

A close-up photograph of a human hand holding a bright, glowing orb. The orb emits a starburst of light rays, creating a lens flare effect. The background is a clear, bright blue sky. The overall image conveys a sense of hope, energy, and future potential.

# EL FUTUR DE L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Treball de Recerca

Classe: 2n Bat B

Curs: 2013/14



# 1.PRÒLEG

Abans de prendre la decisió definitiva i triar les cel·les solars de Grätzel com el tema del treball, vaig estar dies pensant-t'ho, ja que no ho tenia gaire clar. Al principi vaig pensar en temes que m'agradesin i que formessin part de la meua vida, com ara la música o l'esport. Però escollir un tema concret no era fàcil. A més, no volia relacionar l'institut amb coses que m'ajuden a evadir-me d'ell. Així que vaig optar per escollir un dels temes proposats pel professorat. Vaig tenir clar agafar un tema relacionat amb la física o la química, ja que són dos assignatures que em van força bé i que m'agraden. Llavors no em va resultar difícil triar, perquè al veure un tema relacionat amb l'energia solar, vaig pensar que el meu pare em podria ajudar, ja que sap moltes coses sobre aquest àmbit. A més, la professora que em faria de tutora si l'elegia, m'ho va proposar i em va explicar més específicament sobre que tractava. Després que m'ho hagués explicat vaig quedar convençut totalment, i el vaig escollir.

Durant la realització del treball m'he sentit molt còmode, ja que el vaig començar a l'estiu amb una visita a l'Institut Català d'Investigació Química de Tarragona (ICIQ). Allí vaig poder realitzar tota la part pràctica del treball durant una setmana del mes de juliol. Vaig poder treballar en un laboratori d'investigació, juntament amb altres alumnes d'altres instituts de Catalunya. A poc a poc l'he anat enllestit al llarg del primer trimestre, quedant sovint amb la tutora. Una vegada finalitzat el treball em sento content i a gust amb mi mateix per haver pogut organitzar el treball amb suficient temps i de forma ordenada.

## **2.INTRODUCCIÓ**

Aquest treball tracta sobre l'energia solar fotovoltaica i quina pot ser l'alternativa a les plaques solars convencionals. En un principi consta d'una introducció teòrica sobre l'energia solar fotovoltaica convencional, i l'ús de les cel·les solars de silici. Posteriorment, es planteja l'alternativa a aquestes, que consisteix en unes cel·les solars anomenades cel·les solars de Grätzel, que es construeixen amb materials més econòmics i avantatjosos en comparació amb les actuals de silici. El treball està estructurat en: una part teòrica, on es parla de la transformació d'energia solar en energia elèctrica (història, aplicacions...), i on després d'haver explicat el funcionament de les plaques solars actuals i haver esmentat les alternatives que existeixen, es comparen aquestes amb les del treball (Grätzel) i es plantegen els avantatges i inconvenients de cadascun; i una part pràctica en la que s'explica pas a pas com es construeixen aquestes cel·les solars de Grätzel. Aquest és un procés molt laboriós, durant el qual cal tenir controlats diferents factors, ja que si no, el resultat d'eficiència de la cel·la pot variar molt.

L'objectiu definitiu de la recerca és, a partir de la informació trobada i de les conclusions extretes, possibilitar l'opció de considerar les cel·les solars de Grätzel un nou projecte de futur per a l'energia solar fotovoltaica.

## **3.LES FONTS D'ENERGIA**

Anomenem fonts d'energia a tots els recursos materials i fenòmens naturals utilitzats per extreure energia útil per a les activitats humanes. Ho són, per exemple, el vent, l'aigua, el carbó, el Sol, entre d'altres. Però entre la producció d'energia d'aquestes hi ha una diferència fonamental, la qual ens permet classificar-les de la següent manera:

- Producció d'energia renovable: Són les anomenades energies netes no contaminants, i es caracteritzen perquè la seva quantitat és pràcticament inesgotable. Es considera que es regeneren, o es renoven, naturalment de manera més ràpida a la velocitat que les consumim. Les energies renovables es coneixen com "energies alternatives" comparades amb el model energètic tradicional, tant per la seva disponibilitat, com pel seu menor impacte ambiental. Formen part d'aquest grup les energies produïdes a partir del sol (solar), del vent (eòlica), de l'aigua (mareomotriu, hidroelèctrica...),etc.
- Producció d'energia no renovable: Són les anomenades energies exhauribles, i es caracteritzen perquè la seva quantitat és limitada i s'esgoten progressivament en consumir-les. A més, les reaccions produïdes en el procés de combustió d'energies no renovables expulsen residus contaminants que són perjudicials pel medi ambient, i per tant estem parlant d'un impacte ambiental. Actualment, les principals fonts d'energia són les que procedeixen de la combustió d'energies no renovables: carbons minerals, petroli i gas natural.

### **3.1. Producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables**

Les principals energies renovables generadores d'electricitat són la hidroelèctrica, l'eòlica, la solar, la geotèrmica i la mareomotriu. Però, si analitzem cadascuna, arribem a la conclusió de que tota l'energia que utilitzem cada dia té relació amb el Sol:

- L'energia hidroelèctrica es pot generar perquè el Sol evapora l'aigua dels oceans i forma els núvols que, amb la pluja, ompliran els embassaments.

- L'energia eòlica es produeix quan el Sol escalfa parts de l'atmosfera i provoca desplaçaments d'aire, anomenats vents.

I en relació a les energies no renovables:

- Els combustibles fòssils es van produir per la descomposició de plantes que fa milions d'anys van emmagatzemar energia solar en forma de compostos del carboni.

A més, l'energia que consumim per moure els nostres músculs prové de les fruites i verdures que mengem, o de carns d'animals que a la vegada també van menjar les plantes. Aquestes plantes, gràcies a l'energia solar van convertir el CO<sub>2</sub> en aigua i materials nutritius mitjançant la fotosíntesi.

Per tant, arribem a la conclusió de que la font primordial d'energia del planeta és el Sol, i que la utilització directa de l'energia solar permetria solucionar l'esgotament progressiu de les energies fòssils, ja que en reduir el consum d'aquestes, també disminuiria l'emissió de gasos, al mateix temps que minvaria l'efecte hivernacle. Una altra dada molt important, és que l'energia que arriba del Sol es immensa (en un sol dia, la Terra rep una quantitat propera a 12000 vegades la que consumeix tota la seva població).

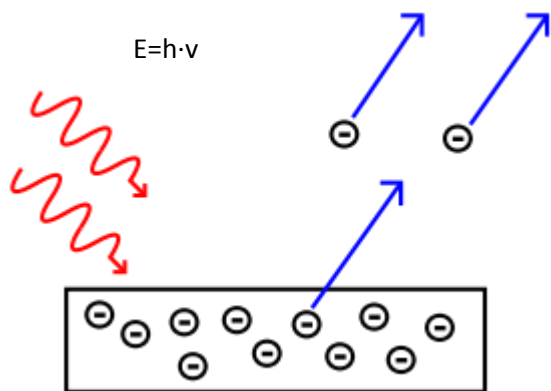
## **4.L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

L'energia solar fotovoltaica es basa en l'obtenció d'energia elèctrica a través de dispositius semiconductors anomenats cel·les fotovoltaïques, que en rebre radiació solar s'exciten, provoquen salts electrònics i una petita diferència de potencial tipus díode (el corrent elèctric circula en un únic sentit) en els seus extrems.

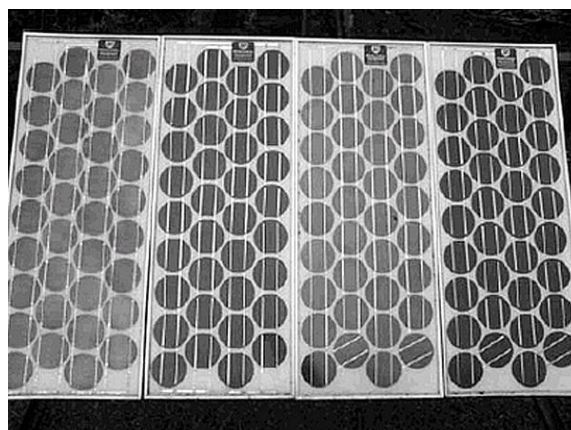
La capacitat total de les energies renovables a nivell mundial van superar els 1470 GW l'any 2012. L'energia eòlica va representar aproximadament un 39% de la capacitat energètica renovable, seguida de l'energia hidroelèctrica i fotovoltaica, les quals van representar un 26% respectivament. L'energia fotovoltaica va assolir els 100 GW, superant la bioenergia i posicionant-se com la tercera energia renovable més gran en termes de capacitat d'operació, després de l'energia hidroelèctrica i eòlica.

### **4.1.Procés al llarg de la història**

L'efecte fotovoltaic fou reconegut l'any 1839 pel físic francès Alexandre-Edmond Becquerel. Tot i això, la primera cel·la solar la va fabricar Charles Fritts utilitzant com a semiconductor el seleni amb una fina capa d'or. Aquest primitiu dispositiu presentava una eficiència menor de l'1%. Els estudis realitzats al segle XIX per Michael Faraday, James Clerk Maxwell, Nikola Tesla i Heinrich Hertz sobre inducció electromagnètica, forces elèctriques i ones electromagnètiques, i sobretot els de Albert Einstein a l'any 1905, van proporcionar la base teòrica a l'efecte fotoelèctric, que és el fonament de la conversió d'energia solar a electricitat. La cel·la solar moderna fou patentada l'any 1946 per Russell Ohl, tot i que Sven Ason Berglund havia patentat amb anterioritat, l'any 1914, un mètode amb l'objectiu d'incrementar la capacitat de les cel·les fotosensibles.



Efecte fotoelèctric



Primera cel·la solar de Charles Fritts

L'any 1954 va arribar als Laboratoris Bell l'era moderna de la tecnologia solar, quan aquests, de manera accidental, van descobrir que els semiconductors de silici dopat amb certes impureses eren molt sensibles a la llum. Aquests avenços van contribuir a la fabricació de la primera cel·la solar comercial. Van emprar una unió difusa de silici, amb una conversió de l'energia solar de aproximadament 6%, un èxit comparat amb les cel·les de seleni que difícilment assolien el 0,5%. Posteriorment el nord-americà Les Hoffman, a través de la seva divisió de semiconductors, va millorar notablement l'eficiència de les cel·les fotovoltaïques fins al 14%, reduint els costos de fabricació per aconseguir un producte que pogués ser comercialitzat. En pocs anys es va substituir el seleni i es va començar a utilitzar el silici com a material bàsic per a les cel·les.

El gran camp d'aplicacions de les cel·les solars va començar als anys 60 a l'espai, on aquestes tenien la funció d'alimentar un satèl·lit. Aleshores va ser quan es van adonar de que les cel·les solars es podien aplicar en altres camps.

L'any 1973 investigadors de *Solar Power Corporation* van construir "Solar One", la primera casa on les plaques fotovoltaïques instal·lades al sostre tenien doble efecte: aconseguir energia elèctrica i actuar de col·lector solar escalfant l'aire sota d'elles per portar-lo a un intercanviador de calor.

Anys després, al 1978, es va instal·lar un sistema fotovoltaic de 3.5-kW a una reserva índia, utilitzat per bombejar aigua i abastir quinze cases. Posteriorment es van crear instal·lacions de tot tipus, com senyalitzacions marítimes i ferroviàries, o antenes de comunicacions.

Al 1983 la producció mundial d'energia fotovoltaica supera els 20 MW a l'any, i les ventes creixen considerablement.



A la dècada dels 90 es van fer tot tipus de proves com ara la construcció d'un avió alimentat per 3000 cel·les fotovoltaïques que sobrevola Alemanya. L'any 1998 s'assoleix un total de 1000 MW de sistemes fotovoltaïcs instal·lats.

A mesura que foren passant els anys, cada cop es consumia més energia solar fotovoltaïca, com ara l'any 2007 en que es van produir més de 2000 MW de mòduls fotovoltaïcs.

## 4.2.El futur de l'energia solar fotovoltaïca

Actualment, diversos factors permeten ser optimistes pel que fa al futur de l'energia solar fotovoltaïca. Per una banda tenim els avenços tecnològics que es van succeint, i per una altra el suport institucional que donen les dos grans potències comercials i de consum del món, la UE i EEUU, a les energies renovables.

Pel que fa als avenços tecnològics, trobem les alternatives a les cel·les de silici, que ja comencen a ser viables. Es tracta de pel·lícules fines i flexibles que tenen un cost de fabricació econòmic i uns rendiments entre el 5% i el 20%. Aquestes alternatives són dues:

Per una part tenim les anomenades tecnologies CIS ( coure, indi, seleni) i CIGS (coure, indi, gal·li, seleni). Aquestes tenen un caràcter flexible i són molt lleugeres, fet que fa possible la seva aplicació en avions, automòbils i qualsevol altra superfície irregular. A més, el seu baix cost econòmic permet la aplicació massiva en grans superfícies com ara sostres de naus industrials o de cases.



Tecnologies CIGS

Per altra part trobem les anomenades **cel·les orgàniques**, amb un rendiment per sobre del 10%, i les **DSSC “dye-sensitized solar cells”**, (cel·les solars de tipus sensibilitzat per tinta), amb un rendiment pròxim al 13%. Aquestes són les que tractarem al treball.



**Cel·les solars DSSC**

El suport institucional sembla que pot arribar a ser decisiu. La UE va aprovar al 2008 que almenys el 20% de l'energia de la Unió Europea provingui de les fonts renovables. Per part de EEUU, ha anunciat la decisió d'apostar fort per les energies renovables amb uns objectius d'implantació molt semblants als de la UE.

### **4.3. Funcionament i usos de les plaques solars convencionals**

La conversió de l'energia llumínica provinent del sol en energia elèctrica, es basa en l'efecte fotoelèctric. Per a dur a terme aquesta conversió s'utilitzen les cel·les solars. Aquestes cel·les fotovoltaïques estan compostes d'una fina làmina d'un material semiconductor format principalment per silici, que al exposar-se a la llum del sol absorbeix els fotons de llum. Els electrons lliures dels àtoms de silici reben aquesta energia, que els posa en moviment; aquest moviment d'electrons és el que genera l'electricitat.

Una instal·lació fotovoltaica està composta per un grup generador, format per una extensió de panells solars fotovoltaïcs, un regulador de carga, un grup acumulador i un inversor. Durant les hores d'insolació, els panells fotovoltaïcs produeixen energia elèctrica en forma de corrent continu que és emmagatzemada als acumuladors. En els

moments de consum energètic, els acumuladors subministren als receptors aquesta electricitat, que és transformada en corrent altern per l'inversor.

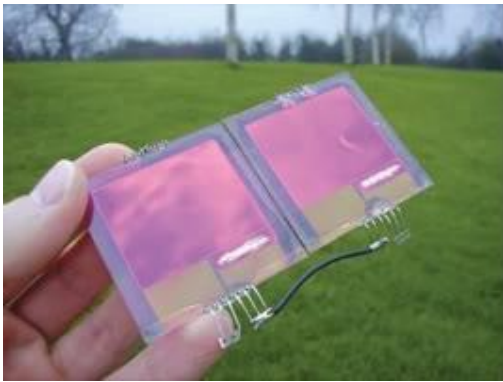


**Instal·lació fotovoltaica formada per plaques convencionals de silici.**

Principalment aquest tipus d'energia s'usa per a l'alimentació d'aparells autònoms, per proveir refugis o cases aïllades de la xarxa elèctrica i per produir electricitat a gran escala a través de xarxes de distribució. Entre moltes de les seves aplicacions trobem algunes com ara ho són sistemes d'autoconsum fotovoltaic, subministrament elèctric d'instal·lacions mèdiques en àrees rurals, sistemes de comunicacions d'emergència, sistemes de protecció catòdica, de dessalinització, etc.

## **5. Les cel·les solars orgàniques i les DSSC**

Aquest tipus de cel·les són les que centren el treball. Es tracta de cel·les solars, en les que almenys la capa activa es compon de molècules orgàniques. Van aparèixer l'any 1990 amb l'objectiu de reduir el cost de l'electricitat fotovoltaica. El baix cost dels semiconductors orgànics entre els que destaquen els polímers, petites molècules de materials que es dipositen per evaporació tèrmica, els converteixen en una alternativa molt més accessible.



**Cel·la solar orgànica**

Tot i que encara queda molt per fer, hi ha un nombre elevat d'avantatges de les cel·les solars orgàniques davant de les convencionals de silici. Evidentment, l'avantatge principal d'aquestes cel·les és el baix cost econòmic que tenen, a diferència de les convencionals que una de les raons per les que es volen substituir és la seva despesa energètica. Aquest tipus de cel·les són molt fines, lleugeres i flexibles, fet que permet que es puguin utilitzar en llocs on no es poden instal·lar els mòduls rígids de silici. A més aquestes cèl·lules es poden colorar (molt important en l'aplicació de la indústria de roba) i també es poden fer transparents (es podrien utilitzar com a finestres de vidre). Un altre dels avantatges que tenen és el fet que aquestes cel·les no necessiten la incidència directa del sol, com en el cas de les convencionals de silici, motiu pel qual s'utilitzen seguidors solars, que encareixen la instal·lació. Un fet que fa tenir molts punts a favor en aquesta tecnologia és la previsió per part de les empreses que treballen en el seu desenvolupament de que en poc temps, les cel·les solars

fabricades amb semiconductors orgànics, podran generar electricitat d'una forma molt més eficient i competitiva que les actuals, fabricades amb silici. A més es poden comercialitzar. Per exemple: carregadors, làmpades, etc.

Per altra banda, si comparem les eficiències de les plaques convencionals de silici, les quals estan en un 25%, amb les de les cel·les orgàniques i les DSSC, que poden arribar al 13%, podem comprovar que hi ha una notable diferència. Tot i això, els avantatges anomenats anteriorment, converteixen l'alternativa en un projecte molt beneficiós per al futur de l'energia solar fotovoltaica.

Malgrat els seus inconvenients, s'ha de tenir en compte que el seu major potencial es basa en la seva versalitat i la seva capacitat de disposar d'aplicacions innovadores, com per exemple la roba, les finestres o petits electrodomèstics, fet que obre un mercat que les cel·les convencionals actuals no poden assolir.

## **5.1. Cel·les solars DSSC de Grätzel**

Les cel·les solars DSSC (sensibilitzades amb colorant), conegudes com cel·les solars de Grätzel, produeixen electricitat mitjançant un principi fotoelectroquímic, transformant l'energia llumínica en energia elèctrica.

La cel·la fou inventada per Michael Grätzel l'any 1991, construïda amb materials de baix cost i amb un procés de fabricació extremadament simple. És per aquest motiu que els avantatges i els inconvenients entre les cel·les DSSC i les convencionals de silici són pràcticament les mateixes que les que hi ha entre aquestes i les orgàniques.

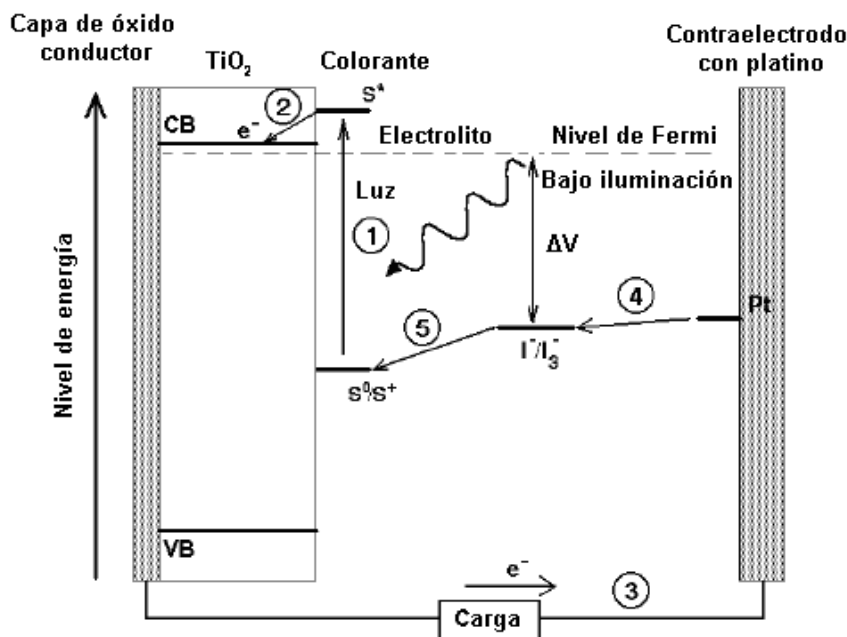
L'estructura de la cel·la consisteix en dos vidres que són conductors per una cara quan hi arriben els fotons de la llum (elèctrode i contraelèctrode), un colorant que genera electrons (que s'impregna en l'elèctrode) i un semiconductor que absorbeix els electrons i els passa al vidre. A part d'aquests elements principals també afegim substàncies per a millorar el rendiment de la cel·la:

- Una solució de platí al contraelèctrode per disminuir la resistència de transferència de càrregues.
- Una dissolució de  $TiCl_4$  a l'elèctrode per homogeneïtzar la superfície del vidre.

- A l'elèctrode, per tal d'absorbir la màxima quantitat de llum possible, s'hi pot afegir una substància anomenada scattering, o altres semblants a aquesta, com ara ho són el típpex o l'alumini.
- L'electròlit, que permet rebre i donar electrons. S'injecta a la cel·la.

El procediment de generació d'electricitat és el següent:

- 1- La llum solar passa a través de l'elèctrode de treball, i el colorant absorbeix la llum.
- 2- Quan una molècula del colorant absorbeix la llum, un electró passa a l'estat excitat i pot saltar des de la banda del colorant fins a la banda de conducció de  $\text{TiO}_2$ .
- 3- L'electró es difon des del  $\text{TiO}_2$  fins al vidre conductor. Des d'allí, l'electró passa al contraelèctrode.
- 4- Després d'haver perdut un electró, la molècula del tint es troba oxidada, és a dir, té un electró menys que abans. Aquesta molècula recupera l'estat inicial quan l'electró és reinjectat a través del contraelèctrode. D'aquesta manera el procés es transforma en un cicle que genera un corrent elèctric.



Esquema d'una cel·la solar de Gratzel

Per tal de poder realitzar la part pràctica del treball, s'han realitzat unes pràctiques en els laboratoris de l'ICIQ (Institut Català d'Investigació Química) a Tarragona. Aquestes pràctiques les vaig realitzar a la seu de l'ICIQ durant el mes de juliol de 2013.

L'ICIQ és un institut de recerca que proporciona el talent i el lideratge per a la millora de la qualitat de vida dels ciutadans mitjançant l'aplicació de la química en la frontera del coneixement. El seu objectiu és liderar, des de la ciència molecular, estratègies transversals per a la resolució de problemes socials i econòmicament rellevants, contribuint a la implantació d'una economia basada en el coneixement i a la millora de la qualitat de vida dels ciutadans.

Aquest centre considera la catàlisi com l'activitat clau per a una química sostenible. Per aquest motiu ha estat un privilegi anar a realitzar les pràctiques a un centre especialista en aquest tema, concretament, en la investigació de les cel·les DSSC.

# **6. Construcció de cel·les solars DSSC de Gratzel**

## **OBJECTIUS:**

En aquesta pràctica s'investigarà:

- 1- El desenvolupament de cel·les solars DSSC alternatives als dispositius actuals de silici.
- 2- El descobriment de catalitzadors per a la generació d'energies netes.
- 3- La producció d'energia elèctrica a partir de l'energia solar mitjançant les cel·les solars DSSC.
- 4- Es comprovarà que de les pràctiques amb les cel·les solars DSSC es poden arribar a resultats suficients per a substituir les actuals de silici.

## **MATERIAL:**

### **Material instrumental**

- Plaques de vidre, anomenades films (que posteriorment tallarem per arribar a les mesures desitjades). Aquest vidre és conductor per una cara i per l'altra no. Aquest fet cal tenir-lo present per tal que funcioni tot el procés correctament.
- Sonicador: aparell que utilitzarem per a netejar les impureses del vidre.
- Aire comprimit (a pressió)
- Aparell especial per tallar els vidres amb precisió.
- Screen Printing: aparell que utilitzarem per a posar les quantitats desitjades de  $\text{TiO}_2$  i de scatter a l'elèctrode.
- Perfilòmetre: instrument de mesura utilitzat per a mesurar el perfil d'una superfície per tal de quantificar la seva rugositat.



- Mufla: aparell per a sotmetre les cel·les a temperatures molt elevades.
- Estufa
- Aparell especial per foradar amb precisió
- Surlyn: polímer que fon a 100 °C.
- Pinces
- Premsa
- Voltímetre
- Xeringa
- Bomba de buit (per realitzar el buit).
- Soldador
- “*Cubre*”(petit vidre rodó)
- Aparell especial per comprovar les eficiències de les cel·les. Aquest està aplicat a l'ordinador.

### **Reactius**

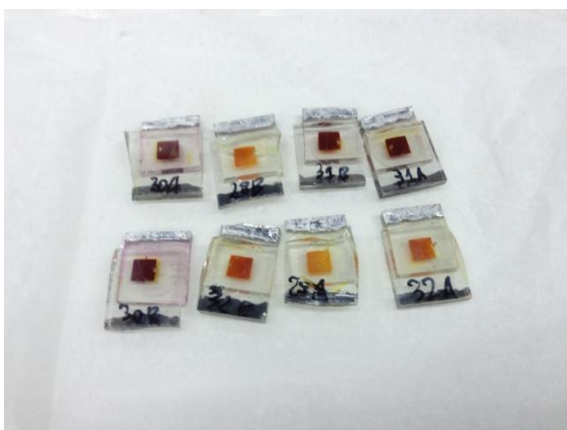
- Pasta de Dyesol 18NR-T (òxid de titani, TiO<sub>2</sub>)
- Colorants orgànics (cireres, gerds, etc.)
- Colorants sintètics (D35, C101, D205, etc.)
- Ozó, O<sub>3</sub>
- Terpineol anhidre: alcohol que s'evapora a temperatures més elevades que l'etanol.
- Scatter 18NR-AO: substància la funció de la qual és fer reflectir la llum solar i absorbir la màxima quantitat de llum possible per tal d'obtenir un rendiment més elevat.
- Dissolució TiCl<sub>4</sub>: s'utilitza per homogeneïtzar la superfície del vidre (elèctrode)
- Electròlit (parella redox I<sub>2</sub>/I<sup>-</sup>): s'injecta a la cel·la. Permet donar i rebre electrons.
- Aigua milli-Q: aigua purificada i desionitzada en un alt grau.

-Solució de platí ( $H_2PtCl_6$ ): s'escampa pel contraelèctrode i s'utilitza per disminuir la resistència de transferència de càrregues.

-Estany

## **PART PRÀCTICA: PROCEDIMENT**

Primer de tot hem de tenir en compte que les cel·les solars sensibilitzades amb colorant estan formades per dos films de vidre d'1X1cm : l'elèctrode (ànode) i el contra elèctrode (càtode).



### **Cèl·lules solars DSSC**

L'element principal de les cel·les solars DSSC és el colorant, la funció del qual és absorbir la llum del sol i transformar aquesta energia en electrons. Aquests colorants poden ser naturals (espinacs, remolatxa...) o sintètics.

## **1.Preparació de les cel·les solars sensibilitzades amb colorants**

### **1.1Preparació de l'elèctrode**

- Per començar es preparen una sèrie de plaques de vidre conductores per una cara, les quals seran tallades més endavant per formar cel·les de  $16cm^2$  d'àrea.



### Plaques de vidre inicials

Aquestes plaques s'han de netejar amb aigua i etanol. La neteja dels vidres és molt important, ja que les impureses que hi puguin quedar poden fer disminuir el rendiment de la cel·la. Es netegen mitjançant aquests passos:

- Primer es netegen amb aigua milli-Q i 2 gotes de sabó i es posen al sonicador 15 minuts, amb el qual s'aconsegueix que no hi quedin impureses.
- Després es repeteix el mateix procediment però amb aigua milli-Q sola 15 minuts més.
- A continuació es netegen amb etanol anhidre i es tornen a posar al sonicador 15 minuts.
- Es sequen amb aire comprimit i es tallen per la part no conductora de forma que a l'hora de posar-les al Screen Printing tinguin aquesta forma rectangular.



Sonicador



Aire comprimit

-Després d'haver netejat els vidres (recordem que estem parlant de l'elèctrode), arriba el moment d'utilitzar el Screen Printing, aparell que tindrà la funció d'aplicar-li el  $\text{TiO}_2$  i més endavant el scatter en les quantitats desitjades:

- Abans de tot els vidres s'han de calcinar mitja hora a la mufla a  $500\text{ }^\circ\text{C}$  i es fa un tractament amb ozó durant 20 minuts amb la cara conductora cap amunt.



#### Mufla

- Es posen en un túper i s'hi afegeix una dissolució de  $\text{TiCl}_4$  40mM amb aigua (nevera) per a homogeneïtzar la superfície del vidre, i es posen 30 minuts a l'estufa a  $70^\circ\text{C}$ . A continuació es tornen a rentar amb aigua i etanol.



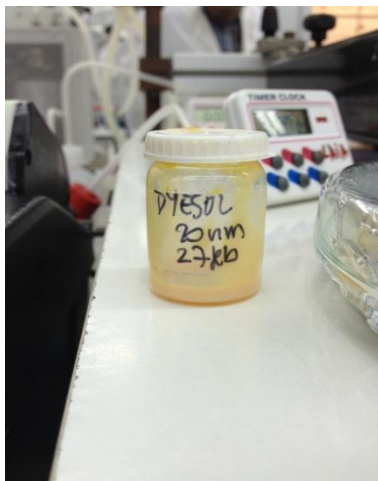
#### Estufa

- Comencem a treballar amb el Screen Printing. S'ha de comprovar que la pasta de Dyesol ( $\text{TiO}_2$ ) estigui en les condicions adequades per a la seva aplicació. Amb aquest objectiu, hi afegim una mica de terpineol anhidre per tal d'estovar la pasta.



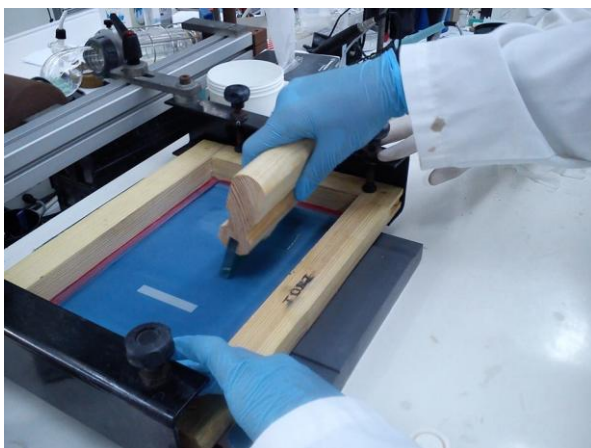
**Screen Printing**

- Es fan unes passades de Dyesol 18NR-T ( $\text{TiO}_2$ ) sobre els elèctrodes (uns 20-30 nm de mida de porus). El  $\text{TiO}_2$  és un semiconductor que absorbeix els electrons i els passa al vidre. Es realitzen dues passades, deixant reposar 3 minuts entremig per tal que la pasta es relaxi i reduir així les irregularitats de superfície. Tot seguit, s'assequen 5 minuts a  $120^\circ\text{C}$  i es mesuren en el perfilòmetre. Es van fent passades fins que s'aconsegueixen unes 4 micres.



**Pasta de Dyesol ( $\text{TiO}_2$ )**

Aquestes passades es fan mitjançant un objecte amb el que escampem el  $\text{TiO}_2$ , tal com ho mostra la següent imatge:



Es realitzen les passades de  $\text{TiO}_2$

- Després es posa l'scatter 18NR-AO (400nm de mida de porus). S'han d'aconseguir entre 4-5 micres més, normalment amb una passada ja n'hi ha prou. Aquesta substància té la funció de reflectir la major llum possible, pel que fa que es millori notablement l'eficiència de la cel·la. Però també es pot optar per no posar-n'hi, o bé posar altres substàncies semblants com ara l'alumini o el típlex. El fet de posar o no aquestes substàncies, farà variar l'eficiència.
- La pantalla es renta bé amb etanol i es desa.
- Rampa de temperatura (5 min a 325°C, 5 min a 375°C, 15 min a 450°C i 15 min a 500°C, total uns 75 minuts). Després es treuen de l'estufa i es deixen refredar.
- Es posen en un túper i es torna a afegir una dissolució de  $\text{TiCl}_4$  40Mm en aigua (nevera) i es posen 30 minuts més a l'estufa a 70°C. A continuació es renten amb aigua i etanol.
- Es calcinen (500°C, 30 minuts).
- I finalment, ja es poden submergir en els colorants.

Deixarem submergits en els colorants els elèctrodes durant tota una nit amb la cara del film de  $\text{TiO}_2$  cara amunt, de manera que es pugui adherir bé el colorant.



Diferents colorants en els que submergirem els elèctrodes

## 1.2.Preparació del contraelèctrode

Per preparar els contres( contraelèctrodes):

- Primer de tot s'agafen els vidres que hem netejat prèviament mitjançant el procediment esmentat (aigua,etanol), i es fan les marques per on es tallaran.
- Tot seguit amb una màquina específica es fa un forat en cadascun dels contraelèctrodes que utilitzarem amb una màquina específica, per a que més endavant, a l'hora de construir les cel·les, hi puguem injectar l'electròlit a dins.



Màquina per foradar el contraelèctrode

- A continuació es talla el vidre per la part que no és conductora.
- Es renten amb el mateix procediment de neteja dels elèctrodes (la neteja tan en els elèctrodes com en els contres és importantíssima, per les raons esmentades anteriorment):
  - Es soniquen 15 minuts amb aigua milli-Q i 2 gotes de sabó.
  - Es soniquen amb aigua milli-Q sola 15 minuts més.
  - Es soniquen uns altres 15 minuts amb etanol anhidre.
- Es calcinen mitja hora a la mufla a 500 °C.
- S'afegeix una gota de la solució de platí ( $\text{H}_2\text{PtCl}_6$  10\*10-M) per la part conductora per disminuir la resistència de transferència de càrregues, s'escampa bé i es tornen a posar els vidres a la mufla però aquest cop, a 390°C.
- Es guarden tancats a una capsa.

### 1.3.Preparació de les cel·les

Una vegada preparats els elèctrodes i els contraelèctrodes, ja només cal esperar una nit amb els elèctrodes submergits en els colorants. Els tindrem submergits en colorants tan sintètics (C101, D35, D205,etc.) com naturals (remolatxa, clorofil·la dels espinacs,etc.), per així al final de la pràctica poder comparar els resultats obtinguts, i saber d'aquesta manera quins són més eficients. Per tant la única variable de totes les pràctiques realitzades ha estat utilitzar diferents colorants. Una vegada hagi passat la nit, ja podem treure els elèctrodes dels colorants, per a començar ja a construir les cel·les.

- Al treure les cel·les (elèctrodes) dels colorants, es renten amb metanol o etanol i s'assequen bé amb aire comprimit.



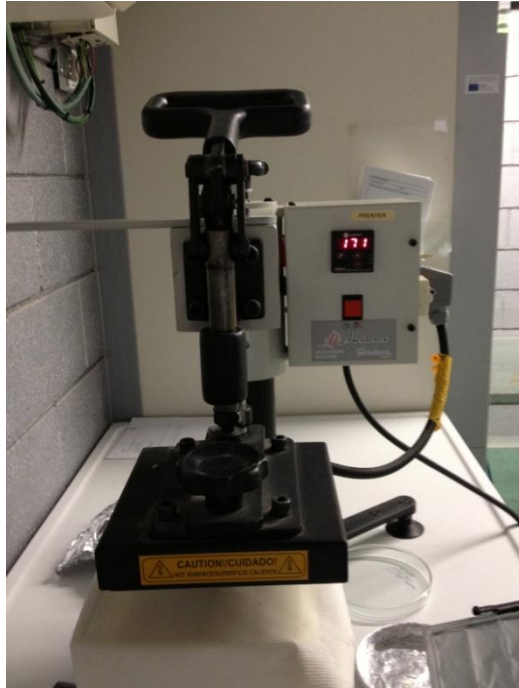
- Es tallen petits trossets de Surlyn amb la mida exacta per tal de que els dos films (elèctrode i contra) quedin ben adherits, i es guarden dins d'un pot.



#### Surlyn

- Un cop ja disposem del Surlyn, dels elèctrodes i dels contraelèctrodes, ens dirigim a un altre laboratori, on construirem les cel·les solars de Grätzel definitives.
- Per començar, utilitzarem la premsa per a planxar els elèctrodes amb els contres:
  - Primer de tot, comprovem amb un voltímetre quina és la cara conductora dels elèctrodes i dels contraelèctrodes.
  - Col·loquem l'elèctrode a la premsa amb la cara conductora cap amunt.
  - Per a que l'elèctrode i el contraelèctrode quedin ben adherits, amb unes pinces posarem el Surlyn al damunt de l'elèctrode, de manera que encaixi el quadrat de la cel·la amb el del polímer. L'alta temperatura de la premsa farà que el polímer es fongui, i aquest fet serà el que causarà l'adherència dels dos vidres.
  - A continuació, hi col·loquem al damunt el contraelèctrode amb la cara conductora cap a baix.

- Un cop fet això, ja podem planxar la cel·la a la premsa a 170°C. S'ha d'anar amb compte amb l'alçada de la cel·la, de que el foradet per posar electròlit no estigui tapat i de que tinguem prou espai per posar després l'estany a les vores dels films.



**Premsa**

- Un cop traiem les cel·les de la premsa, ja hi podem injectar l'electròlit:
  - Amb l'ajuda d'una xeringa, injectem l'electròlit pel foradet que hem fet anteriorment al contraelectrode.

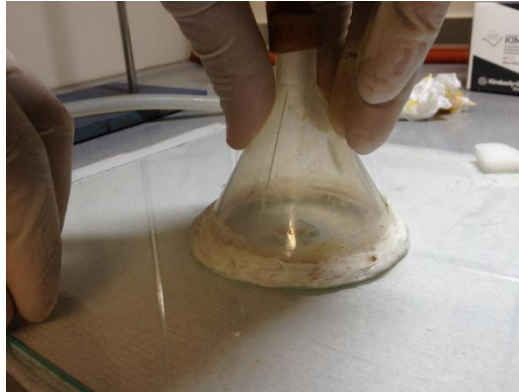


**Electròlit**



**Xeringues**

- Per a introduir correctament l'electròlit ens ajudarem del buit, el qual el crearem amb l'ajuda d'una bomba de buit.



#### Fem el buit

- Per últim, es sella el forat posant primer un Surlyn al damunt (per a quan es fongui faci la funció d'adhesiu) i es solda a sobre un *cube*, que farà la funció de protector.



#### Cubres

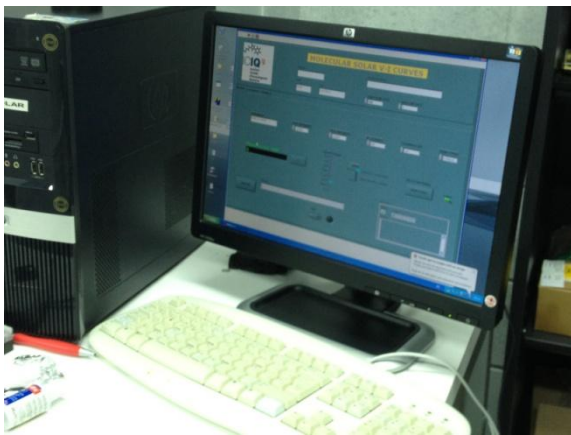
- I ja per finalitzar les cel·les, es solden amb estany les vores d'aquestes, fet que és importantíssim per a extreure els resultats i mesurar l'eficiència de cada cel·la.



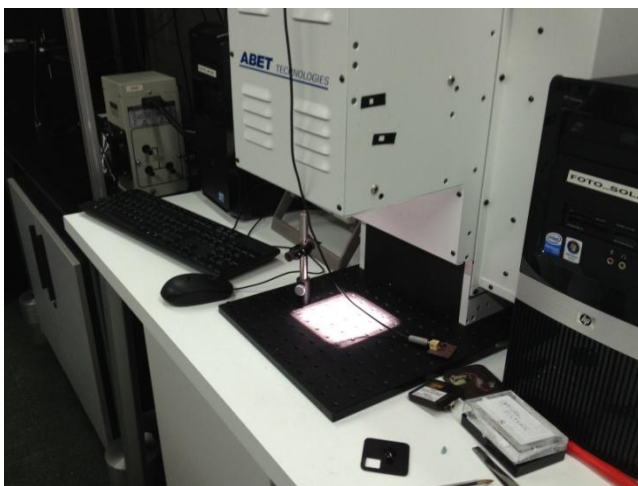
#### Soldem amb estany les vores

## 7. Resultats

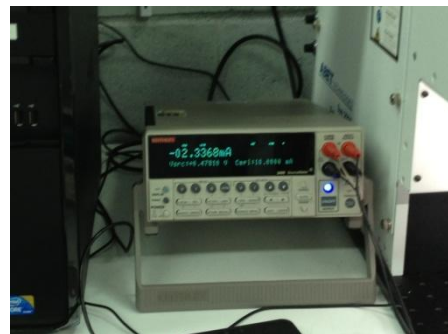
Per a mesurar el voltatge, la intensitat de corrent, el FF (fill factor) i l'eficiència de cada cel·la, es connecta cadascuna a un aparell mitjançant unes pinces, les quals les agafen per la part on tenen estany. Aquest aparell produeix el que seria la llum solar. Es sotmeten les cel·les a aquesta llum solar, i d'aquesta manera n'extraïem els resultats, que els calcularem mitjançant l'ordinador.



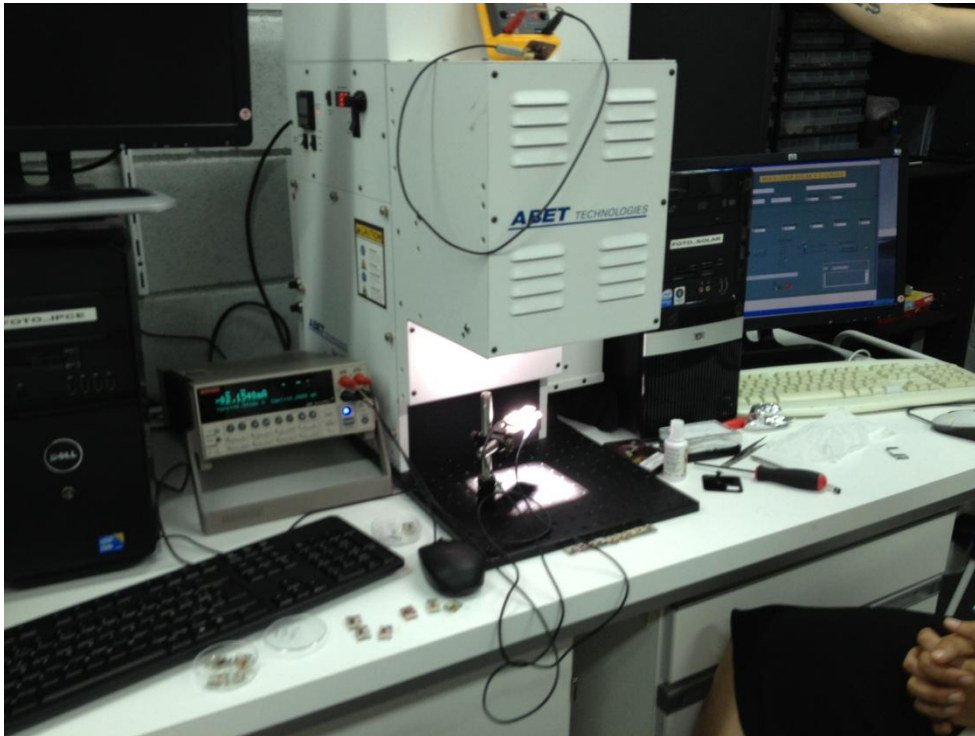
**Ordinador per calcular eficiències**



**Llum solar artificial**



**Aparell per mesurar intensitat i voltatge**



**Sistema per a mesurar les eficiències**

Les taules que apareixen a continuació contenen els valors d'eficiència de cada cel·la. L'eficiència d'una cel·la solar és el percentatge d'electrons que produeix una cel·la a partir dels fotons que li arriben, i per mesurar-la ens cal primer mesurar quin corrent i voltatge tenen, amb l'ajuda del sistema explicat anteriorment.

## **7.1. Colorants sintètics i naturals**

### **Objectiu:**

- Comparar l'eficiència (expressada en %) de cel·les solars elaborades amb colorants naturals o sintètics.
- Veure les diferències entre diferents colorants sintètics.

COLORANT	Prova 1	Prova 2	Prova 3	Eficiència mitjana
VCL01	3,05	3,97	-	3,51
VC70	2,277	3,55	-	2,91
4D20C8	6,28	6,64	-	6,46
LS1	3,74	4,06	-	3,9
D205	2,75	3,79	4,77	3,77
Cireres	0,02	-	-	0,02
Gerds	0,07	-	-	0,07

Es comprova que l'eficiència dels colorants naturals és molt més baixa que la dels colorants sintètics. Tot i que les eficiències dels colorants sintètics són semblants, varien segons el que haguem utilitzat. Podem comprovar que hi ha colorants que fan que l'eficiència final de la cel·la sigui força alta, com ara el 4D20C8.

La primera línia d'investigació de les cel·les solars de Grätzel, per aconseguir un cost més baix de les cel·les solars fotovoltaïques respecte les de silici (que tenen un cost força elevat), va ser utilitzar colorants naturals (remolatxa, espinacs, cireres, gerds, vi...). Donat el resultat d'eficiències amb els colorants naturals es va decidir ràpidament utilitzar colorants sintètics perquè les eficiències eren molt més elevades.

Els colorants naturals tenen un altre inconvenient, ja que és difícil mantenir les seves propietats naturals al llarg del temps, i per tant aquestes cel·les tindrien una vida mitjana molt curta.

## 7.2. Colorant sintètic D205 amb o sense dissolvent

### Objectiu:

Utilització del colorant sintètic D205 sense dissolvent o amb dissolvent i calcular l'eficiència de les cel·les. En el cas d'utilitzar un dissolvent, comparar si hi ha diferència en l'eficiència, si aquest és l'ETOH o l'ACN.

COLORANT	DISSOLVENT		Prova 1	Prova 2	Prova 3	Eficiència mitjana
D205	Sense dissolvent		2,75	3,79	4,77	3,77
	Amb dissolvent	ETOH	3,49	5,48	6,91	5,29
		ACN	5,14	5,26	6,91	5,77

Es pot comprovar que l'eficiència és més alta quan s'utilitza el colorant dissolt, i en concret, si el dissolvent és ACN.

### 7.3. Colorants sintètics dissolts en etanol o en acetonitril

#### Objectiu:

Comparar l'eficiència que contenen colorants artificials C101, D35, D205 i veure si hi ha diferència pel dissolvent utilitzat en la dissolució del colorant.

COLORANT	DISSOLVENT							
	Etanol (ETOH)				Acetonitril (ACN)			
	Prova 1	Prova 2	Prova 3	Eficiència mitjana	Prova 1	Prova 2	Prova 3	Eficiència mitjana
C101	5,62	6,29	7,93	6,61	2,63	5,2	-	3,92
D35	3	5,41	-	4,205	3,86	5,45	6,23	5,18
D205	3,49	5,48	6,91	5,29	5,14	5,26	6,91	5,77

Es comprova que en els resultats obtinguts hi ha diferències entre els dissolvents utilitzats. Aquests depenen del colorant sintètic corresponent, de manera que el colorant C101 dona una major eficiència si es dissol en ETOH, mentre que el D35 dona una major eficiència si es dissol en ACN.

## **8. Conclusions**

1. Per a la fabricació de les cel·les de Grätzel es poden utilitzar colorants naturals o artificials, la funció dels quals és absorbir la llum del sol i transformar aquesta energia en electrons. Els colorants naturals farien que el cost de les cel·les solars així fabricades fos força baix respecte les cel·les actuals de silici, però donat que les eficiències de les cel·les solars elaborades amb colorants naturals són tan baixes, es descarta la fabricació d'aquestes i s'opta per les cel·les solars fabricades amb colorants sintètics.

2. Segons la bibliografia consultada, les cel·les solars de Grätzel elaborades amb colorants sintètics poden tenir una eficiència de fins al 13 %, valor que està per sota de les cel·les solars de silici. Però les cel·les solars fotovoltaïques de Grätzel tenen unes propietats que fan que siguin una bona opció de futur: permeten construir estructures lleugeres i flexibles (per exemple, estores per anar a la muntanya, que permeten carregar un telèfon mòbil amb la llum solar), gràcies a la seva transparència permeten construir estructures on els vidres siguin cel·les solars de Grätzel per a la producció d'energia elèctrica i a la vegada facin la funció pròpia d'un vidre en una finestra, porta, claraboia, etc.

3. Per a millorar els resultats d'eficiència de les cel·les existeix una línia d'investigació basada en la utilització d'un dissolvent per al colorant sintètic utilitzat. Es comprova que l'eficiència de la cel·la augmenta quan s'utilitza un dissolvent per al colorant, a més però, cal investigar quin és el millor dissolvent d'entre els possibles.

4. Cadascun dels resultats obtinguts correspon a una cel·la diferent que s'ha hagut d'elaborar en el laboratori de l'ICIQ. A més, s'ha fet cada pràctica, en la majoria dels casos, per triplicat. En aquest treball hi ha moltes hores dedicades a l'elaboració total de les cel·les, i el resultat de tot aquest treball només es pot comprovar al final de tot el procés. Si durant l'elaboració ha hagut algun problema, i aquest no s'ha detectat, pot ser que a l'intentar prendre mesura de l'eficiència de la cel·la, aquesta no sigui possible, i per tant quedi anul·lada tota la feina de tres dies de treball.



El problema principal detectat, que en les taules de resultats fa que no hi hagi un valor d'eficiència anotat, és que després de tot el procés, a l'intentar connectar amb les pinces la cel·la no hi ha suficient espai per fer-ho. Això suposa que aquestes cel·les realitzades durant els tres dies quedin inutilitzades. Aquest fet permet comprovar la dificultat de realitzar un treball totalment pràctic.

En un principi amb el protocol de fabricació de les cel·les i després de l'explicació, semblava relativament fàcil realitzar tot el procés, però com que tot és nou i a més de procés llarg, és molt difícil controlar tants factors que cal tenir en compte. Alguns d'aquests són:

- A l'hora de tallar els vidres, ho hem de fer per la part que no és conductora, ja que podria deixar de funcionar, o bé trencar-se.
- És molt més complicat treballar amb colorants naturals que amb sintètics, de fet d'algunes de les cel·les fetes amb colorants naturals no es va aconseguir treure cap resultat.
- A l'hora d'utilitzar l'screen printing s'ha de posar manualment la pasta  $\text{TiO}_2$ , fet que comporta que haguem d'anar molt en compte en no tocar la pasta amb les mans per no escampar-la. Si ho fem, pot disminuir força l'eficiència final. A més, tampoc hem de tocar el vidre sense guants, perquè també la disminuiria.

**5.** Cal tenir present que les cel·les de Grätzel poden tenir unes eficiències màximes de fins al 13%.

En les pràctiques realitzades a l'ICIQ, s'han fabricat les cel·les del treball i, tot i ser la primera vegada que es feien, han donat eficiències mitjanes d'entre un 5 i un 7%, per tant els resultats es poden considerar força correctes.

**6.** Els resultats obtinguts són relatius a les experiències realitzades i als problemes que s'han presentat. De fet és difícil treure conclusions determinants quan hi ha diversitat de factors a tenir en compte.

A l'inici del treball no era conscient de la dificultat de tot el procés d'elaboració de les cel·les de Grätzel, i per tant, els resultats d'eficiència obtinguts són relatius.

## **9. Valoració personal**

Després d'haver realitzat el treball em sento orgullós i content d'haver elegit aquest tema, ja que he après coses de les quals sempre en tindrè la informació. A més, vull destacar el fet d'haver realitzat les pràctiques i haver construït jo mateix amb les meves mans les cel·les en un centre especialitzat en aquest tema, l'ICIQ (Institut Català d'Investigació Química). El fet de treballar i compartir experiències amb altres estudiants de batxillerat, i tenir el privilegi de ser atesos pel personal investigador de l'ICIQ ha estat una experiència molt grata i positiva.

Tot i que per realitzar correctament el treball de recerca has d'estar temps treballant i t'has d'esforçar, una bona organització temporal del treball fa que els resultats siguin millors, ja que amb temps suficient i pautat, s'aconsegueix controlar millor. Jo crec que l'he portat força bé, i és per aquest motiu que l'he finalitzat amb un somriure a la cara i sense estressar-me.

## **10.Agraïments**

Un cop acabat el treball vull agrair l'ajuda del centre d'investigació ICIQ de Tarragona, sense el qual no hagués pogut realitzar la part experimental tal com l'he fet. Gràcies als investigadors d'aquest centre he pogut fer les pràctiques d'una forma pautada i correcta.

I sobretot agrair a la meva tutora del treball, Lolita Domènech, per haver-me aconseguit l'estada a l'ICIQ, i haver-me ajudat tant i prestat tant interès en mi i el meu treball.

Per tenir més informació sobre aquest centre, visiteu: [www.iciq.es](http://www.iciq.es)

# **11.Bibliografia**

-Pellejà i Puxeu, Laia. *Energia Solar*. Fundació Catalunya – La Pedrera.

## 12. Informació telemàtica

Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación.

Energía Solar Fotovoltaica.

Direcció URL:

[http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/energia\\_solar\\_fotovoltaica\\_d90d33a8.pdf](http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/energia_solar_fotovoltaica_d90d33a8.pdf)

Portal de energías renovables.

Direcció URL:

<http://www.sitiosolar.com/La%20historia%20de%20la%20energia%20solar%20fotovoltaica.htm>

Desirée R.A.

Energías renovables.

Células fotovoltaicas orgánicas.

Direcció URL:

[http://www.energiasrenovables.es/fuentes\\_energias/solar\\_fotovoltaica/fotovoltaicasorganicas.html](http://www.energiasrenovables.es/fuentes_energias/solar_fotovoltaica/fotovoltaicasorganicas.html)

Energía solar fotovoltaica.

Células solares.

Direcció URL:

<http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com.es/2006/01/celulas-solares.html>

Nuevas energías renovables.

Direcció URL: <http://www.nuevasenergias.eu/energiasolarfotovoltaica.php>

Sol i Clima – Fotovoltaica.

Direcció URL: <http://www.soliclimate.es/fotovoltaica>

Wikipedia.

Consumo y recursos energéticos a nivel mundial.

Direcció URL:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Consumo\\_y\\_recursos\\_energ%C3%A9ticos\\_a\\_nivel\\_mundial#Energ.C3.ADA\\_hidr.C3.A1ulica](http://es.wikipedia.org/wiki/Consumo_y_recursos_energ%C3%A9ticos_a_nivel_mundial#Energ.C3.ADA_hidr.C3.A1ulica)

Energía Solar Fotovoltaica.

Paneles fotovoltaicos organicos y CIGS.

Direcció URL:

[http://www.energia-solar-fotovoltaica.info/1\\_Nuevas\\_Tecnologias\\_Solares/16\\_Paneles\\_fotovoltaicos\\_organicos\\_y\\_CIGS.html](http://www.energia-solar-fotovoltaica.info/1_Nuevas_Tecnologias_Solares/16_Paneles_fotovoltaicos_organicos_y_CIGS.html)

Creamos el futuro.

Células solares fabricadas con semiconductores orgánicos.

Direcció URL: <http://blogs.creamoselfuturo.com/nano-tecnologia/2012/03/19/celulas-solares-fabricadas-con-semiconductores-organicos/>

REN21

Energías renovables.

Direcció URL:

[http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/Press%20release%20short\\_Spanish.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/Press%20release%20short_Spanish.pdf)

Institut Català d'Investigació Química

Direcció URL: [www.iciq.es](http://www.iciq.es)

## **13. Altres fonts d'informació**

**- Institut Català d'Investigació Química (ICIQ) de Tarragona:**

Centre en el que he realitzat tota la part pràctica del treball amb l'ajuda d'investigadors experts en l'estudi de les cel·les solars de Grätzel.













