TÍTOL:

MUNTATGE I CARACTERITZACIÓ D'UNA PLACA DSSC BUSCANT POTÈNCIA

Autors/es de segon de batxillerat científic:

- ESCRIBANO ESTURGÓ, EDUARD
  C/e: Eduescribano2@hotmail.com

- MONTSERRAT LIÉBANA, BRENDA
  C/e: bml_22@hotmail.com

- RODRÍGUEZ FRANCH, CARLOS
  C/e: minesdeliat@msn.com

- SANSA PERNA, AINA
  C/e: ainasp_2391@hotmail.com

Tutor:

- CALVET I SOLÉ, MIQUEL
  Seminari de Física i Química de l'IES Castellar
  C/e: mcalvet@pie.xtec.net

Centre:

- IES Castellar.
  C/ Carrasco i Formiguera n 6
  08211 Castellar del Vallès
  Telèfon: 937144344 - Fax: 937144344
  C/e: a8046682@xtec.net

Període del treball:

- Juny 2008 – Febrer 2009

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ 4

1.1. Preàmbul 4

1.2. Abstract 6

1.3. Motius del treball 7

1.4. Antecedents 8

1.5. Objectius inicials del treball 9

2. FASE PRE-EXPERIMENTAL 10

2.1. Tipus de plaques solars 10

2.2. Cèl·lula solar nanocristal·lina tipus DSSC 14

2.2.1. Què són? Com funcionen? 14

2.2.2 Quina relació tenen les DSSC amb la fotosíntesis? 24

2.3. Disseny de l'experiència: V-Heurística 27

3. FASE EXPERIMENTAL 28

3.1. Material i utillatge necessari 28

3.2. Procediment 31

3.2.1. Base d'orientació 31

3.2.1.1. Preparació 1: Preparació de la solució de TiO_2 32

3.2.1.2. Preparació 2: Preparació del colorant Natural 33

3.2.2. Procediment inicial 34

3.2.3. Variacions en el procediment 44

4. FASE POST- EXPERIMENTAL 53

4.1. Gràfiques i càlculs dels rendiments de les plaques 54

4.2. Interpretació dels resultats 64

4.3. Conclusions 70

4.4. Aplicacions de les DSSC 71

5. AGRAÏMENTS 72

6. BIBLIOGRAFIA 74

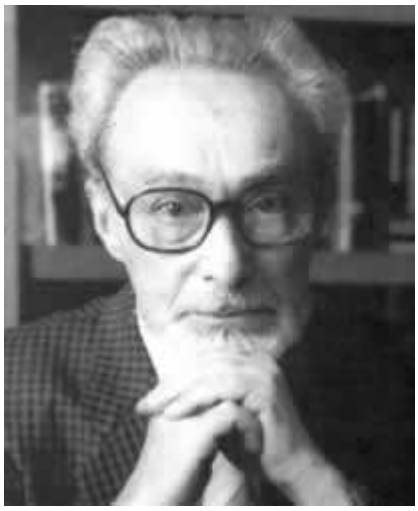
1. INTRODUCCIÓ

1.1. Preàmbul

"També Cerrato coneixia aquesta milícia: també ell havia experimentat la insuficiència de la nostra preparació, i la necessitat de subrogar-hi la fortuna, la intuïció, els estratagemes i un riu de paciència. Vaig dir-li que anava a la recerca d'esdeveniments, meus i d'altres, que volia exhibir a l'aparador d'un llibre, per veure si aconseguia d'acomboiar fins als profans el regust fort i amarg del nostre ofici, que és al capdavall un cas particular, una versió més estrènua de l'ofici de viure. Vaig dir-li que no em semblava just que tothom ho sabés tot de com viuen el metge, la prostituta, el mariner, l'assassí, la comtessa, l'antic romà, el conjurat i el polinesi, i res de com vivim nosaltres, els transmutadors de la matèria; però que en aquets llibre deixaria de banda expressament la gran química, la química triomfant de les instal·lacions colossals i de les facturacions vertiginoses, perquè aquesta és una obra col·lectiva i, per tant, anònima. A mi m'interessaven més les històries de la química solitària, inerme i pedestre, a mida de l'home, que en poques excepcions ha estat la meva: però també ha estat la química dels fundadors, que no treballaven en equip, sinó sols, enmig de la indiferència dels seu temps, normalment sense beneficis, i afrontaven la matèria sense ajut, amb el cervell i amb les mans, amb la raó i amb la fantasia."

"És bonic d'explicar els mals passats"

Primo Levi, El sistema periòdic (1990)



L'energia solar estarà més a prop teu, en diferents superfícies com l'asfalt, la pintura i les finestres de casa. Els camps espanyols s'estan omplint de plaques solars que, com els gira-sols, es mouen durant el dia buscant raigs de sol.
"Fins ara", diu IBM, "El procés de creació de cèl·lules solars, que permeten transformar la l'energia lluminosa en energia elèctrica, ha estat massa costós perquè aquest procediment tingui una aplicació massiva. Avui, gràcies a processos que permeten crear pel·lícules de cèl·lules fins cent vegades més fines que les actuals, el cost ha disminuït. Aquest avenç ha permès que les cèl·lules puguin situar-se, no solament en les teulades dels edificis, sinó també en superfícies més flexibles com parets, vidres polaritzats, mòbils, portàtils, automòbils, inclús a la roba".

Notícia del cyberpaís, El sol es la energia

1.2. Abstract

The increasing needs of our society have brought us to research new resources to obtain energy. One of the most successful options, due to the decreasing petrol reservoirs, are the solar cells which take advantage of the sunlight to produce power.

A long time ago, the first specie which started carrying out photosynthesis was cyanobacteries. Photosynthesis is based on transforming sunlight to chemical energy for synthesizing organic molecules. The DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) is a kind of cell that mimics the principles that natural photosynthesis has used successfully over the last 3,5 billion years in solar energy conversion.

We have built some DSSC and we have tested their efficiency. The operating principle of the cell is based on the photon energy which excites an electron that jumps and detaches from the dye atom, leaving a hole in the molecule. This free electron passes through the TiO_2 film and arrives to the load where it generates current. Then the electron arrives to the counter electrode and there it contacts with the electrolyte, the iodide/triiodide mediator. It regenerates the electron, which has jumped before creating a hole, by the oxidation of itself.

1.3. Motiu del treball

Degut a que en els instituts catalans és obligatori fer un Treball de Recerca a l'últim curs de Batxillerat, hem decidit triar l'assignatura de Química com a matèria d'estudi per a dur a terme aquest treball.

La proposta inicial, gràcies al nostre tutor Miquel Calvet i Soler del seminari de Física i Química de l'IES Castellar, ens ha obert les portes a endinsar-nos en el món de les energies renovables, el qual ens ha agradat i estimulat per a fer el treball.

L'elecció d'aquest treball de recerca sobre les plaques solars nanocristal·lines ha estat incentivat per les múltiples aplicacions tant actuals com futures que ofereixen les DSSC.

1.4. Antecedents

Els dos principals motius per a realitzar aquest treball son:

- En primer lloc, a 4t d'ESO, en Miquel Calvet, aleshores el nostre professor de Física i Química, ens va proposar aquest treball. El material necessari (kit i dossier: "*Nanocrsystalline Solar Cell Kit: Recrating Photosynthesis*") per fer el treball el va adquirir de "*l'Institute for Chemical Education" de la "University of Wisconsin-Madison*".

- En segon lloc, el nostre treball és una proposta de continuïtat d'un treball de recerca anterior (*Producció Fotocatalítica d'Hidrògen* curs 2005-2006) de l'IES Castellar, del mateix seminari i tutor.

1.5. Objectius inicials del treball

En iniciar el treball vam proposar tot un seguit d'objectius a complir un cop el finalitzéssim. Ens vam prendre els objectius amb moltes ganes i entusiasme ja que tots ells eren ambiciosos i requerien una gran dedicació per a ser realitzats. Els principals objectius a assolir foren:

- Fer una recerca bibliogràfica sobre els diversos tipus de plaques fotovoltàiques (transparents, flexibles, etc.) i les seves aplicacions. Per exemple: Construir finestres amb plaques fotovoltàiques o aplicacions militars.

- Provar el funcionament de les plaques comprades a l'ICE, "*Institute for Chemical Education.*" (ICE) "*University of Wisconsin–Madison*".

- Obtenir alguns colorants naturals, per exemple el de la col llombarda, per a tenyir i provar les plaques a l'ICE.

- Construir algunes plaques solars nanocristal·lines, estudiar el seu funcionament i determinar quins colorants són més eficaços, els naturals o bé els sintètics.

- Visitar centres especialitzats en la investigació i el desenvolupament de plaques solars nanocristal·lines com l'Institut Català d'Investigació Química (ICIQ), i el Centre d'Investigacions en Nanociència i Nanotecnologia (CIN2) i el Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) a la UAB, (uns dels centres punters en plaques DSSC de Catalunya i de l'Estat Espanyol)

- Fer funcionar algun aparell electrònic, com ara: un brunzidor, leds, etc.

2. FASE PRE-EXPERIMENTAL

2.1. Tipus de plaques solars

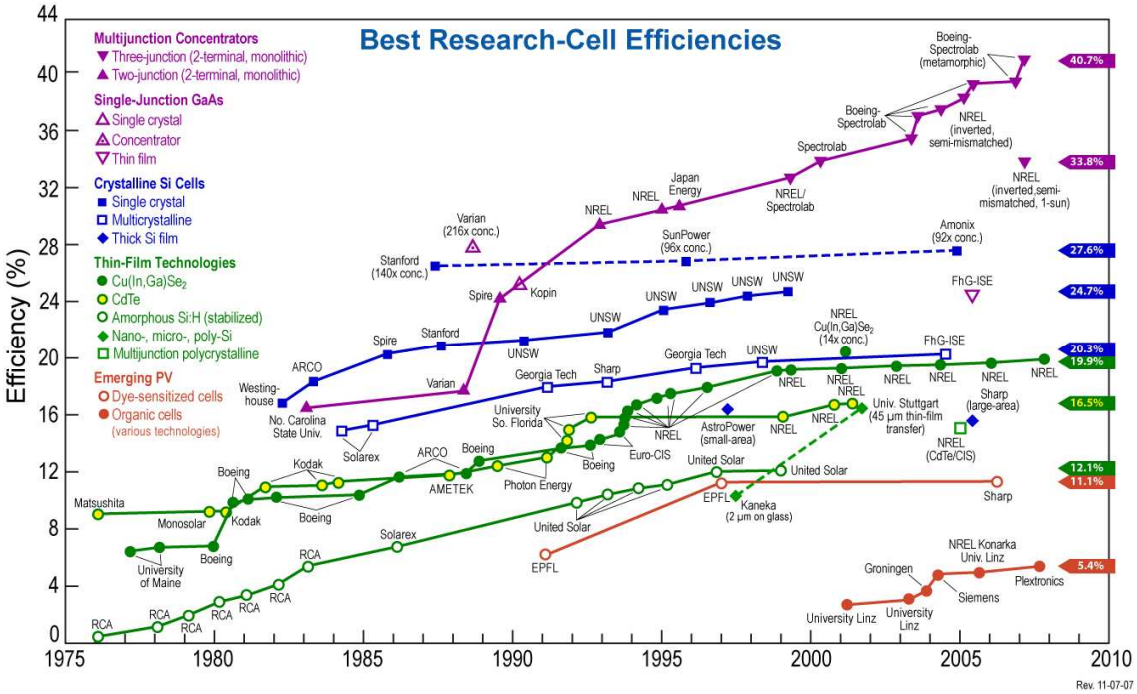
- **Què és una placa solar?**

Una placa solar és un dispositiu que permet la transformació d'energia solar o lluminosa (en forma de fotons) en energia elèctrica (en forma d'electrons). Això succeeix degut a un fenomen que s'anomena efecte fotoelèctric. Aquest fenomen va ser descobert per Henry Hertz l'any 1887. Però, la teoria va ser explicada per Albert Einstein, l'any 1905.

En general, les plaques es podrien dividir per diferents generacions: la primera generació engloba les plaques fetes de silici monocristal·lí i policristal·lí. A la segona generació hi ha tot un conjunt de plaques: les de CdTe, les CIGS, les DSSC i les de silici amorf. I la tercera generació està formada per un plaques molt complexes anomenades "multi-junction".

Hi ha diferents tipus de plaques que han proporcionat diferents eficiències. Per una banda, hi ha les plaques CIGS (coure, indi, gal·li i seleni) que han arribat a un 19,5 % d'eficiència. També, hi ha les de silici cristal·lí que han arribat a un 24,7 % d'eficiència. Les plaques fetes de silici amorf arriben entre el 14 i 19 % d'eficiència. I les plaques DSSC, que són amb les que hem treballat nosaltres arriben fins a un 11,2 % d'eficiència. No obstant, encara hi ha plaques amb les quals s'ha aconseguit un eficiència més alta, com les cèl·lules "multi-junction" fetes d'arseniür de gal·li que arriben fins al 30 %.

Parc de plaques solars fotovoltaiques

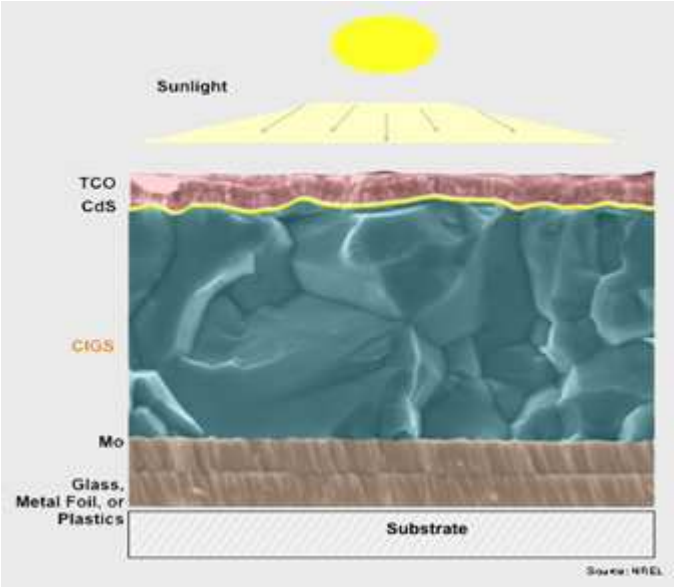


Evolució de l'eficiència dels diferents tipus de plaques solars

- **Tipus de plaques solars**

a) CIGS (coure, indi, gal·li i seleni o ($CuInGaSe_2$))

Les plaques CIGS són un tipus de plaques fotovoltàiques en forma de fines pel·lícules policristal·lines. És un material semiconductor compost de coure, indi, gal·li i seleni. L'estructura de les CIGS és molt més complexa que a les plaques de silici que s'uneixen mitjançant la unió p-n. El principal avantatge d'aquestes plaques és que són més barates que les de silici, i s'obté un eficiència molt bona, de fins al 19,5 %. A més a més, està fomentada per materials fàcils d'aconseguir com òxids inorgànics nanocristal·lins, líquids iònics, etc. Un altre avantatge

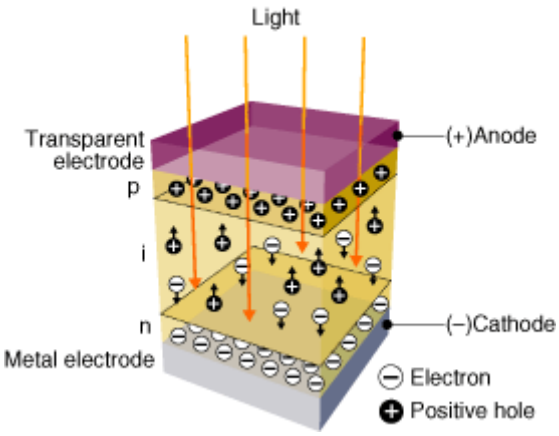


Sistema de les plaques solars CIGS

d'aquestes plaques és el fet de que siguin flexibles, i, per tant, fàcils d'adaptar en qualsevol estructura o superfície.

b) Silici amorf (a-Si)

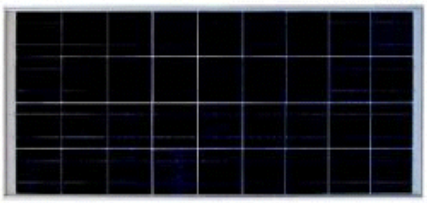
Les plaques de silici amorf tenen una eficiència considerable, han arribat fins al 19 %. El silici és un semiconductor. Una característica d'aquest tipus de plaques és que els dos elèctrodes (el de dalt i el de baix) són de metall. D'aquestes plaques, cal destacar que es formen mitjançant la unió p-n. Es pot fer servir un dopant. La unió p-n consisteix en unir dues plaques (una que és "n" i l'altre "p"). Quan les dues plaques es posen en contacte es produeix una intensa difusió d'electrons de la zona on hi ha una concentració més elevada d'electrons (la cara "n") cap a la zona on hi ha una concentració inferior d'electrons (la cara "p"). Quan aquests electrons es difonen per la unió p-n es recombinen ocupant els forats de la cara "p". Quan es forma la unió p-n es crea un diiode que permet que el flux de corrent sigui en un sol sentit. Així que els forats que ocupen els electrons poden passar de la cara "p" a la "n".



c) Silici monocristal·lí i policristal·lí (poly-Si)

Les plaques de silici policristal·lí han arribat a aconseguir una eficiència del 24,7 %. El sistema de flux d'electrons és molt semblant al de les plaques de silici amorf, i també tenen la unió p-n. La diferència entre el silici monocristal·lí i el silici policristal·lí és simple: en el primer cas, el silici està format d'un sol cristall, en canvi, en el segon cas, és el conjunt de petits cristalls de silici. Normalment, es fa servir un dopant. La relació entre el silici policristal·lí i el silici amorf és que ambdós necessiten una alta temperatura perquè cristal·litzi el silici. També, s'utilitzen metalls com l'alumini, l'or o la plata, per construir elèctrodes, ja que tenen una major conducció. Quan es combinen els dos estils

de plaques es diu que és un procés híbrid. En general, el silici policristal·lí es considera un material difícil d'aconseguir i car. Normalment, s'usen en panells solars, però també, a la indústria semiconductora o microelectrònica, tot i que té moltes altres aplicacions. Per altra banda, el silici monocristal·lí és més car que el policristal·lí. No obstant, té una major eficiència.



Placa de silici

Silici policristal·lí

d) DSSC ("Dye sensitized solar cell")

Aquest tipus de plaques són les que hem tractat, especialment, en aquest treball. Les seves sigles signifiquen "Cèl·lules solars sensibilitzades mitjançant colorants nanocristalins".

Aquestes cel·les van ser inventades per Michael Graetzel i Brian O'Regan a "École Polytechnique Fédérale de Lausanne" l'any 1991. I per això, es coneixen amb el nom de "Graetzel cells".

Aquestes plaques han anat evolucionant fins a aconseguir un eficiència del 11,3 %. Es considera que són les plaques del futur i, cada cop més, es creu que seran el substitut de les plaques convencionals. Compleixen la base que són d'un baix cost de producció, tenen una bona eficiència, estabilitat, abundància, i s'adapten perfectament al medi ambient.

El cost de fabricació és baix perquè els materials són barats, abundants i fàcils d'aconseguir com ara: òxids inorgànics nanocristalins, líquids iònics, forats orgànics conductors o aparells conductors de polímers.

Un altre al·licient d'aquest tipus de plaques és que es degraden més lentament que les plaques de silici. A més a més, poden ser lleugeres i flexibles i s'adhereixen més fàcilment a les superfícies. Les DSSC es poden aplicar en diferents camps, com per exemple, el de l'arquitectura. Més endavant, explicarem el seu funcionament de manera més detallada.

2.2. Cèl·lula solar amb colorants nanocristal·lins tipus DSSC

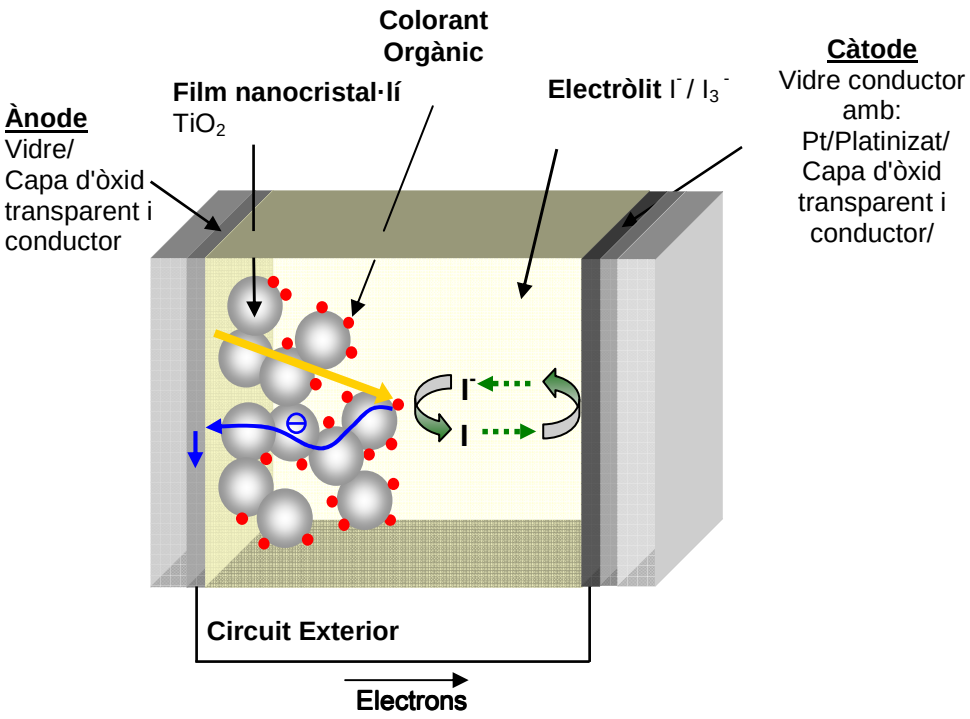
2.2.1. Què són? Com funcionen?

En comparació a les cèl·lules solars convencionals, el colorant nanocristal·lí sensibilitza la cèl·lula que passa a ser una cèl·lula fotoelectroquímica.

Aquest tipus de plaques és un dels primers mecanismes que va més enllà de la tecnologia microelectrònica; entra en el regne que es coneix com a **nanotecnologia.**

Plaques DSSC de l'ICIQ

La següent imatge és l'estructura general d'aquestes plaques:



Esquema i sistema electrònic de les DSSC

Com es pot veure en l'esquema, les plaques consten d'un ànode o placa de vidre recoberta d'òxids de metalls transparents i conductors, com per exemple l'SnO_2, sobre el qual s'hi diposita una cap de TiO_2 nanocristal·lí que es tenyeix amb un colorant orgànic (natural o artificial). El càtode o contra-elèctrode és també una placa de vidre recoberta del mateix òxid transparent i conductor i amb una superfície de grafit o bé de platí platinitzat. Entre mig de les plaques s'hi posa un electròlit (Iodur/triiodur) que mitjançant una reacció redox comunica els dos elèctrodes.

A continuació, detallarem cadascun dels seus components, segons els usat en la nostra recerca.

- **Diòxid de titani**

El tipus de TiO_2 és molt variat, en el nostre cas fem servir Degussa P25 que conté proporcions de formes de cristal·lització anatassa 80% i rutil 20%. La utilització de TiO_2 com a capa semiconductora està molt consolidada donat que el TiO_2 és un compost molt estable, molt abundant i no és tòxic. No obstant això, la recerca per trobar nous materials continua, ja que es busca un material que permeti una major mobilitat dels electrons i així, reduir la resistència del transport d'electrons, com és el cas del ZnO. És important el fet que el semiconductor tingui una elevada Energia interbandes o "bangap", és a dir, un elevat salt energètic entre la banda de conducció i la banda de València.

- **Colorant**

Els colorants poden ser naturals o bé obtinguts per síntesi química. Aquests han de ser capaços d'absorbir fotons d'una banda de l'espectre, com més àmplia millor, a fi de poder excitar un major nombre d'electrons a la capa de conducció corresponen a l'estat excitat del colorant.

a. Colorant natural

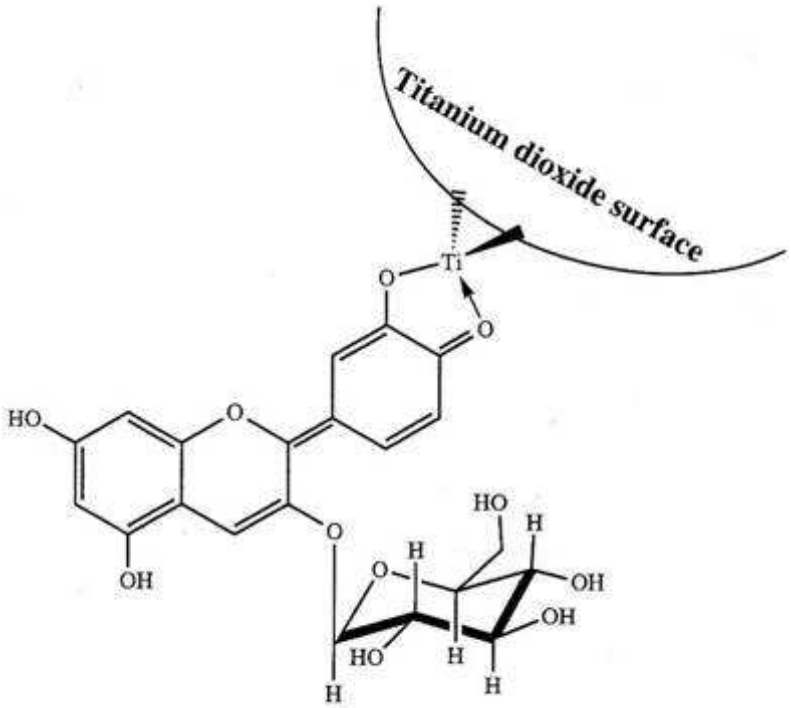
En principi utilitzem un colorant natural. La extracció del colorant la fem a partir de la col llombarda. Es poden utilitzar diversos colorants, però és imprescindible que continguin antocianina.

L'antocianina és un pigment natural de color vermell blavós. És la responsable de l'àmplia gama de colors vermells-violetes-blaus que tenen les flors, les plantes i les fulles. La seva funció és protegir les plantes de la llum ultraviolada (UV) i també, gràcies a la seva propietat antioxidant, evita la producció de radicals lliures.

La seva coloració és deguda a un mecanisme de defensa. També, gràcies als seus colors vius, estimula la pol·linització. L'antocianina és un pigment resultant de la degradació de la clorofil·la, com és el cas del color de les fulles a la tardor.

En aquest pigment es produeix l'efecte batocròmic que consisteix en que, al variar el pH, el pigment canvia de color. De manera que, en condicions àcides es passa al vermell ataronjat, com és el cas de la pelargonidina (R,R'=H), en condicions neutres al vermell intens de la cianidina (R=OH, R'=H) i al vermell porpra-blau de la delfinidina (R, R'=OH) en condicions alcalines. Un factor que contribueix a la varietat de colors de les flors, les fulles i els fruits és la coexistència de varis tipus d'antocianina en un mateix teixit.

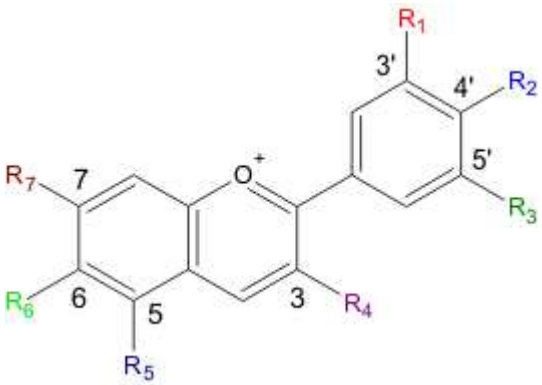
Les diferents antocianines contenen el mateix esquelet de carboni però difereixen en la naturalesa dels grups substituents. Es creu que la col llombarda conté un tipus d'antocianina amb tres grups OH.



Estructura del complex colorant/TiO_2 de l'antocianina

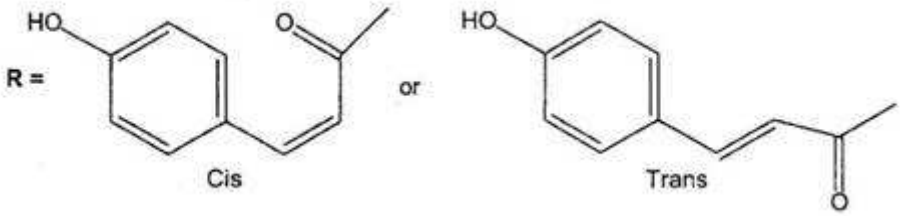
El quadre següent ens mostra les principals antocianines i els seus radicals corresponents:

Antocianines	R	R'
Cianidina	OH	OH
Peonidina	OCH3	H
Delfinidina	OH	OH
Petunidina	OCH3	OH
Malvidina	OCH3	OCH3
Pelargonidina	H	H



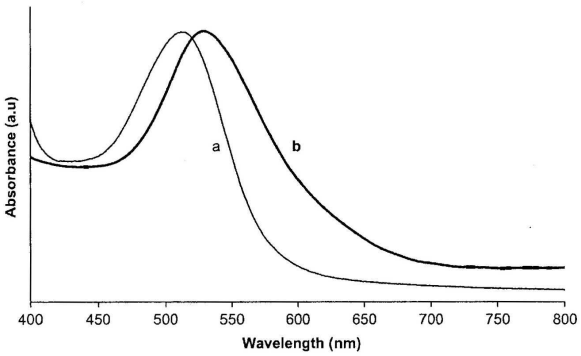
Radicals, R1 i R2, específics de la col llombarda

Les antocianines, a més, poden ser presents en les fulles de les plantes, fent que aquestes també mostrin un color vermellós.

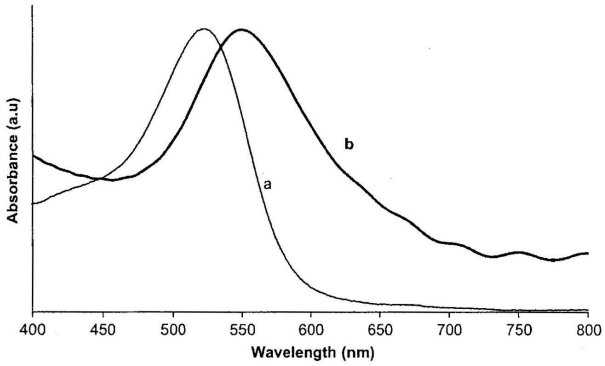


Estructures químiques de dos tipus de radicals de l'antocianina

En les figures següents, tenim dues gràfiques on es mostren les bandes de l'espectre d'absorció de l'antocianina present en el suc de taronja i l'albergínia. Cal destacar que les longituds d'ona on hi ha més absorció són molt semblants i ambdues oscil·len entre 475 i 575 nm.



Banda d'absorció de l'antocianina del suc de taronja

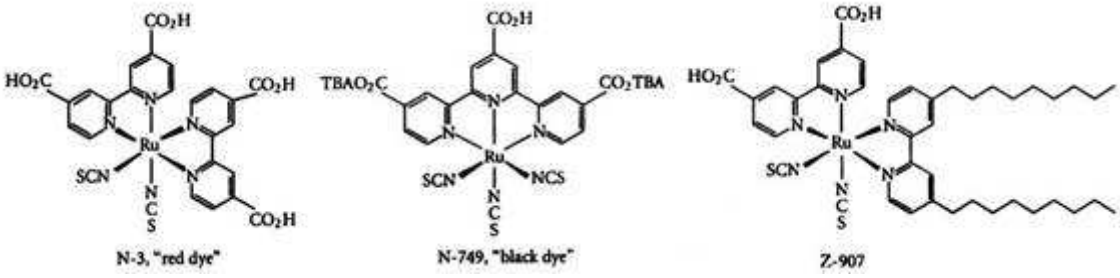


Banda d'absorció de l'antocianina de l'albergínia

b. Colorant artificial

Tres colorants són els que s'apliquen normalment a les DSSC. Aquests colorants es basen en ruteni. El seu centre catalític es basa en un complex organometàl·lic de fórmula general: $Ru_xL_ySCN_z$, on L i L' són enllaços polypyridyl estan preparats per comercialitzar-se i mostren una excel·lent eficiència amb rendiments superiors al 11%. Els colorants artificials més foscos, per sobre d'una longitud d'ona de 900 nm, són els que donen més eficiència. Una variant del complex de ruteni àmpliament usada que difereix de les altres només en el grau de protonació és N-719. Els colorants N-3 són de color vermell, el N-749 és negre i el Z-907 no se sap.

Els tres complexos polypyridy de ruteni més usats són els que es mostren en la següent figura:



- **Electròlits**

  Els electròlits són components molt importants i essencials en les DSSC. En les nostres plaques l'electròlit és una dissolució de iode i iodur de potassi en etilenglicol en baixa concentració. Aquests actuen de "mediadors". L'ió iodur reemplaça l'electró perdut per absorció d'un fotó per part del colorant.

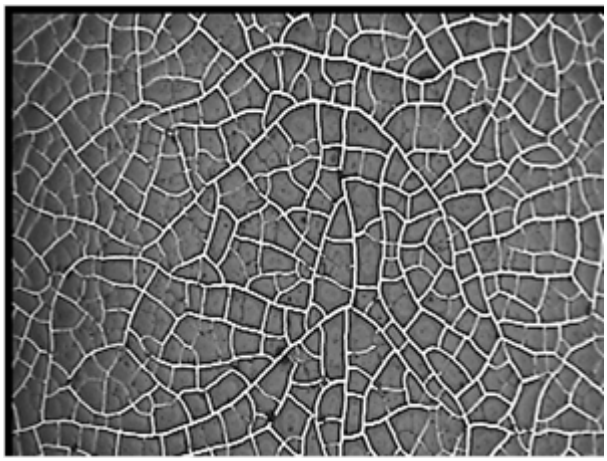
- **Contra-elèctrode o càtode**

  El càtode és el vidre conductor recobert d'òxid d'estany, i amb una altra capa d'un catalitzador, el nostre cas, amb platí o grafit. La seva funció consisteix en permetre el pas d'electrons provinents de la càrrega, permetent el cicle electrònic gràcies a la injecció d'un electró, provinent d'una càrrega exterior, i catalitzant la reacció de reducció del complex iodur/triiodur.

  En teoria, el platí té un major rendiment que el carboni grafit degut a que ofereix menys resistència al pas d'electrons. Aleshores, el rendiment de dues plaques que només difereixin en el recobriment del contra-elèctrode (una de grafit i l'altra de platí), hauria de ser major en la de platí que en la de carboni grafit.

Muntatge de la placa

Per crear una cèl·lula solar nanocristal·lina, es distribueix uniformement una suspensió de partícules de diòxid de titani (TiO_2) en un vidre de SiO_2, de mida nanomètrica. La placa de SiO_2 prèviament ha estat coberta amb una capa de diòxid d'estany, SnO_2, molt prima, conductora i transparent. La pel·lícula de TiO_2 és assecada i després sinteritzada a 700ºC amb una "mufla". Si augmentem aquesta pel·lícula, el que veiem s'assembla a una esponja prima o a una membrana.



Pel·lícula de TiO_2 de les nostres plaques vistes amb el microscopi Mòtic del nostre institut

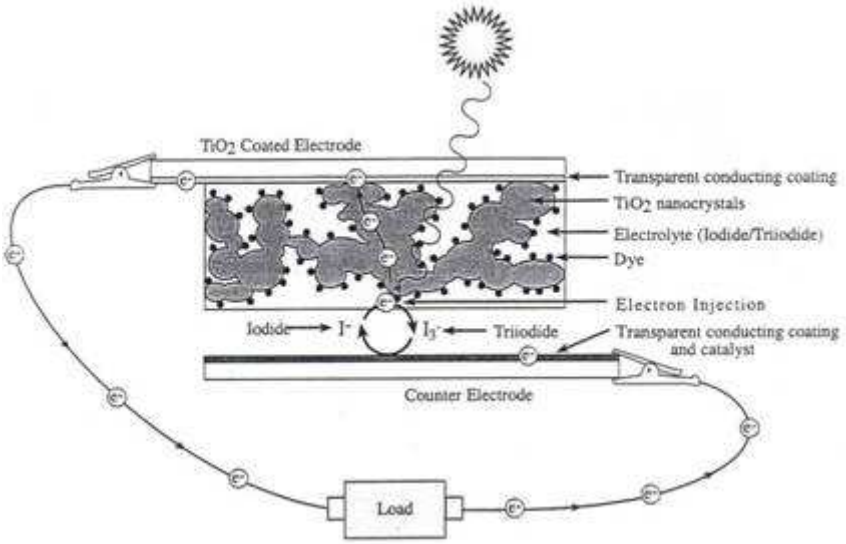
A continuació, la placa amb la pel·lícula de TiO_2 es submergeix en una solució de colorant. Es poden utilitzar molts tipus de colorants naturals, però és imprescindible que tinguin un grup químic que es pugui adherir a la superfície del TiO_2.

També, és necessari que tinguin uns nivells d'energia en les posicions pròpies per a la injecció d'electrons i la sensibilització. Una única capa de molècules de colorant adsorbeix una partícula de TiO_2 i serveix com a captador de llum. Per completar el mecanisme, es tira una gota d'electròlit líquid, que conté iodur, a la pel·lícula de TiO_2 perquè es pugui filtrar pels porus de la pel·lícula. El contra-elèctrode està format per un vidre conductor cobert amb una capa catalítica prima de platí o carboni. Amb l'última part de la placa ja muntada, es posa damunt de l'ànode i la placa resultant s'il·lumina pel costat on hi ha el TiO_2.

Funcionament

Tot seguit, analitzarem i explicarem pas a pas el funcionament de les plaques DSSC (dye sensitized solar cell).

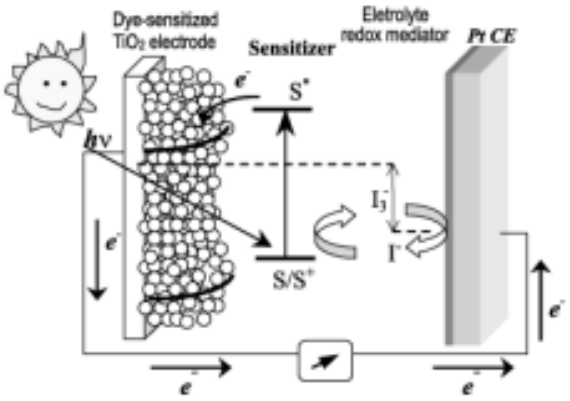
La llum excita els electrons del colorant. Aquest salt de nivell energètic que experimenten els electrons és tal que provoca que acabin saltant. Aquests electrons són injectats en el diòxid de titani nanocristal·lí. Els electrons flueixen des de l'elèctrode catalitzat de TiO_2, passant per la càrrega, fins al contra-elèctrode.



Funcionament de la placa DSSC

Els electrons que perd el colorant, excitats per la llum, són ràpidament reemplaçats pel mediador, que és l'ió iodur de la solució d'electròlit. El mediador oxidat forma triiodur que al seu torn obté un electró al contra-elèctrode, després que l'electró ha fluid a través del circuit exterior. Aquest procés és catalitzat pel grafit o el Pt/platinitzat que hi ha damunt de la capa conductora del contra-elèctrode o càtode.

En les plaques solars fotovoltàiques el procés d'absorció de llum i separació de càrrega elèctrica formant-se un "forat" és el mateix i, per tant, simultani.
La cèl·lula solar nanocristal·lina funciona a partir del principi en què els processos de l'absorció de la llum i la separació de les càrregues són diferents.



$$S + h\upsilon \rightarrow S^* \quad (1)$$

$$S^* + TiO_2 \rightarrow S^+ + e^-_{cb}(TiO_2) \quad (2)$$

$$e^-_{cb}(TiO_2) + C.E. \rightarrow TiO_2 + e^-_{Pt}(C.E.) \quad (3)$$

$$S^+ + 3/2I^- \rightarrow S + 1/2I^-_3 \quad (4)$$

$$1/2I^-_3 + e^-_{Pt}(C.E.) \rightarrow 3/2I^- + C.E. \quad (5)$$

Com es pot veure en la figura anterior, **l'absorció de la llum** és realitzada pel complex semiconductor/colorant (normalment un complex organometàl·lic) que està químicament adherit a la superfície rugosa de la capa de TiO_2, que recobreix el vidre transparent i conductor. Les partícules diminutes de TiO_2 són cristalls, que oscil·len entre 1 i 5 bilionèsimes part d'un metre de mida (10^{-9} metres), són anomenats cristalls nanocristal·lins. Quan il·luminem la cèl·lula solar un electró de la banda de València del complex TiO_2|S capta un fotó hν i passa a la banda de conducció e_{cb}, per tant, el colorant S^*, que és la molècula excitada, transfereix un electró a la capa semiconductora de TiO_2 i el complex passa a la forma oxidada $TiO_2|S^+$. Aquest procés representat per les equacions (1) i (2) s'anomena **injecció d'electrons** o **sensibilització**. La xarxa interconnectada de porus de la capa del semiconductor TiO_2 permet el transport d'electrons fins al vidre a través de la capa conductora, normalment SnO_2 dopada amb F.

$$S + h\upsilon \rightarrow S^* \quad (1)$$

$$S^* + TiO_2 \rightarrow S^+ + e^-_{cb}(TiO_2) \quad (2)$$

- L'estat excitat del colorant ha d'estar energèticament per damunt de la **banda de conducció** de les nanopartícules del semiconductor. D'aquesta manera l'injecció electrònica cap al semiconductor pot competir amb èxit amb la reacció de desactivació del colorant $S^* \rightarrow S$.
- L'energia interbandes o "bangap", és a dir, el salt energètic entre la banda de conducció i la banda de València del semiconductor determina la **diferència de potencial** de la placa.

- El semiconductor, en aquest cas el TiO_2, ha de tenir un gran "bangap" o Energia interbandes.
- Com més partícules de semiconductor estiguin enllaçades amb el colorant i impregnades d'electròlit, **els electrons injectats seran absorbits amb més eficàcia**, hi haurà un **transport més elevat d'electrons** i, per tant, el corrent generat serà més intents. Per això, és crucial l'estructura nanocristal·lina i porosa del TiO_2 que facilita una major superfície de contacte en el sistema semiconductor/colorant/electròlit.

L'electró que salta de la pel·lícula de TiO_2 al vidre és conduït externament per un fil conductor des de l'ànode fins al càtode, passant entre mig del circuit a través d'un consumidor extern cap el càtode o contra-elèctrode (C.E.). Segons l'equació (3).

$$e^{-}_{cb}(TiO_2) + C.E. \rightarrow TiO_2 + e^{-}_{Pt}(C.E.) \quad (3)$$

<u>En resum, a partir d'un únic fotó s'aconsegueix una càrrega elèctrica.</u>

Pel que fa al forat produït en el colorant S^+ per la transferència de l'electró al TiO_2, és regenerat per l'electròlit format per la solució iodur/triiodur, segons l'equació (4).

$$S^+ + 3/2I^- \rightarrow S + 1/2I^-_3 \quad (4)$$

<u>Per tant, el forat electrònic del colorant produeix una càrrega positiva que és restablerta pel mediador, l'electròlit iodur/triiodur donador d'electrons, transferint-li un electró.</u>

Finalment, els electrons recollits a l'ànode, després de passar per la càrrega elèctrica (per exemple un motor o una llum), arriben al contra-elèctrode i són captats pel mediador, que es redueix gràcies al catalitzador, Pt/platinitzat o bé el grafit del C.E. Segons l'equació (5).

$$1/2I^-_3 + e^{-}_{Pt}(C.E.) \rightarrow 3/2I^- + C.E. \quad (5)$$

- La cinètica d'aquesta reacció determina que el temps que triga a reduir-se el triiodur sigui superior al temps que triga l'electró a circular pel

circuit exterior. Això fa que el Pt pugui subministrar un electró al triiodur i catalitzar la reducció a iodur, altrament no es donaria el procés. És a dir, el procés es controlat mitjançant competició cinètica.

- El procés de fotoconversió és regeneratiu, tal com es pot deduir del balanç estequiomètric de les 5 equacions (1). És a dir, no hi ha un canvi químic net en la composició de la cèl·lula i així s'assegura la seva estabilitat i durabilitat.

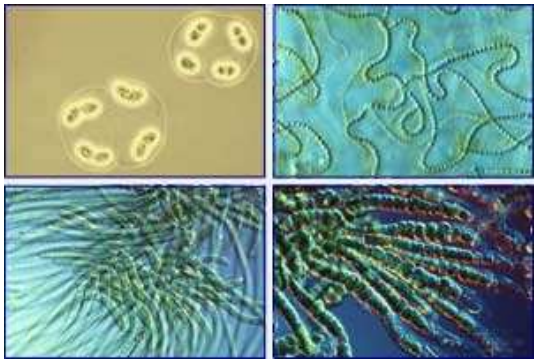
Així doncs, el circuit és tancat i l'electricitat produïda.

2.2.2 Quina relació tenen les DSSC amb la fotosíntesis?

Tres bilions i mig d'anys endarrere, la terra era molt diferent del que és actualment. Els primers organismes fotosintètics eren simples *(chemosynthetic)* i utilitzaven el H_2S, compostos orgànics i llum solar per produir energia, és a dir, sucres, hidrats de carboni i diferents compostos pel seu organisme. Per poder-ho fer, reutilitzaven un pigment: la clorofil·la. Els electrons anaven del H_2S al CO_2 reduint-lo, produint hidrats de carboni que eren utilitzats per emmagatzemar energia.

$$2H_2S + CO_2 + h\nu \rightarrow C(H_2O) + H_2O + 2S$$

Quan els volcans i altres activitats geològiques van començar, l'àcid sulfhídric, electrons donadors i altres components van esdevenir limitats, impossibilitant el



procés de la fotosíntesi que necessitava electrons donadors per a completar el cicle. La solució va sorgir gràcies a l'ajuda d'uns enzims, que associats a la clorofil·la, van poder utilitzar l'aigua com a donador d'electrons. Amb l'energia provinent del Sol (fotons), aquests organismes hidrolitzaven l'aigua desprenent oxigen com a residu.

La fotosíntesis realitzada per les colònies de cianobacteris (estromatòlits) emetia altes concentracions d'oxigen (O_2). Alguns nous tipus de bacteris van

estar forçats a evitar àrees d'oceans, llum i les noves comunitats de productors d'oxigen que vivien allà.
Els organismes no fotosintètics van estar forçats a desenvolupar un complex mecanisme per poder tolerar l'oxigen tòxic per ells. Algunes bactèries, davant la possibilitat d'utilitzar l'oxigen per a catabolitzar compostos orgànics, van adaptar-se per poder oxidar aeròbiament.

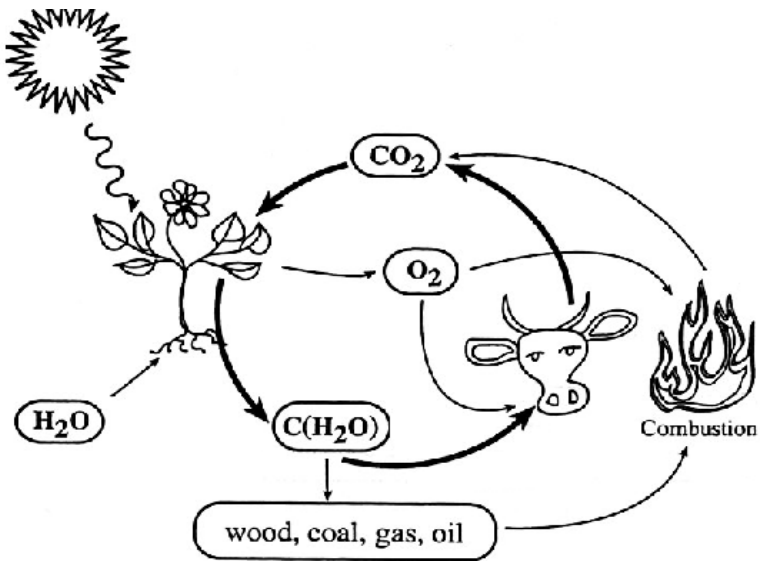
Aviat, un nou cercle sorgia implicant plantes, animals i l'oxigen. La llum del sol donava energia a les plantes que la fixaven en unes molècules complexes orgàniques. Les molècules orgàniques, com els hidrats de carboni, eren trencades i oxidades per les plantes i els animals. El diòxid de carboni originalment agafat de l'atmosfera, es retornava a ella. Avui dia aquest cicle renovable i reversible condueix tot el procés de la terra.

$H_2O + CO_2 + h\nu \rightarrow C(H_2O) + O_2$ (fotosíntesis)

$C(H_2O) + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2$ + energia alliberada (respiració)

Com a resultat, les cadenes alimentàries i els cicles biogeoquímics es desenvolupaven en elements com el carboni, oxigen, fòsfor i nitrogen que s'intercanviaven entre la biosfera, atmosfera i Terra geològica.

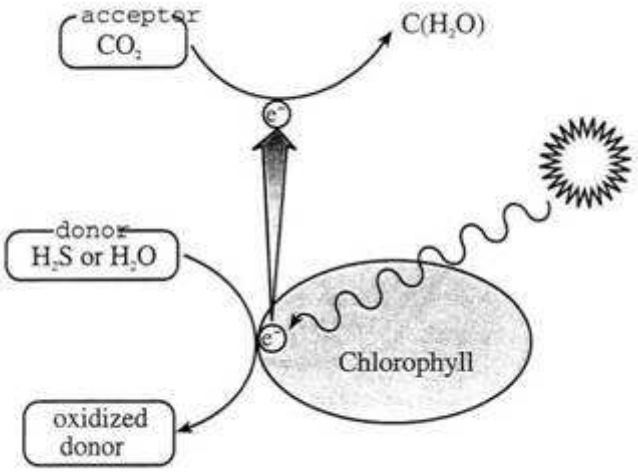
La relació que trobem de les plaques DSSC amb la fotosíntesi és l'electró que aporta l'aigua i que quan incideix energia lluminosa s'excita, és a dir, puja de nivell energètic. Aquest electró que les plantes utilitzen en la fotosíntesi fins arribar a obtenir energia, és el que nosaltres, amb



Cicle de la Fotosíntesis-Respiració

l'antocianina de la planta, la qual extraiem del colorant d'una fruita o d'un colorant artificial, utilitzem per poder produir corrent. El moviment d'aquest electró que passa d'un elèctrode de la placa a l'altre, per l'energia lluminosa que rep del Sol o d'una bombeta potent, forma un circuit tancat, ja que l'electró es regenera amb l'electròlit i això permet obtenir un corrent continu.

La funció de la clorofil·la com a injectora d'electrons en les nostres plaques la fa el colorant. Com a acceptador d'electrons, en la fotosíntesi trobem el CO_2, mentre que en les DSSC el TiO_2 és el que compleix aquesta funció. En la fotosíntesi el donador d'electrons és l'aigua o el sulfur d'hidrogen i en canvi en les nostres plaques, és la solució iodur/triiodur (electròlit).



Esquema general dels elements
que intervenen en la fotosíntesis

2.3.V-Heurística

Com millorar el rendiment de la placa DSSC?

TEORIA

- **Relació Fotosíntesi-DSSC**

La relació de les plaques DSSC amb la fotosíntesi és que l'electró l'aporta l'aigua i quan incideix energia lluminosa s'excita i puja de nivell energètic.

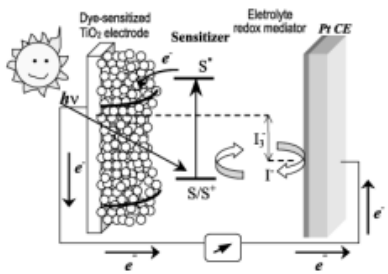
$$S + h\upsilon \rightarrow S^*$$

$$S^* + TiO_2 \rightarrow S^+ + e^-_{cb}(TiO_2)$$

$$e^-_{cb}(TiO_2) + C.E. \rightarrow TiO_2 + e^-_{Pt}(C.E.)$$

$$S^+ + 3/2I^- \rightarrow S + 1/2I^-_3$$

$$1/2I^-_3 + e^-_{Pt}(C.E.) \rightarrow 3/2I^- + C.E.$$



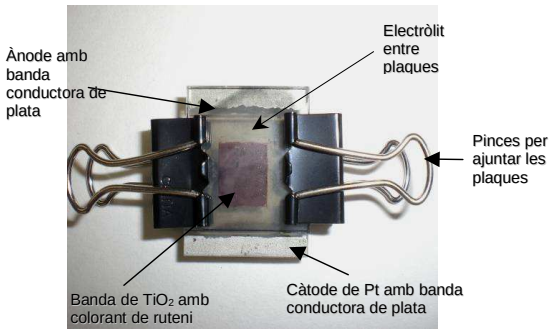
- **Funcionament**

La llum excita els electrons de les molècules del colorant i aquests es desprenen d'aquestes i són injectats al TiO_2 (ànode). Després, flueixen per un circuit extern fins arribar al càtode on està en contacte amb l'electròlit, el mediador, que es redueix, amb l'electró rebut, i injecta un altre electró al colorant completant el circuit electrònic.

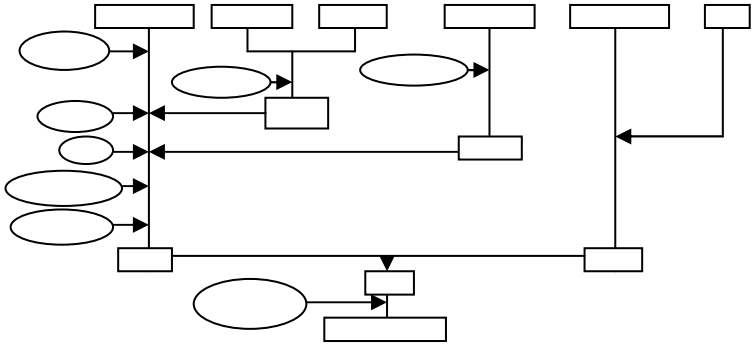
OBJECTIUS

- Construcció de plaques DSSC i testar la seva eficiència.
- Obtenir colorants naturals.
- Optimitzar el muntatge de l'experiència.
- Visitar centres especialitzats.

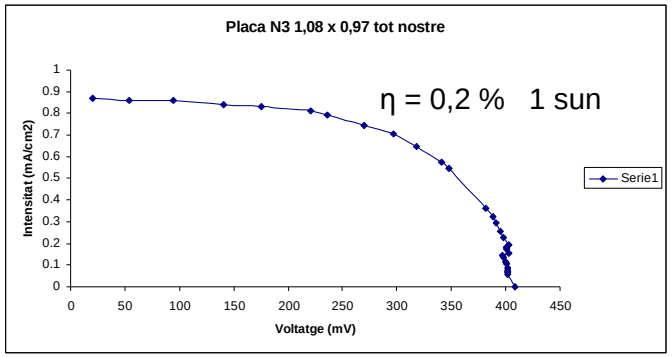
MATERIAL



PROCEDIMENT



CORBES DE POTÈNCIA



CONCLUSIONS EXPERIMENTALS

- Hem aconseguit que la placa produís corrent. Tot i que els rendiments no han estat els òptims.
- Hem obtingut colorants naturals.
- El mètode de captació de dades (font d'alimentació i reòstat) ha estat un èxit.
- Hem fet sonar un brunzidor gràcies a la intensitat obtinguda.

3. FASE EXPERIMENTAL

3.1. Material i utillatge necessari

Elements de seguretat

- Ulleres protectores de seguretat
- Guants de làtex
- Bata

Material emprat per a la preparació dels productes

- 6 grams de pólvores de diòxid de titani col·loïdal (per un grup de suspensió)
- Sulfatant (com el "*Tríton X 100*") o detergent clar per vaixelles
- Solució d'àcid nítric (10ml de pH 3-4 en aigua desionitzada) o 0,2ml d'acetil acetona
- Etanol i aigua desionitzada en ampolles
- Vas de precipitats
- Kitasato
- Mà de morter
- Morter
- Matràs erlenmeyer
- Matràs aforat
- Pots de proba d'orina
- Aigua destil·lada
- Proveta
- Vidre de rellotge
- Balança

Material emprat per a la construcció de la placa

- Plaques conductores revestides de diòxid d'estany, (2,54cm x 2,54cm) (inclòs)
- Pinces
- Celo

- Vareta de vidre agitadora
- Paper absorbent
- Escovillons de cotó
- Pipeta
- Aspirador
- Pistola d'aire calent amb tub
- Estenalles
- Càpsula de petri
- Llapis de grafit tou
- Paper de filtre
- Clips de carpeta
- La solució d'electròlit de iodur en una ampolla de comptagotes 0,5 M iodur de potassi barrejat amb 0,05 M de iode en etalén glicol lliure d'aigua.
- Ampolla de comptagotes pel TiO_2 en suspensió
- Cinta de coure: 3M No. 1181 amb adhesiu conductiu i sensible
- Bosses de plàstic
- Sobres (paper de vidre) per emmagatzemar plaques de vidre.
- Placa de plàstic policarbonat ("*Lexan*") (2,5cm x 2,5cm)

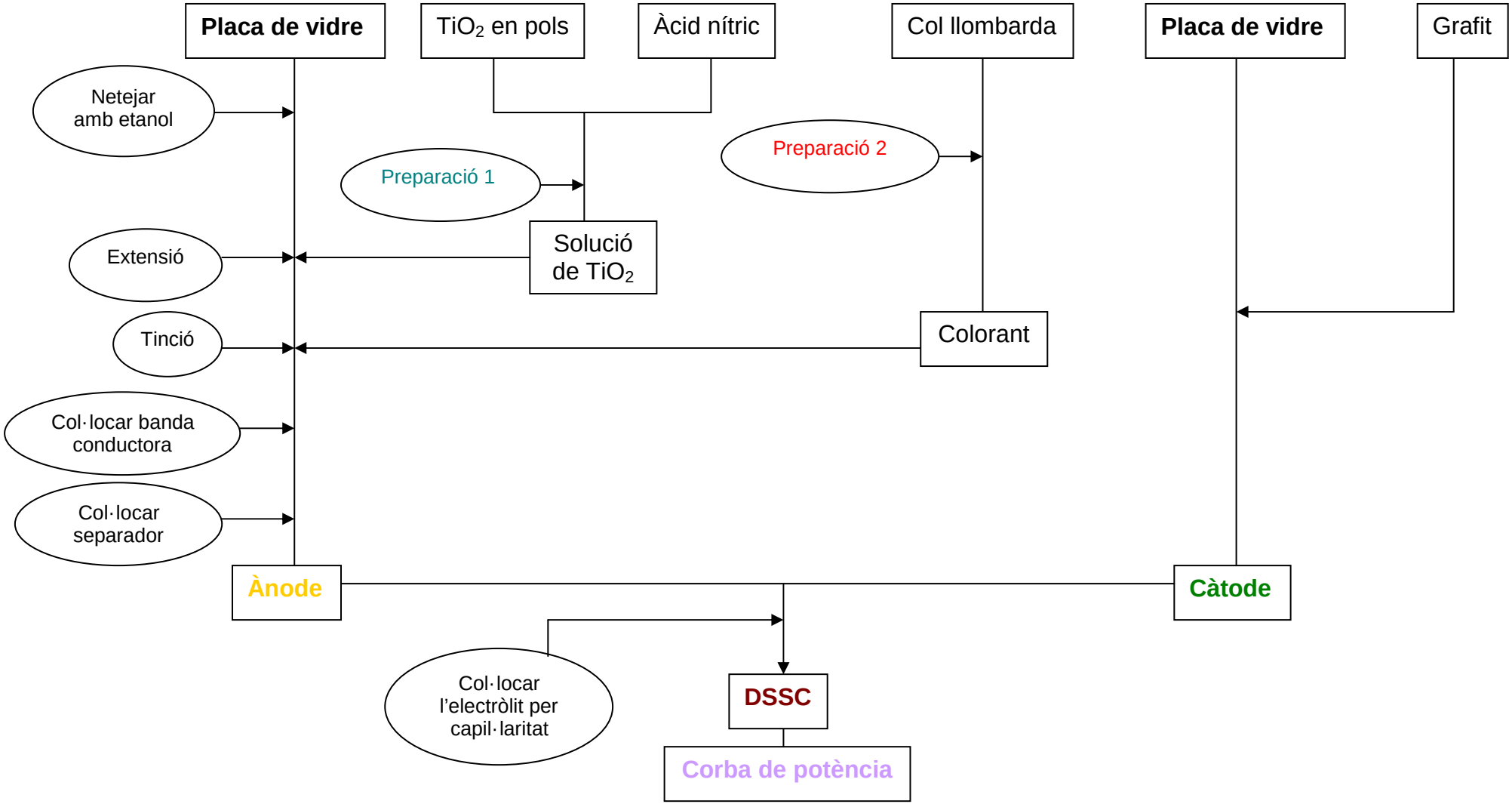
Materials emprats per la captació de dades

- Multímetre
- Ampolla de cultiu
- Font lluminosa: un retroprojector, o una làmpada halògena amb reflector parabòlic (de 200W)
- Potenciòmetre de 500 Ohm o una càrrega variable
- Cables (negre i vermell)
- Clips de cocodril
- Nous
- Pinces
- Tros de fusta
- Transformador
- Consola Multilog Pro

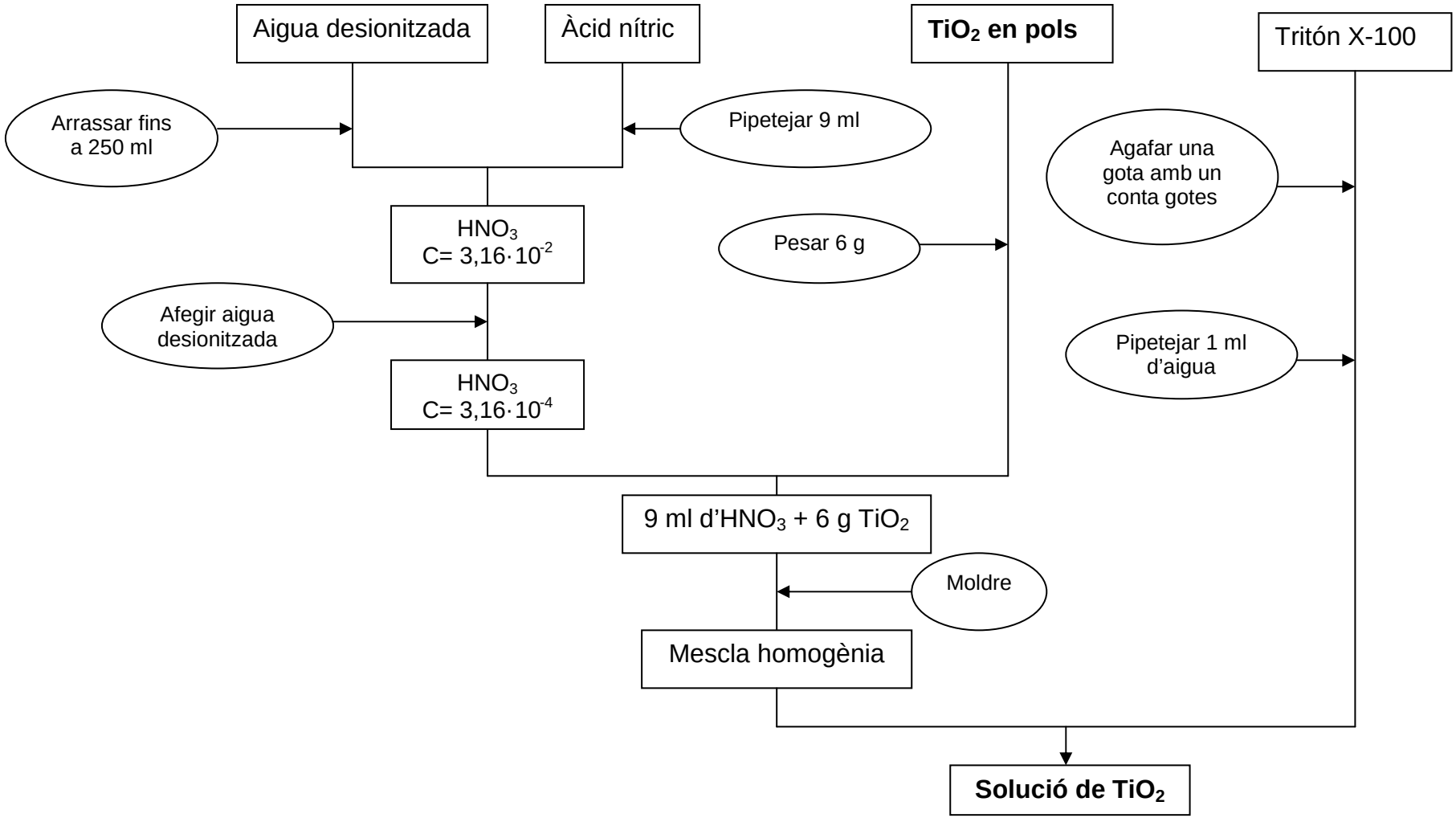
- Sensor de temperatura Multilog Pro
- Font d'alimentació
- Suport
- Brunzidor
- Caseta electrònica
- Resistències
- Peça de fusta
- Regle gran
- Nivell
- Peu de rei

3.2. Procediment

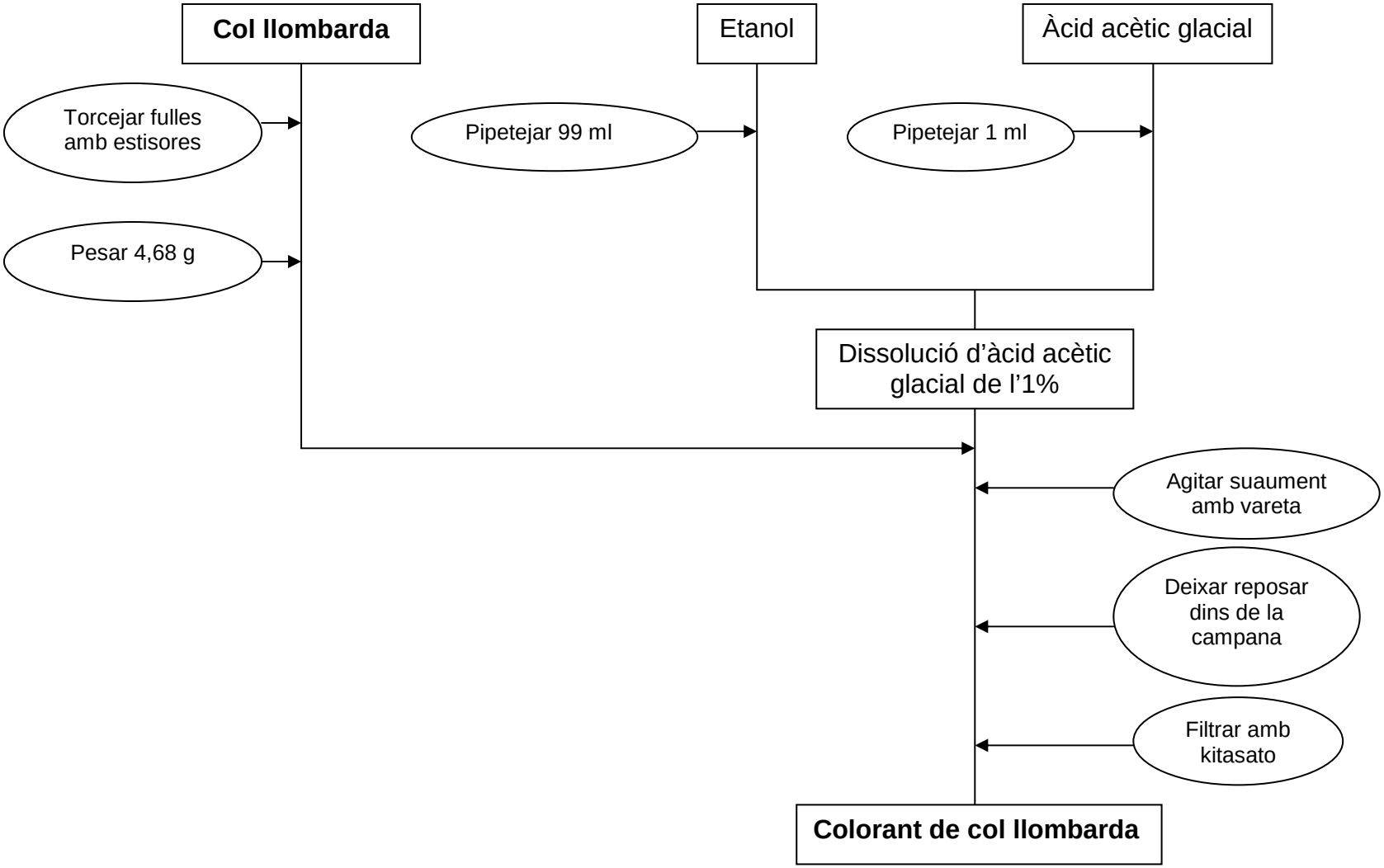
3.2.1. Base d'orientació: Muntatge d'un placa i mesura de la seva eficàcia



3.2.1.1. Preparació 1: Preparació de la solució de TiO_2



3.2.1.2. Preparació 2: Preparació del colorant de la col llombarda



3.2.2. Procediment inicial

Per arribar a assolir el nostre propòsit, construir una placa DSSC, vam seguir diversos passos predeterminats que havíem de seguir rigorosament, que són els que veurem a continuació:

1. Construcció de l'ànode

a) Preparació d'àcid nítric pH 3- 4

- Càlculs preparació de 1dm^3 de HNO3 de pH 3,5

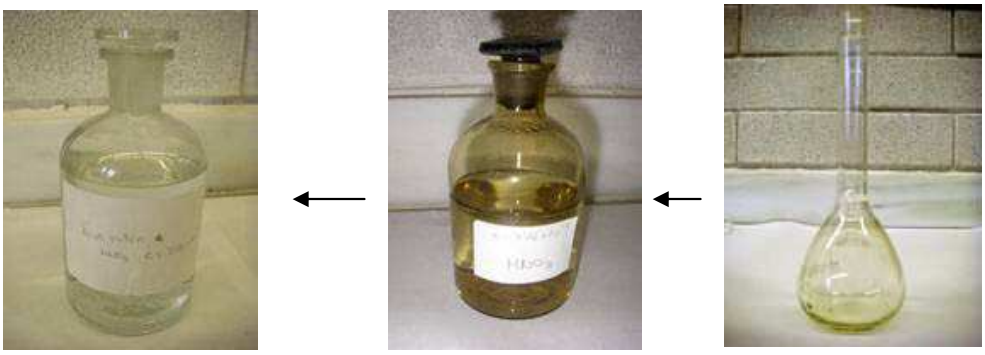
$HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + NO_3^-$

pH = - log $[H_3O^+]$ = 3,5 aleshores $[H_3O^+] = 10^{-3,5} = 3,16.10^{-4}$ mol/dm^3 , i

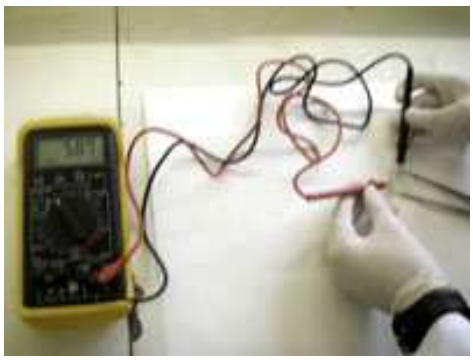
$$v = \frac{10^{-3,5} molsHNO_3}{1dm^3} \times 1dm^3 \times \frac{63gHNO_3}{1molHNO_3} \times \frac{100gdissolució}{60gHNO_3\,purs} \times \frac{1cm^3dissolució}{1,38gdissolució} = 0,024\,cm^3\ HNO_3$$

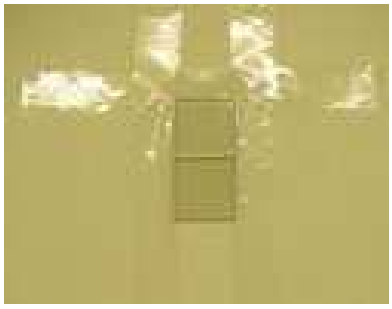
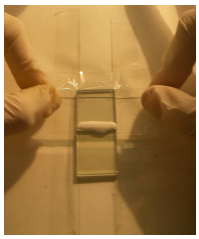
serà el volum que hem de pipetejar de HNO_3 per a preparar 1 dm^3 d'aquesta dissolució. Però aquest volum resulta ser molt petit.

- Per resoldre aquest inconvenient primer, en pipetegem 0,024 x100 = 2,4 cm^3 i ho dissolem en 1 dm^3 d'aigua. Així la concentració resulta ser de 3,16 $\cdot 10^{-2}$ mol/dm^3 .
- A continuació, pipetegem 10 cm^3 i els diluïm fins a 1000 cm^3 de tal manera que la concentració de la dissolució serà de 3,16$\cdot 10^{-4}$ mol/dm^3 i tindrà un pH de 4, tal com volíem.
- Finalment, en reservem una quantitat en dos flascons degudament etiquetats.



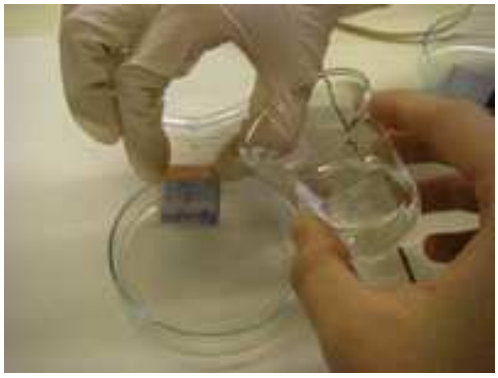
b) Preparació de la suspensió col·loïdal de TiO_2	
• Pesem 6 grams de TiO_2 amb un vidre de rellotge a la bàscula. Els posem en un morter i li afegim 9ml, de mil·lilitre en mil·lilitre, alhora que amb la mà de morter anem aixafant, fins aconseguir una mescla homogènia, durant 30 min.	
• Afegim una gota de sulfactant Tríton X-100 en una proveta. I amb una xeringa hi afegim 1ml d'aigua. Ho afegim a la suspensió de diòxid de titani. • Ho deixem en absolut repòs durant 15 min. • Passat aquest període de temps ho posem en un pot.	

c) Extensió del TiO_2	
• Netegem una placa amb etanol, i després comprovem la cara conductora amb un voltímetre. • Deixem el costat conductor mirant cap a munt sobre un paper net, on ens assegurem una higiene completa. • Determinem la cara conductora d'una altra placa i, en aquest cas, la part conductora anirà cara avall. La col·locarem just per sota de l'altra placa, amb l'objectiu d'obtenir una millor extensió del TiO_2 a la placa conductora.	 

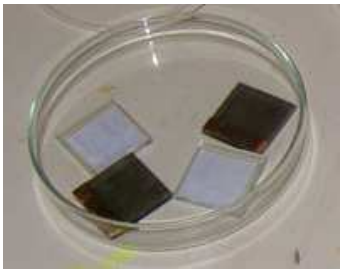
• Col·loquem una tira de cinta adhesiva a cada costat de la placa de manera que cobreixi 1 o 2 mm de la placa. Per la part de sobre el gruix que cobrirà la cinta adhesiva ha de ser de 4 o 5 mm. La cinta adhesiva serveix per delimitar la zona d'extensió i delimitar també el gruix de la capa de diòxid de titani.	
• Agafem l'ampolleta de TiO_2 i apliquem el contingut al principi de la placa de sobre, la conductora. Aleshores, agafem un porta i ho estenem per la placa ràpidament, per tal de que no s'assequi i quedin grumolls, creant una capa fina i sense bombolles d'aire de TiO_2. • Més tard, quan el diòxid de titani s'assequi, el portem a calcinar. • Una vegada calcinat, afegim una tira adhesiva de coure, de 4 o 5 mm d'amplitud, i l'enganxem a la part superior de la placa on no hi ha el recobriment de TiO_2.	

d) Preparació de colorant natural	
• Utilitzem la col llombarda com a hortalissa per extreure el nostre colorant natural. • Agafem aproximadament quatre fulles de col llombarda i les trossegem amb unes estisores netes. I pesem 4,68 g de trossets de col llombarda	

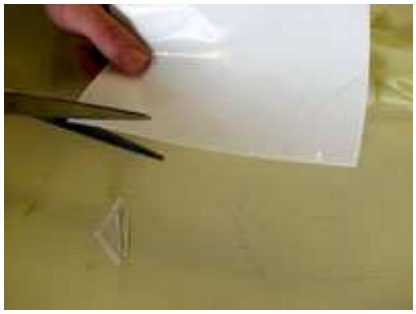
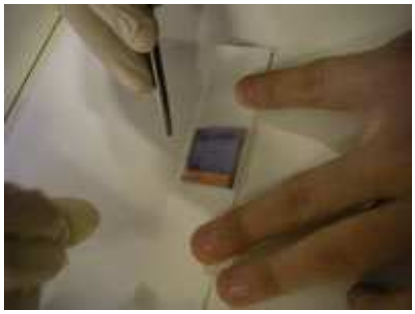
• Preparem una dissolució d'àcid acètic glacial en etanol de l'1%, en preparem 100 ml. • Posem 99 ml d'etanol i 1 ml d'àcid acètic glacial. Ho hem de preparar en una campana, ja que l'àcid acètic glacial desprèn gasos tòxics.	
• Agafem els trossets tallat de la col llombarda i els aboquem al vas de precipitats junt amb la dissolució d'àcid acètic glacial. Amb una vareta de vidre aixafem i agitem els trossos de fulles per ajudar a que el colorant es desprengui. Deixem reposar-ho a la foscor fins que les fulles estiguin blanquinoses (si cal, es deixa reposar durant 24 hores).	
• Un cop la dissolució hagi agafat un color fosc, la microfiltrem amb el kitasato. Fem el buit en el kitasato perquè bulli l'etanol i així obtinguem un colorant més pur. Per aconseguir que s'evapori l'etanol, enganxem la trompa d'aigua a pressió al kitasato i així podem aconseguir el buit. • Utilitzem la vareta agitadora perquè quan aboquem la dissolució a l'aparell no caiguin les fulles. • El líquid obtingut el guardem en un pot net i a la nevera si no s'utilitza immediatament.	

e) Tinció TiO_2 amb colorant natural	
• Agafem el pot amb el colorant de col llombarda i en posem un dit en una càpsula de petri. • Agafem la placa i la posem en la càpsula de petri amb colorant de manera que la cara coberta de TiO_2 quedi cara avall, durant 10-15 minuts.	
• Passats aquests minuts, netegem la placa tirant-li aigua desionitzada en abundància fins que l'aigua ja no tingui color. I repetim el procés amb etanol. Tot seguit ho deixem assecar i ho acabem netejant amb molta cura amb un paper de filtre net.	

2. Construcció del càtode

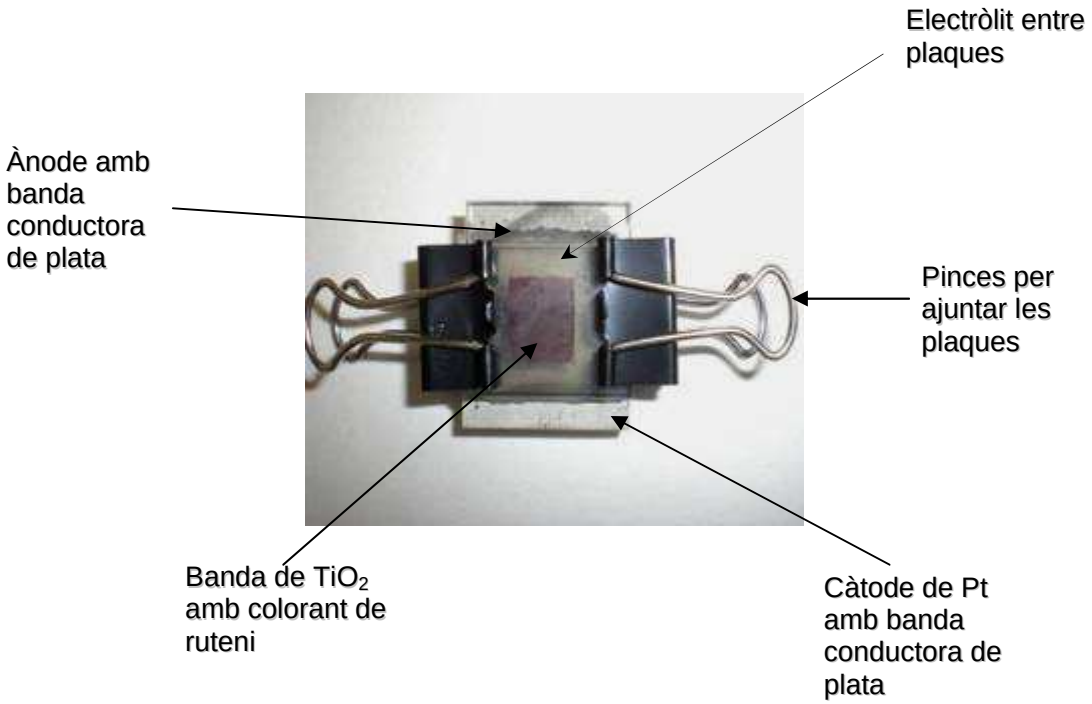
a) Recobriment de grafit	
• Comprovem el cantó conductor de una placa mitjançant un voltímetre. Serà per la part conductora per on hem de pintar amb un llapis de carboni grafit.	
• Agafem un altre tros de cinta adhesiva de coure d'uns 4 o 5 mm d'amplada i de llargada igual que la longitud de la placa. L'enganxem en un extrem de la placa, independentment de quin sigui.	

3. Muntatge de la placa

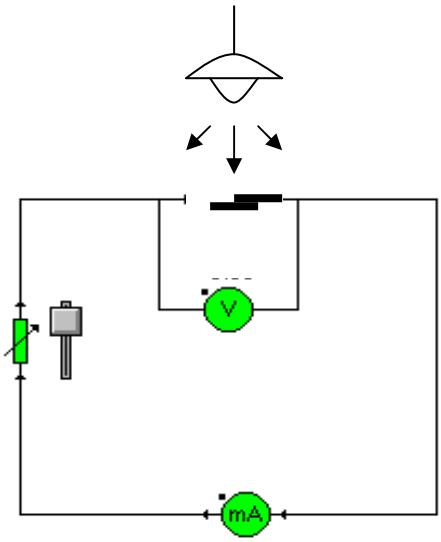
a) Preparació de l'ànode per tancar	
• Agafem el full de separador i tallem cinc trossos. Cada Tros de separador ha de mesurar al voltant d'uns 0,1– 0,2cm de gruix i 2,5 cm de llarg (igual que les dimensions de les nostres plaques). • Un cop tenim l'ànode net amb el diòxid de titani tintat i la cinta de coure, el col·loquem cara amunt. Aleshores, agafem les tires de separador i les col·loquem amb molta cura a cada cantó de la placa. Un a baix de tot, és a dir, al cantó oposat a on hi ha la cinta de coure. Dues tires a l'extrem dret i les dues restants en l'extrem esquerra. Ho podem fer amb l'ajuda d'unes pinces.	 

b) Ajuntar l'ànode i el càtode	
• Agafem el càtode i el posem cara avall mirant a l'ànode de manera que la cinta de coure del càtode quedi mirant cap al cantó contrari de la cinta de coure de l'ànode. Poc a poc, l'anem baixant fins fer-los tocar un amb l'altre.	
• Amb dues pinces de papereria ajuntem les plaques col·locant-les una en cada extrem de la placa, on no hi ha cinta de coure.	

• Finalment, quan tenim la placa muntada, li posem l'electròlit. Aquest li posem per la part on hi ha la cinta de coure, on no hem posat separador, ja que sinó no entraria l'electròlit.	



4. Caracterització de la placa



Per a poder caracteritzar la placa, és a dir, fer una corba de potència i determinar el seu rendiment cal muntar aquest circuit i seguir el següent procediment.

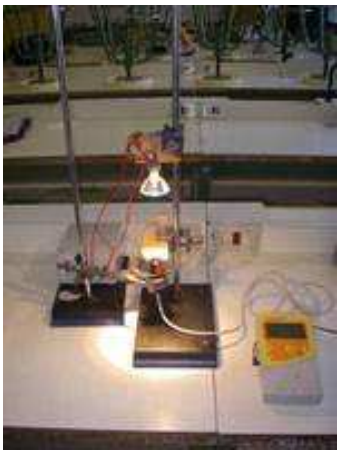
- Il·luminar la placa amb una làmpada halògena.
- Controlar que la irradiància que arribi a la placa sigui de I = 1000 W/m^2=1 Sun.
- Mesurar el voltatge als extrems de la placa amb el circuit obert.
- Tancar el circuit i mesurar el voltatge i la intensitat que circula a mesura que variem la resistència.

a) Muntatge

Primer, col·locarem la base metàl·lica. Fixada a aquesta, posem una barreta metàl·lica que serveix per subjectar amb una nou la font de llum (a la part de dalt de la barra).
També, s'utilitza una nou per subjectar una petita fusta que servirà com a base per recolzar la placa de TiO_2.
Al costat d'aquesta base metàl·lica es troba una altra de similar, però de dimensions una mica més reduïdes. Té la funció de servir de base a l'alimentador de la bombeta al·lògena.

b) Mesura de la irradiància

Un cop està la placa col·locada en el muntatge, aquesta ha de rebre una intensitat lluminosa equivalent a 1000 w/m^2, és a dir, "1 sun". Perquè això sigui possible s'ha de calcular a quina distància ha d'estar el focus emissor de llum (en aquest cas una bombeta de 200 W) de la placa.
Emprant un regle i un sensor de radiació solar, es deixa fixa la superfície on reposa la placa i es va movent el focus fins que el sensor marqui una irradiància de 1000 w/m^2 (1sun). Tot i que en el nostre cas i degut a que la precisió del sensor no permetia afinar més, aquesta irradiància va ser de I = 1040 W/m^2.
Un cop sabem a quina distància correspon una irradiància aproximada de 1000 W/m^2, fixem la bombeta al·lògena al suport metàl·lic amb una nou. Tot seguit, endollem la bombeta a la seva pròpia font d'alimentació (caixa gris), i aquesta, a la xarxa elèctrica.



c) Captació de dades amb el Multilog i ús de la resistència variable

Després, vam decidir que el mètode que havíem de seguir era fer servir un amperímetre (per mesurar intensitat) i un voltímetre (per mesurar voltatge), i recollir les dades amb el Multilog. També, contàvem amb una resistència variable de 500 Ω. Mitjançant la qual, connectada al circuit es pot aconseguir variar els valors del voltatge i la intensitat aconseguint.
Per tant, s'obtindran varis punts d'intensitat i voltatge diferents que serviran, més endavant, per confeccionar la gràfica.
El problema que presentava tal resistència era que tenia un recorregut curt per abastar els 500 Ω que oferia aquesta, i que en aquest recorregut no estaven marcats els valors entremitjos de resistència entre 0 i 500 Ω. Era un procediment difícil i lent per aconseguir punts suficientment acceptables com per construir una gràfica vàlida que mostrés la realitat.

Per tal de solucionar aquest problema vam fer unes marques amb un permanent al llarg de la resistència cada 1 i posteriorment 0,5 mm, per a treballar amb més precisió i comoditat. Per aconseguir fer la gràfica, variàvem el valor de la resistència variable amb una palanca que tenia aquesta resistència. El primer pas va ser fer una mesura de les nostres dos variables, intensitat i voltatge, amb el circuit en obert, és a dir, amb una resistència infinita degut a que l'oposició que reben els electrons al pas del corrent és la més gran possible. Tot seguit, situàvem la resistència en la posició de 0 Ω, fèiem una primera mesura i anotàvem els valors de voltatge i intensitat en full, el qual un cop completades totes les mesures bolcaríem a l'ordinador per a obtenir la gràfica d'aquesta placa. Després d'aquesta mesura, augmentàvem molt poc el valor de la resistència (0.5 mm o menys del recorregut de la resistència) i tornàvem a fer una altra mesura amb la consola. Així anàvem fent mesures successives fins arribar als 500 Ω que oferia com a màxim la nostra resistència. Obtenint una sèrie de punts bastant àmplia vam poder dibuixar una gràfica a l'ordinador amb el programa Multilab.	

Malgrat tot, els primers resultats foren força decebedors perquè les corbes de potència no tenien la forma esperada i les nostres plaques no produïen corrent elèctric mesurable.

AIXÍ DONCS, CALIA BUSCAR ALGUNA ALTERNATIVA PER:

- **MILLORAR EL RENDIMENT DE LA PLACA.**
- **MILLORAR LA CAPACITAT DE MESURA DEL VOLTATGE I LA INTENSITAT.**

Per això, vam visitar el CIN2 de la UAB i l'ICIQ de Tarragona i vam fer les consultes corresponents als investigadors que treballen en el tema.

3.2.3. Variacions en el procediment

Els canvis en el procediment van ser realitzats tenint en compte una sèrie de variables:

- **Recobriment del vidre de les plaques**

En un principi, vam utilitzar les plaques del kit de l'ICE que estaven dopades amb SnO_2, material semiconductor. A sobre d'aquest material semiconductor, vam afegir la pel·lícula de TiO_2. Un cop vistos els resultats, però, vam poder realitzar les visites a l'ICIQ i a l'UAB, on ens van proporcionar plaques dopades amb una fina pel·lícula de TiO_2. Tot i això, el recobriment posterior de pasta de TiO_2 és necessari igualment. De manera que, si queden forats al TiO_2 de la pasta, no es produirà curtcircuit perquè ja hi haurà una capa prèvia.
Per tant, esperem que la millora de rendiment sigui evident.

- **Preparació del TiO_2**

Suspensió TiO_2

És important que la solució de TiO_2 en àcid nítric (HNO_3) estigui ben preparada. És a dir, la pasta de TiO_2 ha de ser una suspensió col·loïdal.
S'hauria d'observar que aquesta suspensió té un color uniforme i sense grumolls.

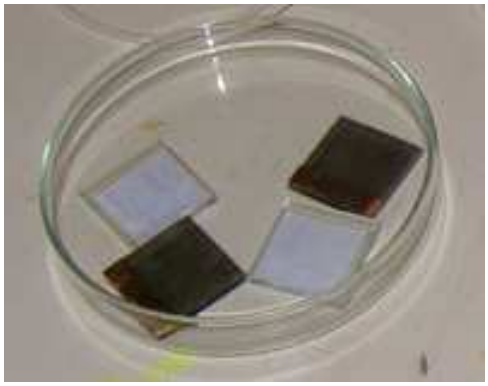
Pel·lícula de TiO_2

És imprescindible que l'extensió de TiO_2 formi una capa uniforme al llarg de tota la superfície del vidre conductor.
Teòricament, l'extensió de la pel·lícula de TiO_2 ha de tenir un gruix òptim de 7 a 10 micròmetres per permetre una bona circulació electrònica. És important que

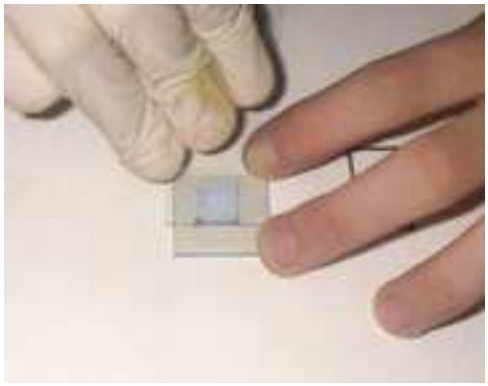
la capa sigui totalment uniforme i que no tingui grumolls ni espais sense TiO_2, per evitar que és produeixin forats electrònics que provocaran curt circuits.
Tenint en compte aquesta sèrie d'aspectes, procurarem millorar el rendiment.

- **Superfície de TiO_2**

Degut a la resistència inevitable del vidre, el moviment dels electrons és dificultós. La resistència és multiplica com més superfície han de recórrer els electrons, per tant, menys corrent produirà la placa.
Per aquest motiu agafem la placa completament recoberta de TiO_2 (2,54 x 2,54 cm^2) i disminuïm la superfície de l'extensió traient el TiO_2 amb un porta objectes fins arribar a la superfície d'1cm^2. Amb això esperem augmentar el rendiment



Les plaques blanques són les recobertes totalment de TiO_2



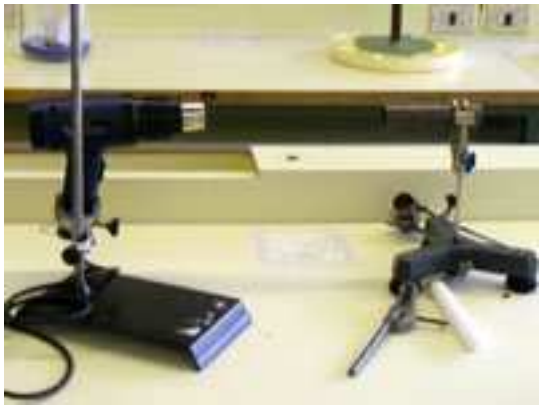
Placa amb menys superfície de TiO_2

- **Diòxid de titani escalfat**

Els investigadors/es de l'ICIQ ens van recomanar escalfar, a uns 120ºC, la pel·lícula de TiO_2 abans de ser tenyida amb el colorant. Així, l'aigua que pot contenir el TiO_2, donat que és força hidroscòpic, s'evapora, permetent una millor conducció. En cas contrari, les molècules d'aigua reemplacen el lloc on s'ha d'adherir el colorant.
Per aconseguir-ho utilitzem una pistola d'aire calent i un tub metàl·lic col·locat davant de la sortida d'aire, a una certa distància. El tub serveix com a suport per la placa que estarà durant 10 minuts a 120ºC, tal com hem comprovat prèviament amb un termòmetre.

Amb aquest canvi, esperem una millora en el rendiment.

En les següents imatges podem veure el muntatge emprat:



Pistola escalfant la placa (dins el tub)

- **Presència de l'electròlit**

S'ha d'introduir unes gotetes d'electròlit a la placa per un fenomen anomenat capil·laritat. Aquest fenomen és el mateix que es produeix als capil·lars de les plantes. Com que el diàmetre que tenen els capil·lars és tan petit, les substàncies líquides són capaces de pujar des del tronc fins a les parts més altes de l'organisme vegetal.

Ampolla d'electròlit i placa

Gràcies a que l'espai que hi ha entre placa i placa és suficientment petit, l'electròlit hauria d'entrar i repartir-se per tota la placa.

Una altra de les variables que afecten al rendiment és la durada de la captació de dades que afecta en la quantitat d'electròlit. La solució de iodur/triiodur, s'evapora fàcilment, per aquest motiu les primeres dades de l'enregistrament han estat més fiables que les darreres.

Així doncs, esperem augmentar el rendiment controlant la quantitat d'electròlit, afegint-hi regularment.

- **Colorant de ruteni**

El primer colorant natural que vam utilitzar va ser la col llombarda, però, al analitzar els resultats vam veure que el rendiment no era gens satisfactori, tal com ja hem comentat anteriorment.

Per solucionar aquest problema, el senyor José Antonio Ayllón ens va proporcionar un colorant artificial (ruteni).

Amb el colorant artificial de ruteni esperem un millor rendiment, ja que teòricament, són molt més eficients que els colorants naturals.

El motiu rau en el fet que la banda d'absorció del N-3 (ruteni) és més àmplia i comprèn longituds d'ones més petites. A menor longitud d'ona, més freqüència i, per tant, més energia, la qual cosa repercuteix positivament en el rendiment de la placa.

A partir d'uns grams de ruteni en pols preparem una dissolució amb àcid acètic glacial amb la qual aconseguim el colorant artificial:

- Pesem els 0,16 g de ruteni, en una bàscula, per assegurar-nos de la seva massa.
- Posem en un vas de precipitats 50 ml d'etanol.
- Aboquem els 0,16 grams de ruteni al vas de precipitats, junt amb l'etanol, i agitem amb una vareta de vidre.

Preparació del Ruteni (N-3)

- **Temps de tinció**

Lògicament, com més duri la tinció del TiO_2 en el colorant, més adherit quedarà el colorant en aquest. L'augment d'eficiència és evident, ja que més molècules de colorant poden ser excitades pels fotons. Seguidament, després d'haver passat un mínim de 24 hores amb el colorant, netegem la placa de la mateix manera que hem fet en el procediment inicial.

Tinció de la placa (N-3)

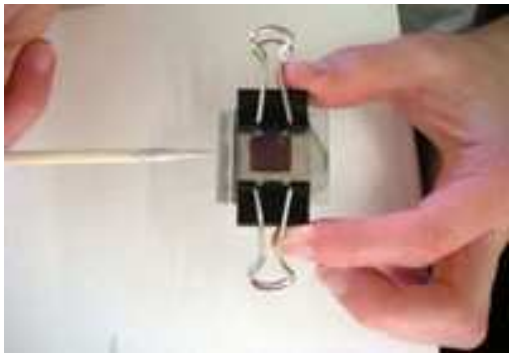
Netegem la placa amb etanol

- **Contra-elèctrode de platí**

El platí, com a recobriment del contra-elèctrode, proporciona més rendiment que el grafit. Això és degut a la seva major conductivitat elèctrica.
Tenim dos tipus de plaques amb platí. Un era aplicat directament sobre la nostra placa inicial procés que es va fer a l'UAB i l'altre tipus va ser el que ens va donar l'ICIQ on la placa ja tenia el recobriment de platí fet.

- **Banda conductora de plata**

Després de diferents proves fetes, ens vam adonar que la cinta de coure, per on s'enganxaven les pinces de cocodril, quedava molt degradada a causa del poder corrosiu de l'electròlit i de les



Recobriment de plata

mateixes pinces. Aleshores, l'alternativa va ser utilitzar una pintura de plata, evidentment, conductora.

- **Longitud d'ona del focus emissor**

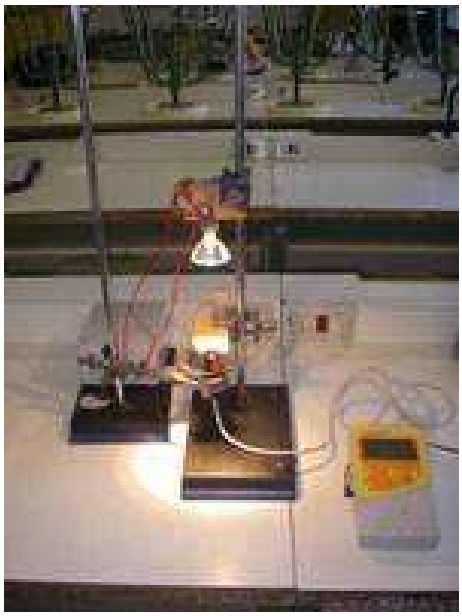
En teoria, la longitud d'ona de la franja de l'espectre que emet el focus condiciona la posterior eficiència de la placa. Això és així degut a que cada colorant pot absorbir una determinada franja de l'espectre, i només aquesta la pot assimilar. És a dir, que només permet donar electrons excitats si rep una radiació de longitud d'ona compresa entre uns mínims i uns màxims fixats en nanòmetres.
El nostre laboratori no disposa de material tecnològic suficientment avançat com per a determinar la longitud d'ona que emet la nostra làmpada al·lògena, però sí que es pot saber, consultant informació especialitzada, a quina longitud d'ona capta el nostre colorant.
Aleshores, el rendiment de la placa no és l'òptim ja que no es coneix en quin espectre emet.

ICIQ- Sala de Fotofísica

- **Potència que ofereix el focus emissor de llum**

La placa que està col·locada al muntatge ha de rebre una intensitat lluminosa equivalent a 1000 w/m^2, és a dir, "1 sun". Aquesta mesura equival a la potència

de la radiació solar dividit per la superfície. Perquè això sigui possible s'ha de calcular a quina distància ha d'estar el focus emissor de llum de la placa.
L'energia elèctrica produïda per la placa vindrà determinada, en gran part, per la intensitat lluminosa entrant.
Aleshores, esperem que si la intensitat rebuda equival a 1 sun, el rendiment final de la placa serà el màxim.



Determinació de la irradiància

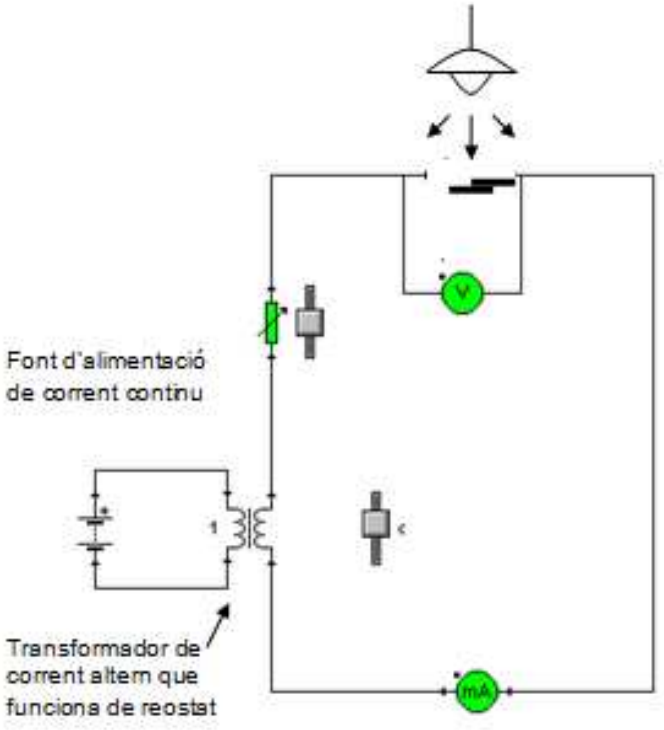
- **Canvi en la captació de dades**

Tal com ja hem comentat, primerament, usàvem conjunts de resistències associades en paral·lel (per aconseguir valors baixos de resistència total) i col·locàvem el conjunt en sèrie en el circuit per la captació de dades.
Però, vist que els resultats no van ser gaire bons, vam decidir buscar alternatives, per poder trobar més punts, i obtenir una gràfica més definida (sobretot a la caiguda), vam decidir usar el següent mètode de captació de dades.
Usant un transformador de corrent altern, però alimentant-lo amb una font de corrent continu de 0 a 0,2 V aconseguíem disposar de valors molt baixos de voltatge a la sortida d'aquest "reostat gegant" i si connectàvem el circuit inicial a aquesta font variable de baix voltatge i intensitat podíem aconseguir **bones**

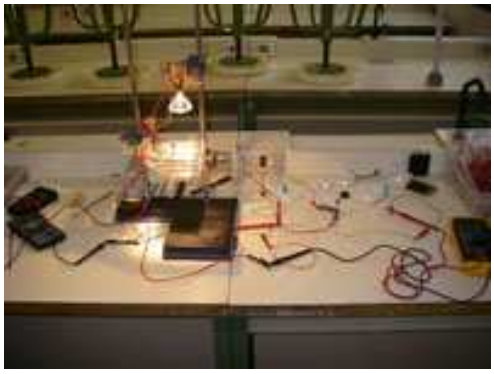
corbes. A més, si volíem, podíem col·locar resistències variables en sèrie en el circuit i **encara podíem afinar més les mesures.**
Així, vam obtenir una gràfica de voltatge i intensitat per una primera placa on es veia molt ben definida la caiguda i la potència màxima.

JA TENÍEM UN MÈTODE DE MESURA QUE ENS PERMETIA CONSTRUIR LES CORBES DE POTÈNCIA, CALCULAR ELS RENDIMENTS I COMPARAR LES DIVERSES PLAQUES !

L'esquema del circuit del muntatge "transformador-reostat" que finalment va resultar exitós fou el que es mostra.



El circuit consta de dos multímetres. L'un fa la funció de voltímetre, és a dir, calcula el voltatge. I l'altre, fa la funció d'amperímetre, per tant, calcula la intensitat. Ambdós estan connectats al circuit en paral·lel i cadascú està localitzat a un pol de la placa. El transformador el vam connectar a la xarxa elèctrica i, alhora, el reostat connectat al transformador. El reostat tenia una sortida en forma d'endoll i, a



aquest, li vam connectar tots els elements que formen el circuit com són: cables, amperímetres i placa solar.

El voltatge inicial, captat pel transformador, passa al reostat i, mitjançant la variació de la roda del reostat (variació de la resistència al pas del corrent), aconseguíem variar la potència d'entrada a la placa.

Un cop el circuit estava tancat vam voler calcular punts d'intensitat i voltatge de cada placa per poder fer una gràfica. Així doncs, anàvem variant la roda del reostat. Per a començar a fer enregistrament, partíem d'un primer enregistrament, que constava en fer una mesura de potència amb el circuit en obert. En un principi, començàvem sense cap resistència externa, simplement, fèiem passar la roda del reostat de 0 a 100 (segons l'escala que tenia marcada).

Vam introduir unes quantes resistències combinades al circuit en sèrie (5, 20, 50, 100 i 200 Ω), però ens vam adonar que la suma de totes elles era insuficient per a fer baixar la intensitat, i així, dibuixar una corba amb una caiguda definida. Aleshores, vam decidir usar resistències de valors molts majors (5, 10, 20 kΩ...). Per tant, quan arribàvem al 100 del reostat, per a poder seguir baixant per la corba, necessitàvem introduir al circuit una major resistència. En disposàvem de moltes i variades. Llavors, tornàvem a repetir el mateix procés d'abans amb la roda del reostat. La diferència és que ara, començàvem a girar la roda des del valor d'intensitat anterior fins arribar novament al valor de 100. Així, anàvem afegint resistències fins que aconseguíem baixar d'intensitat i que la corba realitzés una caiguda fins a 0 A.

4. FASE POST- EXPERIMENTAL

Tot seguit analitzarem, en forma de gràfiques, les característiques i els resultats obtinguts d'un seguit de plaques amb les quals hem treballat al laboratori.

Característiques plaques ICIQ:

Prova	Superfície (cm^2)	TiO_2	Colorant	Electròlit	Contra-elèctrode	Contactes
1	0.97x1	Escalfat	Ruteni	Complex iodur/triiodur	Platí	Pintura de Ag
2	0.4x0.4	Escalfat	425	Complex iodur/triiodur	Platí	Pintura de Ag
3	0.204	Escalfat	AR20	Complex iodur/triiodur	Platí	Pintura de Ag

Característiques plaques nostres:

Prova	Superfície (cm^2)	TiO_2	Colorant	Electròlit	Contra-elèctrode	Contactes
4	1.08x0.97	No escalfat	Ruteni	Complex iodur/triiodur	Platí	Pintura de Ag
5	1.08x0.97	No escalfat	Ruteni	Complex iodur/triiodur	Platí	Pintura de Ag
6	1.08x1.2	Escalfat	Ruteni	Complex iodur/triiodur	Grafit	Coure

4.1. Gràfiques i càlculs dels rendiments de les plaques

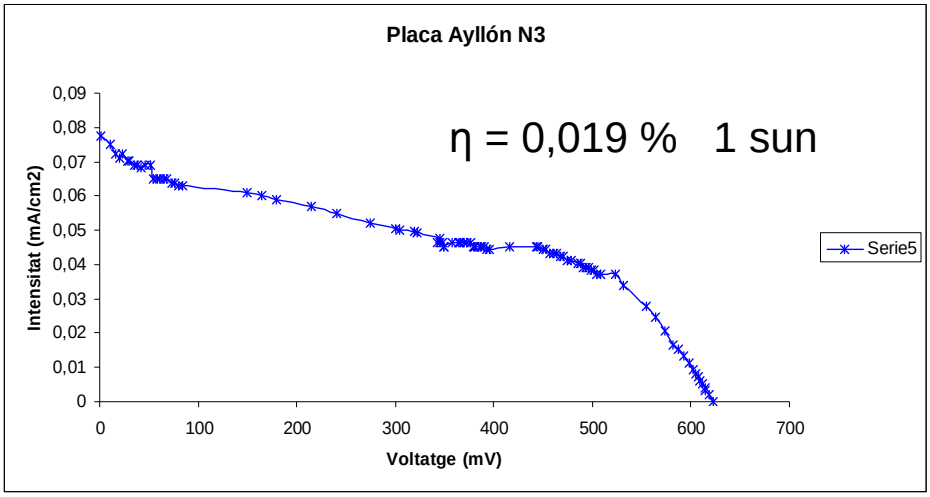
Prova 1: Placa Ayllón

Escalfat	Ruteni	Complex iodur/triiodur	Platí	Pintura de Ag

a) Tipus de placa

Electrode	TiO_2
Colorant	N3
Electròlit	Complex iodur/triiodur
Contraelectrode	Pt
Superfície	0,97cm x 1cm = 0,97 cm^2
Contactes	Pintura de Ag
Altres	Placa UAB tancada

b) Corba de potència



c) Càlcul de la potència lluminosa rebuda

- Mesurem de la irradiància amb el sensor de radiació solar total.

$$I = 1040\ W/m^2 \cong 1\ Sun\ (1000\ W/m^2)$$

- Mesurem, amb l'ajuda d'un regle o un peu de rei, de la superfície útil de la placa.

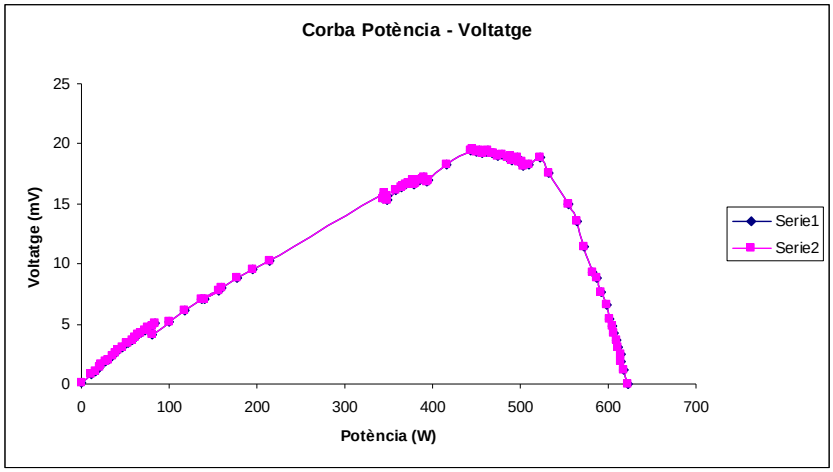
$$S_{útil} = 0{,}97 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 0{,}97 \text{ cm}^2 \rightarrow 0{,}97\ 10^{-4} \text{ m}^2$$

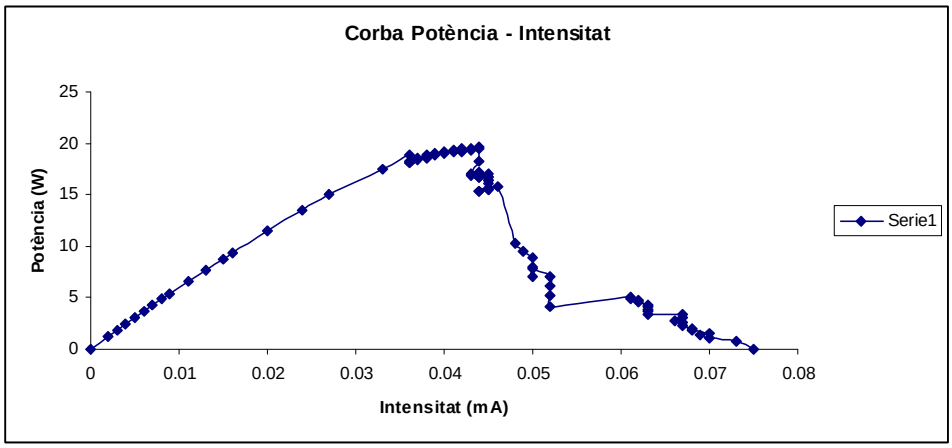
- Calculem la potència lluminosa rebuda per la placa.

$$PL = I \cdot S_{útil} \text{ (W)} = 1040 \text{ W/m}^2 \times 0{,}97\ 10^{-4} \text{ m}^2 = 0{,}10088 \text{ W}$$

d) Càlcul de la potència elèctrica màxima generada per la placa

- A partir de les *corbes Potència-voltatge i Potència-intensitat* calculem la potència elèctrica màxima que genera per unitat de superfície





$P_{màxima}$ / S = I (punt d'inflexió) /S . V(punt d'inflexió)

$$= 0{,}044\ 10^{-3} \text{ A} / 0{,}97 \text{ cm}^2 \times 0{,}445 \text{ V} = 2{,}018\ 10^{-5} \text{ W/cm}^2$$

e) Càlcul del rendiment

En qualsevol condició d'il·luminació, el rendiment d'un placa ve determinat per la relació entre l'energia elèctrica de sortida i l'energia radiant incident.

$$\text{Rendiment } \eta = \frac{\text{Energia elèctrica de sortida}}{\text{Energia radiant incident}}$$

Rendiment = (2,018 10^{-5} W/cm^2 / 0,104 W/cm^2) x 100 = **0,019 %** d'eficiència

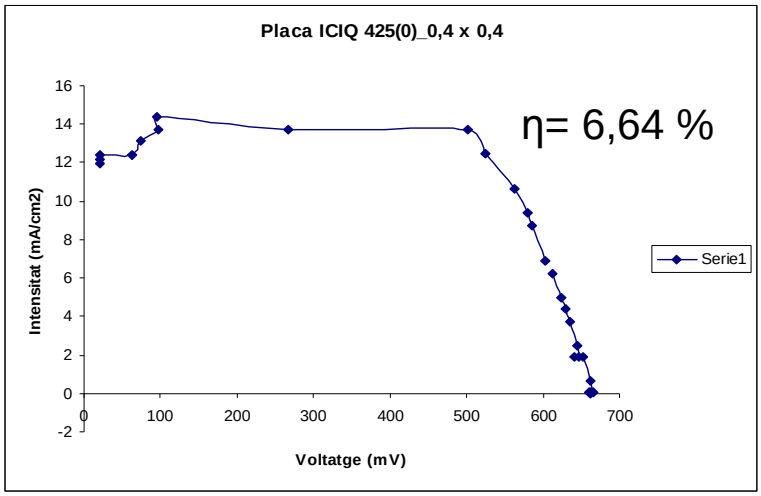
Prova 2: Placa ICIQ 425

Escalfat	425	Complex iodur/triiodur	Platí	Pintura de Ag

a) Tipus de placa

Electrode	TiO_2
Colorant	425
Electròlit	Complex iodur/triiodur
Contraelectrode	Pt
Superfície	0,4cm x 0,4 cm = 0,16 cm^2
Contactes	Pintura de Ag
Altres	Placa ICIQ tancada

b) Corba de potència



c) Càlcul de la potència lluminosa rebuda

- Mesurem de la irradiància amb el sensor de radiació solar total.

$$I = 0{,}104\ W/cm^2 = 1040\ W/m^2 \cong 1\ Sun\ (1000\ W/m^2)$$

- Mesurem, amb l'ajuda d'un regle o un peu de rei, de la superfície útil de la placa.

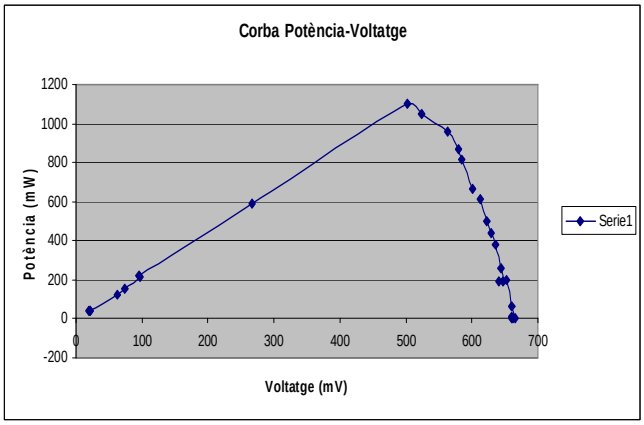
$$S_{útil} = 0{,}4\ cm \times 0{,}4\ cm = 0{,}16\ cm^2 \rightarrow 1{,}6\ 10^{-5}\ m^2$$

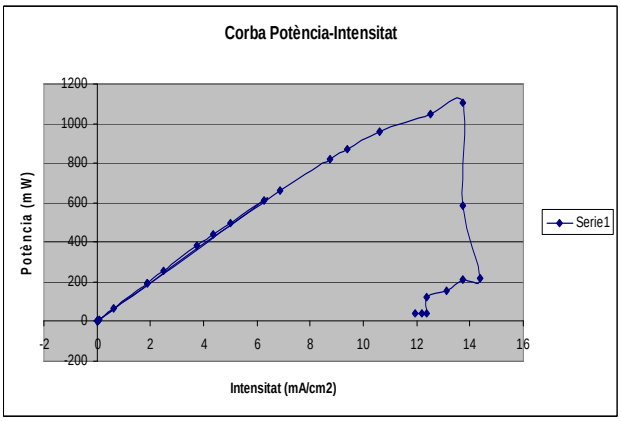
- Calculem la potència lluminosa rebuda per la placa.

$$PL = I \cdot S_{útil}\ (W) = 0{,}104\ W/cm^2 \times 0{,}16\ cm^2 = 0{,}01664\ W$$

d) Càlcul de la potència elèctrica màxima generada per la placa

- A partir de les *corbes Potència-voltatge i Potència-intensitat* calculem la potència elèctrica màxima que genera.





$$P_{màxima} = I\ (punt\ d'inflexió)\ .\ V(punt\ d'inflexió) = 0{,}502\ V \times 2{,}2\ 10^{-3}\ A/\ 0{,}16\ cm^2 = 6{,}9025\ 10^{-3}\ W/\ cm^2$$

e) Càlcul del rendiment

En qualsevol condició d'il·luminació, el rendiment d'un placa ve determinat per la relació entre l'energia elèctrica de sortida i l'energia radiant incident.

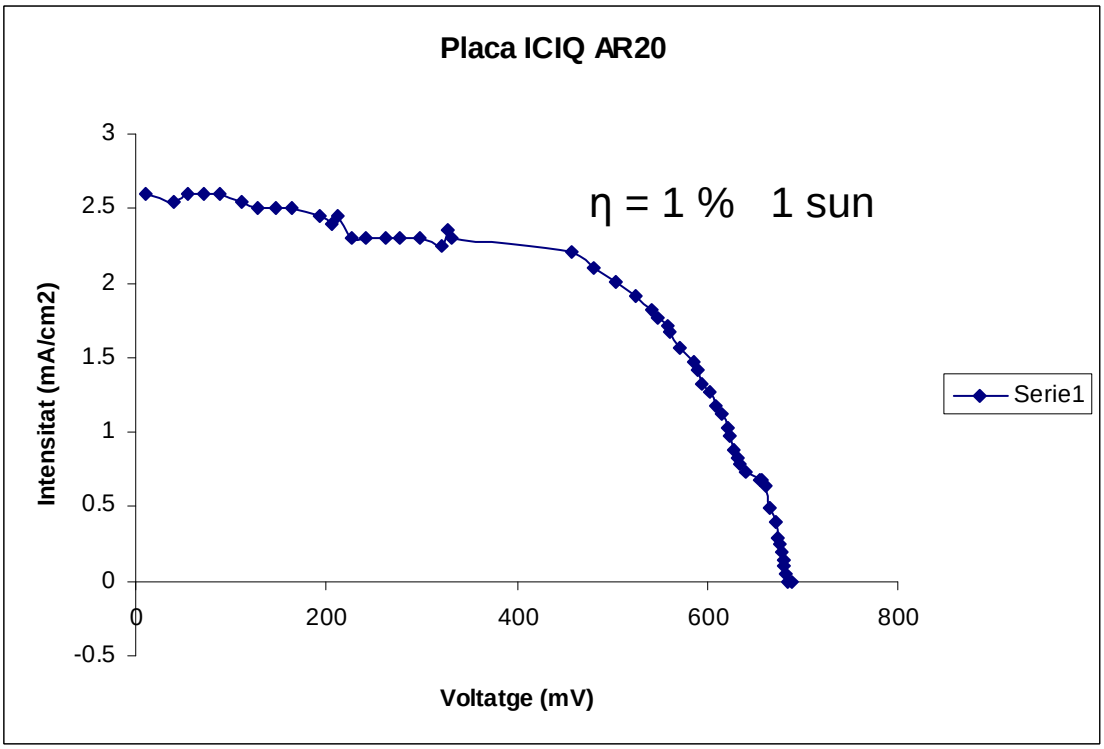
$$\text{Rendiment} \quad \eta = \frac{\text{Energia elèctrica de sortida}}{\text{Energia radiant incident}}$$

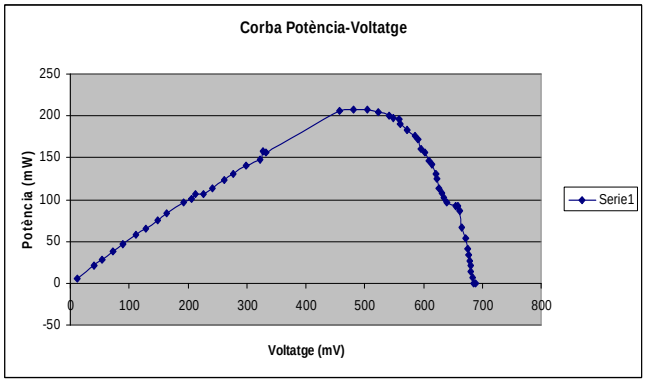
Rendiment = (6,9025 10^{-3} W/ cm^2 / 0,104 W/cm^2)x 100 =6,64 % d'eficiència

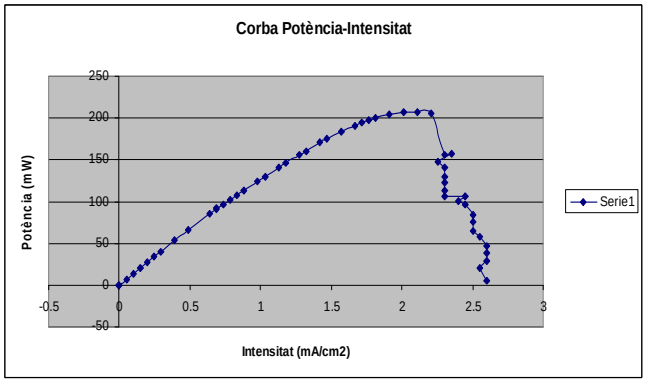
Prova 3: Placa ICIQ AR20

Escalfat	AR20	Complex iodur/triiodur	Platí	Pintura de Ag

Electrode	TiO_2
Colorant	AR20
Electròlit	Complex iodur/triiodur
Contraelectrode	Pt
Superfície	0,204 cm^2
Contactes	Pintura de Ag
Altres	Placa ICIQ tancada



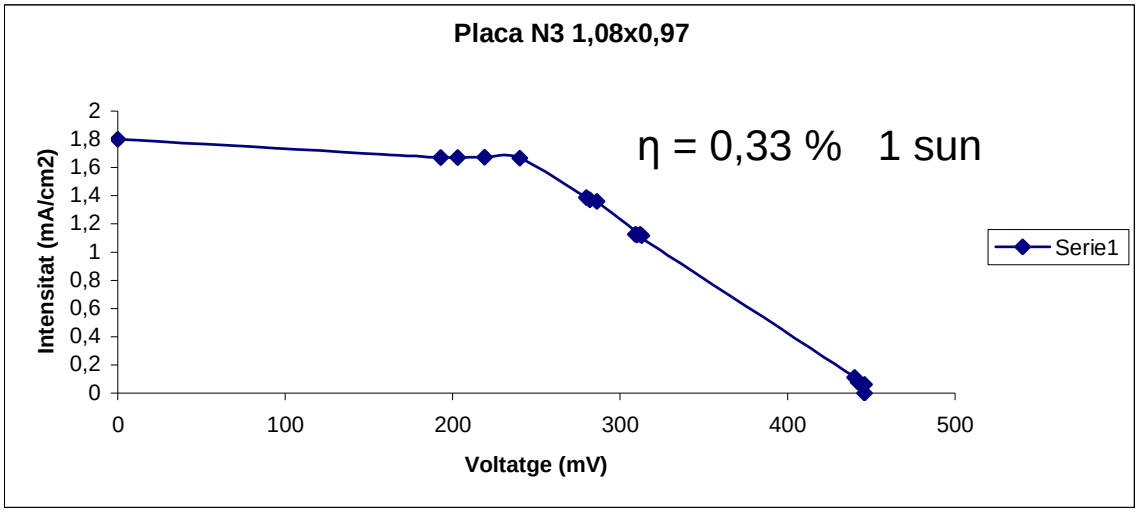


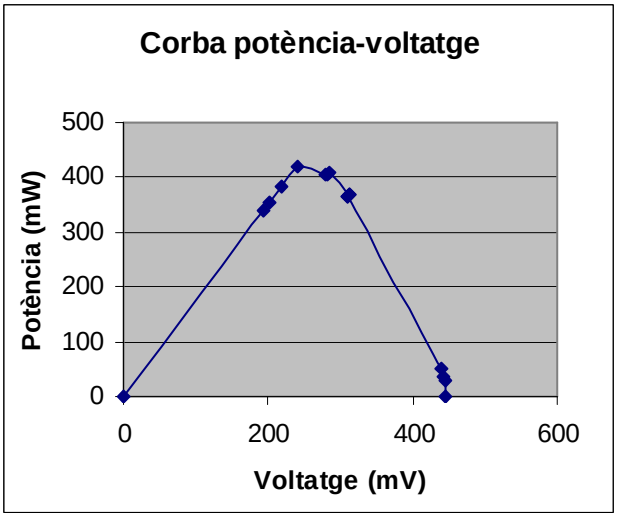


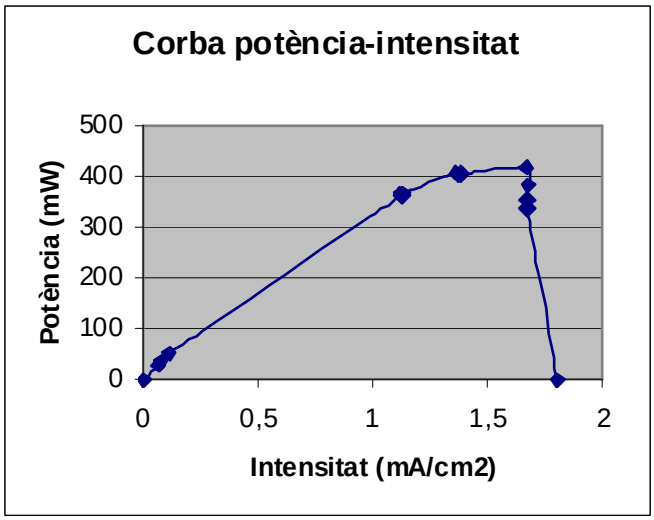
Prova 4: Placa N3 1,08x0,97

No escalfat	Ruteni	Complex iodur/triiodur	Platí	Pintura de Ag

Electrode	TiO_2
Colorant	N3
Electròlit	Complex iodur/triiodur
Contraelectrode	Pt
Superfície	1,08 cm x 0,97 cm = 1,05 cm
Contactes	Pintura de Ag
Altres	Placa ICIQ tancada



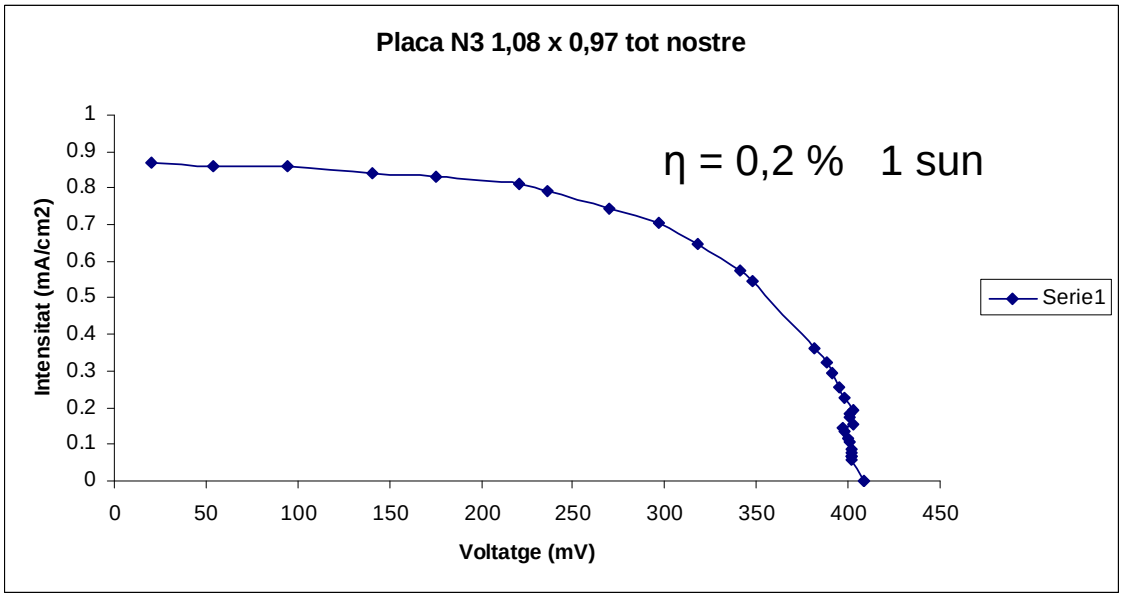


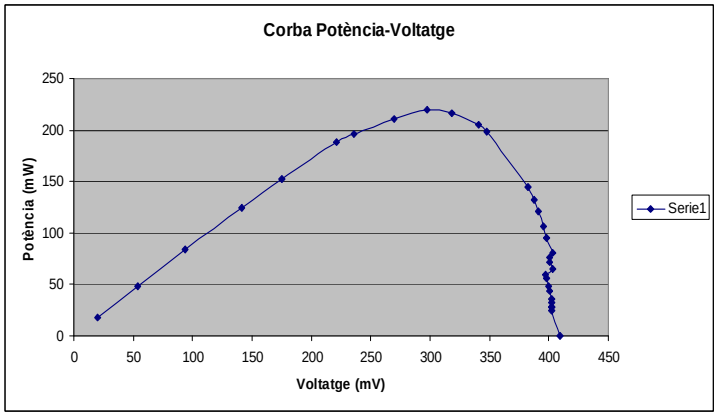


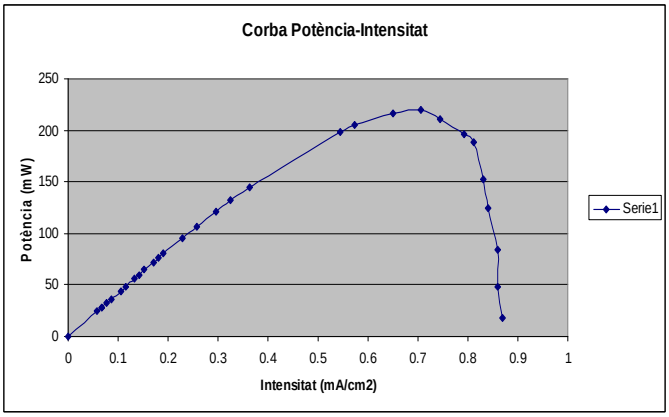
Prova 5: Placa N3 tot nostre

No escalfat	Ruteni	Complex iodur/triiodur	Platí	Pintura de Ag

Electrode	TiO_2
Colorant	N3
Electròlit	Complex iodur/triiodur
Contraelectrode	Pt
Superfície	1,08 cm x 0,97 cm = 1,05 cm
Contactes	Pintura de Ag
Altres	Placa nostre



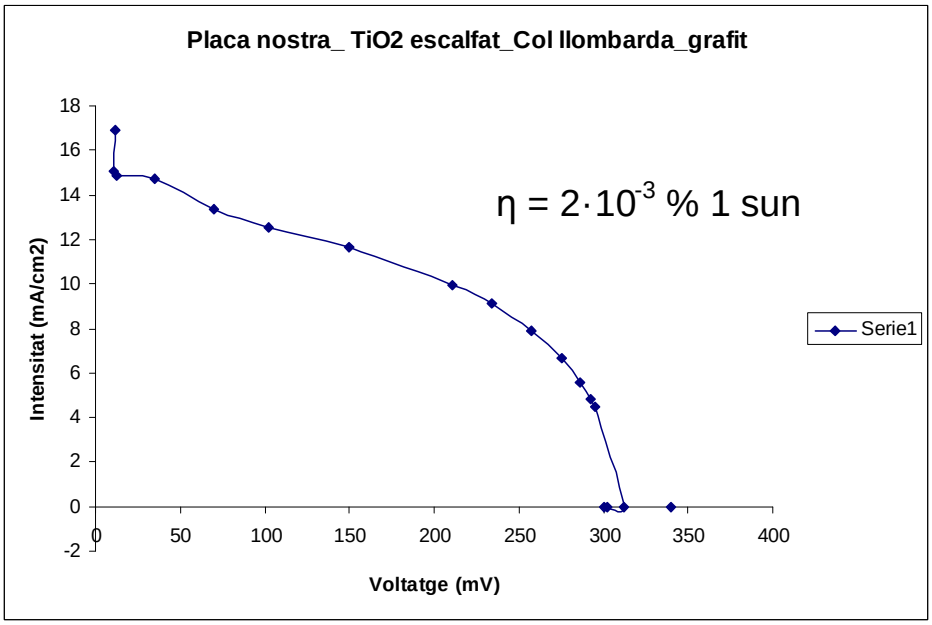


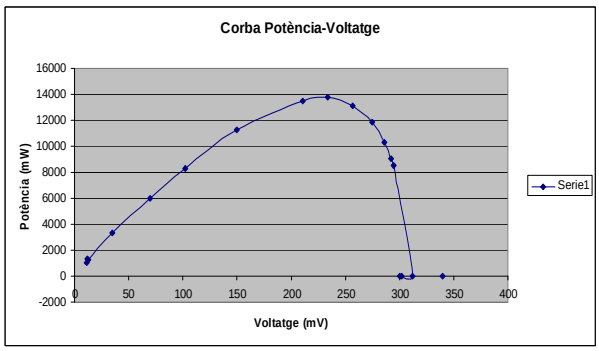


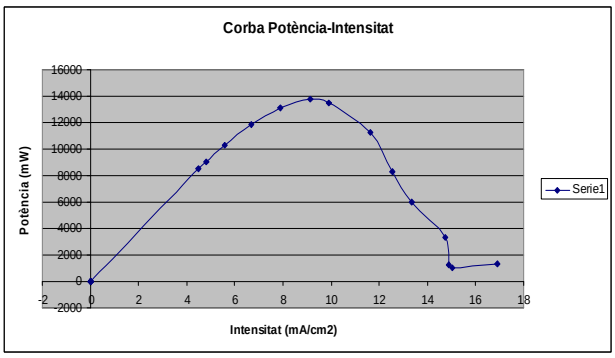
Prova 6: Placa nostra amb TiO_2 escalfat, Col llombarda i grafit

Escalfat	Ruteni	Complex iodur/triiodur	Grafit	Coure

Electrode	TiO_2
Colorant	Col lombarda
Electròlit	Complex iodur/triiodur
Contraelectrode	grafit
Superfície	2,54 cm x 2,54 cm = 6,46 cm^2
Contactes	Pintura de Ag
Altres	Placa nostre, escalfada 120ºC







Prova 7: ICIQ 1,77x2,50

Electrode	TiO_2
Colorant	N3
Electròlit	Complex iodur/triiodur
Contraelectrode	Pt
Superfície	1,77 cm x 2,50 cm = 4,43 cm^2
Contactes	Pintura de Ag
Altres	Placa ICIQ tancada

Prova 8: Placa ICIQ N3 Grafit 1,08x1,2

Electrode	TiO_2
Colorant	N3
Electròlit	Complex iodur/triiodur
Contraelectrode	Grafit
Superfície	1,08 cm x 1,2 cm = 1,30 cm^2
Contactes	Pintura de Ag
Altres	Placa ICIQ

Prova 9: Placa ICIQ N3 Pt 1,17x0.88 sense escalfar

Electrode	TiO_2
Colorant	N3
Electròlit	Complex iodur/triiodur
Contraelectrode	Pt
Superfície	1,17 cm x 0,88 cm = 1,03 cm^2
Contactes	Pintura de Ag
Altres	Placa ICIQ, sense escalfar

Prova 10: Placa ICIQ N3 Pt 1,38x1

Electrode	TiO_2
Colorant	N3
Electròlit	Complex iodur/triiodur
Contraelectrode	Pt
Superfície	1,38 cm x 1 cm = 1,38 cm^2
Contactes	Pintura de Ag
Altres	Placa ICIQ tancada

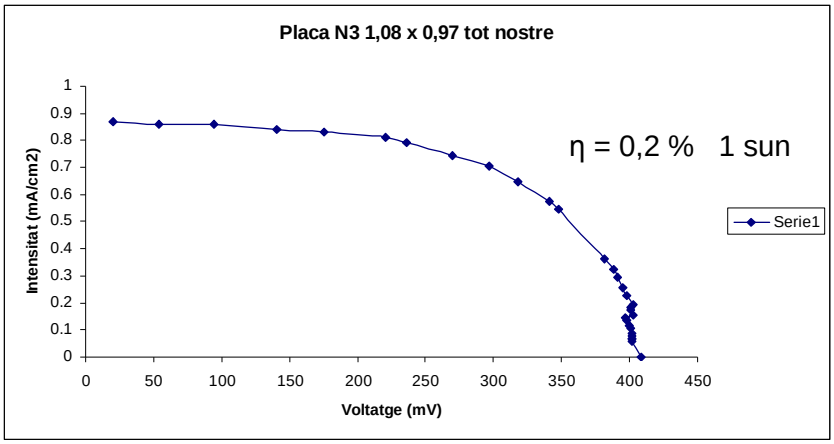
4.2. Interpretació dels resultats

	Superfície útil de cada mòdul de la placa fotovoltaica	Irradiància solar	Potència lluminosa rebuda	Potència elèctrica màxima generada	Rendiment
Tipus de placa	**S (10^{-6} m^2)**	**I (W/m^2)**	**PL = I· $S_{útil}$(10^{-3} W)**	**P_e (10^{-6} W) (W/cm^2)**	**η (%)**
Placa Ayllón N3	$0,97 \cdot 10^{-4}$	1040	0,10	$1,958\ 10^{-5}$	0,019
Placa ICIQ 425	$1,6 \cdot 10^{-5}$	1040	0,02	$1,1044\ 10^{-3}$	6,6
Placa ICIQ AR20	$0,204 \cdot 10^{-4}$	1040	0,02	$2,0683\ 10^{-4}$	1,00
Placa N3	$1,0476 \cdot 10^{-4}$	1040	0,11	$3,6816\ 10^{-4}$	0,33
Placa N3 tot nostre	$1,0476 \cdot 10^{-4}$	1040	0,11	$2,1978\ 10^{-4}$	0,2
Placa TiO_2_escalfar_Col_Pt_nostra	$1,296 \cdot 10^{-4}$	1040	0,67	$1,3806\ 10^{-5}$	$2\ 10^{-3}$
ICIQ 1,77x2,50	$4,425\ 10^{-4}$	1040	0,46	$2,5641\ 10^{-4}$	0,05
Placa ICIQ N3 Grafit_1,08x1,2	$1,296\ 10^{-4}$	1040	0,13	$5,511\ 10^{-5}$	0.04
Placa ICIQ N3 Pt_1,17x0.88 sense escalfar	$1,0296\ 10^{-4}$	1040	0,11	$2,8392\ 10^{-4}$	0,265
Placa ICIQ N3 Pt_1,38x1	$1,38\ 10^{-4}$	1040	0,14	$2,6622\ 10^{-4}$	0,185

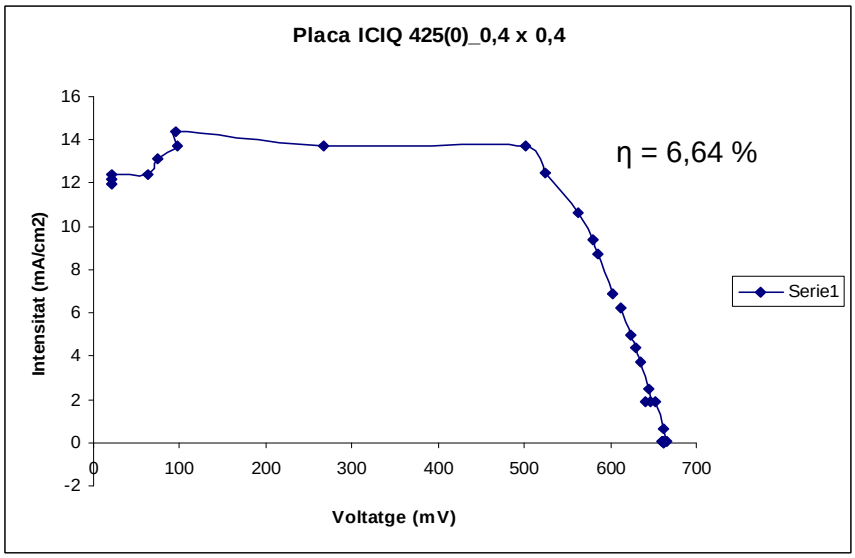
A continuació, analitzem alguns del resultats tot comparant les gràfiques obtingudes:

- Millora en el recobriment del vidre de les plaques

  Com podem apreciar a les gràfiques, el rendiment d'una placa amb el vidre de SnO_2 és inferior al d'una placa dopada amb TiO_2.



Corba potència d'una placa dopada amb SnO_2

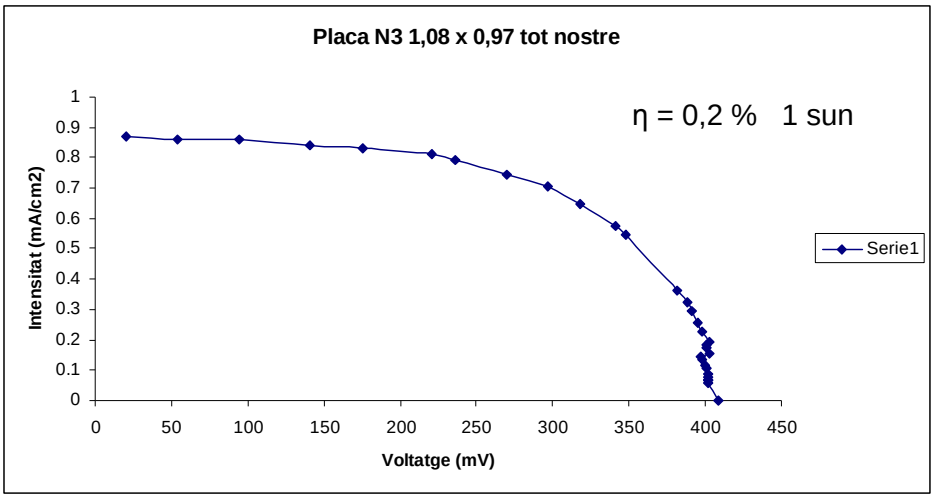


Corba de potència d'una placa dopada amb TiO_2

- Superfície de TiO_2.

  Hem arribat a la conclusió que amb tota la superfície recoberta de diòxid de titani, el rendiment és tan baix que el considerem nul, per tant, no disposem de gràfics. Però, sí que tenim una gràfica d'una placa amb la

superfície de TiO_2 reduïda a $1cm^2$, en la que la menor resistència permet millor al pas de corrent i un rendiment mesurable



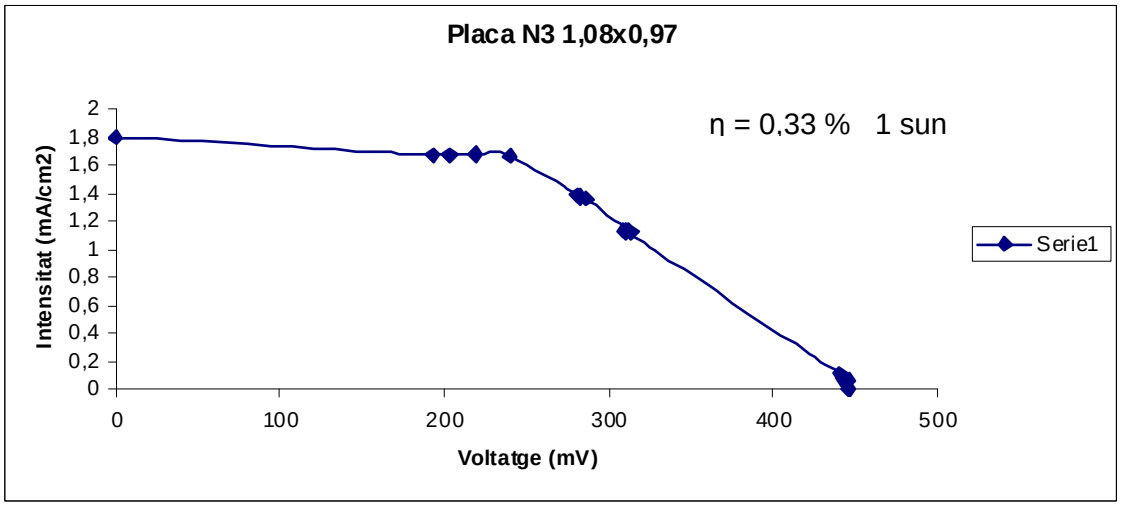
Corba de potència d'una placa amb l'extensió de TiO_2 reduïda a 1 cm^2

- Diòxid de titani escalfat.

  Esperàvem que una placa amb el diòxid de titani escalfat a 120ºC abans de tenyir-la donés més rendiment que una sense escalfar però el rendiment obtingut no va complir les nostres expectatives inicials.

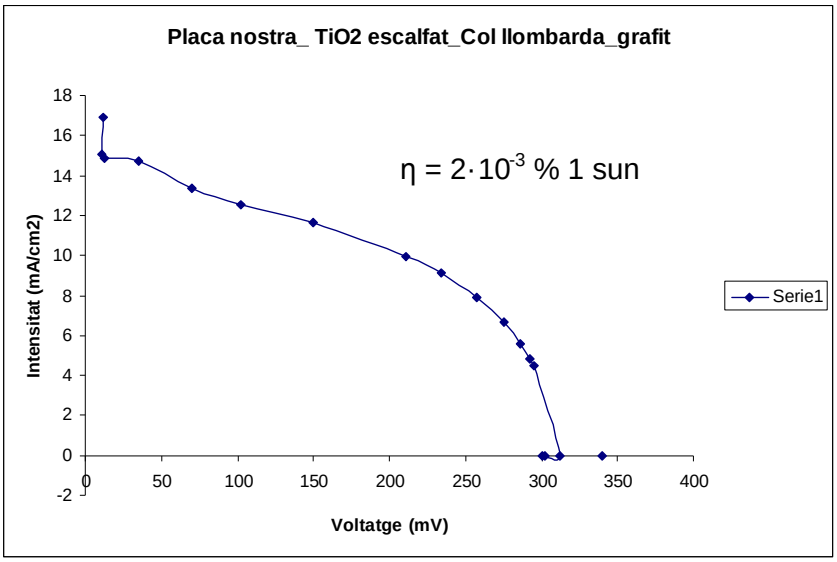
- Colorant de ruteni.

  Tal com esperàvem les plaques amb el colorant artificial, ruteni, han donat més rendiment que les del colorant natural, col llombarda, tal com podem veure en les gràfiques. La corba de potència de col llombarda no l'hem posat perquè l'hem considerat pèssima.

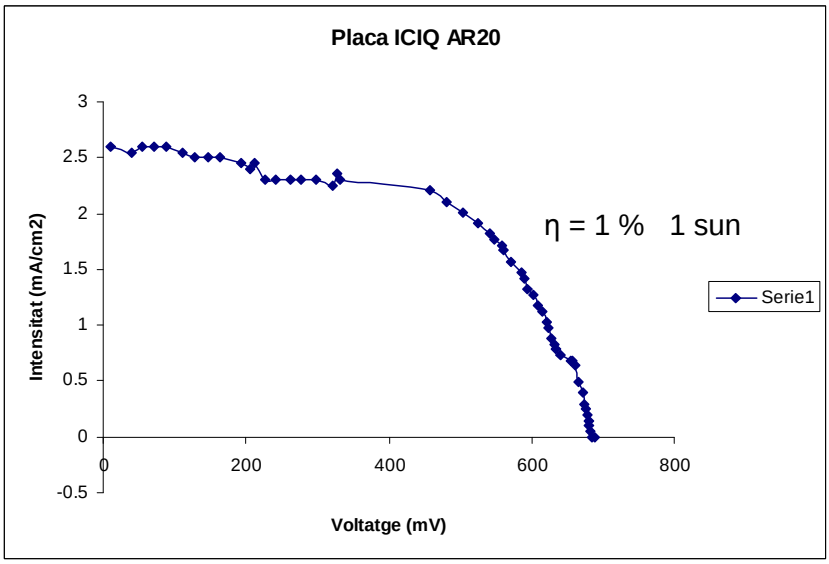


- Contra-elèctrode de platí.

  El contra-elèctrode que definitivament va donar bons resultats va ser el de platí en comptes del contra-elèctrode de grafit.



Corba de potència amb contra-elèctrode de grafit

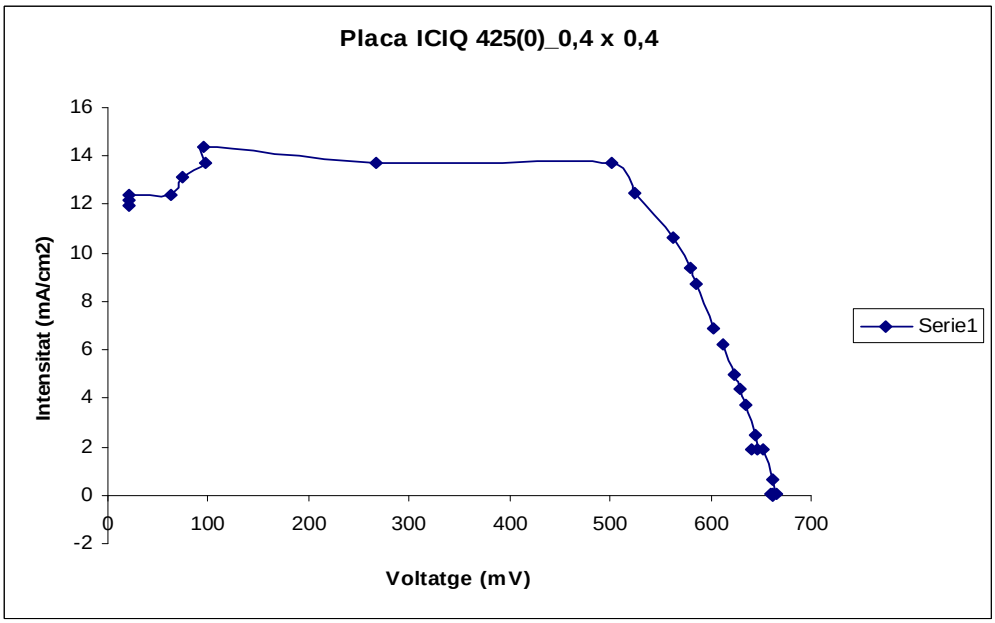


Corba de potència amb el contra-elèctrode de platí

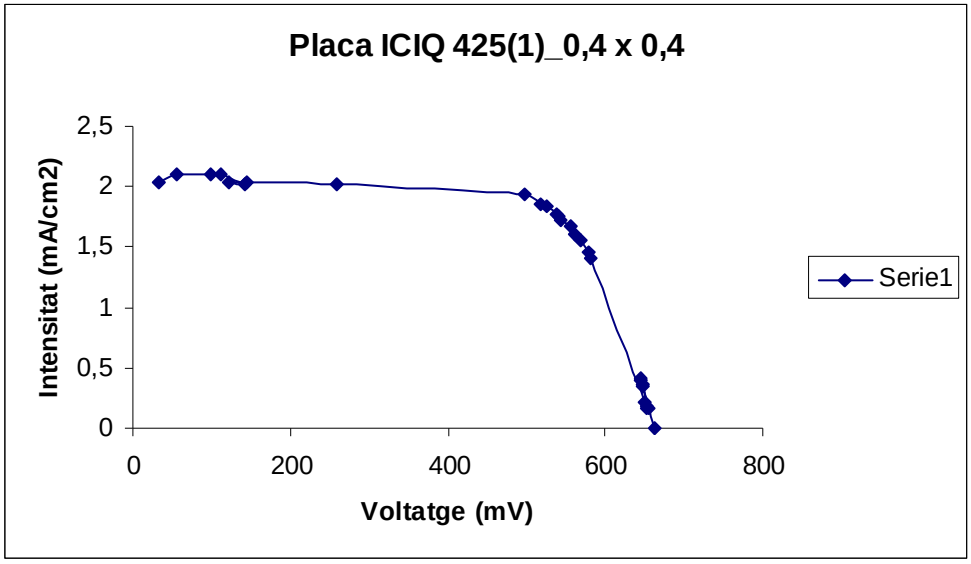
- Mètodes de captació de dades.

  En un principi vam seguir un mètode que consistia en combinar resistències de diferents valors. Però, aquest mètode no va ser gaire efectiu, així que vam canviar de sistema de captació de dades (la font d'alimentació i el transformador-reostat) per tal d'aconseguir una major

nombre de punts pròxims al punt de màxima potència de la placa, i així obtenir millors corbes potència.



Corba de potència de la Placa ICIQ 425_0,4 x0,4 obtinguda amb el mètode inicial



Corba de potència de la mateixa Placa ICIQ 425_0,4x0,4 obtinguda amb el mètode "font d'alimentació/transformador-reostat"

Principalment, els resultats obtinguts no eren els que esperàvem respecte al que ens havien ensenyat a l'ICIQ, ja que l'eficiència de les plaques és bastant baixa.

Tot i que els mitjans utilitzats no eren els més adequats, estem contents perquè vam poder aconseguir vàries corbes de potència correctes, que s'assemblaven bastant a les de l'ICIQ.

Aquesta poca eficiència és deguda a diversos factors:

- **La suspensió col·loïdal de TiO_2**
  És imprescindible que no hi hagi cap forat en l'extensió ja que si no es produeix un forat electrònic que provoca un curtcircuit. Això és degut a que l'extensió del TiO_2 no sigui uniforme. A més, en la preparació no poden quedar grumolls fet que es dóna si no aixafes bé la suspensió del TiO_2 en el morter.

- **Col llombarda**
  És molt possible que el colorant s'hagi deteriorat durant el llarg període de temps entre la seva extracció i la seva utilització.

- **L'electròlit**
  El fet de que les plaques no estiguessin segellades, provocava que l'electròlit s'evaporés molt fàcilment. Per tant, alhora de fer les gràfiques, teníem poc temps per poder captar les dades. A mesura que passava el temps, l'electròlit s'evaporava, i el fet de que no n'hi hagués tant, disminuïa la cinètica de la reacció i alhora el voltatge i la intensitat.

- **Font lluminosa**
  No teníem mitjans per saber la longitud d'ona en què emetia la bombeta, i donat que l'antocianina absorbeix entre 475 i 575 nm (aproximadament), desconeixíem quin percentatge de l'espectre de la bombeta absorbia l'antocianina, present en el colorant.

4.3. Conclusions

Gràcies a l'esforç dedicat hem pogut assolir els objectius inicials amb èxit i la producció de corrent amb les nostres plaques ha estat possible.

Segons els objectius inicials, en acabar el treball de recerca hem pogut:

- **Comprovar el funcionament** de les plaques comprades, tot i que, el rendiment ha estat molt baix.
- **Obtenir un colorant natural** i determinar que amb aquest s'obtenien més baixos **rendiments** que amb un d'artificial.
- **Estudiar el funcionament d'altres plaques** que nosaltres mateixos havíem muntat, tot i que, part del material el vam obtenir en les visites a centres especialitzats.
- **Obtenir suficient intensitat per poder fer sonar un brunzidor**. Això va ser possible, però, esperàvem poder obtenir una major intensitat com per arribar a fer girar el molinet de la caseta electrònica del kit hidrogenosolar de l'institut i encendre un led.
- **Realitzar diverses visites** a centres especialitzats.

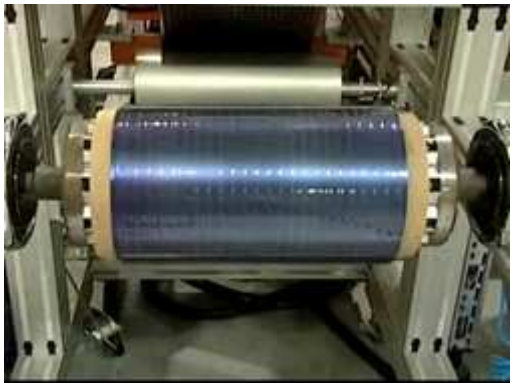
Per tant, podem dir que, finalment, vam assolir amb èxit els objectius inicials de la recerca. I que tot això ha estat possible gràcies als canvis realitzats al llarg de tot el procediment.

També hem pogut comprovar que treballar al laboratori és una feina difícil i constant, en la qual s'hi ha de dedicar moltes hores i és molt fàcil equivocar-se. Però, malgrat tot, és molt gratificant.

4.4. Aplicacions de les DSSC

Actualment, la investigació de les energies renovables com les DSSC, dóna com a fruit una gran diversitat d'aplicacions. Tot i que moltes d'elles estan en fase de prova i encara no s'ha pogut comprovar la seva total viabilitat, però això no treu que tinguin un futur prometedor, com ara:

- Electrificació de pobles d'àrees remotes (Electrificació rural)
- Instal·lacions mediques d'àrees rurals
- Corrent elèctric per a cases de camp
- Sistemes de vigilància de dades ambientals i de qualitat de l'aigua
- Fars, boies, balises de navegació marítima
- Bombeig per sistemes de reg i aigua potable d'àrees rurals
- Sistemes de protecció catòdica
- Sistemes de dessalinització
- Vehicles d'esbarjo
- Senyalització ferroviària
- Sistemes per carregar els acumuladors de vaixells
- Fonts d'energia per naus espacials
- Pals SOS (telèfons d'emergència de carreteres)
- Parquímetres
- Recàrrega de motors elèctrics
- Aplicables a les construccions arquitectòniques
- Captadors d'energia a les finestres de les cases
- Aplicacions militars (com a revestiment de tendes d'acampar i roba militar)
- Producció d'hidrogen per cotxes



Producció en cadena de plaques DSSC flexibles

5. AGRAÏMENTS

En primer lloc, volem agrair al professor de Física i Química de l'IES Castellar, el nostre tutor de treball de recerca, Miquel Calvet i Soler, per tota l'ajuda, els consells i guia que ens ha proporcionat. Sense ell, no hauríem aconseguit realitzar el nostre propòsit. Gràcies al seu gran interès, la seva implicació en el treball i les hores dedicades, hem pogut realitzar diverses visites, com ara, anar a l'ICIQ, a la UAB, a Expoquímia, etc. I així poder conèixer gent especialitzada en tot tipus de plaques solars.

També, hem d'agrair al nostre cotutor, professor catedràtic de la facultat de Ciències de la UAB, Sr. José Antonio Ayllón, l'atenció dedicada i el material proporcionat. Gràcies a ell, vam poder conèixer com és un laboratori especialitzat de la UAB. I conèixer a la Dra. Mònica Lira Cantú, la qual, molt amablement, ens va proporcionar material molt útil.

Així mateix, volem agrair a tot el personal de l'ICIQ, especialment a la Dra. Irene Puntí, però també a les doctores Eugénia Martínez i Amparo Fornelli, per l'acollida al centre del Dr. Emilio Palomares. I també l'ajuda i el material que ens van proporcionar.

Per a la confecció de la placa, també volem agrair a la Clínica Dental del Centre (Castellar del Vallès), especialment a la Dra. Montserrat Basterretxea, ex-alumna de l'IES Castellar que ens prestessin una de les seves sales de la consulta.

Al departament de tecnologia, especialment al senyor Manel Barroso, per l'ajuda i material (resistències i reòstat) proporcionat a l'hora de fer la captació de dades.

També, donem les gràcies a l'equip directiu del centre per subministrar-nos les instal·lacions i els equipaments necessaris per poder realitzar el nostre treball de recerca.

Donar les gràcies als conserges de l'institut per proporcionar-nos les instal·lacions fora d'horari.

Finalment, estem molt agraïts a les nostres famílies pel suport emocional i l'atenció prestada en el treball.

6. BIBLIOGRAFIA

Llibres de lectura

- Levi, Primo; El sistema periòdic, Editorial línia d'ombra, Edicions B, Barcelona, Abril 1990. Traducció Xavier Riu.

Dossier

- Smestad, Greg. Nanocrystalline Solar Cell Kit: Recrating Photosynthesis. Insitute for Chemical Education. University of Wisconsin-Madison.1998. Revises 10/2002.

Articles

- Lenzmann, F.O. ; J.M.Kroon,J.M. Recent Advances in Dye-Sensitized Solar Cells. Advances in OptoElectronics. Volume 2007, article ID 65073,10 pages

- Gräetzel, Michael. The Advent of Mesoscopic Injection Solar Cells. Prog. Photovolt:Res.Appl. 2006; 14:429-442

- Caloger, Giuseppe; Di Marco, Gaetano. Red Sicilian orange and purple eggplant fruits as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells. Solar Energy Materials & Solar Cells 92 (2008) 1341-1346

Webgrafia

www.wikipedia.es

Busca entre tots els articles de la wikipedia les notícies que més t'interessin de la forma més còmoda i intuïtiva. (Enciclopèdia virtual).

www.solideas.com/solrcell/spanish.html

Pàgina instructiva que mostra el muntatge d'una placa solar.

www.st.com/stonline/press/news/year2003/t1355h.htm

Introducció a les cèl·lules DSSC i la seva relació amb la fotosíntesi.

www.solaronix.ch

Companyia que es basa en recerca i innovacions solars.

http://www.kithidrogenosolar.com/

Treball de recerca que parla sobre els cotxes hidrogenosolar que funcionen a partir de l'hidròlisi de l'aigua.

http://www.cin2.es

Des del punt de vista de recerca científica, el CIN2 és un exemple rellevant de col·laboració entre Catalunya i el Govern Central.

http://www.iciq.es

L'Institut Català d'Investigació Química (ICIQ), concebut amb l'objectiu de convertir-se en referent per a la Química en l'Espai Europeu d'Investigació, és l'institut de recerca que proporciona el talent i el lideratge per la millora de la qualitat de vida dels ciutadans, mitjançant l'aplicació de la química en la frontera del coneixement.