

# CEL·LES SOLARS GRÄTZEL



2n de batxillerat, grup A, curs 2013-2014

Àmbit: Ciències experimentals

Departament: Tecnologia

Institut Francesc Ribalta

Data de presentació: 17-10-2013

## Índex de continguts

1. INTRODUCCIÓ.....	4
1.1. MOTIVACIÓ.....	5
1.2. OBJECTIUS.....	5
1.3. ESTRUCTURACIÓ DEL TREBALL.....	6
2. FONTS D'ENERGIA.....	7
3. FONTS D'ENERGIA ACTUALS.....	8
4. ENERGIA ALTERNATIVA.....	8
4.1. BARRERES DE LES ENERGIES ALTERNATIVES.....	10
5. REPTES DE LES ENERGIES ALTERNATIVES.....	10
6. EL SOL COM A FONT D'ENERGIA.....	11
6.1. APROFITAMENT FOTOVOLTAIC.....	12
7. PLAQUES SOLARS.....	13
7.1. PLAQUES SOLARS FOTOVOLTAIQUES.....	13
7.1.1. Plaques solars de silici.....	15
8. PLAQUES SOLARS GRÄTZEL.....	17
8.1. HISTÒRIA.....	17
8.2. ESTRUCTURA I FUNCIONAMENT.....	18
8.3. COLORANTS.....	19
8.4. L'ELÈCTRODE DE TREBALL.....	21
8.5. EL SEMICONDUCTOR.....	22
8.6. EL CONTRAELECTRODE.....	22
8.7. L'ELECTRÒLIT.....	23
8.8. LES REACCIONS DE RECOMBINACIÓ.....	23
8.9. GRÀFICS.....	24
8.9.1. Espectres d'absorció.....	24
8.10. OXID CONDUCTOR TRANSPARENT.....	25
8.11. USOS ACTUALS I POSSIBLES APLICACIONS.....	26
8.12. AVANTATGES I INCONVENIENTS RESPECTE LES CEL·LES DE SILICI I ALTRES.....	27
9. CONSTRUCCIÓ D'UNA CEL·LA SOLAR DSSC A L'ICIQ.....	31

9.1. DIATARI.....	31
9.2. ELABORACIÓ DELS COLORANTS.....	34
9.2.1. Colorants naturals.....	34
9.2.2. Colorants sintètics.....	35
10. MESURES DE LES CEL·LES.....	36
11. GRÀFICS DE LES CEL·LES .....	37
11.1. Espectres d'absorció.....	37
12. APLICACIÓ: ENCENDRE UN LED .....	44
13. CONCLUSIÓ.....	46
14. AGRAÏMENTS.....	47
15. BIBLIOGRAFIA WEB.....	47

# 1. INTRODUCCIÓ

Triar tema per aquest treball no em va ser gens fàcil, m'agrada tot el que m'envolta, però alhora no n'hi ha res que m'interessi especialment.

Necessitava trobar un tema que no m'avorrís, que no em fes perdre l'interès a mesura que avancés el treball, i això va ser difícil. Vaig llegir-me una vegada i una altra els treballs que ens proposaven des del centre però no n'hi havia cap que em crides l'atenció. Una cosa que tenia clara és que volia fer algun treball que fos pràctic, és a dir, que pogués fer algun projecte.

Vaig decidir tirar cap a la tecnologia perquè és un tema que m'interessava i és d'actualitat. Però hi havia moltes opcions, les que més m'agradaven eren les energies o la robòtica.

Vaig decidir-me per les energies, en concret les renovables, però era un tema molt ampli i havia de concretar, de centrar-me en una part. No en trobava cap de curiosa, de desconeguda.

Lavors em van parlar de les plaques solars Grätzel, unes plaques solars fotovoltaïques poc conegudes, i vaig decidir fer el treball sobre elles.

No va ser gens fàcil saber per on començar, era un tema que ni jo coneixia, no sabia ben bé que eren aquestes plaques. Per tant, havia de començar per investigar una mica què eren i què les diferenciava de les altres plaques fotovoltaïques.

Vaig contactar amb el doctor Emilio Palomares, director de la investigació sobre aquestes cel·les a l'ICIQ, l'Institut Català d'Investigació Química, i amb la professora Laia Pellejà, que em van concedir unes estades de 4 dies al centre que es troba a Tarragona per conèixer de més a prop com es troba la investigació en aquest àmbit. Em va semblar una oportunitat molt bona i l'havia d'aprofitar i, la veritat, és que va ser una estada genial.



Vaig construir plaques solars sensibilitzades amb colorants a petita escala en un laboratori, i, al mateix temps vaig poder veure com era un centre d'investigació i com funciona. Va ser una experiència molt bona i em va servir per veure que aquest tema era un tema que m'agradava, que no trobava gens avorrit.

No ha sigut un treball fàcil ja que al ser una tecnologia que s'està desenvolupant no trobava informació.

## **1.1. MOTIVACIÓ**

La motivació principal d'aquest treball van ser les ganes que tenia d'aprendre sobre aquest tema i la curiositat que vaig sentir quan vaig descobrir que aquestes plaques solars feien un procés semblant a la fotosíntesi que fan les plantes.

Un altre aspecte que m'ha servit de motivació ha sigut l'esperança que tinc en que la gent ens adonem que estem destruint el planeta i busquem solucions per reduir els danys, com per exemple, utilitzant energies alternatives. Però perquè això sigui possible, hem de desenvolupar tecnologies que permetin l'aprofitament d'aquestes energies amb un rendiment més elevat que l'actual, amb materials més econòmics, com les cel·les Grätzel. I l'única manera que hi ha perquè la gent ens interessem per aquestes energies és coneixent-les millor i veure els avantatges que poden tenir.

## **1.2. OBJECTIUS**

El meu objectiu principal d'aquest treball de recerca és, sobretot, aprendre sobre un tema fins ara desconegut per a mi. Tothom coneix l'energia solar i les plaques solars però les que coneixem gairebé tots són les tèrmiques i les de silici, molts no

coneixem aquest tipus de plaques fotovoltaïques sensibilitzades amb colorants, i poden ser una alternativa interessant.

Un altre objectiu és veure quin colorant té un rendiment més elevat a partir del seu gràfic d'absorció.

Amb aquest treball vull arribar a conèixer les característiques d'aquestes plaques i veure si tenen molts avantatges respecte les altres o si tenen més inconvenients.

### **1.3. ESTRUCTURACIÓ DEL TREBALL**

Aquest treball l'he dividit en dues parts; una part teòrica i una part pràctica.

A la primera part del treball explicaré les fonts d'energia que hi ha i les que s'utilitzen, també explicaré quines són més usades actualment i els problemes que comporten algunes d'elles.

A continuació parlaré de les energies alternatives i les barreres que tenen aquestes. Aprofundiré amb l'energia solar i els tipus de plaques solars fotovoltaïques, ja que el tema del meu treball són les plaques solars fotovoltaïques sensibilitzades mitjançant colorants.

Parlaré de les plaques solars Grätzel (plaques solars sensibilitzades mitjançant colorants, DSSC), de la història d'aquestes i de la seva estructura i el seu funcionament.

Seguidament explicaré els colorants que fan servir aquestes cel·les i les gràfiques d'espectres d'absorció. També explicaré els diferents elements que les componen.

La part pràctica del meu treball consisteix a construir cel·les solars Grätzel a petita escala amb diferents colorants, escriure el procediment que he seguit per la seva construcció i les gràfiques d'absorció que té cada un dels colorants. Parlaré sobre les aplicacions actuals i les possibles aplicacions i faré la comparació entre aquestes plaques i la resta de plaques fotovoltaïques (les de silici, les CIGS...).

A continuació explicaré com, a partir de les plaques que he construït, he intentat encendre un led i els problemes que he tingut.

## 2. FONTS D'ENERGIA

L'energia és la capacitat que té un cos per a realitzar un treball. L'energia es pot presentar sota diverses formes, que, pel principi de conservació de l'energia, es poden transformar les unes en les altres. Per tant, podem transformar, per exemple, l'energia solar en elèctrica, la eòlica en mecànica, etc.

L'ús de l'energia com a font de treball ha estat un dels factors elementals del desenvolupament econòmic i del progrés tècnic. Des de l'antiguitat s'han descobert i utilitzat diferents fonts d'energia.

A la prehistòria els humans vam descobrir el foc i el vam utilitzar per escalfar-nos i per cuinar. Els egipcis van utilitzar l'energia del vent per impulsar les seves embarcacions pel Nil. Més endavant, s'usà l'energia de l'aigua per a construir molins. Ja a l'edat mitjana, van aparèixer els primers molins de vent, utilitzats per moldre el blat i, des de la Revolució Industrial fins als nostres dies, una de les fonts d'energia més emprades són els combustibles fòssils (el carbó, el petroli i el gas). La combustió d'aquests combustibles en la producció i en el consum d'energia genera diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>), que provoca l'increment de l'efecte hivernacle, un dels impactes ambientals més importants.

Altres fonts d'energia utilitzades actualment són: la nuclear, que, com els combustibles fòssils, també forma part del grup de les energies no renovables; i, les energies alternatives com l'eòlica, la hidràulica, la solar, la biomassa... que s'usen en quantitats molt petites.

### 3. FONTS D'ENERGIA ACTUALS

Des del segle XX la utilització de l'energia és habitual i necessària. L'utilitzem per a cuinar, per escalfar-nos, per a veure el televisor, per escoltar la ràdio, per la il·luminació, per la indústria...

El model energètic utilitzat es va començar a qüestionar a finals del segle XX bàsicament per dos grans motius:

- Pels problemes mediambientals com el **canvi climàtic**, degut a l'efecte hivernacle produït pel CO<sub>2</sub> i altres gasos emesos a l'atmosfera.
- Per la utilització de **fonts d'energia exhauribles**. Així, per exemple, al ritme de consum actual, l'explotació dels jaciments de petroli en funcionament, no cobreix les necessitats d'energia més enllà de mig segle.

Un dels objectius que tenen els països industrialitzats és enfortir les seves economies nacionals, i una manera de fer-ho és reduint la dependència que tenen dels combustibles fòssils, que, després de l'explotació excessiva dels seus recursos, es troben en la major part en països estrangers, i, les energies alternatives serien un bon recurs.

### 4. ENERGIA ALTERNATIVA

Les energies alternatives es diuen també renovables perquè provenen d'aquelles fonts d'energia que es renoven de manera continuada en contraposició als combustibles fòssils, dels quals existeixen recursos limitats.

Aquest conjunt de fonts d'energia es troben a disposició dels humans i aquests som capaços de transformar-les en energia útil, convertint-les, per exemple, en electricitat.

Aquestes energies provenen majoritàriament de l'energia del sol i considerem que es regeneren, o es renoven, naturalment de manera més ràpida a la

velocitat que les consumim.

Les fonts d'energia alternativa podrien arribar a proporcionar molta més energia que la que necessitem globalment. De fet, la quantitat d'energia renovable a la qual tenim accés utilitzant la tecnologia actual és molt baixa. Per això és necessari desenvolupar noves tecnologies que permetin la captació i l'ús d'aquestes energies.

Les energies alternatives presenten algunes característiques comuns:

- Són inesgotables, pel que no plantegen problemes de subministrament com els que tenen el gas, el carbó i l'urani dels quals existeixen reserves exhauribles a un període més o menys llarg.
- Es troben distribuïdes en àmplies zones del planeta, encara que no en la mateixa quantitat, fet que permet la seva utilització descentralitzada.
- Els processos de conversió energètica tenen un reduït impacte mediambiental enfront a les fonts convencionals.

Als països desenvolupats, les principals aportacions de les energies renovables són la reducció de l'impacte mediambiental, la millora de la qualitat del subministrament elèctric (tensió i freqüència) en punts de consum allunyats dels centres de producció, i per reforçar el subministrament elèctric convencional .

Per altra part, als països en vies de desenvolupament, la principal aportació de les energies renovables és l'accés a les electrotecnologies, permetent la implantació d'aplicacions d'il·luminació, refrigeració, potabilització d'aigües, bombeig d'aigua de pous i reg de terrenys agrícoles, així com de comunicacions i telecomunicacions.

L'explotació de les energies alternatives a escala industrial és fortament contestada fins i tot per grups ecologistes, ja que els impactes mediambientals d'aquestes instal·lacions i les línies de distribució d'energia elèctrica que necessiten poden arribar a ser importants, especialment, si, com passa sovint (cas de l'energia eòlica) s'ocupen espais naturals que havien estat aliens a l'home.

## **4.1. BARRERES DE LES ENERGIES ALTERNATIVES**

Les tres barreres més importants que tenen les energies alternatives són:

- Normalment la inversió inicial en aquestes tecnologies és més alta que les d'aquelles que es basen en sistemes convencionals. Tot i això, en els darrers 20 anys, l'ús de renovables ha experimentat una contínua i significat reducció en els seus costos.
- Ajudes a l'energia convencional. Els enormes subsidis públics per plantes nuclears i combustibles fòssils, així com la manera en que la nostra xarxa d'electricitat està organitzada, redueix considerablement l'espai per les energies renovables. És per això que són necessaris sistemes de recolzament a les renovables.
- No prioritzar el tema ambiental. Malgrat que els impactes ambientals i els costos associats sovint s'inclouen en comparacions entre energies alternatives i energies convencionals, els inversors rarament inclouen els costos ambientals a l'hora de prendre les decisions finals, fent prevaldre el cost econòmic.

## **5. REPTES DE LES ENERGIES ALTERNATIVES**

L'estudi 'RE-pensant 2050' del Consell Europeu d'Energies Renovables (CEER) suggereix un camí per a que Europa pugui tenir un 100% d'abastiment a partir de renovables tant per electricitat, per calor-fred com per transport.



Aconseguir aquest objectiu ja no és qüestió de tecnologia sinó de voluntat política.

Es preveu que una enorme proporció de l'energia global al 2050 serà produïda per petites fonts d'energia descentralitzades, malgrat que els proveïdors d'energia renovable a gran escala seran encara necessaris per tal d'aconseguir una transició ràpida a un sistema basat en renovables. Grans granges eòliques i plantes de concentració solar jugaran per tant un paper important.

## **6. EL SOL COM A FONT D'ENERGIA**

El sol és la principal font d'energia del nostre planeta, és una font d'energia molt més potent del que podem arribar a imaginar. Emet sobre la terra, cada any, quatre mil vegades més energia de la que consumim.

Aquesta energia està garantida pels pròxims 6.000 milions d'anys , però es necessita desenvolupar una tecnologia de captació, acumulació i distribució eficient per aprofitar-la millor.

L'energia solar és considerada l'energia alternativa més important perquè totes les energies renovables conegudes (excepte l'energia geotèrmica i mareomotriu) provenen d'aquesta:

- El Sol evapora l'aigua de la superfície terrestre i així crea el cicle de l'aigua que amb l'ajuda de preses ens permet aprofitar l'energia hidroelèctrica que s'hi genera.
- En el cas de l'energia eòlica, la llum solar escalfa l'aire, el d'unes zones de l'atmosfera més i altres menys, i genera vents, dels quals s'extreu l'energia a través de turbines i molins eòlics.

- Els vents produïts pel Sol alhora també produeixen onades en mars i oceans i mitjançant diferents dispositius es pot extreure l'energia que contenen.
- L'energia del Sol també fa possible la fotosíntesi de plantes i arbres dels que s'extreu biomassa i biocombustibles.
- Per si no fos prou, el Sol també ha generat els combustibles fòssils. Fa milions d'anys, aquest astre va subministrar l'energia necessària perquè visquessin vegetals, plantes i arbres, que alhora van alimentar els animals de l'època i que en conjunt, van generar els combustibles fòssils que avui consumim.
- Per últim, l'energia del Sol s'utilitza directament per escalfar captadors tèrmics solars o per a la producció d'electricitat en sistemes fotovoltaics. L'energia solar tèrmica consisteix en l'aprofitament directe, en forma d'escalfament o energia calorífica, de la radiació solar incident.

## **6.1.APROFITAMENT FOTOVOLTAIC**

La conversió fotovoltaica es basa en l'efecte fotoelèctric, és a dir, la transformació directa de l'energia lumínica que prové del Sol en energia elèctrica.

Quan un determinat material és il·luminat amb la part visible de l'espectre solar, part dels electrons que configuren els seus àtoms absorbeixen l'energia dels fotons de la llum, alliberant-se així de les forces que els lliguen al seu nucli i adquirint llibertat de moviment. Aquest espai que ha deixat l'electró tendeix a atraure qualsevol altre electró que estigui lliure. Per a convertir aquest moviment d'electrons en corrent elèctrica es necessari dirigir el moviment dels electrons creant un camp elèctric en el sí del material.

Existeixen dos tipologies d'instal·lacions solars fotovoltaïques:

- **Instal·lacions autònomes o aïllades de la xarxa elèctrica:** permeten oferir un servei a corrent contínua o a corrent alterna (equivalent a la

xarxa elèctrica) en emplaçament on la xarxa elèctrica no arriba o en llocs on si que arriba però no es vol utilitzar. Pot cobrir el 100% de les necessitats elèctriques d'un emplaçament o pot acompanyar-se d'un sistema de suport convencional com ara un grup electrogen. És convenient utilitzar electrodomèstics de baix consum i alt rendiment i incorporar actituds d'estalvi energètic.

Les aplicacions més comuns d'aquestes instal·lacions són:

- Electrificació d'habitatges allunyats de la xarxa elèctrica.
- Aplicacions agrícoles i ramaderes: bombeig d'aigua, sistemes de reg, il·luminació d'hivernacles i granges, etc.
- Senyalització i comunicacions: navegació aèria i marítima, senyalització de carreteres, repetidors, etc.
- Enllumenat públic: carrers, monuments, parades d'autobús, etc.
- Sistemes de depuració d'aigües.
- **Instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica:** on tota l'electricitat generada s'aboca a la xarxa elèctrica.

## 7. PLAQUES SOLARS

Una **placa solar** és un dispositiu format per diverses cel·les solars que transforma la radiació solar en energia elèctrica (panells fotovoltaics) o bé en energia tèrmica (panells tèrmics). És doncs, un generador pertanyent al grup d'energies renovables.

### 7.1. PLAQUES SOLARS FOTOVOLTAIQUES

Les plaques fotovoltaïques converteixen l'energia lluminosa en energia elèctrica.

El terme “foto” prové del grec “phos”, que significa “llum”, i “voltaic” prové del nom d' Alessandro Volta, un pioner en l'estudi de l'electricitat. Per tant, fotovoltaica significa literalment “llum elèctrica”.

El descobriment de les plaques solars comença amb els principis de fotografia, al segle XIX, quan es va veure que determinats colorants orgànics fan que materials com el clorur de plata responguin quan estan exposats a la llum.

L'efecte fotoelèctric va ser reconegut per primer cop al 1839 pel físic francès Edmond Becquerel, que va veure que alguns materials generaven petites quantitats de corrent elèctric quan estaven exposats a la llum. Tot i que, l'efecte fotoelèctric (procés físic pel qual una cel·la converteix la llum solar en electricitat), va ser explicat el 1905 per Einstein.

La primera cel·la solar no va ser construïda fins al 1883 per Charles Fritts, qui va recobrir una mostra de seleni semiconductor amb una mica d'or per fer l'entroncament.

El 1954 va ser desenvolupada la primera cel·la de silici per Chapin i altres, amb una eficiència del 6%. Durant molts anys, la major aplicació d'aquesta tecnologia ha estat proveir d'energia els vehicles espacials. L'atenció, però, es va incrementar als anys

70 amb la pujada dels preus del petroli, el que va fer que s'iniciessin moltes més investigacions per tal d'obtenir cel·les solars eficients i econòmiques que permetessin la conversió d'energia solar en electricitat amb gran eficiència.

La gran majoria de les cel·les solars produïdes actualment es basen en el silici, ja sigui en forma cristal·lina, policristal·lina o en la seva forma amorfa. Però, recentment, s'han desenvolupat altres tipus de cel·les solars fotovoltaïques per tal de reemplaçar el silici, ja que la seva producció consumeix grans quantitats d'energia per tal de purificar les matèries primes. Un grup de recerca a Lausanne, Suïssa, va fer servir els coneixements de la fotosíntesi i la fotografia per produir un nou tipus de cel·les solars: les cel·les solars de Grätzel.

### 7.1.1. Plaques solars de silici

Les cel·les solars de silici són les més eficients actualment i per aquest motiu són també les més utilitzades.

El silici és el segon element més abundant al nostre planeta, on es troba en forma de diòxid de silici ( $\text{SiO}_2$ ) i per obtenir el silici en una forma més pura calen molts processos de purificació, que, tant pel temps com per l'energia necessària, tenen un cost molt elevat.

Existeixen dos tipus de cel·les de silici:

- **Cristal·lines:** els àtoms de silici estan ordenats deixant entre ells uns angles i unes distàncies d'enllaç determinats, formant unes estructures que són repetides al llarg de l'espai. Aquestes estructures poden ser:
  - **Monocristal·lines** (figura 1): compostes per un únic cristall de silici (Si). Tenen forma circular o octogonal. Aquest tipus de cel·les són d'un color blau fosc uniforme.
  - **Policristal·lins** (figura 2): estan formades per petites partícules cristal·litzades.

El rendiment d'aquestes plaques pot arribar al 20 %, encara que és una mica inferior a les monocristal·lines. Tenen un color blau més intens.

- **Amorfes** (figura 3): Els àtoms de silici no segueixen cap ordre i tampoc no formen estructures repetitives. El rendiment d'aquestes pot ser inferior al 10 %, per tant són menys eficients que les de silici cristal·lí, però també són menys costoses. Aquest tipus de cel·les s'utilitza en aplicacions solars com per exemple, en calculadores i rellotges.



Figura 1: Panell solar fotovoltaic de silici monocristal·lí. Font: [www.powersol.es](http://www.powersol.es)



Figura 2: Panell solar fotovoltaic de silici policristal·lí. Font: [www.sitiosolar.com](http://www.sitiosolar.com)



Figura 3: Cel·la solar fotovoltaica amb silici amorf. Font: [es.wikipedia.org](http://es.wikipedia.org)

El silici és un semiconductor, per tant, per si sol no condueix el corrent. Perquè ho faci cal introduir-hi àtoms d'altres substàncies, és a dir, dopar-lo. Les substàncies més usades per fer-ho són el bor (receptor d'electrons) i el fòsfor (donant d'electrons).

Els fotons incidents a una cel·la de silici, travessen el vidre protector i arriben a la capa de semiconductor "n" dopada negativament perquè tingui molts electrons (capa dopada amb fòsfor).

Els àtoms del semiconductor dopat s'exciten i alliberen electrons. Al semiconductor dopat amb bor "p" (figura 4) li falten electrons a la seva estructura, per tant, atrau els electrons del semiconductor dopat negativament. Aquest moviment de càrregues genera una diferència de potencial entre les capes semiconductors, conegut com a *voltatge*. Però l'única forma que els electrons puguin passar del semiconductor negatiu al positiu "p" és a través del cable que les uneix, de manera que obtenim un corrent elèctric.



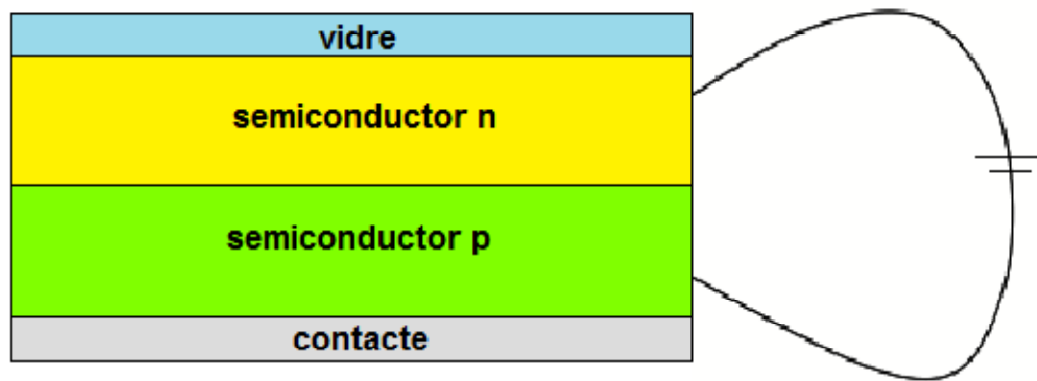


Figura 4: Esquema estructura d'una cel·la de silici. Font: elaboració pròpia

## 8. PLAQUES SOLARS GRÄTZEL

Les plaques solars sensibilitzades mitjançant colorants (DSSC), anomenades també cel·les solars Grätzel o cel·les de pigment fotosensible, són cel·les fotoelectroquímiques que imiten aspectes de la fotosíntesi: utilitzen colorants (orgànics o inorgànics) per absorbir la llum i produir electrons. Per tant, tal i com fan totes les cel·les fotovoltaïques, converteixen la radiació solar en energia elèctrica.

Aquest tipus de plaques solars van obtenir el premi Nobel de Tecnologia l'any 2010. Michael Grätzel les va crear al 1988 com a proposta alternativa a la fabricació de captadors d'energia, utilitzant materials de baix cost i manufactura senzilla.

En l'actualitat la eficiència màxima és de l'11%.

### 8.1. HISTÒRIA

Michael Grätzel és un científic alemany que als anys 90 va inventar una pila solar que a diferència de les tradicionals (basades en semiconductors com el silici i el germani) mimetitzava el procés de fotosíntesi de les plantes i el transforma en energia elèctrica.

Al 1991 O'Regan i M. Grätzel van descriure un cel·la fotovoltaica basada en materials de puresa relativament baixa que mostrava eficiències acceptables, de

Cel·les solars Grätzel

l'ordre del 7-8 %. Aquests dispositius s'anomenen cel·les solars sensibilitzades amb colorant (Dye Sensitized Solar Cells, DSSC). La introducció del colorant anomenat N3, va permetre augmentar-ne l'eficiència fins el 10 %.

La configuració bàsica de les DSSC utilitza com a substrat un vidre que té dipositada una pel·lícula transparent d'òxid conductor (transparent conductor oxide, TCO). Els TCO més usats són l'òxid d'estany dopat amb fluor (fluorine-doped tin oxide, FTO) i l'òxid d'estany i indi (ITO). A sobre del TCO, s'hi diposita una capa prima i compacta de diòxid de titani d'uns 50 nm de gruix. Aquesta capa s'ha de dipositar de manera molt homogènia a sobre del substrat, els mètodes més usuals per fer-ho són spin coating seguit d'una calcinació o deposició química per vapor (chemical vapour deposition, CVD).

## 8.2. ESTRUCTURA I FUNCIONAMENT

Com podem veure a la figura 5, una cel·la Grätzel es compon de dos elèctrodes plans o conductors elèctrics: l'elèctrode de treball o transparent i el contraelèctrode, i d'un colorant que genera electrons al contacte amb la llum.

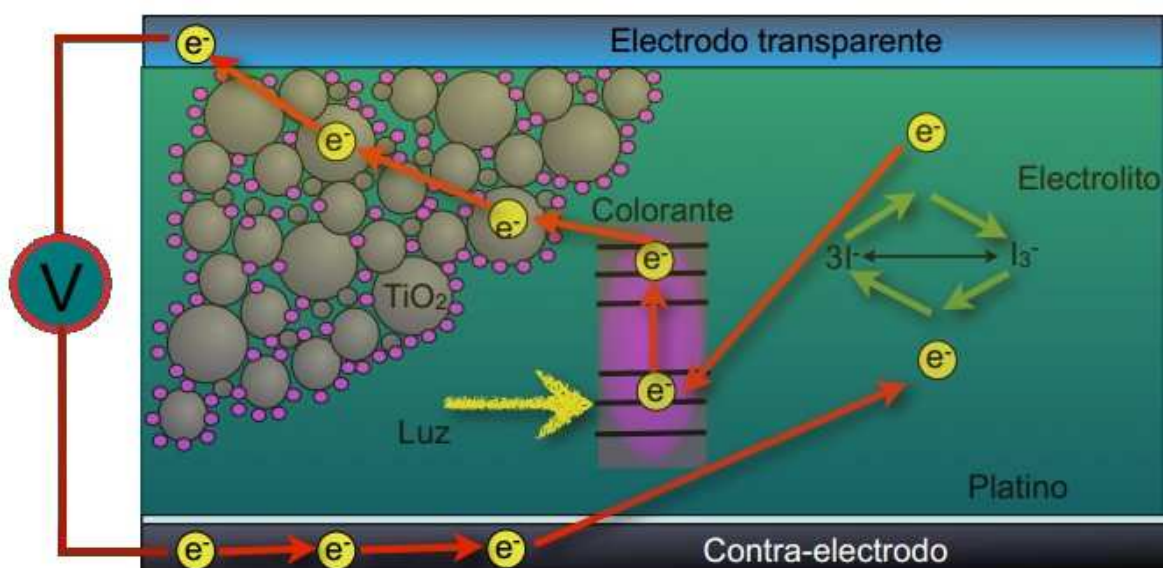


Figura 5: Esquema del funcionament i l'estructura d'una cel·la solar DSSC. Font: Presentació plaques solars sensibilitzades mitjançant colorants, ICIQ.

L'elèctrode de treball, consisteix en una dissolució de nanopartícules, és a dir, partícules microscòpiques, de TiO<sub>2</sub> distribuïdes de manera uniforme sobre un vidre recobert amb una capa fina i transparent òxid d'estany dopat amb fluor (FTO: *fluorine tin oxide*). El diòxid de titani s'asseca i s'escalfa per tal que formi una capa porosa. S'hi posen dues capes de TiO<sub>2</sub>: la de sobre les partícules de TiO<sub>2</sub> són més petites i són les que fan el treball, en canvi, les de sota (capa anomenada scàter) són més grans que el que fan és fer rebotar la llum que passa entre les partícules més petites una altra vegada cap a elles, per aprofitar al màxim la llum.

El contraelèctrode també té aquesta capa conductora de FTO, però a més se li aplica una quantitat de platí per disminuir la resistència de transferència de càrregues.

Finalment s'introdueix entre els dos elèctrodes una dissolució anomenada electròlit, composta per una parella redox, que permet rebre i donar electrons.

En les cel·les de Grätzel s'utilitzen nanopartícules de diòxid de titani (TiO<sub>2</sub>, que fa de semiconductor) recobertes d'un colorant que absorbeix la llum del sol (tal com fa la clorofil·la en les plantes). Mitjançant un seguit de processos electroquímics en la cel·la, s'aconsegueix transformar l'energia lluminosa en electrons, i per tant s'obté un corrent .

El principi bàsic en el qual es basa el **funcionament** de la cel·la solar Grätzel és el següent: quan la radiació del sol passa a través de l'elèctrode de treball, el colorant absorbeix l'energia dels fotons i traspasa un electró a l'altre elèctrode. En aquest moment el colorant s'oxida, però torna al seu estat original recuperant l'electró perdut mitjançant el primer elèctrode de vidre. Aquest procés en cadena és el que origina l'energia elèctrica.

### **8.3. COLORANTS**

En les cel·les solars DSSC, els colorants absorbeixen la llum del sol i transformen aquesta en electrons. La llum que ens arriba del sol està formada per un conjunt

de radiacions electromagnètiques, que es diferencien les unes de les altres per la seva longitud d'ona.

Com més ampli sigui el rang de longituds d'ona que absorbeixi, més eficient serà la cel·la. Necessitem que l'espectre solar que arriba a la Terra (sobretot la llum visible) es solapi el màxim amb l'espectre dels colorants que utilitzem.

Perquè una radiació lluminosa sigui absorbida pel colorant, és necessari que aquesta radiació tingui energia suficient per excitar un electró, és a dir, que tingui energia per elevar l'electró de l'estat fonamental en el que es troba fins un nivell d'energia superior. La radiació que no tingui la suficient energia, no serà absorbida.

Per a construir aquestes cel·les es poden utilitzar diferents colorants, que classifiquem en:

- **Colorants sintètics:** colorants que sintetitzem al laboratori. Aquest grup de colorants el podem subdividir en:
  - Orgànics: colorants formats bàsicament per carboni, hidrogen, oxigen i nitrogen.
  - Inorgànics: a part de tenir una part orgànica, tenen algun metall a la seva estructura interna.
- **Colorants naturals:** els que podem trobar a la natura. És a dir, els que trobem a fruites, verdures i flors. És gràcies a aquests pigments colorants que la natura té una gama tan àmplia de colors.

Els grups funcionals dels colorants:

Els colorants que podem utilitzar en aquestes cel·les solars han de tenir unes característiques comunes:

- Han de tenir un grup d'ancoratge que els permeti estar fixats al  $\text{TiO}_2$ . En el cas de les cel·les solars els enllaços han de ser forts perquè a través d'ells s'injectaran els electrons cap al semiconductor, per tant, seran enllaços covalents (enllaços entre dos àtoms no metàl·lics).

- La seva estructura és important ja que la funció del colorant en la cel·la és absorbir la major quantitat de llum possible en un ampli rang de longituds d'ona, per tant, ha de tenir anells aromàtics, dobles enllaços i alguns heteroàtoms (qualsevol àtom diferent del carboni i l'hidrogen); aquests grups funcionals són els que permeten absorbir la llum en els rangs del visible i la ultraviolada, que és la llum que ens arriba provinent del Sol.
- En els colorants inorgànics, s'ha de tenir en compte el metall que s'utilitza per a sintetitzar el complex: ha de ser un metall que tingui les energies adequades per a injectar electrons i que es regeneri per l'electròlit; ha de ser un metall estable, que no es descompongui al llarg del temps. El més utilitzat actualment és el ruteni.

## **8.4. L'ELÈCTRODE DE TREBALL**

L'elèctrode de treball consisteix en un vidre d'un gruix entre 2.30mm i 3mm recobert per una capa conductora d'un compost anomenat FTO (òxid d'estany dopat amb fluor).

El vidre és una substància amorfa, és a dir, que els seus àtoms no estan ordenats i és una substància aïllant, que no permet el pas d'electrons.

En una cel·la solar el colorant allibera electrons quan és irradiat amb la llum solar i aquests electrons han de circular a través dels components de la cel·la per tal de generar el corrent elèctric. Per això és necessari que el vidre tingui una cara on hi ha una capa de FTO que condueixi la corrent.

També hi ha altres formes de fer un vidre conductor, el que passa amb els altres mètodes es que no suporten bé les altes temperatures, ja que es cremen o la resistència del vidre augmenta massa.

La conducció elèctrica és la mobilitat de partícules carregades a través d'un conductor. Podem diferenciar diversos tipus de material depenent de com condueixin el corrent elèctric: els conductors, els aïllants i els semiconductors.

## **8.5. EL SEMICONDUCTOR**

Els materials semiconductors tenen dues bandes separades d'energia: la banda de valència, que està plena d'electrons, i la banda de conducció, que està buida. La distància entre aquestes dues bandes s'anomena band gap.

Si aquest band gap fos molt gran els electrons no podrien passar de la banda de valència a la de conducció, que és el que passa als materials aïllants. Encara que tenen un band gap petit, en augmentar la temperatura els electrons tenen més energia i poden passar de la banda de valència a la banda de conducció. És a dir, en augmentar la temperatura el material es torna conductor.

En una cel·la solar Grätzel, el colorant injecta un electró a la banda de conducció del semiconductor, banda que està buida d'electrons. És important que l'energia de l'estat fonamental del colorant sigui més alta que l'energia de la banda de conducció, ja que si no, no tindria prou energia com per injectar-se al TiO<sub>2</sub>.

Aquest electró viatja per tota la capa de semiconductor i arriba al vidre FTO, passa per un circuit extern, on aquests electrons s'aprofiten mitjançant una resistència, i segueixen fins arribar al contraelectrode.

## **8.6. EL CONTRAELECTRODE**

El contraelectrode és un vidre FTO que l'hem recobert amb una capa de grafit per fer-lo més conductor, és a dir, per disminuir la resistència al pas d'electrons al contraelectrode. . Al contraelectrode, el electrons que arriben són transmesos a l'electròlit.



## 8.7. L'ELECTRÒLIT

Un electròlit és un compost químic que en dissolució es troba quasi completament en forma d'ions. En les cel·les solars, com a electròlit utilitzem una parella de iode (I<sub>2</sub>) i iodur (I<sup>-</sup>).

La reacció que té lloc en l'electròlit és una reacció d'oxidació-reducció, anomenada reacció **redox**. Una reacció redox és aquella en la que hi ha transferència d'electrons. Una reacció que implica la pèrdua d'electrons és una oxidació i una reacció que implica guany d'electrons és una reducció.

Els electrons, però, no estan deslligats, de manera que no es pot oxidar cap substància si no se'n redueix una altra. Com a conseqüència, sempre que es produeix una reacció d'oxidació, té lloc simultàniament una reacció de reducció, i el nombre d'electrons perduts en el procés d'oxidació és igual al nombre d'electrons guanyats en el procés de reducció.

Una substància es redueix (reacció de **reducció**) quan guanya electrons:

$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$ . Això és el que succeeix a l'electròlit quan li arriben els electrons del contraelectrode.

Una substància s'oxida (reacció d'**oxidació**) quan perd electrons:

$2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$ . Això és el que succeeix quan l'electròlit dona un electró al colorant.

## 8.8. LES REACCIONS DE RECOMBINACIÓ

Les reaccions de recombinació són aquelles reaccions no desitjades que es produeixen en el cicle de convertir els fotons en electrons.

Coneixem, bàsicament, tres grans tipus de recombinació:

- Quan incideix llum sobre un colorant en una cel·la solar, un electró s'excita i passa de l'estat fonamental a l'estat excitat. Un tipus possible de recombinació es dona quan aquest electró no és injectat al TiO<sub>2</sub>, sinó que retorna a l'estat fonamental.

- Quan els electrons s'injecten a les nanopartícules de titani, es poden recombinar si retornen al colorant oxidat enlloc de circular cap al circuit extern.
- Una tercera forma de recombinació té lloc quan els electrons injectats al TiO<sub>2</sub> es recombinen amb l'electròlit enlloc de passar a través del circuit extern.

Tots aquells processos que són favorables en una cel·la solar són molt ràpids (entre  $10^{-9}$  i  $10^{-12}$  s), en canvi els processos de recombinació són molt més lents (entre  $10^{-6}$  i 1s). Per això, es donen principalment aquells processos que són ràpids, permetent el funcionament de la cel·la solar.

## **8.9. GRÀFICS**

### **8.9.1. Espectres d'absorció**

L'espectre d'absorció d'un material ens mostra la fracció de la radiació electromagnètica (figura 6) incident que un material absorbeix dins d'un rang de freqüència. Cada element químic té línies d'absorció en algunes longituds d'ona, fet que està associat a les diferències de energia dels seus diferents orbitals atòmics.

Un exemple de les implicacions d'un espectre d'absorció és que aquell objecte que ho faci amb els colors blau, verd i groc apareixerà de color vermell quan incideixi sobre ell llum blanca.

Els gràfics d'espectres d'absorció de les cel·les solars Grätzel ens mostren la radiació electromagnètica que absorbeix el colorant.

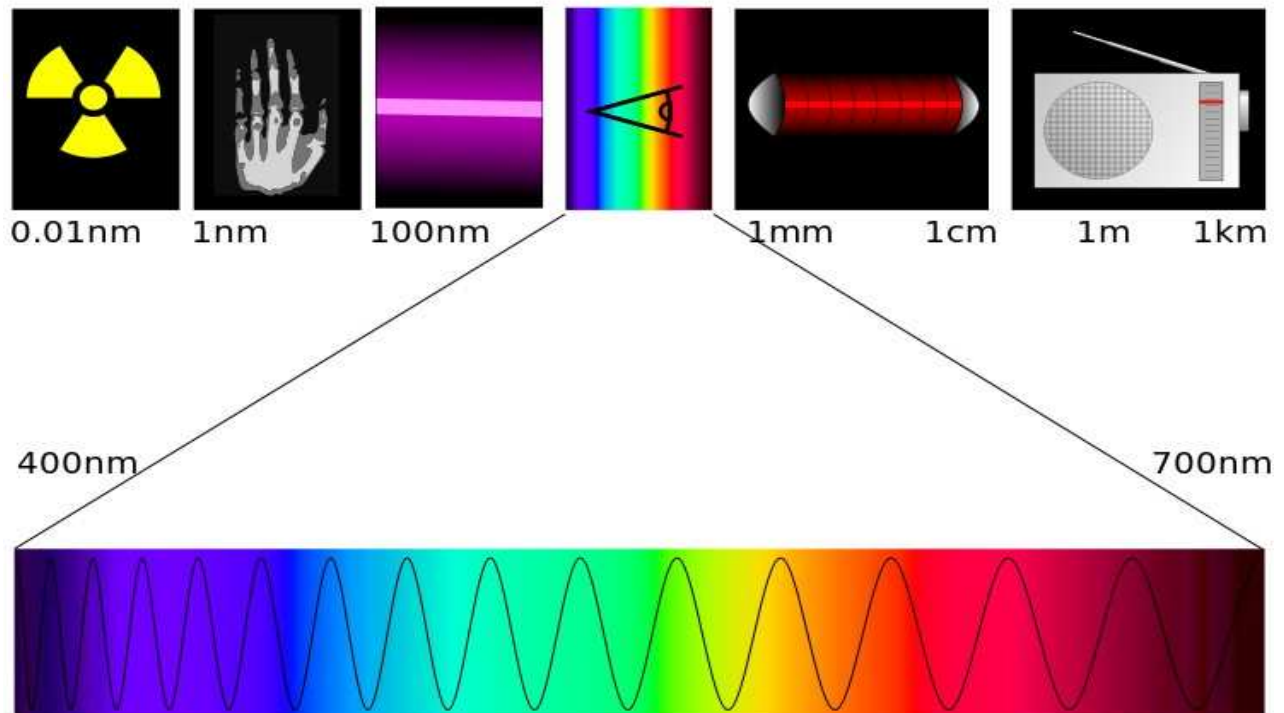


Figura 6: espectre electromagnètic. Font: <http://ca.wikipedia.org/wiki/Fitxer:Spectre.svg>

## 8.10. OXID CONDUCTOR TRANSPARENT

L'òxid conductor transparent utilitzat és l'òxid d'estany dopat amb fluor (FTO), i, com es veu en l'imatge 7, s'ha aplicat sobre el vidre per fer-lo conductor.

Es requereix que aquest material tingui unes transmissàncies majors del 80%, i que estiguin limitades per la llum reflectida per defectes.

Les resistències han de ser menors de  $10^{-4} \Omega\cdot\text{cm}$ , limitades per les impureses iòniques.

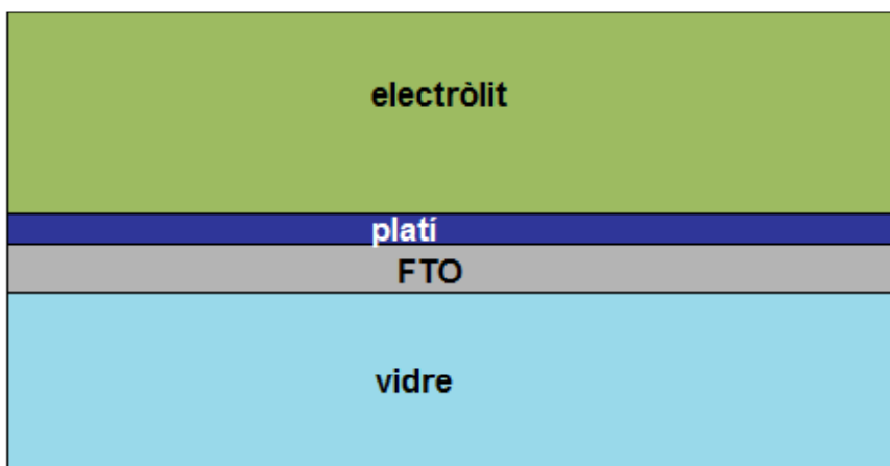


Figura 7: Estructura del vidre conductor. Font: elaboració Propia.

## 8.11. USOS ACTUALS I POSSIBLES APLICACIONS

Aquest tipus de cel·les no s'utilitzen molt actualment, però hi ha diverses empreses que treballen en el desenvolupament de tecnologies que les incorporen.

- No només proporcionen electricitat, sinó que també poden moderar la llum del sol (ombres i tendals) i proporcionar aïllament tèrmic. La cel·la solar Grätzel permet crear dispositius semitransparents o translúcids, que permeten la construcció de “**finestres fotovoltaïques**”, com veiem en la figura 8, que, segons indica el professor Juan Antonio Anta, del Departament de Sistemes Físics, Químics i Naturals de la UPO, deixarien passar la llum convertint-ne una part en electricitat. Per tant es podrien utilitzar en finestres, en edificis cristal·litzats... I es podria utilitzar, per exemple, el color negre o gris per edificis d'oficines, i altres colors més vius i expressius (groc, taronja, verd, marró...) en galeries d'art i sales de música.
- Una altra alternativa, afegeix Juan Antonio Anta, és la capacitat de fabricar cel·les flexibles que poden actuar com a **tendals** o ombres als edificis.
- L'empresa Konarka Technologies ha creat un **carregador per a mòbils** en forma de rotllo plegable com és veu a la figura 9. Aquest producte es troba en l'etapa de pre-producció. No han donat molts detalls sobre el producte ni el preu, però segons diuen hi haurà dues versions: una tindrà un cost més baix degut a que la potència de sortida dependrà del temps d'exposició a la llum i no podrà emmagatzemar l'energia, és a dir, només s'hi podrà carregar el mòbil mentre la placa estigui exposada al sol; la segona versió serà més cara i incorporarà una



Figura 8: Finestra amb cel·les fotovoltaïques.  
Font: [www.dyesol.com](http://www.dyesol.com)

bateria que permetrà carregar els dispositius mòbils fins i tot quan no hi hagi llum solar.

- També s'usa en carregadors que van incorporats en algunes motxilles.



*Figura 9: carregador solar de l'empresa Konarka.  
Font: <http://www.enerzine.com/603/7630+un-chargeur-solaire-en-rouleau-par-konarka+.html>*

## **8.12. AVANTATGES I INCONVENIENTS**

### **RESPECTE LES CEL·LES DE SILICI I ALTRES**

Les cel·les Grätzel presenten bastants avantatges respecte les cel·les de silici i les altres:

#### **PREU DELS MATERIALS**

Les cel·les Grätzel estan basades en materials més barats que no pas la resta de cel·les fotovoltaïques que utilitzen, per exemple, el silici.

#### **QUANTITAT**

Les cel·les DSSC utilitzen una capa que absorbeix els electrons molt prima, una única capa d'un colorant escampat en una gran àrea i el diòxid de titani de baix cost (TiO<sub>2</sub>). Per tant, aquestes cel·les utilitzen una quantitat de material baixa comparat amb les altres cel·les fotovoltaïques.

## NO TOXIC

Cap dels materials utilitzats en les DSSC actualment se sap que és tòxic, segons les normes i reglaments internacionals. El principal colorant a base de ruteni utilitzat

actualment ha estat provat biològicament (prova d'Ames) i s'ha trobat que no és mutagènic.

Com que les cel·les DSSC no usen matèries primeres tòxiques en la seva producció, hi ha un risc mínim de contaminació, i, per tant, les mesures de protecció addicionals en la producció són mínimes. En canvi, algunes cel·les fotovoltaïques es basen en materials molt tòxics com el cadmi o el seleni, utilitzats en les cel·les CdTe i l'energia fotovoltaïca CIGS.

## DISPONIBILITAT

Els principals materials químics usats en les DSSC són el carboni, l'oxigen, el nitrogen, l'hidrogen i el titani, i petites quantitats de platí i ruteni. A part dels dos últims, la resta són materials comuns i abundants. El material més crític en termes de recursos naturals és el ruteni.

En canvi la tecnologia solar CIGS (coure, indi, gal·li i diseleniur), necessita indi, un material que s'usa en pantalles LCD (utilitzades en algunes televisions i ordinadors), i en hi ha relativament poc, fet que també les encareix.

## NANOTECNOLOGIA

Una distinció important entre les cel·les DSSC i les altres cel·les fotovoltaïques és que les DSSC utilitzen la nanotecnologia. Un dels materials clau d'aquestes cel·les és de diòxid de titani nanoestructurat ( $\text{TiO}_2$ ), que és on s'ajunta el colorant, té propietats elèctriques, propietats òptiques úniques (com la transparència) i propietats mecàniques úniques (com la flexibilitat). Els nanomaterials es poden processar a temperatures molt més baixes (les partícules de  $\text{TiO}_2$  de mida micromètrica es processen al voltant de  $1000^\circ\text{C}$  i les nanopartícules de  $\text{TiO}_2$  al voltant dels  $500^\circ\text{C}$ ), per tant, s'estalvia energia en la seva producció.



## PURESA

Les tecnologies fotovoltaiques tradicionals depenen molt del processament al buit i necessiten materials d'alta puresa i una neteja estricta de l'entorn de fabricació, que s'aconsegueixen amb equips costosos. En canvi, les cel·les Grätzel només requereixen un control moderat de pols atmosfèrica i la humitat durant el muntatge.

## MUNTATGE

El seu muntatge és més fàcil que el de les cel·les de silici.

## SUBSTRATS

La tecnologia DSSC es pot aplicar sobre una àmplia varietat de substrats com el vidre, el metall i substrats polimèrics (polímers/ plàstics). Es pot aplicar sobre suports rígids i flexibles.

## EFICIÈNCIA

La seva eficiència actual és de l'11%, en canvi, la de les cel·les de silici cristal·lí és entre 15% i 18% i millora amb la temperatura a diferència de les cel·les convencionals, que perden un 4% de la seva eficiència a mesura que la temperatura s'eleva cada 10 °. Coneixedors del tema insisteixen en el problema d' <sup>29</sup> l'estabilitat al evaporar-se fàcilment els dissolvents utilitzats en les cel·les Grätzel, fet que provoca una disminució de l'eficiència.

## CONDICIONS METEOROLÒGIQUES

Les cel·les DSSC funcionen amb condicions meteorològiques molt diverses com: sol, ombra, cel nuvolat, llum d'interior, matinada, boira, fosc, cel contaminat, el latituds més altes (Europa, Àsia, Amèrica del nord) i no necessiten ser orientades cap al sol perquè són bifacials, és a dir, capten i converteixen la llum en electricitat pels dos costats del panell. En canvi, les de silici només funcionen quan

el sol hi incideix directament, per tant, quan fa un dia solejat i, a més, han d'estar, en la nostra latitud, amb una inclinació de aproximadament 45°.

## ESTÈTICA

Segons el professor Anta, un dels problemes que té l'ús de les cel·les solars als habitatges és l'aspecte estètic i la necessitat de grans superfícies. Per tant, l'avantatge que presenten les Grätzel és que es poden posar com a finestres, portes, claraboies, parets interiors separadores, etc. i són estèticament atractives, per tant, tenen moltes opcions d'integració. També tenen una transparència (figura 10) i presenten una certa varietat de colors, que depenen del colorant utilitzat. Fet pel qual molts arquitectes se senten atrets.

## PREU

En quant al possible preu de comercialització del producte, per tractar-se d'una "tecnologia experimental", encara està per definir, però podria suposar un estalvi de fins el 30% respecte les plaques de silici actuals, segons fonts consultades de les empreses que s'encarreguen de comercialitzar aquestes cel·les; Dyesol i Konarka.



*Figura 10: Cel·la solar Grätzel.*

*Font: [www.dyesol.com](http://www.dyesol.com)*

# 9. CONSTRUCCIÓ D'UNA CEL·LA SOLAR DSSC A L'ICIQ

## 9.1. DIATARI

### 1r dia:

El primer que vaig és netejar bé els vidres especials, vidres als quals se'ls ha aplicat una capa conductora de FTO (Óxid d'estany dopat amb fluor).

Primer els vaig netejar en un vas de precipitats amb aigua i sabó i ho vaig posar al sonicador durant 15 minuts, després es treuen els vidres conductors i es netegen amb aigua pura, es posen dins un vas de precipitats i ho tornem a posar 15 minuts al sonicador. Finalment els vaig netejar amb etanol i els vaig posar 15 minuts més al sonicador.

Quan es treuen els vidres conductors del vas de precipitats, els has de netejar un per un amb etanol i eixugar-los amb aire comprimit.

Mirem quina de les dues cares del vidre és la conductora i quina no ho és amb un **tester** per saber per on he de tallar. Es marca per la cara no conductora una línia a la meitat del vidre, posat de manera vertical i el tallem.

Vaig tornar a netejar el vidre amb etanol i el vaig assecar amb aire comprimit, per treure la pols i les ditades que hi pugessin haver.

Un cop net, poso el vidre a l'screen printing, mètode de deposició que utilitzarem, amb la part conductora cap a dalt. La plantilla que utilitzarem seran uns petits quadrats de 4 mm de costat.

Amb una espàtula de plàstic, perquè si fos de metall doparia l'òxid de titani (IV), es posa un punt de  $\text{TiO}_2$  al cap damunt de la plantilla i, sense deixar que la plantilla toqui al vidre, és a dir, aguantant-la una mica aixecada, passes amb un vidre i ho escampes cap avall. Baixem la plantilla i i tornem a passar per impregnar de  $\text{TiO}_2$ . Esperes 2 minuts i repeteixes el procediment un altre vegada. Fent aquest procés dos vegades aconseguixo  $4\mu\text{m}$ , que és el gruix que vull en aquest cas.

Ho deixo dins un recipient de vidre recobert amb paper d'alumini al forn, a  $120^\circ\text{C}$  durant cinc minuts, i repeteixo el procés a l'screen printing però substituint el

TiO<sub>2</sub> per scatter (partícules de TiO<sub>2</sub> més grans). Ho fem també dues vegades per obtenir 4 micròmetres de gruix, un cop ho tinc apunt es posa a la rampa. Aquest procés consisteix en posar la placa, ja amb les capes de TiO<sub>2</sub> i de scatter, en un forn, amb un programa que sotmet la peça a 325°C durant 5 minuts, després a 375°C durant 5 minuts, a 450°C durant 15 minuts i finalment, 500°C durant 15 minuts.

Mentre tinc els vidres al forn es poden començar a fer els contraelectrodes. També he de preparar els colorants, els naturals i els sintètics.

### CONTRAELECTRODE:

Per fer la part de sobre de la placa, utilitzaré un vidre que tallaré en forma de quadrat.

El primer que he de fer és marcar els vidres per on els tallaré, pel costat no conductor. Es fa un petit forat prop d'un dels costats i es talla el vidre per les marques fetes abans. Rentem els vidres tal com hem fet amb el vidre conductor: sonicar 15 minuts el vidre amb aigua milli-Q, aigua purificada i desionitzada, i sabó, a continuació sonicar el vidre 15 minuts amb aigua pura i, finalment, sonicar 15 minuts amb etanol.

Quan traiem els vidres del sonicador els netejarem amb etanol i aire comprimit i els guardem tancats en una capsa per evitar que hi quedi pols.

Agafem els vidres conductors on hem posat la capa de TiO<sub>2</sub> i scatter dins els pots on tenim els colorants i els hi deixarem reposar tota la nit.

### 2n dia:

Quan es treuen els vidres de dins els colorants, s'han de netejar amb etanol i assecar-los amb aire comprimit.

He de tenir el Surlyn, un plàstic que fon a 100°C, tallat i guardat dins d'un pot al buit.

Poso a la premsa el vidre conductor a sota, una capa de surlyng que haurem tallat en forma de quadrat amb un quadrat buit al mig, i el contra a sobre. Ho premsarem a 170° durant 15 segons, i la cel·la quedara sellada. Al posar-ho a la

premsa s'ha de tenir en compte que el forat per el qual posarem l'electròlit no quedi tapat i de que tinguem prou espai a les vores per després poder-hi posar estany.

Un cop el traiem hi hem de posar a dins l'electròlit, a través del forat que hem fet al contra, amb una xeringa, fins que sobresurti. Fem el buit amb un embut perquè l'electròlit entri dins. Ho repetim un altre cop per assegurar-nos que l'electròlit entra dins la placa.

Per tapar el forat posem el quadradet de surlyng que hem retallat de l'interior del quadrat gran i, a sobre, hi posem un cercle petit de vidre i ho soldem amb un soldador perquè no surti l'electròlit.

Hi soldem estany a les vores per poder mesurar i ja tenim la placa acabada.

En la realització d'aquestes plaques ens hem saltat alguns passos que no són necessaris pel que fem nosaltres però si per fer les plaques que utilitzen per investigar.

### **3r dia:**

Un cop acabades les cel·les (figura 11), mesurem el voltatge, l'intensitat i l'eficiència de les plaques en un aparell que ens dóna llum equivalent a 1 sun (màxima lluminositat solar).



*Figura 11: cel·les Grätzel. Font: eleaboració pròpia*

## 9.2. ELABORACIÓ DELS COLORANTS

En el meu cas utilitzo colorants naturals i colorants sintètics. Dels sintètics s'ha de preparar la dissolució i els naturals s'han de fer a partir de fruites, verdures, hortalisses...

### 9.2.1. Colorants naturals

Els colorants naturals que he utilitzat són fets a partir de cireres, taronja, gerds i espinacs:

- **Cireres:** s'aixafen 10 cireres amb un morter. Es deixen reposar i macerar dins un pot o un vol. Hi afegim una cullerada petita d'aigua perquè no ens quedi tan espès, i, finalment, ho colem amb un paper de filtre per obtenir així líquid.
- **Taronja:** aixafem una taronja i la deixem macerar, amb la pela sencera a dins.  
Ho fem passar per un paper de filtre i guardem el suc, que serà el nostre colorant.
- **Gerds:** aixafem 10 gerds i els deixem macerar. Com que ja queda líquid no hi afegim aigua. Ho filtrem amb un paper de filtre.
- **Espinacs:** aixafem 10 g d'espinacs frescos i hi afegim 10 ml d'acetona, ho posem dins del pot amb un parell més de fulles fresques sense aixafar i ho deixem macerar. Ho fem passar pel paper de filtre i obtindrem el colorant.
- **Llimona:** aixafem una llimona i la deixem macerar en un vol amb la seva pela a dins. Un cop ha reposat, ho passem pel paper de filtre i obtenim el colorant.

Per fer les plaques vaig haver de triar quatre dels cinc colorants, i no vaig utilitzar la llimona perquè era molt clar, s'assemblava a la llimona i vaig pensar que era el que tindria menor eficiència.

## 9.2.2. Colorants sintètics

La preparació de les dissolucions dels colorants sintètics les vaig fer barrejant el colorant amb un dissolvent, com a dissolvents vaig utilitzar acetonitril i etanol, i tcheno, un àcid que s'hi afegeix per evitar que s'agregui.

Els colorants sintètics que utilitzo són: D205 amb acetonitril i LS1 amb etanol.

El primer que s'ha de fer són els càlculs per saber la quantitat de colorant que necessito i la de dissolvent.

### - D205 amb acetonitril:

5ml. 0,5 molar. Pes molecular: 825,11 g/mol.

$$5 \text{ mL} \cdot \frac{0,0005 \text{ mols}}{1000 \text{ mL}} \cdot \frac{825,11 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \cdot \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 2,06 \text{ mg}$$

Tcheno: 1mmolar. 393 g/mol.

$$5 \text{ mL} \cdot \frac{0,001 \text{ mols}}{1000 \text{ mL}} \cdot \frac{393 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \cdot \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 1,96 \text{ mg}$$

### -LS1:

5ml. 0,125 molar. Pes molecular: 426,53g/mol.

$$5 \text{ mL} \cdot \frac{0,000125 \text{ mols}}{1000 \text{ mL}} \cdot \frac{426,53 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \cdot \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0,27 \text{ mg}$$

Tcheno: 1mmolar. 393 g/mol.

$$5 \text{ mL} \cdot \frac{0,001 \text{ mols}}{1000 \text{ mL}} \cdot \frac{393 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \cdot \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 1,96 \text{ mg}$$

# 10. MESURES DE LES CEL·LES

Colorant utilitzat	Número de la cel·la	Mesurades al sol (930x10 fc)		Mesurades a l'ombra (12x10 fc)	
		Voltatge (V)	Intensitat (mA)	Voltatge (V)	Intensitat (mA)
Gerds	35a	0.55	0.04	0.36	0
	35b	0.53	0.04	0.36	0
Cireres	36a	0.53	0.02	0.17	0
	36b	0.50	0.03	0.17	0
Taronja	37a	0.52	0.02	0.20	0
	37b	0.53	0.03	0.25	0
Espinacs	38a	0.58	0.002	0.23	0
	38b	0.61	0.01	0.20	0
LS1- etanol	39a	0.64	0.38	0.37	0
	39b	0.64	0.16	0.40	0
D205-ACN	40a	0.65	1.03	0.39	0
	40b	0.55	0.35	0.20	0

A la taula anterior podem veure les mesures de voltatge, en volts, i d'intensitat, en amperes, que he obtingut mesurant les cel·les amb un tester, primer al sol i després a l'ombra.

He pogut comprovar que, en general, els colorants naturals donen menys voltatge i menys intensitat que els colorants sintètics.

Si comparem els resultats del voltatge al sol o a l'ombra veiem que els mesurats al Sol són, aproximadament, el doble que els mesurats a la ombra. I la intensitat a l'ombra no era mesurable amb l'escala de mil·liamperes, però, segurament, mesurat en microamperes ens hagués donat un valor detectable.

També he mesurat el voltatge de les cel·les posat entre elles i la llum un paper translúcid de color: vermell, blau i verd, per veure si l'eficiència era la mateixa o variava. I he pogut comprovar que l'eficiència baixa, però no molt amb els tres colors. Amb el color vermell gairebé no disminueix i amb el que més disminueix



és amb el de color blau, segurament perquè és el paper més fosc i deixa passar menys la llum.

## 11. GRÀFICS DE LES CEL·LES

### 11.1. Espectres d'absorció

A les pàgines següents veiem els espectres d'absorció dels espinacs, les cireres, la taronja, la llimona (encara que finalment no l'he usat en les plaques), l'LS1 i el D205- ACN. He de dir que a l'hora de fer l'espectre d'absorció dels gerds vaig tenir problemes amb les mesures i els resultats i no vaig poder crear el gràfic.

Cireres: en el gràfic de les cireres veiem que les longituds d'ona que millor absorbeix són els 400 nm, i va disminuint l'absorbència a mesura que s'acosta cap als 700- 800 nm.

Taronja: les longituds d'ona que millor absorbeixen les plaques amb aquest colorant són molt poques, dels 400 nm als 411 nm, i, a partir d'aquest últim valor, disminueix l'absorció a mesura que s'acosta cap als 700- 800 nm.

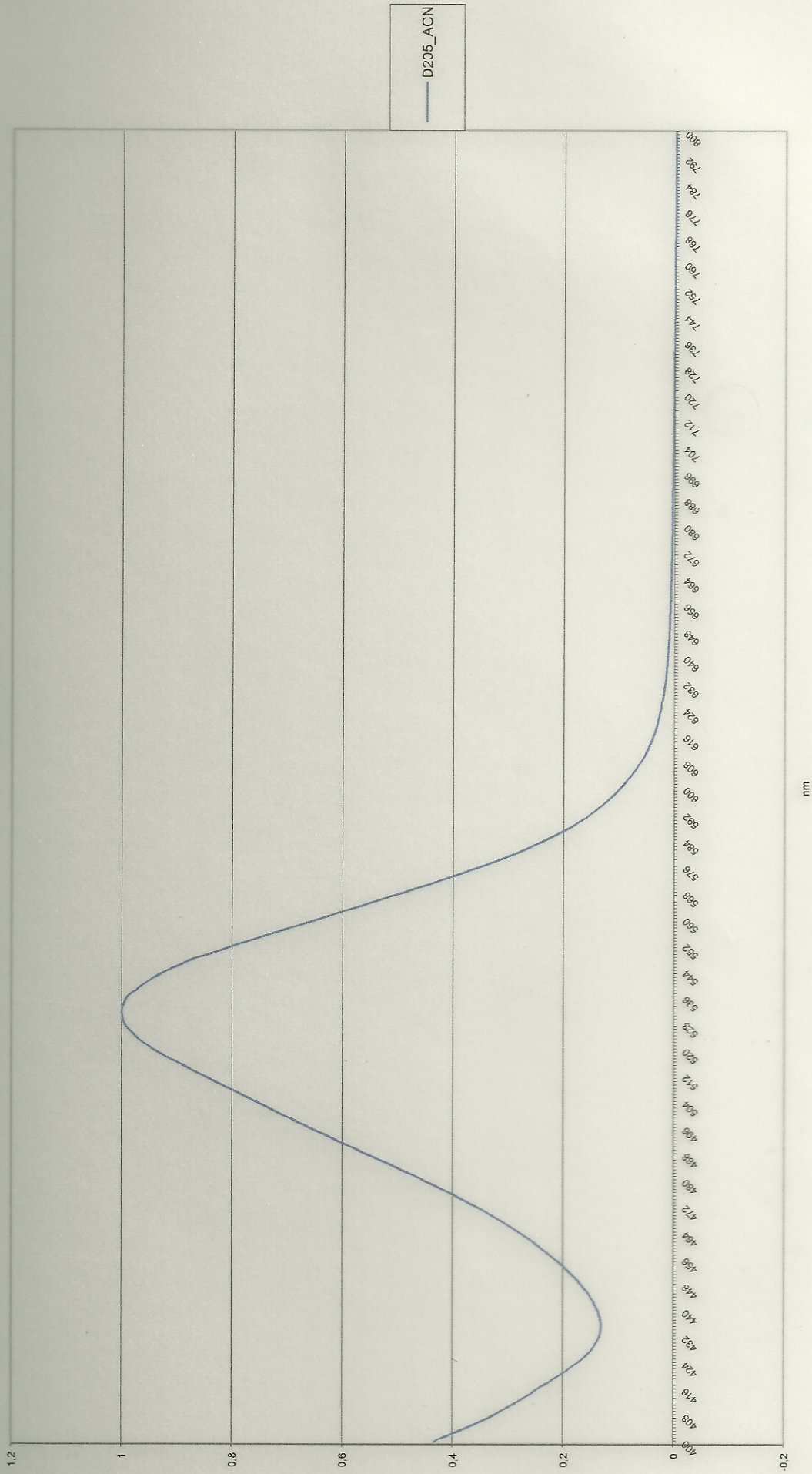
Llimona: absorbeix millor les longituds d'ona entre els 400 i els 444 nm, i a partir d'aquest valor, l'eficiència baixa de manera bastant constant.

LS1: les longituds d'ona que absorbeix millor són entre els 420 i els 530 nm aproximadament.

D205-ACN: les longituds d'ona que absorbeix millor són entre els 480 i els 580 nm aproximadament.

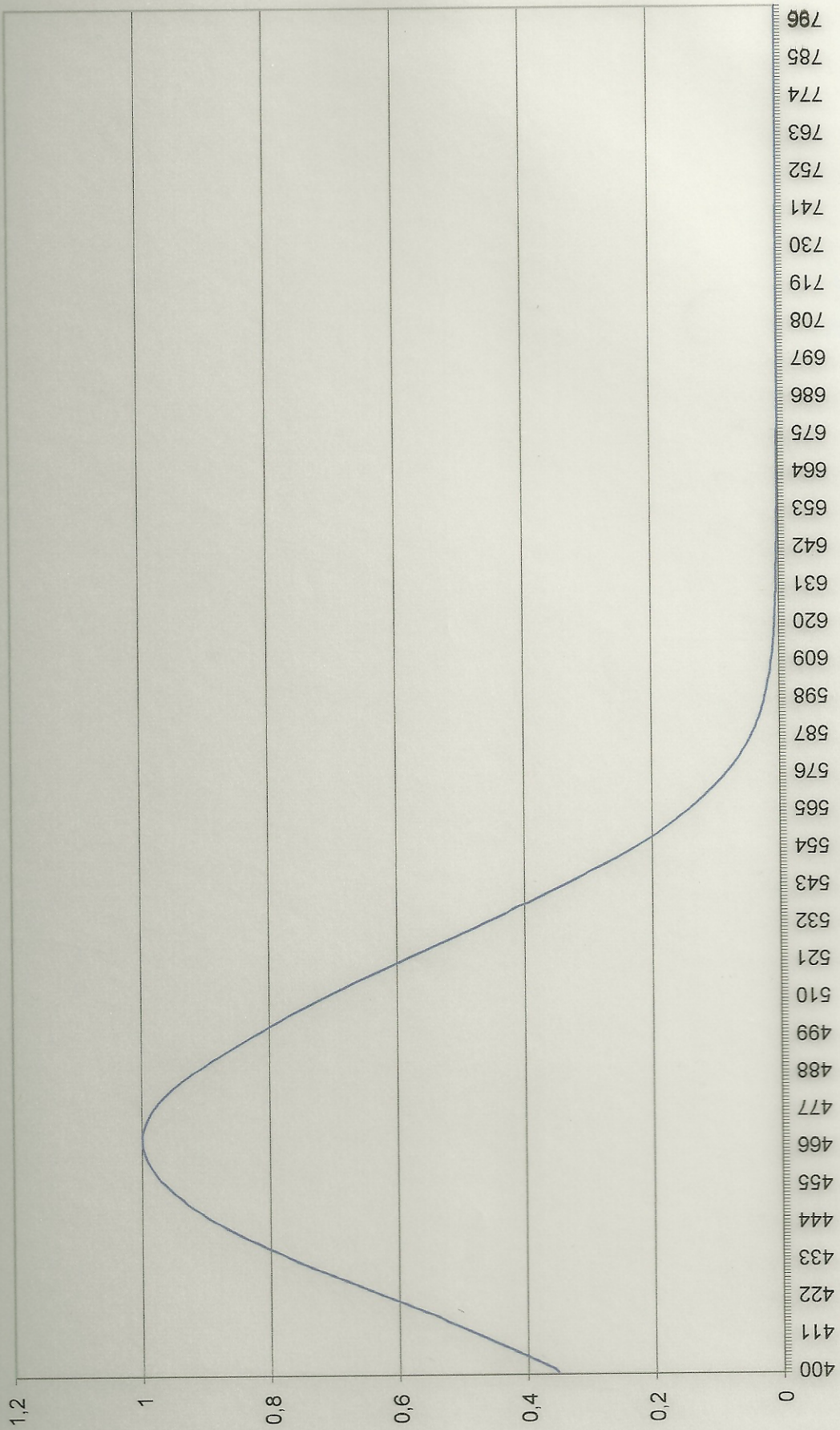
Els colorants sintètics absorbeixen un nombre de longituds d'ona més grans i millor que els colorants naturals, l'absorció dels quals baixa molt més ràpid.

D205\_ACN





LS1



LS1

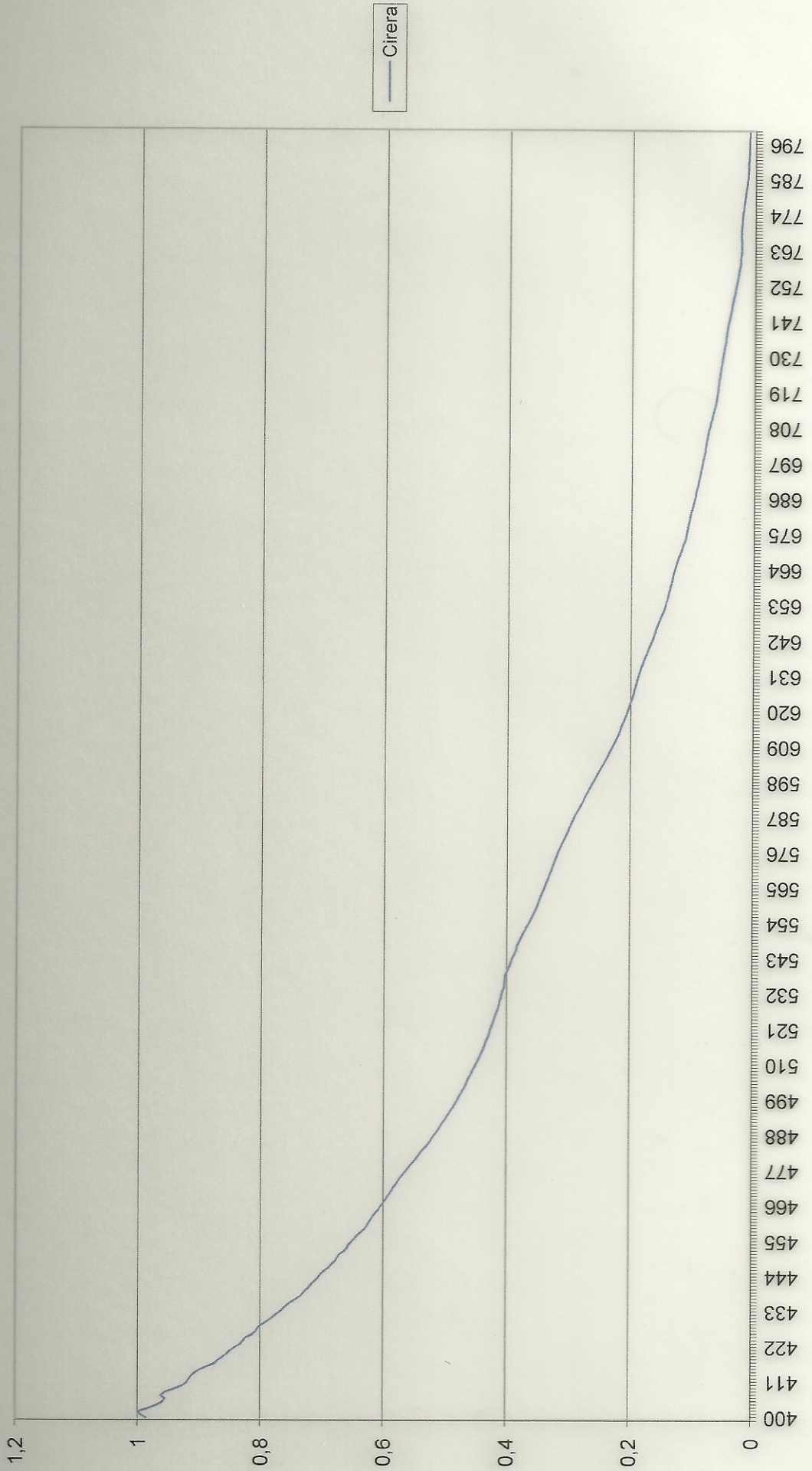


Espinacs



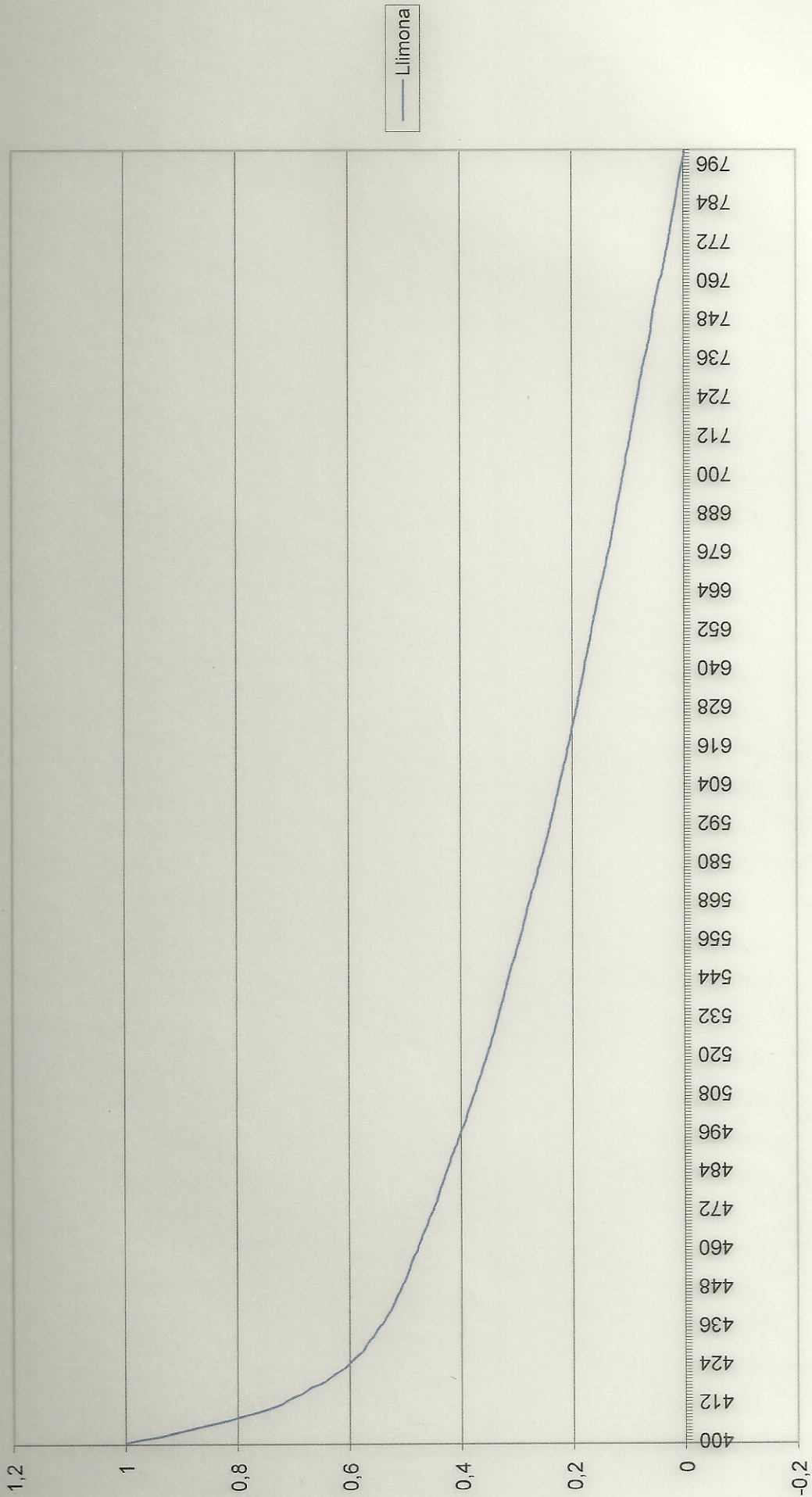


Cirera





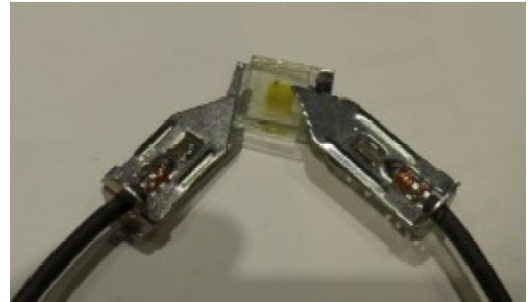
Llimona



## 12. APLICACIÓ: ENCENDRE UN LED

Un cop he tingut les cel·les construïdes, he buscat una aplicació per comprovar el seu funcionament.

El primer que vaig fer va ser buscar un fil de coure que em permetés ajuntar una cel·la amb l'altre, però per aguantar el fil amb la placa no tenia pinces tant petites i vaig haver d'utilitzar uns tacs metàl·lics (figura 12) que van anar força bé.



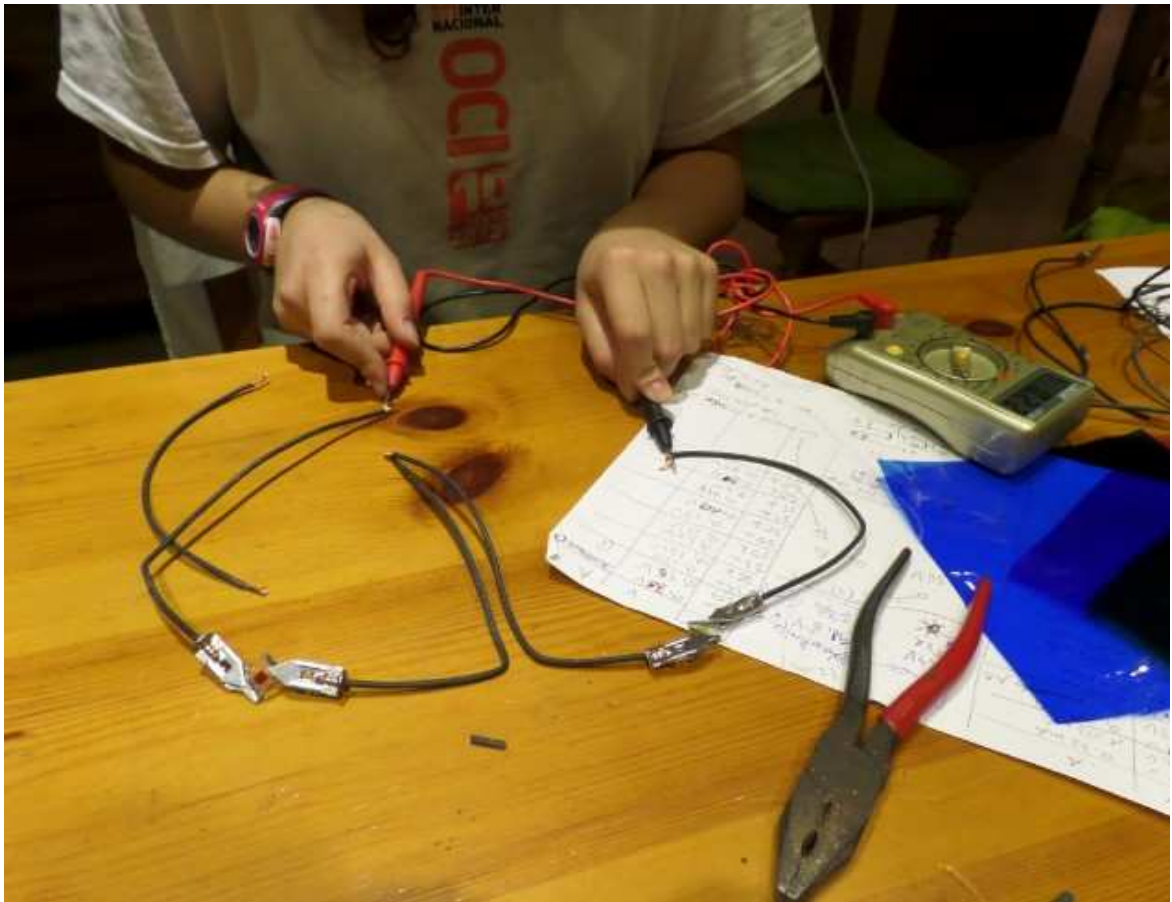
*Figura 12: cel·la connectada amb un fil de coure mitjançant dos tacs. Font: elaboració pròpia*

Per fer llum vaig fer servir dos focus halògens de 500W cadascun que donaven una llum d'intensitat molt semblant a la que ens arriba del Sol a les dues del migdia a l'estiu.

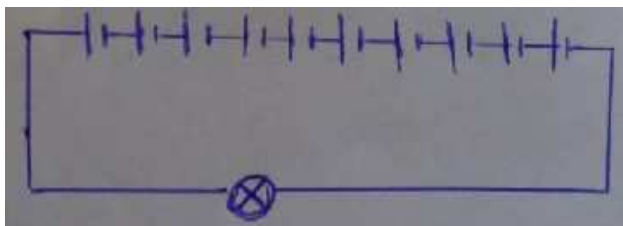
Com hem vist anteriorment en la taula de mesures, els voltatges i intensitats que donaven cada cel·la eren baixos, per tant, amb una de sola no en tenia prou per fer funcionar el led.

Les vaig posar en sèrie (figura 13 i 14), ja que posades així s'augmenta el voltatge, que ens donava 3.2 volts. Aquest voltatge va permetre que el led s'encengués durant un moment, ja que quan connectaves el led a les cel·les, aquestes tenien una caiguda de tensió deguda a la resistència interna del led, i, perquè es tornés a encendre, tenia que obrir el circuit per deixar que les cel·les es recuperessin i tornar-lo a tancar perquè tornés a funcionar el led.

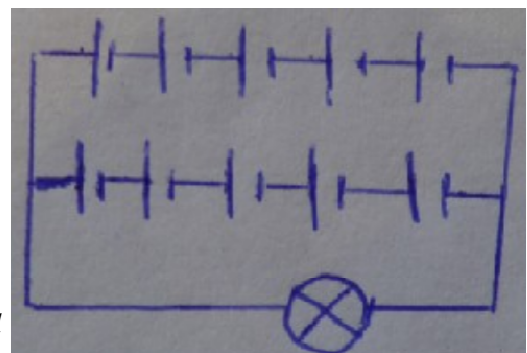
Després vaig posar 5 cel·les en sèrie, connectades amb paral·lel amb 5 cel·les més en sèrie (figura 15) D'aquesta manera vaig aconseguir un voltatge de 1.7 volts i una intensitat més elevada però el voltatge que em donaven era massa baix per encendre el led.



*Figura 13: dues cel·les solars Grätzel connectades en sèrie. Font: elaboració pròpia*



*Figura 14: esquema cel·les en sèrie connectades al led. Font: elaboració pròpia*



*Figura 15: esquema cel·les solars en paral·lel connectades al led. Font: elaboració pròpia*



# 13. CONCLUSIÓ

En aquest treball pretenia aprendre sobre aquestes plaques i donar-les a conèixer i ho he pogut fer.

He pogut veure que aquestes cel·les tenen molts avantatges respecte la resta de cel·les fotovoltaïques; en quant al preu, materials, característiques...

A l'apartat d'encendre el led és en el que he tingut més dificultats, ja que connectades en sèrie tenia prou voltatge però només s'encenia durant un instant. I connectades cinc en sèrie en paral·lel amb cinc més en sèrie no em funcionava . Per tant, podria dir que les cel·les que he construït no tenen prou potència per encendre un led de 2 volts.

Amb les gràfiques d'absorció podem veure que totes les cel·les que he construït tendeixen a absorbir millor l'espectre electromagnètic de la llum visible corresponent al color violeta-blau.

Per tant, necessitaríem desenvolupar colorants capaços d'ampliar el seu rang espectral cap a la regió de l'infraroig pròxim (900nm), i d'aquesta manera, podríem augmentar l'eficiència de conversió tot aprofitant la màxima energia possible que ens arriba del Sol.

Per fer-ho es podria intentar barrejar diferents colorants que permetessin l'ampliació del rang espectral absorbit.

Per altra banda, s'haurien de desenvolupar electròlits poc volàtils per aconseguir cel·les més estables en el temps.

Amb aquest treball he vist que amb aquest tipus de plaques es poden cobrir les necessitats energètiques d'un edifici aprofitant diversos elements d'aquest.

## 14. AGRAÏMENTS

La realització d'aquest treball no hagués estat possible sense les persones que han estat al meu costat durant tot el procediment de recerca.

Per començar, agraeixo a l'ICIQ, sobretot al doctor Emilio Palomares i a la professora Laia Pellejà, per haver-me proporcionat el material i el procediment necessaris per construir les cel·les i per haver-me deixat anar al centre de Tarragona i treballar amb les cel·les allà.

També vull donar les gràcies a la meua família, sobretot al meu pare, per haver-me ajudat durant tot el treball, sobretot en la part pràctica, alhora de construir el muntatge amb sèrie i en paral·lel i a calcular el voltatge i la intensitat al sol i a l'ombra.

Vull donar les gràcies al tutor per ajudar-me a comunicar-me amb l'ICIQ, per haver baixat al centre i per ajudar-me a resoldre els dubtes que anaven sorgint.

## 15. BIBLIOGRAFIA WEB

Presentacions i informació cedides per l'ICIQ.

[http://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/hdl\\_2072\\_170112/PFC\\_JaumeCollMir.pdf](http://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/hdl_2072_170112/PFC_JaumeCollMir.pdf)

(consulta: 2-8-2013)

[http://www.ucsusa.org/clean\\_energy/smart-energy-solutions/increase-renewables/barriers-to-renewable-energy.html](http://www.ucsusa.org/clean_energy/smart-energy-solutions/increase-renewables/barriers-to-renewable-energy.html) (consulta: 20-9-2013)

<http://www.youtube.com/watch?v=8mGLcdanBME> (consulta: 8-10-2013)

[http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17322/tesisUPV3943\\_ResumenValenciano.txt?sequence=4](http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17322/tesisUPV3943_ResumenValenciano.txt?sequence=4) (consulta: 2-8-2013)

[http://www.pcb.ub.edu/homepcb/docs/pdf/activitats/Recerca%20en%20Directe/FIRA2011/poster\\_ICIQ\\_FIRA11.pdf](http://www.pcb.ub.edu/homepcb/docs/pdf/activitats/Recerca%20en%20Directe/FIRA2011/poster_ICIQ_FIRA11.pdf) (consulta: 8-9-2013)

<http://docencia.udea.edu.co/cen/QuimicaAnaliticaII/glos2.html> (consulta: 8-9-2013)

[http://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/hdl\\_2072\\_197192/TR\\_PauBoschJimenez.txt](http://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/hdl_2072_197192/TR_PauBoschJimenez.txt)  
(consulta: 8-9-2013)

<http://maestroviejo.wordpress.com/2012/04/10/dioxido-de-titanio-compuesto-blanqueante-que-interfiere-con-el-adn-y-la-fertilidad/> (consulta: 4-8-2013)

[http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/ficha/params/title/sintesi-nanoparticules-tio2-facilment-processables-i-seu-us-per-fabricar/id/55504426.html](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/sintesi-nanoparticules-tio2-facilment-processables-i-seu-us-per-fabricar/id/55504426.html) (consulta: 4-8-2013)

[http://phobos.xtec.cat/cdec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=84&Itemid=89](http://phobos.xtec.cat/cdec/index.php?option=com_content&view=article&id=84&Itemid=89) (consulta: 9-10-2013)

<http://www.edu365.cat/batxillerat/ciencies/taula/espectros/spespectro.html> (consulta: 9-10-2013)

<http://www.cefax.org/eso/llum/espectres.html> (consulta: 12-10-2013)

<http://www.interempresas.net/Industria-Quimica/Articles/29976-El-futur-de-l-energia-solar-passa-per-la-fotosintesi.html> (consulta: 12-10-2013)

<http://www.elmundo.es/elmundo/2009/07/08/suvienda/1247073056.html?a=c49024f8be58f2be822b01d70bc84730&t=1381654191> (consulta: 14-10-2013)

<http://www.enerzine.com/603/7630+un-chargeur-solaire-en-rouleau-par-konarka+.html> (consulta: 7-10-2013)

<http://www.dyesol.com/about-dsc/advantages-of-dsc> (consulta: 13-10-2013)

<http://www.mpoweruk.com/gratzel.htm> (consulta: 13-10-2013)