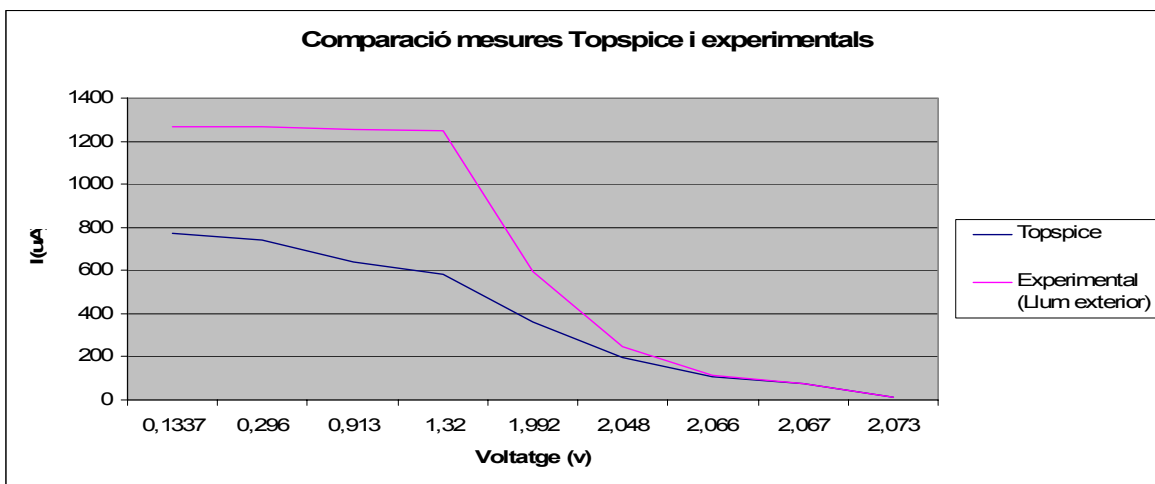


Fig. 2-15. Comparació des resultats experimentals amb els resultats de TOPSPICE de la cel·la 4

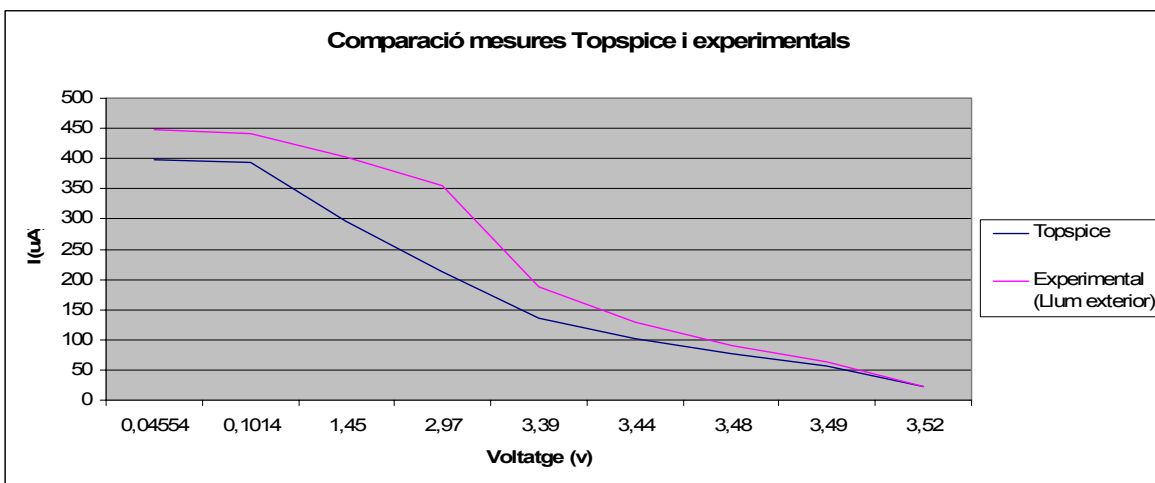


Fig. 2-16. Comparació des resultats experimentals amb els resultats de TOPSPICE de la cel·la 5

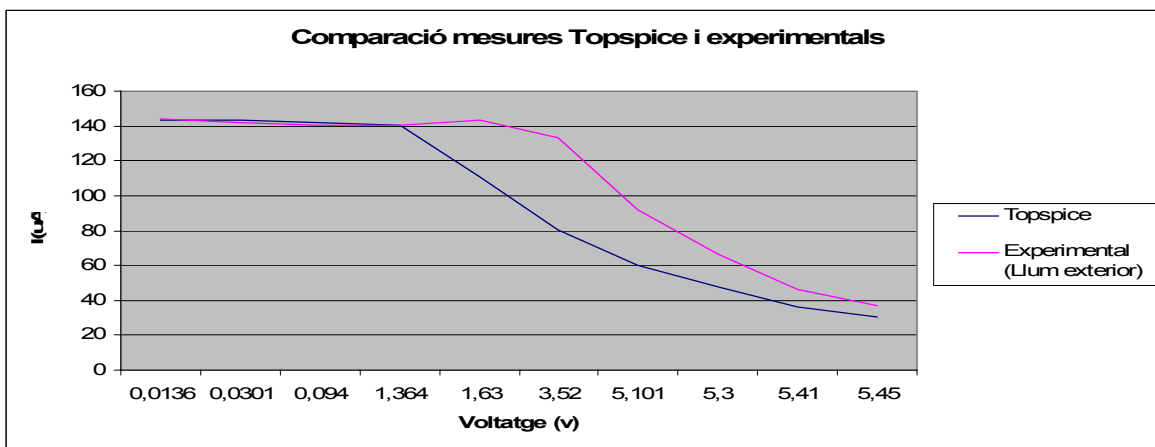


Fig. 2-17. Comparació des resultats experimentals amb els resultats de TOPSPICE de la cel·la 6

ANNEX 3. CARACTERÍSTIQUES DE LES BATERIES RECARREGABLES.

3.1. Característiques de les bateries de Ni-MH i de Ni-Cd.

Les bateries de Ni-MH (Níquel – Metall Hidrur) tenen unes característiques molt semblants a les bateries de Ni-Cd (Níquel – Cadmi), la principal diferència és que les bateries de Ni-MH utilitzen hidrogen, el qual està assimilat a l'aleació del metall.

Els electrons que formen el metall híbrid per contra té una densitat d'energia (aproximadament entre un 40-70%) més alta que no l'electró de cadmi, tampoc contenen cadmi, que és un material molt contaminant i que ha de seguir un tractament específic una vegada es vol prescindir d'ell i no tenen pèrdues de capacitat per un ús no adequat. Per altra banda tenen una resistència interna alta que provoca la limitació del seu ús en aplicacions on es necessiti alta potència. Per altra banda no admeten una càrrega tant ràpida com les bateries de Ni-Cd, i no toleren tan bé la temperatura i la sobrecàrrega [3], [4], [5], [6], [7].

- Característiques en la descàrrega:

Tant les bateries de Ni-MH com les de Ni-Cd presenten moltes similituds en la descàrrega. En circuit obert els dos sistemes presenten un voltatge que va des de 1,25 fins a 1,35 volts, el voltatge nominal és 1,25 volts.

Tal i com podem observar en la figura 3-1 la corba de descàrrega presenta una pendent molt plana, o sigui disminueix molt lentament fins que arribem a un punt on s'esgota la càrrega de la bateria i degut a això el voltatge es redueix dràsticament.

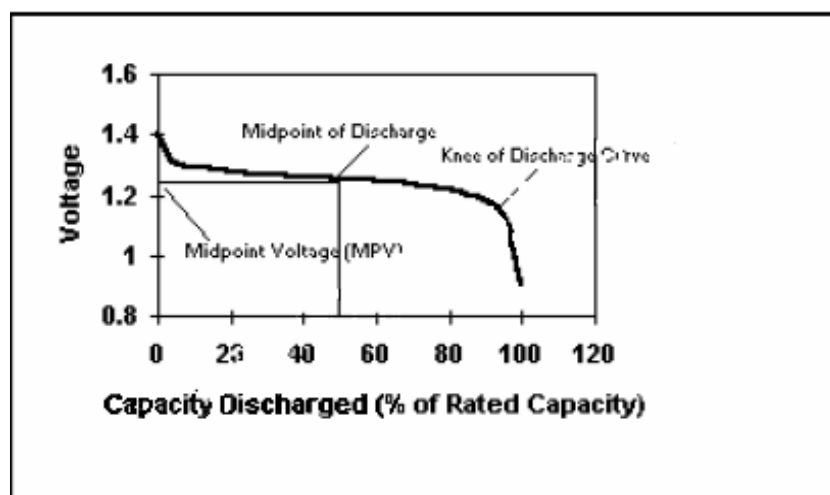


Figura 3-1. Voltatge de descàrrega d'una bateria de Ni-MH

El voltatge de descàrrega tot i així es veurà molt afectat segons el corrent i la temperatura de descàrrega a què sotmetem la bateria. A altes temperatures la capacitat de les bateries de Ni-MH disminuirà, encara que en les bateries de Ni-

Cd ens afecta en menys magnitud. Aquesta pèrdua de capacitat es deu a l'efecte d'auto-descàrrega. Aquest efecte el podem observar a la figura 3-2.

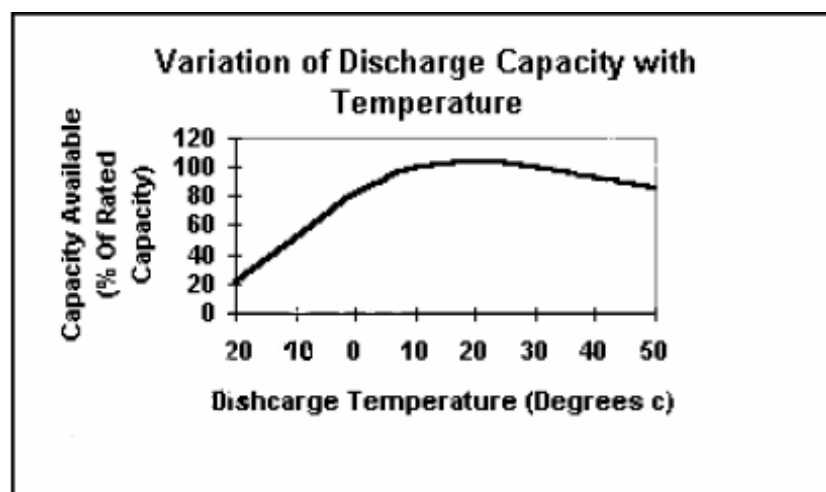


Figura 3-2. Variació de la capacitat de descàrrega amb la temperatura

- **Vida útil (cicle de vida de les bateries):**

El cicle de vida de les bateries de Ni-MH, depen molt de les condicions en què ha treballat la bateria. Les condicions que poden afectar més a la vida de la bateria són:

- La temperatura a què exposem la bateria en el procés de càrrega i descàrrega.
- La intensitat de descàrrega.
- El corrent de càrrega i descàrrega.
- L'exposició a la sobrecàrrega, i a la sobredescàrrega.

Al carregar i descarregar la bateria provoquem la destrucció de la seva estructura interna. D'aquesta manera la seva vida útil queda limitada aproximadament a 500 cicles de càrrega/descàrrega completa en el cas de les bateries de Ni-Cd i de 300 a 500 cicles en el cas de les bateries de Ni-MH. Considerarem que la bateria ha arribat al final de la seva vida útil quan la capacitat real d'aquesta ha disminuït fins al 80% de la nominal.

En tot cas podem allargar la vida de la bateria si mai es descàrrega per sota del 50%, d'aquesta manera evitem les sobredescàrregues i podem allargar la vida de la bateria fins als 1500 cicles, tot es clar dependrà de l'ús que en fem.

- **Efectes de memòria:**

A mesura que anem ciclant les bateries de Ni-MH, o sigui a mesura que anem carregant i descarregant la bateria, provoquem que el voltatge i la capacitat d'aquesta disminueixin. Així quan la bateria no és capaç d'entregar la màxima capacitat després d'uns quants cicles diem que aquesta ha patit l'efecte de memòria. Aquest problema però té una fàcil solució, només cal ciclant unes quantes vegades més la bateria. La variació del voltatge és degut a la càrrega i descàrrega dels materials actius que componen la bateria, ja que no tenen el

mateix temps de càrrega i descàrrega que la bateria, per aquest motiu aquests elements augmenten la seva resistència i per això notem una disminució en el voltatge (canvi de cicle).

- **Resistència interna:**

Les bateries de Ni-MH tenen una resistència interna petita, ja que igual que les bateries de Ni-Cd, utilitzen blindatges molt prims i amb una superfície allargada. A més també es caracteritzen per tenir un electroliti d'alta conductivitat. En el cas de les bateries de Ni-MH la resistència interna es manté pràcticament constant durant tota la descàrrega, encara que en el final del procés aquesta augmenta degut al "canvi de cicle" dels materials actius. La resistència interna s'incrementa i per contra la temperatura disminueix, ja que la resistència de l'electroliti i dels altres components és més elevada a baixes temperatures. Cal dir a més que la resistència interna augmentarà en els ciclatges posteriors de la bateria.

A mesura que anem utilitzant les bateries de Ni-Cd, aquestes perden capacitat, com a resultat de l'increment de la seva resistència interna. Aquest increment és degut al deteriorament del separador i dels electrodes, com també per la pèrdua de líquid per les juntes que separen els diferents elements de la bateria, això a més provoca la variació del nivell de l'electroliti.

- **Càrrega de les bateries:**

En el cas de les bateries de Ni-MH per tal d'obtenir una càrrega efectiva es recomana:

- Carregar sempre les bateries fins a la màxima capacitat.
- Limitar la sobrecàrrega. No ens interessa que arribi més corrent una vegada la bateria està carregada del tot.
- No exposar la bateria a altes temperatures.

Les característiques de càrrega són molt semblants a les de les bateries de Ni-Cd, tanmateix les bateries de Ni-MH són menys tolerants a les sobrecàrregues. A causa d'això el mètode de càrrega més aconsellat és la de carregar la bateria amb un corrent constant, igual que les bateries de Ni-Cd. Per altra banda en el procés de càrrega la temperatura de les bateries de Ni-Cd és manté constant, no és així en les bateries de Ni-MH on la temperatura augmenta gradualment, degut a que la reacció de la càrrega és exotèrmica (el voltatge augmenta bruscament degut a la generació d'oxigen a l'electró positiu, cosa que provoca l'augment de temperatura). Així per tal de tenir una càrrega correcta cal controlar la temperatura de la bateria, ja que l'eficiència de càrrega depèn de la temperatura. A la figura **3-3** podem observar les característiques de càrrega d'una bateria de Ni-MH.

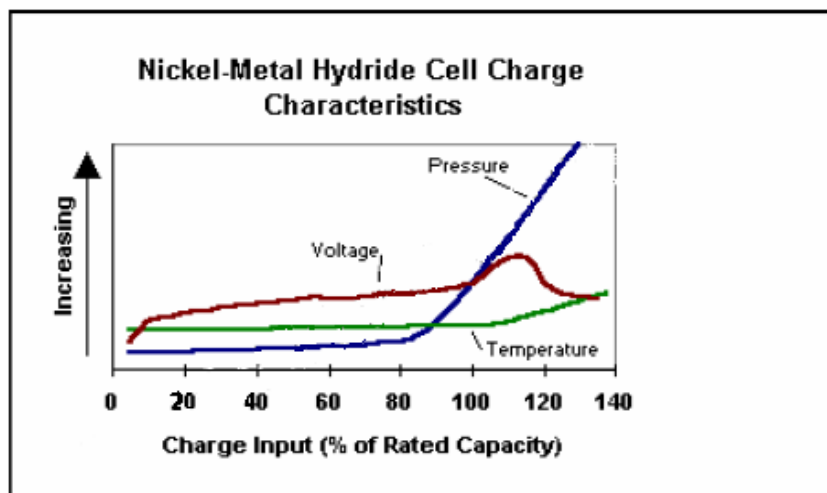


Figura 3-3. Característiques de càrrega d'una bateria de Ni-MH.

Com podem observar a la figura 3-3 tant el voltatge, com la pressió com la temperatura augmenten gradualment a mesura que la capacitat de la bateria va augmentant.

Per altra banda en les bateries de Ni-Cd cal considerar que carregar la bateria amb una tensió constant, no és recomenable, ja que pot donar pas a intensitats molt elevades si els elements estan molt descarregats. Durant el procés de càrrega la tensió que trobem als borns de la bateria augmenta gradualment fins a arribar al seu màxim. Això ens serveix per tal de controlar el procés de càrrega mitjançant el control de la intensitat de corrent subministrada a la bateria i el temps que dura el procés de càrrega.

- Temps de càrrega:

Com ja havíem dit la bateria no emmagatzema tota l'energia elèctrica que rep, cosa que provoca que la quantitat d'energia que subministrem a la bateria en el procés de càrrega sigui superior a la que teòricament necessitariem per dur a terme aquest procés. Per exemple treballant amb una temperatura ambient el factor de càrrega d'una bateria de Ni-Cd és aproximadament del 1,4, o sigui estem subministrant un 40% més de càrrega. El temps de càrrega d'una bateria de Ni-Cd el podem estimar mitjançant l'equació (3.3). Tot i així el temps de càrrega dependrà bàsicament de les característiques de la bateria i de les variacions de corrent de càrrega/descàrrega i de temperatura.

$$T = \frac{1,4 \cdot C}{I} \quad (3.1)$$

On :

T equival al temps de càrrega en hores, C a la capacitat que ha de rebre la bateria (m·Ah) i I la intensitat de càrrega (mA).

3.2. Característiques de les bateries de Liti.

Les bateries de Liti-íó estan formades per tres capes: un electró positiu, un separador i un electró negatiu. L'electró positiu correspon a un material actiu

com pot ser el “cobalt”, l'electró negatiu està format per un material carbonic com pot ser el grafit. A part les bateries de liti contenen diferents mesures per tal d'assegurar la seva seguretat, com pot ser una vàlvula d'anti-explosió, que allibera el gas si la pressió interna de la bateria supera uns límits.

Per altra banda tenen un procés de càrrega i descàrrega molt senzill. En el procés de càrrega els ions de liti que estan en el càtode es mouen entre les capes de l'ànode (fet de carbó) i en el procés de descàrrega els ions de liti fan l'operació contrària. En la figura 3-4 podem observar el procés de càrrega i descàrrega de les bateries de liti.

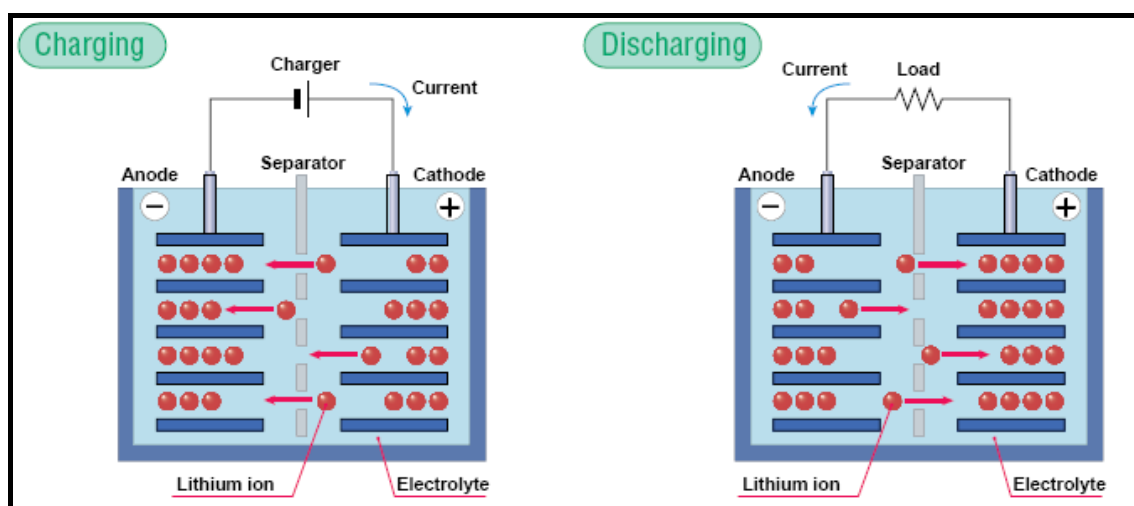


Figura 3-4. Procés de càrrega i descàrrega d'una bateria de liti.

També cal destacar el seu bon comportament en diferents condicions de descàrrega, ja que l'ús de materials carbònics fa que la corba de descàrrega tingui un pendent molt pla, al llarg del període de descàrrega. Això ho podem observar a la figura 3-5, on també podem observar la descàrrega d'aquesta a diferents velocitats.

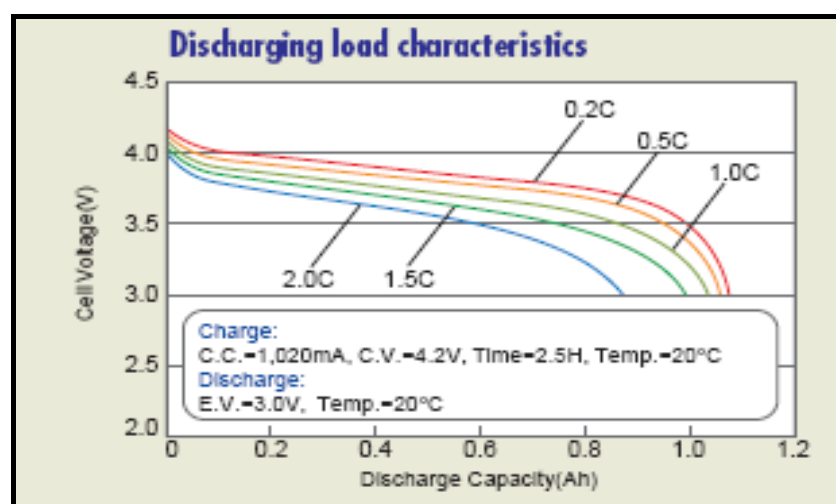


Figura 3-5. Corba de descàrrega d'una bateria de Liti a diferents velocitats de descàrrega.

Per altra banda a la figura 3-6 podem observar com afecta la temperatura a la descàrrega de les bateries de liti.

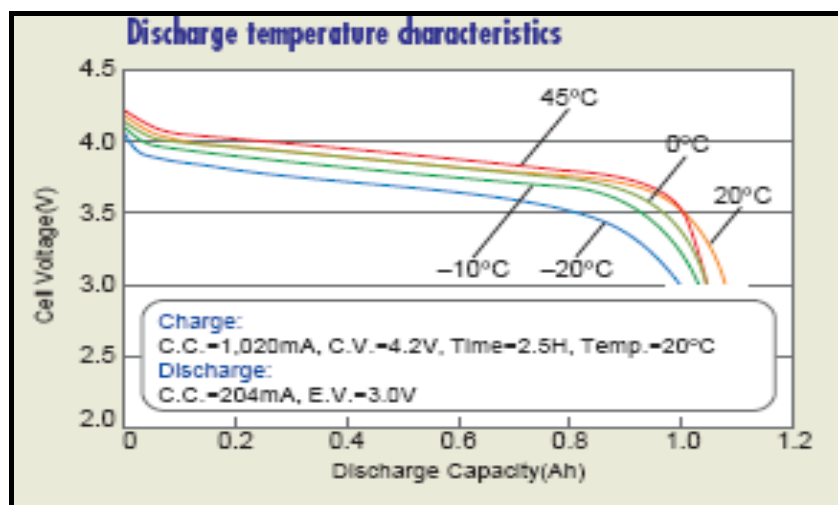


Figura 3-6. Corba de descàrrega d'una bateria de liti a diferents temperatures.

Com podem veure a la figura 3-6 les bateries de liti-íó suporten bé els canvis de temperatura. Els efectes més perjudicials per la bateria els tindrem a temperatures molt baixes (-20°C). Per altra banda a temperatures altes veiem que la bateria es comporta molt semblant que a temperatura ambient.

Les bateries de liti també es caracteritzen per:

- **Tenir una alta densitat d'energia:** El liti és el metall menys pesant de la terra, això vol dir que el liti té una capacitat molt alta, cosa que provoca que puguem obtenir la mateixa energia amb un pes molt inferior que no pas amb altres materials. D'aquesta manera les bateries de liti es caracteritzen per tenir una bona relació voltatge/pes de la bateria. A més ens dona una millor densitat d'energia que no les bateries recarregables de Ni-Cd o les de Ni-MH. En les figures 3-7 i 3-8 podem observar com varia la densitat d'energia segons el tipus de bateria que utilitzem, i en la segona figura observem la comparació de la quantitat de massa que necessitem per tal de produir la mateixa quantitat d'energia per les diferents bateries que hem estudiat.

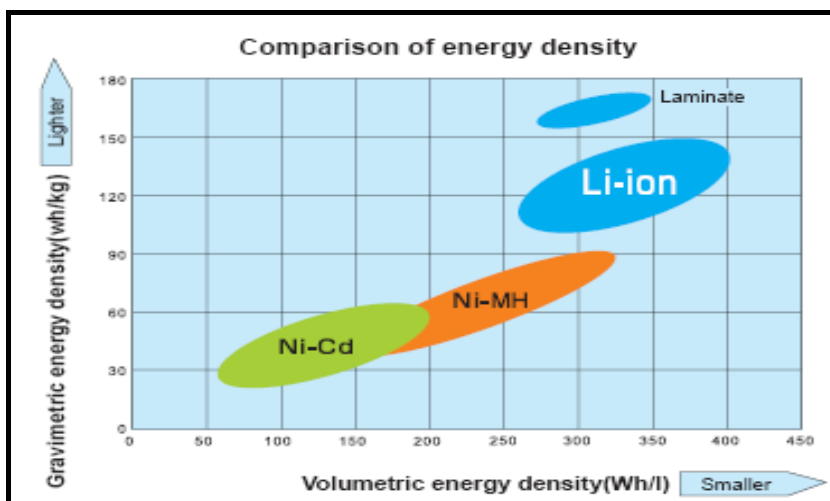


Figura 3-7. Comparació de la densitat d'energia de les diferents bateries estudiades.

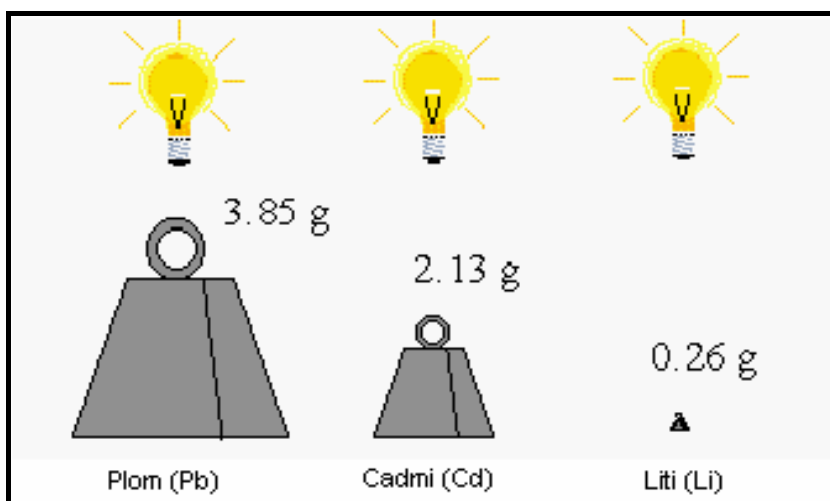


Figura 3-8. Massa necessària per produir un amper (A) durant 1 hora.

- **Per proporciona un voltatge elevat:** Les bateries de liti són capaces de proporcionar 3,7 volts, aproximadament tres vegades més que no les bateries de Ni-Cd o Ni-MH. Això fa possible obtenir bateries més petites i per tant més efectives per a accessoris portàtils que necessiten bateria.
- **Per no tenir efecte de memòria:** Aquestes bateries es caracteritzen per no tenir efectes de memòria mentre es tornen a carregar. El mateix no podem dir de les bateries de Ni-Cd i les de Ni-MH, les quals perdien part de la seva capacitat a mesura que s'anaven descarregant del tot i es tornaven a carregar.
- **Per no afectar al mediambient:** Les bateries de liti no utilitzen materials perjudicials com poden ser el cadmi, el mercuri o el plom.