

DESENVOLUPAMENT DE TECNOLOGIES FOTOVOLTÀIQUES ORGÀNIQUES BASADES EN DSSC.

Autor : **Anna Cadafalch Muñoz**

Director : **David Gutierrez Tauste**

IP Energies renovables

Centre Tecnològic LEITAT

Tutora acadèmica : **Gemma Garcia**

Departament Física

Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)

Convocatòria : Juny 2012

Els sotasignats, David Gutiérrez-Tauste, IP de enginyeries renovables al centre tecnològic LEITAT, i Gemma Garcia Alonso, professora de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria a la Universitat Autònoma de Barcelona.

CERTIFICA:

Que el treball que correspon a aquesta memòria ha estat realitzat sota la seva direcció per Anna Cadafalch Muñoz.

I per tal que consti, firma la present.



Bellaterra, 10 de Juny de 2012

Taula de continguts

1. INTRODUCCIÓ	5
2. ESTAT DE L'ART	10
2.1 ESTRUCTURA I MATERIALS PER A DSSCS	10
2.1.1 Foto ànode	10
2.1.2 "Dye"	11
2.1.3 Electròlit	13
2.1.4 Contra elèctrode	15
2.1.5 Material de segellat	15
2.2 MECANISMES DE FUNCIONAMENT	16
2.3 TÈCNiques DE CARACTERITZACIÓ	19
2.3.1 Mesures d'eficiència i I-V	19
2.4 LÍQUIDS IÒNICS	22
3. PROCEDIMENT EXPERIMENTAL	24
3.1 ARQUITECTURA CÈL·LULA DE REFERÈNCIA	24
3.2 ELECTRÒLIT	24
3.3 NETEJA DEL SUBSTRAT DE FTO I EL CONTRA ELÈCTRODE DE FTO/PT	25
3.4 PREPARACIÓ CAPA TiO ₂	25
3.5 SENSIBILITZACIÓ DEL FTO/TiO ₂	28
3.6 MUNTATGE DE LA CÈL·LULA	29
3.6.1 Sense segellar	29
3.6.2 Segellades	31
3.7 CARACTERITZACIÓ ELÈCTRICA DE LA DSSC	34
4. RESULTATS	36
4.1 PRIMERA SÈRIE	36
4.2 SEGONA SÈRIE	37
4.3 TERCERA SÈRIE	38
4.4 QUARTA SÈRIE	39
4.5 QUINTA SÈRIE	42
4.6 SEXTA SÈRIE	45
4.7 SÈPTIMA SÈRIE	48
4.8 OCTAVA SÈRIE	52
4.9 NOVENA SÈRIE	57
4.10 ESTUDI I CARACTERITZACIÓ DE NOUS ELECTRÒLITS	60
4.10.1 Compatibilitat dels dissolvents verds amb materials	60
4.10.2 Conductivitat dels dissolvents verds	61
4.10.3 Viscositat dels dissolvents verds	62
4.10.4 Densitat dels dissolvents verds	63
4.10.5 Uv-Visible dels dissolvents verds	64
5. PRESSUPOST	66
6. CONCLUSIONS	68
7. TREBALL FUTUR	70
8. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	71

1. Introducció

L'efecte fotovoltaic, va ser reconegut per primera vegada al 1839 pel físic francès Edmund Becquerel quan efectuava experiments amb una pila electrolítica, en veure que la pila augmentava la generació d'electricitat al ser exposada a la llum, però la primera cèl·lula solar no es va construir fins al 1883 per Charles Fritts, que va recobrir una mostra de seleni semiconductor amb una mica d'or per a formar l'enllaç. Aquest dispositiu tenia una eficiència de tant sols el 1%. Al 1904 Albert Einstein va publicar un *paper* amb la explicació teòrica del efecte fotovoltaic (junt amb el *paper* de la teoria de la relativitat) pel qual va obtenir un premi Nobel al 1921. Russell Ohl va patentar la cèl·lula solar moderna l'any 1946, tot i que Sven Ason Berglund havia patentat anteriorment un mètode que intentava augmentar la capacitat de la cèl·lules fotosensibles.^[1]

Però la era moderna d'aquesta tecnologia no va arribar fins al 1954 quan els Laboratoris Bell van descobrir de forma accidental que els semiconductors de silici dopat amb certes impureses eren molt sensibles a la llum. Amb un any ells havien produït una cèl·lula solar d'unió pn de Si amb una eficiència del 6%. Al mateix any, el grup Wright Patterson Air Force Base en els Estats Units va publicar resultats de una cèl·lula solar de heterounió basada en $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ que també tenia una eficiència del 6%.^[2]

Al Març del 1958 la NASA va llençar el Vanguard I, la primera nau espacial que utilitzava panells solars, i que va estar operativa durant 8 anys. Aquest fet va desencadenar l'interès en la producció i llançament de satèl·lits geostacionaris per al desenvolupament de les comunicacions en els que la energia procedia d'un dispositiu de captació de la llum solar. Aquell mateix any es van llençar 3 satèl·lits més que utilitzaven la mateixa tecnologia, el Explorer III, el Vanguard II i el Sputnik-3.

Al 1970 la primera cèl·lula solar amb heteroestructura d'arseniür de gal·li (GaAlAs/GaAs) i altament eficient es va desenvolupar per Zhore Alferov i el seu equip d'investigació a la URSS. Aquesta heteroestructura solucionava el principal problema de la cèl·lula de GaAs. Aquestes cèl·lules eren d'interès degut a la seva alta eficiència i a la seva resistència a la radiació ionitzant a l'espai exterior. ^[2]

Durant la crisi energètica de la dècada dels 70, els països àrabs i els membres de la OPEP van decidir sancionar la intervenció efectuada pels Estat Units i Holanda a favor de Israel, nació amb la que mantenien una pugna mitjançant la suspensió de les entregues de combustibles, al mateix temps que van quadruplicar el preu del cru. Aquests fets van provocar problemes econòmics i impactes socials i polítics, ja que es va posar de manifest que els països desenvolupats presentaven una gran dependència del petroli i per tant dels països que el posseeixen. Tot això va provocar que els països desenvolupats iniciessin la cerca de substituïts dels hidrocarburs, especialment del petroli, a més de noves fonts energètiques que permetessin plena autonomia als països. ^[3]

Fins als anys 80 del segle passat, no es va desenvolupar la producció d'equips de deposició química de metalls per vapors orgànics (MOCVD), el que limitava la capacitat de les companyies en la manufactura de cèl·lules solars d'arseniür de gal·li. La primera companyia que va manufacturar panells solars en quantitats industrials a partir d'unions simples GaAs amb una eficiència del 17% va ésser la nord-americana ASEC (Applied Solar Energy Corporation). La connexió dual de la cel·la es va produir en quantitats industrials per ASEC al 1989, de forma accidental, com a conseqüència d'un canvi del GaAs sobre els substrats de GaAs a GaAs sobre substrats de germani.

De forma excepcional les cèl·lules de doble unió de GaAs poden arribar a tenir eficiències del ordre del 22%. Les unions triples van arribar al 30% de eficiència al 2007. Les companyies nord-americanes Emcore Photovoltaics i Spectrolab produeixen el 95% de les cèl·lules solars del 28% d'eficiència. Al 2009 es va obtenir un nou record mundial amb una cèl·lula amb configuració de tres unions, amb la qual es va obtenir una eficiència del 41,1%. ^[6]

El fet de treballar amb una energia renovable és la que motiva aquest projecte, ja que actualment existeix una gran preocupació mediambiental, a més el fet de disposar d'energies no provinents del petroli, permet donar certa independència energètica als països com ja s'ha observat al llarg dels anys degut a que el petroli no es troba a qualsevol punt del planeta terra i els que el posseeixen poden no estar sempre disposats a compartir-lo.

Actualment podem distingir diferents tipus de cèl·lules solars, que s'anomenen a continuació.

- Cèl·lules de silici cristal·lí: Són les cèl·lules que dominen el mercat actual i també s'anomenen cèl·lules de primera generació. Estan fabricades de silici cristal·lí en forma de monocristall o multi cristal·lí. Les cèl·lules de silici multi cristallines tenen una menor eficiència que les de silici monocristal·lí però el cost de fabricació és menor, fet que les converteix en les preferides del mercat. La eficiència que s'ha aconseguit fins ara al laboratori és de un 25-30% i el mòdul entorn 16-17%.
- Cèl·lules de làmina fina: Amb aquest tipus de cèl·lules s'estalvia una gran quantitat de material semiconductor, tenen una eficiència no massa baixa, entre un 10% i un 19%, i els seus costos de producció són relativament baixos però tot i això s'utilitzen menys que les de primera generació per a produir electricitat. Això és degut a que per exemple en el cas de les cèl·lules de silici amorf, els paràmetres elèctrics de sortida de les cèl·lules són inestables i poden disminuir fins a un 20% després d'un ús prolongat, pel cas de les cèl·lules de CdTe o CIGS (Cu, In, Ga i Se) les eficiències són elevades, però la producció es veu limitada degut a la escassetat d'alguns elements com el tel·luri i el indi i als problemes mediambientals per als elements tòxics.
- Cèl·lules de tercera generació: Aquest tipus de cèl·lules estan basades en multitud de noves estructures electròniques que permeten o es preveu que permetin augmentar la eficiència d'aquestes. Entre elles s'ha de destacar la

estructura multi unió, amb les que s'ha arribat a majors eficiències, primer amb configuracions de doble unió i actualment amb configuracions de tres unions com ja s'ha comentat anteriorment.

- Cèl·lules orgàniques: Dins d'aquest tipus de cèl·lules es poden distingir les de colorant i la resta de orgàniques. El desenvolupament de les cèl·lules de colorant, es pot considerar que es va iniciar a principis dels anys 90, arribant a una eficiència màxima del 10,4%. El desenvolupament de les cèl·lules orgàniques comença amb més intensitat l'any 2001, arribant a valors d'eficiència del 6%. El principal atractiu d'aquest tipus de cèl·lules és el baix cost de producció, però tenen un gran problema de durabilitat i una eficiència baixa.^[4,6]

És en aquest últim tipus de cèl·lules en les que es basa aquest projecte, més concretament en les cèl·lules de colorant, en anglès, "Dye sensitized solar cells" (DSSC). Aquestes cèl·lules van ser inventades per O'Regan i Grätzel l'any 1991 i són dispositius que funcionen a nivell molecular i nano. El record d'eficiències és d'un 12% per a cèl·lules petites i del 9% per a mini mòduls.^[6]

L'objectiu final del projecte és el de desenvolupar DSSCs amb líquids iònics i/o dissolvents verds com a electròlit, la utilització de líquids iònics és interessant, ja que inicialment les DSSCs es fabricaven amb solvents orgànics, que al ser volàtils i tòxics dificulten la industrialització d'aquestes i l'interès de fabricar cèl·lules de colorant és degut a que aquestes tenen propietats úniques com són el baix cost, que la tecnologia necessària per a l'assemblatge és simple i una eficiència relativament elevada. Per tant el que es busca és millorar les cèl·lules de colorant, però no buscant un augment de la eficiència, sinó augmentant el temps de vida d'aquestes.

En la fase a la qual es troba el projecte, s'han proposat els següents objectius:

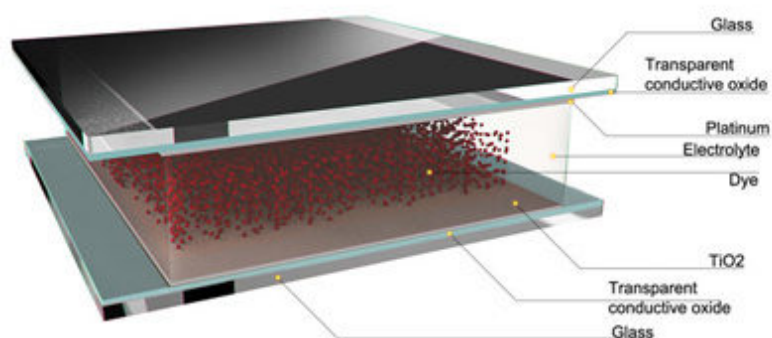
- Estudi i selecció de DSSC de referència.
- Estudi de les diferents etapes de fabricació dels dispositius.

- Estudi i caracterització específica dels electròlits.

2. Estat de l'art

2.1 Estructura i materials per a DSSCs

Una cèl·lula de colorant té la estructura bàsica que es mostra a la figura 1.



Source: SolarPrint

Figura 1. Estructura bàsica de una cèl·lula de colorant

Aquesta estructura es pot separar en quatre unitats bàsiques, que són:

- Foto ànode → format pel vidre, l'òxid conductor transparent i el TiO_2 .
- "Dye" també anomenat colorant.
- Electròlit.
- Contra elèctrode → format pel vidre, l'òxid conductor transparent i el platí.

A més es necessitarà material per a segellar la cèl·lula.

2.1.1 Foto ànode

El vidre recobert per l'òxid conductor s'utilitza com a substrat per al foto elèctrode de TiO_2 . Per a cèl·lules d'alt rendiment el substrat ha de presentar una alta

transparència o una baixa resistència, aquesta ha de ser independent de la temperatura ja que el sinteritzat de la capa de TiO_2 es realitza entre 450 i 500°C.^[5]

En aquest projecte s'utilitza un foto ànode format per un vidre de 4mm de gruix recobert per una capa prima de SnO_2 dopat amb fluor (FTO) de 15 Ω/sq de Kintec.

Pel que fa al foto elèctrode de TiO_2 , aquest s'utilitza perquè és un òxid estable químicament sota radiació visible, no és tòxic, és barat i té un índex de refracció elevat ($n = 2,4 - 2,5$). Hi ha moltes formes cristallines naturals de TiO_2 . Rutil, anatase i brookita. D'aquestes el rutil és la termodinàmicament més estable tot i això Anatase és la estructura que més s'utilitza per a DSSCs degut a que té un gap major i una banda de conducció major.^[8]

2.1.2 "Dye"

És una part crucial de les cèl·lules de colorant i ha de complir les següents característiques essencials:

- 1- L'espectre d'absorció del fotosensibilitzador ha de cobrir tota la regió del visible i una part de l'infraroig proper.
- 2- Ha de disposar de grups d'ancoratge ($-\text{COOH}$, H_2PO_3 , $-\text{H}_2\text{SO}_3$, etc) per a unir el "dye" a la superfície del semiconductor.
- 3- L'estat excitat del fotosensibilitzador ha de ser major en energia que la banda de conducció de un semiconductor tipus n per tal de que es produeixi una bona transferència d'electrons entre el "dye" excitat i la banda de conducció del semiconductor. Per contra, per a un semiconductor tipus p, el nivell HOMO del fotosensibilitzador ha de trobar-se a un potencial més positiu que el nivell de la banda de valència del semiconductor tipus p.
- 4- L'estat oxidat del fotosensibilitzador ha de ser més positiu que el potencial redox de l'electròlit per tal de que es produeixi regeneració del "dye".
- 5- S'ha d'evitar la agregació del "dye" en la superfície del semiconductor optimitzant la estructura d'aquest o afegint agents que la evitin.

6- Ha de ser foto, electroquímica i tèrmicament estable.^[8]

Per al nostre estudi s'utilitzarà el "dye" N719 de DyeSol per a la cèl·lula de referència. La estructura d'aquest "dye" es pot veure a la figura 2, la forma en que s'uneix a la capa de TiO₂ es pot veure a la figura 3 i a la figura 4 es mostra l'espectre d'absorció realitzat al laboratori de LEITAT.

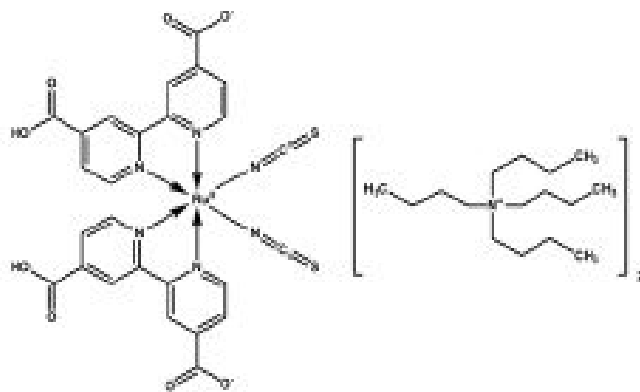


Figura 2. Esquema de la molècula del "dye" N719

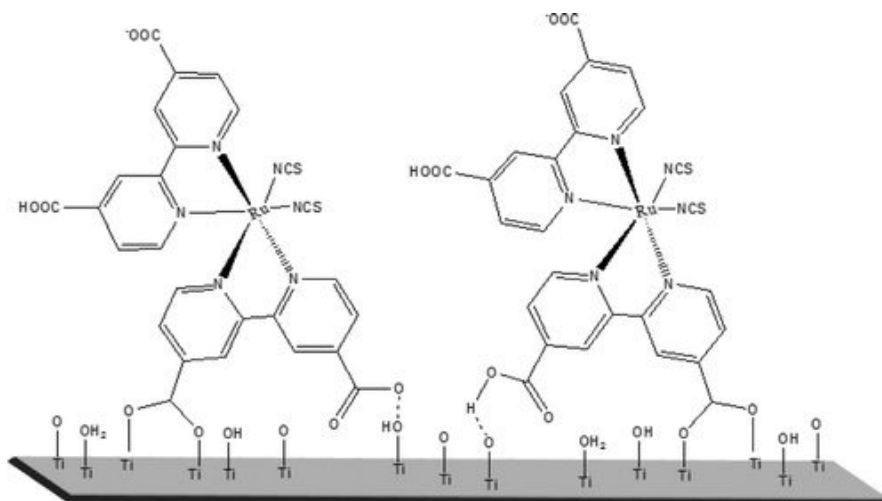


Figura 3. Esquema de l'ancoratge del Dye a la capa de TiO₂.

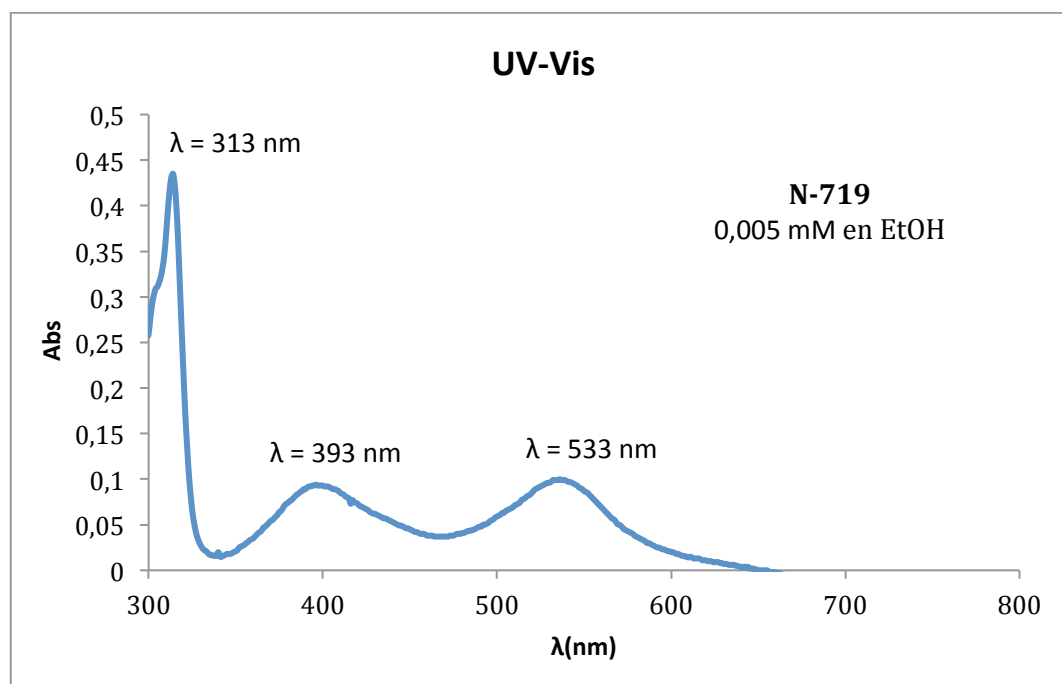


Figura 4. Espectre d'absorció del "dye" N719

2.1.3 Electròlit

L'electròlit més comú en les cèl·lules de colorant es basa en un solvent orgànic que conté un mediador redox. Aquest electròlit es demana que sigui estable químicament, que tingui una baixa viscositat per tal de minimitzar el problema del transport, ha de ser un bon solvent per als components del parell redox i de diferents additius però sense causar una dissolució significativa del "dye" adsorbit o del material semiconductor dels elèctrodes i ha de ser compatible amb el material que s'utilitzarà per a segellar la cèl·lula.^[8]

L'electròlit que s'utilitzarà a la cèl·lula de referència conté el parell redox I^-/I_3^- que intervé en el pas d'electrons entre el foto ànode i el contra elèctrode. El rendiment de la DSSC depèn dels cations dels iodits com són el Na^+ , Li^+ , K^+ , entre d'altres, que causen diferents conductivitats en l'electròlit o adsorció en la superfície del TiO_2 , provocant un canvi en el nivell de la banda de conducció del elèctrode de TiO_2 .^[5]

A la taula 1 es poden veure les propietats dels solvents més utilitzats per als electròlits en DSSCs.

Solvent	mp/bp (°C) ^b	ϵ_r ^c	Viscositat at (mPa·s) _d	$D_{I_3^-}$ (cm ² ·s ⁻¹) ^e	comentaris
Aigua ^a	0/100	80	0,89	1,1·10 ⁻⁵	
Etanol	-114/78	24	1,07		
Acetonitril	-44/82	36,6	0,34	1,5·10 ⁻⁵	Utilitzat en les cèl·lules de registre
Propionitril	-92/97	28	0,41		
Valeronitril	-96/140	20	0,71		
Glutaronitril	-29/286	37	5,3		
3-metoxipropionitril	-57/165	36	1,1	4·5·10 ⁻⁶	El més utilitzat en estudis d'estabilitat
γ -butirolactona	-44/204	42	1,7	3,9·10 ⁻⁶	
Propilen carbonat	-49/242	65	2,5	2·3·10 ⁻⁶	
PMIm ^f	-55/		880 ^g	1,9·10 ⁻⁷	

^[8]**Taula 1.** Propietats dels solvents més utilitzats en electròlits per a DSSCs. ^a l'aigua es mostra per a comparació. ^b punt de fusió/punt ebullició a 1 atm. ^c Constant dielèctrica relativa. ^d Viscositat a 25°C del solvent pur. ^e Difusió aparent del triiodid en un electròlit de DSC. $D_{I_3^-}$ dependrà de la composició del electròlit. ^f 1-metil-3-propilimidazolium iodid (líquid iònic). ^g Amb 0,5M de I₂ afegit.

A l'electròlit també se li afegeixen compostos bàsics com la *tert*-butilpiridina per a millorar el rendiment de la cèl·lula, ja que tot i no estar del tot clar, sembla ser que evita la agregació del "dye" i disminueix el "back electron transfer".

Per a la nostra cèl·lula de referència s'ha escollit utilitzar un electròlit a base de LiI 0,5 M, I₂ 0,05 M i *tert*-butilpiridina 0,5 mM en 3-metoxi-propionitril.

2.1.4 Contra elèctrode

El vidre recobert amb l'òxid conductor transparent és un contra elèctrode que té una resistència a la transferència de càrrega molt elevada, pel cas de FTO, aquesta és major a $10^6 \Omega \cdot \text{cm}^2$ en un electròlit estàndard iodit/triiodit.^[8]

Els ions triiodit (I_3^-) formats degut a la reducció dels cations del "dye" amb ions I^- , són re-reduïts a I^- al contra elèctrode. Per a que aquest procés tingui lloc el contra elèctrode ha de tenir una elevada activitat catalítica, la qual cosa no té lloc per al vidre recobert amb FTO^[5]. És per això que el FTO es recobreix amb una fina capa de platí (Pt) catalític. Hi ha moltes tècniques per les quals es pot depositar aquest Pt com són la electrodeposició, spray piròlisis, sputtering i deposició en fase vapor. La millor estabilitat s'ha aconseguit amb clústers de Pt a nano escala preparats per descomposició tèrmica de compostos de clorurs de platí, aconseguint a més que el contra elèctrode es mantingui transparent.

Hi ha altres tipus de contra elèctrodes com són els materials de carboni, els polímers conductors i el sulfat de cobalt, però per a la nostra cèl·lula de referència utilitzarem un vidre recobert amb FTO i platí, de DyeSol amb dimensions de 23 mm x 20 mm, un gruix de 3,2 mm i una àrea activa de 10 mm x 13 mm en el qual la capa de platí ha estat dipositada mitjançant "screen preanting".^[8]

2.1.5 Material de segellat

Per a la realització d'una cèl·lula de colorant necessitarem segellar la cèl·lula per tal d'evitar fugues d'electròlit i evaporació del solvent que causarien la mort de la cèl·lula. Aquest material ha de ser estable química i foto-químicament en front el component de la cèl·lula.^[5]

En la nostra cèl·lula de referència utilitzarem un separador polimèric termofusible Surlyn 30 de DyeSol de 30 μm de gruix que sella a temperatures entre 110 i 130°C.

2.2 Mecanismes de funcionament

A la figura 5 es mostra de forma esquemàtica el diagrama de funcionament per a una DSSC.

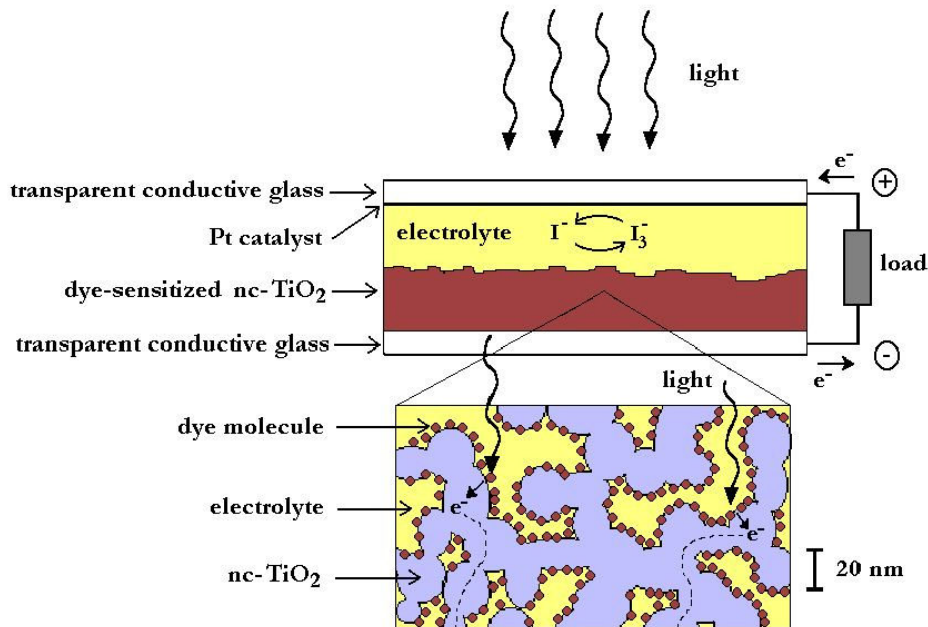
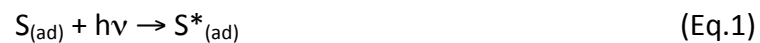


Figura 5. Diagrama de funcionament de una DSSC

A continuació es descriuran els processos primaris que tenen lloc en una DSSC.

Tot comença amb la absorció del flux de fotons incidents per part del "dye" adsorbit a la capa de TiO_2 . En aquest procés el fotosensibilitzador passa de l'estat fonamental (S) a l'estat excitat (S^*) i els electrons excitats són injectats dins la banda de conducció del elèctrode de TiO_2 , provocant la oxidació del fotosensibilitzador.

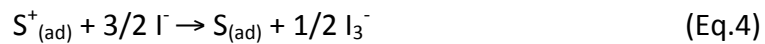


A continuació els electrons injectats a la banda de conducció del TiO_2 són transportats entre les nanopartícules de TiO_2 difonent cap al contacte posterior

(FTO) i consegüentment arribant al contra elèctrode a través de la càrrega externa i el cablejat, on es produeix la reducció del mediador redox.



Tot seguit el mediador redox regenera el fotosensibilitzador, ja que el fotosensibilitzador oxidat (S^+) accepta electrons del mediador I^- , que s'oxida, tornant al fotosensibilitzador a l'estat fonamental (S).



En el procés tenen lloc algunes reaccions que provoquen la pèrdua d'eficiència de la cèl·lula. Aquestes són la recombinació dels electrons injectats amb el sensibilitzador oxidat o "back electron transfer" (Eq.5) i la recombinació d'aquests electrons amb el parell redox oxidat a la superfície del TiO_2 (Eq.6).^{[5],[9],[14]}



El rendiment en una DSSC es basa bàsicament en quatre nivells d'energia del component: l'estat excitat (aproximadament LUMO) i l'estat fonamental (HOMO) del fotosensibilitzador, el nivell de Fermi de l'elèctrode de TiO_2 , que es troba proper al nivell de la banda de conducció i el potencial redox del mediador (I^-/I_3^-) en l'electròlit, una representació esquemàtica es pot observar a la figura 6. La foto corrent obtinguda en una DSSC be determinada per la diferència energètica entre els nivells HOMO i LUMO del fotosensibilitzador, anàleg al gap energètic, E_g , per a un material semiconductor inorgànic. Com menor sigui el gap energètic HOMO-LUMO, major serà la foto corrent degut a la utilització de la regió de longituds d'ona elevades de l'espectre solar. El gap energètic entre el nivell LUMO i el nivell de la banda de conducció del TiO_2 (ΔE_1) és important, i el nivell energètic del LUMO ha de ser suficientment negatiu respecte la banda de conducció del TiO_2 per tal de que els electrons puguin ser injectats de forma efectiva. A més, un lleuger acoblament entre

el nivell LUMO i la banda de conducció del TiO_2 , també porta a una injecció efectiva d'electrons. El nivell HOMO del complex ha de ser suficientment més positiu que el potencial redox del mediador redox per tal d'acceptar electrons de forma efectiva (ΔE_2). Els gaps energètics ΔE_1 i ΔE_2 han de ser majors a aproximadament 200 mV per tal de que actuïn com a força motora per a cada transferència electrònica i aquestes es produeixen amb una eficiència òptima.

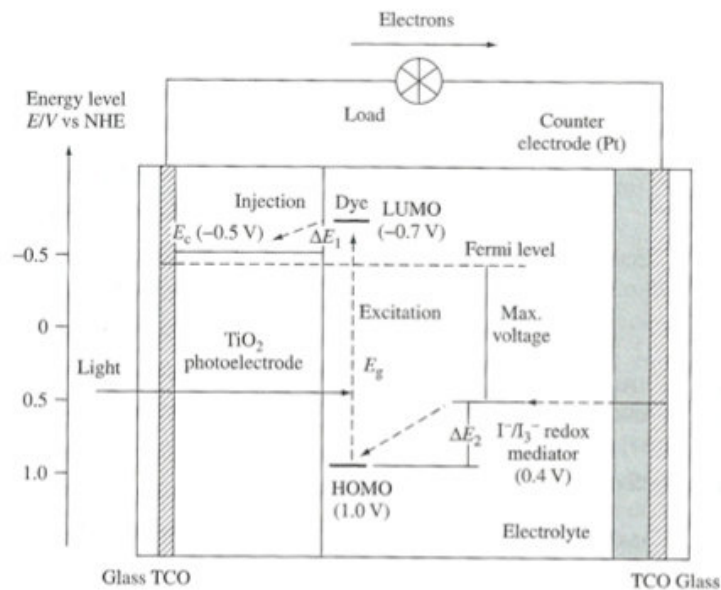


Figura 6. Diagrama d'energies del funcionament d'una DSSC

Com es pot observar a la figura 6, el voltatge és degut al gap energètic entre el nivell de Fermi del TiO_2 de l'elèctrode i el potencial redox del parell I^-/I_3^- . El nivell d'energia de la banda de conducció del elèctrode de TiO_2 s'estima és de -0,5 V versus NHE (elèctrode normal d'hidrogen) i el potencial redox del parell I^-/I_3^- 0,4 V versus NHE. El voltatge màxim dependrà del electròlit que s'utilitzi, ja que el nivell de Fermi del elèctrode de TiO_2 depèn dels components de l'elèctrode i les seves concentracions.

A diferència de les cèl·lules solars tipus p-n, en les DSSCs no es produeix un procés de recombinació de càrrega entre electrons i forats, ja que els electrons són solament injectats des del "dye" al semiconductor i no es forma cap forat a la banda de valència del semiconductor. A més el transport de càrrega té lloc en la capa de

TiO₂, que es troba separada de la zona d'absorció del fotó, de forma que hi ha una efectiva separació de càrrega.^[5]

2.3 Tècniques de caracterització

Amb les tècniques de caracterització el que s'intenta és mesurar els processos interns en dispositius sota condicions de llum solar normals, testejar i ajudar en el desenvolupament de models teòrics que descriguin els processos de transport i de transferència electrònica, analitzar problemes associats a la estabilitat i reproductibilitat i optimitzar nous materials.^[8]

2.3.1 Mesures d'eficiència i I-V

Les corbes corrent-voltatge (I-V) representen la forma més important i directa de caracteritzar les DSSCs i les cèl·lules solars en general.

Un fotodiode es pot descriure amb el següent circuit equivalent:

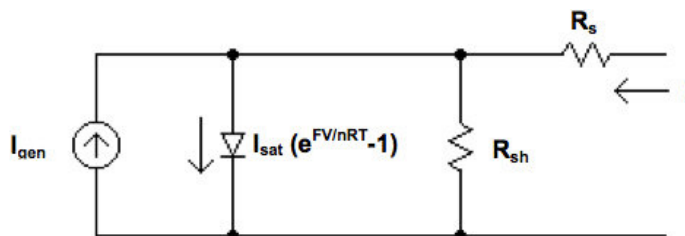


Figura 7. Circuit equivalent d'un fotodiode, I_{gen} = corrent foto generada (corresponent a I_{sc}), I_{sat} = corrent de saturació inversa, F = constant de Faraday = $96,485 \text{ s}\cdot\text{mol}^{-1}$, n = factor d'idealitat del diode, R = constant universal dels gasos = $8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$, T = temperatura absoluta, R_{sh} = resistència de derivació i R_s = resistència en sèrie.

En les DSSCs es pot considerar negligible la resistència de derivació, però això provoca que la resistència en sèrie (R_s) tingui un major impacte en les corbes I-V. R_s s'obté a partir d'un nombre de materials i processos electroquímics limitants dins de la cèl·lula solar. La foto-corrent total observable (I_{ph}) d'un fotodiode amb $R_{sh} \rightarrow \infty$ i $R_s = 0$ ve donada per la expressió:

$$I_{ph} = I_{gen} - I_{sat} \left(e^{\frac{FV}{nRT}} - 1 \right) \quad (\text{Eq.7})$$

El voltatge a circuit obert pot ser calculat fàcilment per a $I_{ph} = 0$ segons la equació 8.

$$V_{oc} = \frac{nRT}{F} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_{sat}} \right) \quad (\text{Eq.8})$$

A la figura 8, podem observar una corba I-V en la qual es troben representats la Potència màxima (P_{max}), que representa el valor més elevat del producte $|I \cdot V|$, el voltatge a circuit obert (V_{oc}), que el trobem a la intersecció de la corba quan $I=0$; la corrent del circuit curt (I_{sc}), que la trobem en la intersecció de la corba quan $V=0$; la potència màxima ideal (P_{max}^{ideal}) que queda determinada pel rectangle blau clar de la figura 8, m'entres que el rectangle blau fosc de la figura equival a la potència màxima real (P_{max}^{real}). A partir d'aquesta informació podem extreure el valor del factor de forma (FF) que be determinat per la equació 9 i que es pot visualitzar com la relació entre l'àrea del rectangle blau fosc i la del rectangle blau clar.^[9]

$$FF = \frac{P_{max}^{real}}{P_{max}^{ideal}} = \frac{P_{max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (\text{Eq.9})$$

El FF és un valor que es troba entre 0 i 1, en el que un valor elevat indica una forma més rectangular i preferible de la corba I-V.

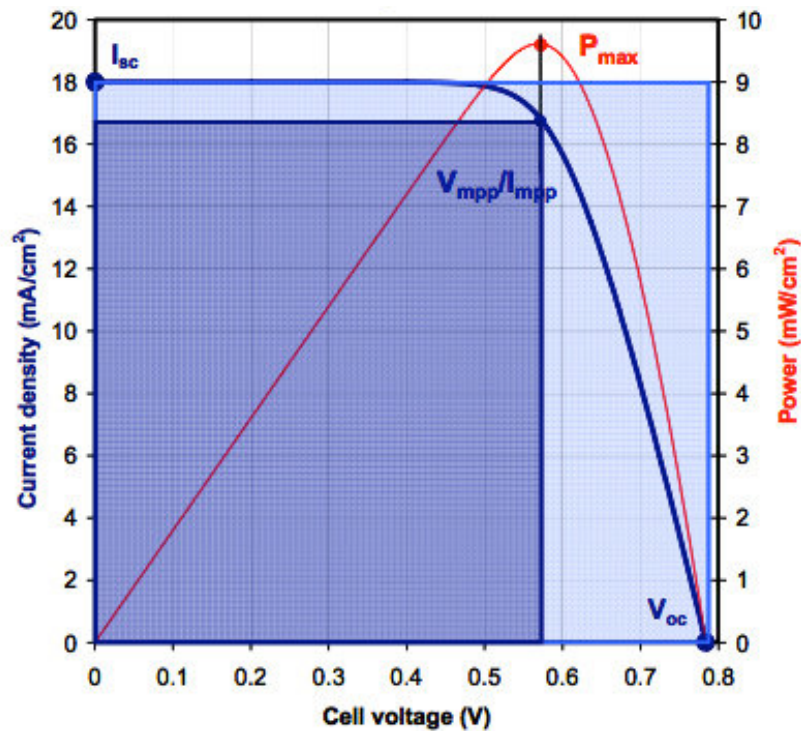


Figura 8. Corba I-V per a una cèl·lula solar, amb els principals descriptors.

A partir de la corba I-V d'una cèl·lula solar sota il·luminació també podem determinar la eficiència de conversió d'energia, η , que es determina mitjançant la equació 10.

$$\eta = \frac{P_{\text{màx}}}{P_{\text{sol}}} \quad (\text{Eq.10})$$

Per a realitzar les mesures s'utilitza un simulador que emet llum blanca (mitjançant una llum de xenó).

Quan el cel està clar, la radiació màxima del sol es troba quan aquest està situat directament a sobre de la superfície de la terra, tenint en aquell moment la longitud de camí més curta. La longitud del camí és anomenada *air mass* (AM) i es pot aproximar segons $AM=1/\cos\varphi$, on φ és l'angle d'elevació del sol. Per a realitzar mesures d'eficiència de cèl·lules solars l'espectre solar estàndard que s'utilitza és AM 1,5 G (global), sent $\varphi = 42^\circ$. Aquest espectre està normalitzat de forma que la

quantitat d'energia radiant que es rep del sol per unitat d'àrea per unitat de temps és de $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. A la figura 9 es mostra un espectre solar AM 1,5 G.^[8]

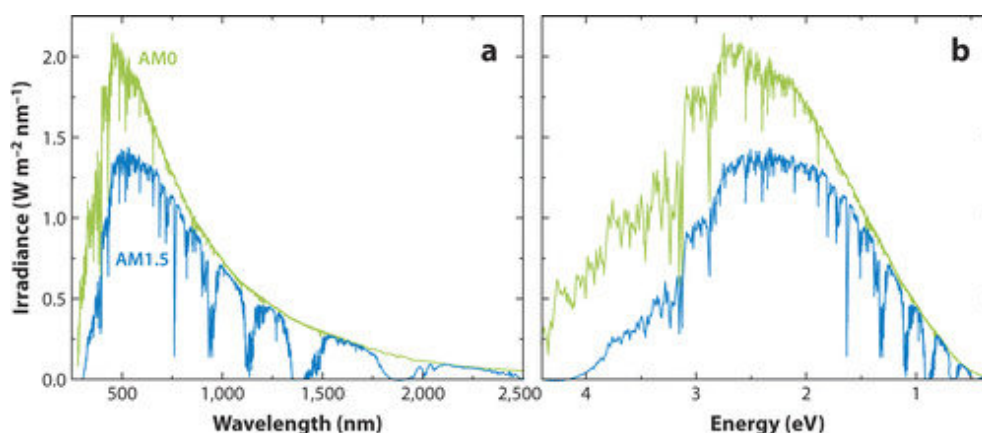


Figura 9. Irradiància solar dels espectres AM 1,5 G i AM 0 en funció de la longitud d'ona i la energia.^[13]

2.4 Líquids iònics

Els líquids iònics són sals orgàniques que tenen punts de fusió per sota de 100°C . Normalment es tracta de sals orgàniques o mesclades eutèctiques de una sal orgànica amb una sal inorgànica.

Les raons per a les quals els líquids iònics són atractius per als químics s'anomenen a continuació.

- Els líquids iònics han obert una nova perspectiva per a la química, degut a que abans del 1998 es troben relativament pocs estudis de química a temperatura inferior a 100°C en un sistema líquid que fos completament iònic comparat amb la química molecular.
- El potencial científic per a la recerca en líquids iònics és virtualment il·limitada.
- Els líquids iònics tenen pressió de vapor negligible a diferència dels solvents orgànics moleculars, i per això no s'evaporen en condicions normals.

- Els líquids iònics són en general no inflamables i molts es mantenen tèrmicament estables a temperatures elevades en comparació els solvents orgànics convencionals.
- Els líquids iònics es mantenen líquids en un rang més ampli que els solvents moleculars.
- Els líquids iònics tenen finestres electroquímiques més amplies.
- Els líquids iònics poden ser utilitzats com a medi de reacció i/o catalitzadors per a una ampla varietat de reaccions químiques.
- Poden ser utilitzats per a separacions i extraccions de compostos químics d'una solució aquosa o de solvents orgànics moleculars.
- Poden ser reciclats fàcilment.
- Les propietats químiques i biològiques dels líquids iònics poden ser modificades o adaptades :
 - Canviant anions o cations.
 - Dissenyant funcionalitats específiques dins dels cations i/o anions.
 - Mesclant dos o més líquids iònics simples.
- Degut a que els líquids iònics estan formats per cations i anions, aquests disposen de doble funcionalitat, poden ser explotats com a solvents i nous materials per a una elevada quantitat d'aplicacions com són electroquímica, química orgànica, química inorgànica, bioquímica, ciència de materials i farmacèutiques.
- Els líquids iònics poden contribuir significativament al desenvolupament de química i tecnologia verda per exemple :
 - Substituint solvents tòxics, inflamables i volàtils.
 - Reduint o prevenint el malbaratament i pol·lució química.
 - Millorant la seguretat dels processos i productes químics.^{[10], [11]}

3. Procediment experimental

El primer que es realitza és l'estudi de la cèl·lula de referència. Per tal de seleccionar la millor cèl·lula de referència, es realitzen diferents sèries en les que es van realitzant certes modificacions en el muntatge d'aquesta. El que mai pateix modificacions són la arquitectura, l'electròlit i la neteja del substrat de FTO i el contra elèctrode de FTO/Pt.

3.1 Arquitectura cèl·lula de referència

Totes les cèl·lules que es realitzaran es basen en la arquitectura que es mostra en la figura 10.

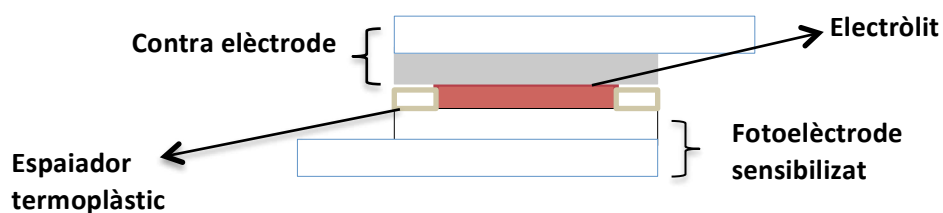


Figura 10. Arquitectura de la cèl·lula de referència

L'espaiador termoplàstic utilitzat és un separador termofusible Surlyn 30 de DyeSol de 30 μm de gruix.

3.2 Electròlit

Es preparen 55 ml de l'electròlit que s'utilitzarà a la cèl·lula de referència, a base de:

- 0,5 M de LiI al 99,9% de puresa de Sigma-Aldrich
- 0,05 M de I_2 de Sigma-Aldrich amb una puresa del 99,999%
- 0,05 mM de *tert*-butilpiridina (t_BP) amb un 96% de puresa de Sigma-Aldrich

En 3-metoxi-propionitril (3-MPN).

Per a fer-ho utilitzem un matrau de 150 ml en el que introduïm el LiI, la *tert*-butilpiridina i el I₂ en 55 ml de 3-MPN. Un cop preparat l'electròlit re calculem la concentració de cada producte.

$$3,66g \text{ LiI} \cdot \frac{1 \text{ mol LiI}}{133,84g} \cdot \frac{10^3 \text{ ml}}{1L} \cdot \frac{1}{55 \text{ ml solució}} = 0,497M \text{ LiI}$$

$$0,70g \text{ I}_2 \cdot \frac{1 \text{ mol I}_2}{253,8g} \cdot \frac{10^3 \text{ ml}}{1L} \cdot \frac{1}{55 \text{ ml solució}} = 0,050M \text{ I}_2$$

$$4\mu\text{L } t_{BP} \cdot \frac{1L}{10^6\mu\text{l}} \cdot \frac{0,923g t_{BP}}{1\text{ml}} \cdot \frac{10^3 \text{ ml}}{1L} \cdot \frac{1 \text{ mol } t_{BP}}{135,21g} \cdot \frac{10^3 \text{ mmol}}{1 \text{ mol}} \cdot \frac{1}{55 \text{ ml}} \cdot \frac{10^3 \text{ ml}}{1L} = 0,496 \text{ mM } t_{BP}$$

3.3 Neteja del substrat de FTO i el contra elèctrode de FTO/Pt

Tant els substrats com els contra elèctrodes s'han de sotmetre a un procés de neteja previ a la fabricació de les cèl·lules. Per a realitzar-lo, aquests es submergeixen en un bany de acetona durant 10 minuts en ultrasons, s'esbandeixen amb isopropanol i tot seguit s'introdueixen en un bany d'isopropanol durant uns altres 10 minuts en ultrasons, es tornen a esbandir amb isopropanol i finalment s'assequen amb un flux d'aire comprimit.

3.4 Preparació capa TiO₂

En alguns casos es realitza la capa de TiO₂. Per a fer-ho es prepara una dispersió de TiO₂ de Degussa P-25 al 20% en pes en etanol al 96% v/v de Scharlab agitant-la i posteriorment introduint-la en un bany d'ultrasons durant 10 min, repetint la agitació i tractament en ultrasons quatre vegades. És important canviar l'aigua del

bany d'ultrasons després de cada cicle per a evitar un escalfament de la dispersió i la evaporació del etanol d'aquesta.^[12]

Un cop tenim la dispersió preparada, aquesta es deposita sobre els substrats utilitzant la tècnica de "Doctor Blading", utilitzant cinta adhesiva de la qual s'ha mesurat l'espessor al laboratori amb un mesurador "mitutoyo absolute de Instruments J.Bot S.A" obtenint com a resultat que l'espessor és de 50 μm , amb el que obtenim un gruix de la capa de TiO_2 de 10 μm . És important comprovar abans de depositar la capa de TiO_2 quina és la cara conductora, és a dir, en la que es troba el FTO i sobre la que realitzarem la capa de TiO_2 . Aquest procés es realitza mitjançant un multímetre.

A continuació, en la figura 11, es mostra la superfície de la capa de TiO_2 obtinguda. La imatge s'ha obtingut mitjançant microscòpia.

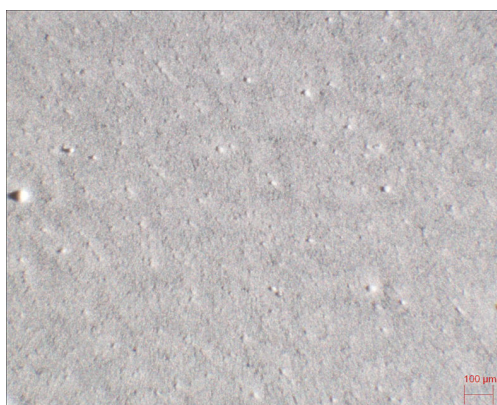


Figura 11. Imatge per microscòpia de la superfície de TiO_2 realitzat mitjançant "doctor Blading"

Com es pot observar la capa obtinguda no presenta grans imperfeccions.

La capa de TiO_2 es sotmet a un procés de sinterització utilitzant la següent rampa de temperatures:

1. $T_0 = 25^\circ\text{C} \rightarrow T_f = 85^\circ\text{C}$ en $t = 10$ min
2. $T_{\text{fixa}} = 85^\circ\text{C}$ durant 30 min para eliminar el agua.
3. $T_1 = 85^\circ\text{C} \rightarrow T_f = 450^\circ\text{C}$ en 20 min

4. $T_{\text{fixa}} = 450^{\circ}\text{C}$ durant 30 min
5. Refredament fins a 85°C (en el menor temps possible)
6. $T_{\text{fixa}} = 85^{\circ}\text{C}$ durant un mínim de 3h

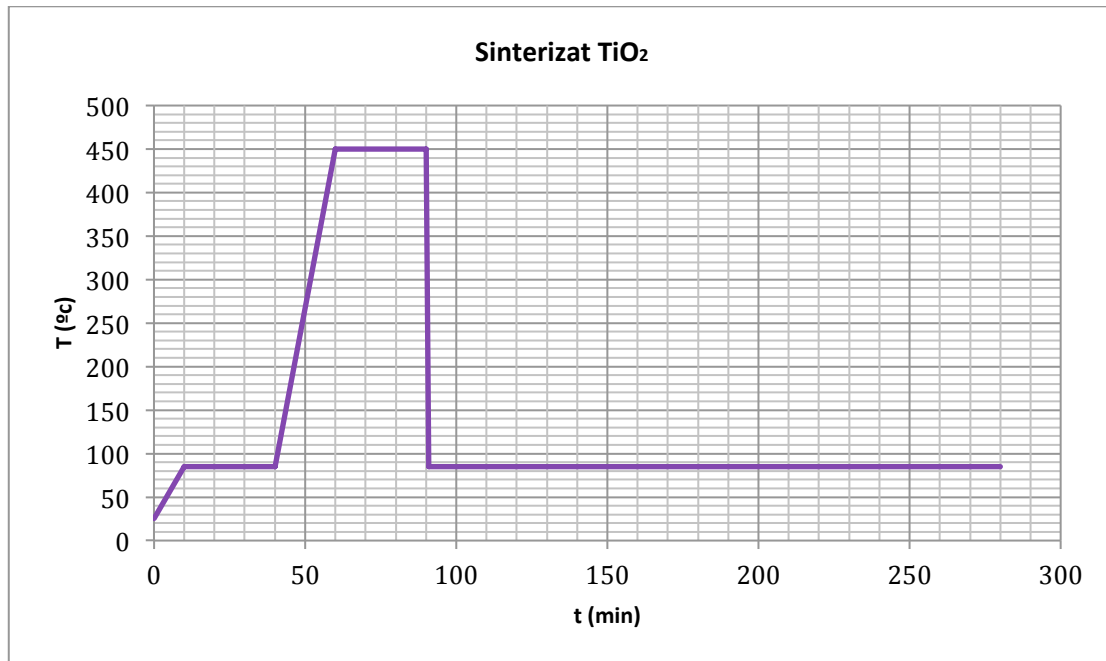


Figura 12. Rampa de temperatura utilitzada en el sinteritzat del TiO₂.

El sinteritzat es realitza en una estufa "Nabertherm" model N120/45HA amb la qual es pot treballar en un interval de temperatures de 30 °C a 3000 °C, col·locant els elèctrodes a sobre d'un vidre circular com es mostra a la figura 13.

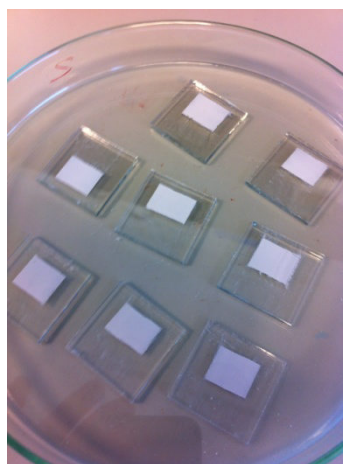


Figura 13. Forma de col·locació dels elèctrodes al sinteritzar.

3.5 Sensibilització del FTO/TiO₂

Per a la sensibilització s'ha utilitzat el pigment de DyeSol N719 0,5 mM en etanol al 96% v/v de Scharlab.

L'espectre UV-Vis obtingut un cop diluït fins a una concentració 0,005 mM es mostra a continuació a la figura 14.

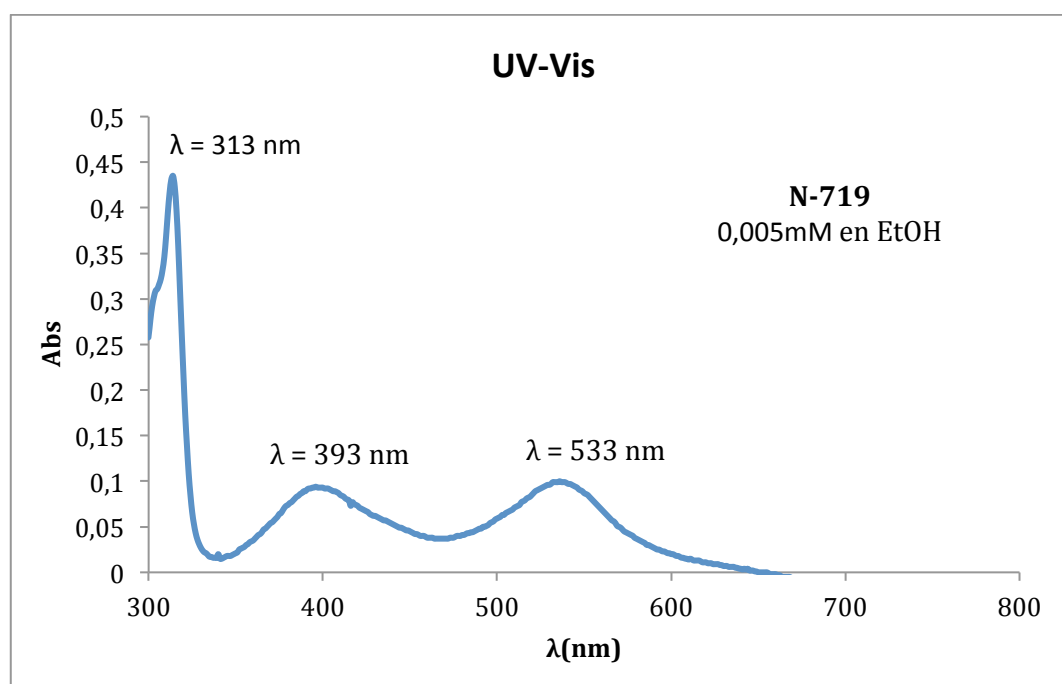


Figura 14. Espectre UV-Vis del N719 0,005 mM.

Per a la sensibilització del TiO₂, els substrats amb el TiO₂ que traiem directament de la estufa a on es realitza el sinteritzat i que es troba a 85 °C, es submergeixen durant 24 hores al bany on hi ha el pigment. És important introduir els substrats calents per tal d'evitar que hi hagi presència d'humitat en la capa de TiO₂. Posteriorment es netegen els substrats submergeint-los en etanol al 96% v/v de Scharlab per tal d'eliminar qualsevol excés de "dye" que no hagi sigut absorbida per la superfície del TiO₂ i assecant-los amb aire comprimit després d'aproximadament 1h d'haver-los submergit en l'etanol.

A la figura 15 podem observar una imatge obtinguda per microscòpia de la capa de TiO_2 sensibilitzada.

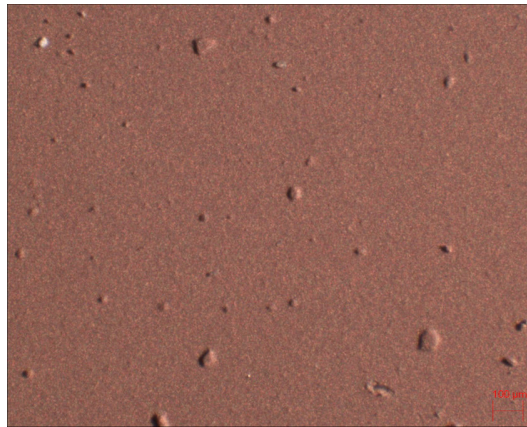


Figura 15. Imatge per microscòpia de la capa de TiO_2 per “doctor Blading” sensibilitzada.

3.6 Muntatge de la cèl·lula

S'han realitzat dos muntatges diferents, un primer sense segellar i un segon segellat.

3.6.1 Sense segellar

En aquest cas sobre el substrat sensibilitzat es col·loca el separador termofusible i s'omple l'espai limitat per aquest amb l'electròlit preparat. Es tanca la DSSC amb el contra elèctrode i es subjecta tot el dispositiu amb unes pinces tal i com es mostra a la figura 16.

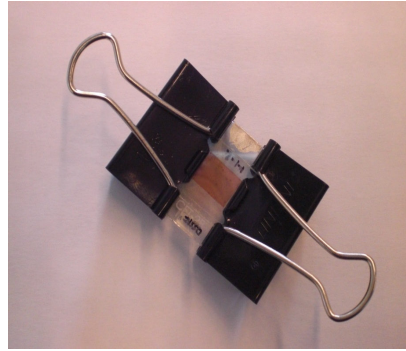


Figura 16. fotografia d'una de les DSSC preparades sense segellar

A continuació (figura 17) es mostra un esquema amb tot el procés de preparació de la DSSC.

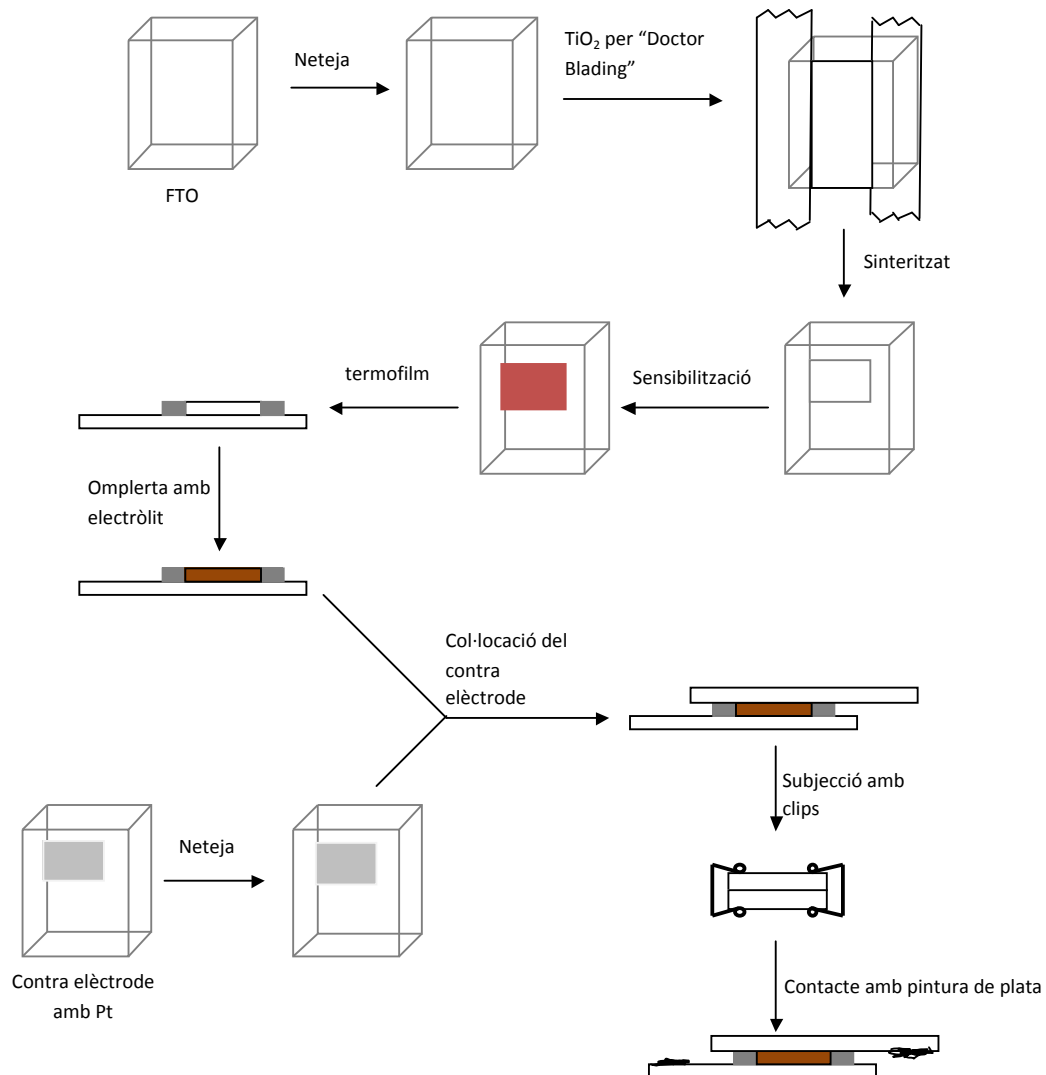


Figura 17. Esquema de la preparació dels dispositius sense segellar.

3.6.2 Segellades

En aquest cas sobre el substrat sensibilitzat es col·loca el separador polimèric termofusible, es tanca amb el contra elèctrode, en el qual s'hauran realitzat dos forats, i es col·loca a la estufa amb un pes a sobre. Un cop segellat, a través dels forats i utilitzant una micropipeta s'emplena l'espai limitat pel termofilm amb l'electròlit preparat i es tanquen els forats utilitzant un tros de vidre cobreobjectes enganxat amb Araldite com es mostra a la figura 18.

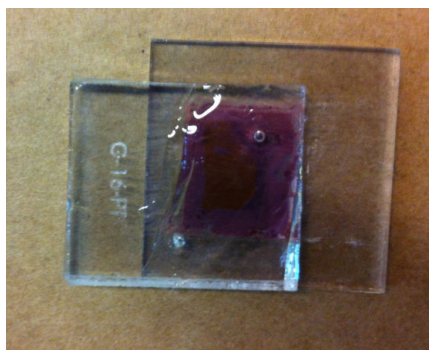


Figura 18. Fotografia d'una de les DSSC segellades preparades

Per a foradar el contra elèctrode s'utilitza un trepant Lapeyre amb una broca de TiC de 1,1 mm de diàmetre. Es col·loca el contra elèctrode com es mostra a la figura 19 i utilitzant aigua com a refrigerant es realitzen dos forats a una distància que permeti posteriorment omplir la cèl·lula amb l'electròlit. El paper situat a sota del contra elèctrode s'utilitza per a la correcta visualització de la zona en la que hi ha dipositat el platí.

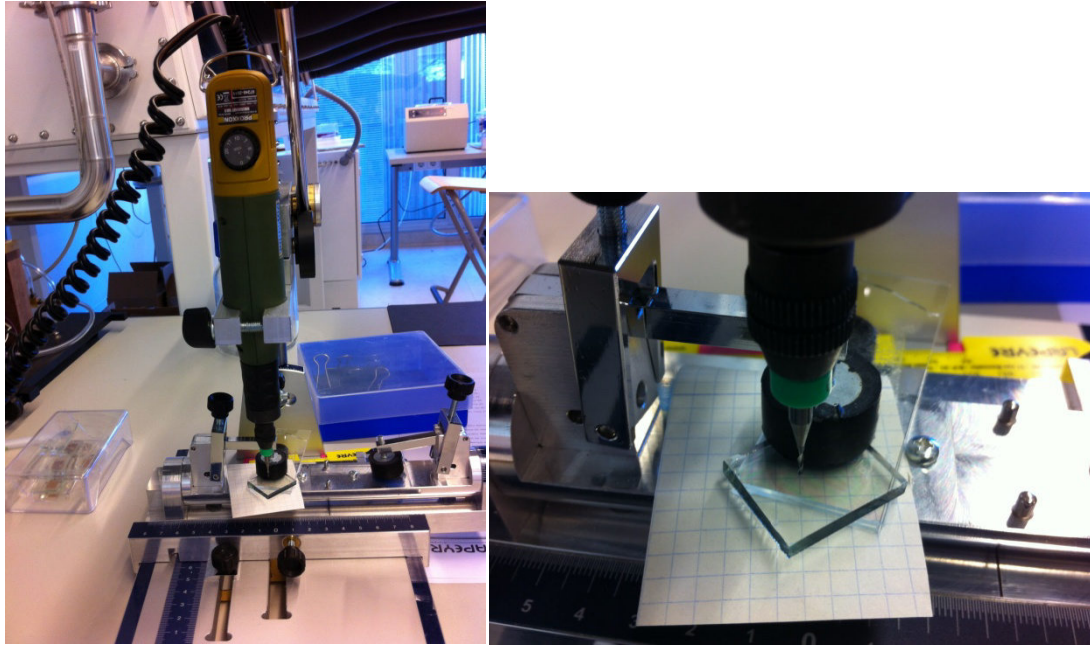


Figura 19. Sistema de foradat del contra elèctrode.

A continuació es mostra un esquema de tot el procés de preparació i muntatge de les DSSCs.

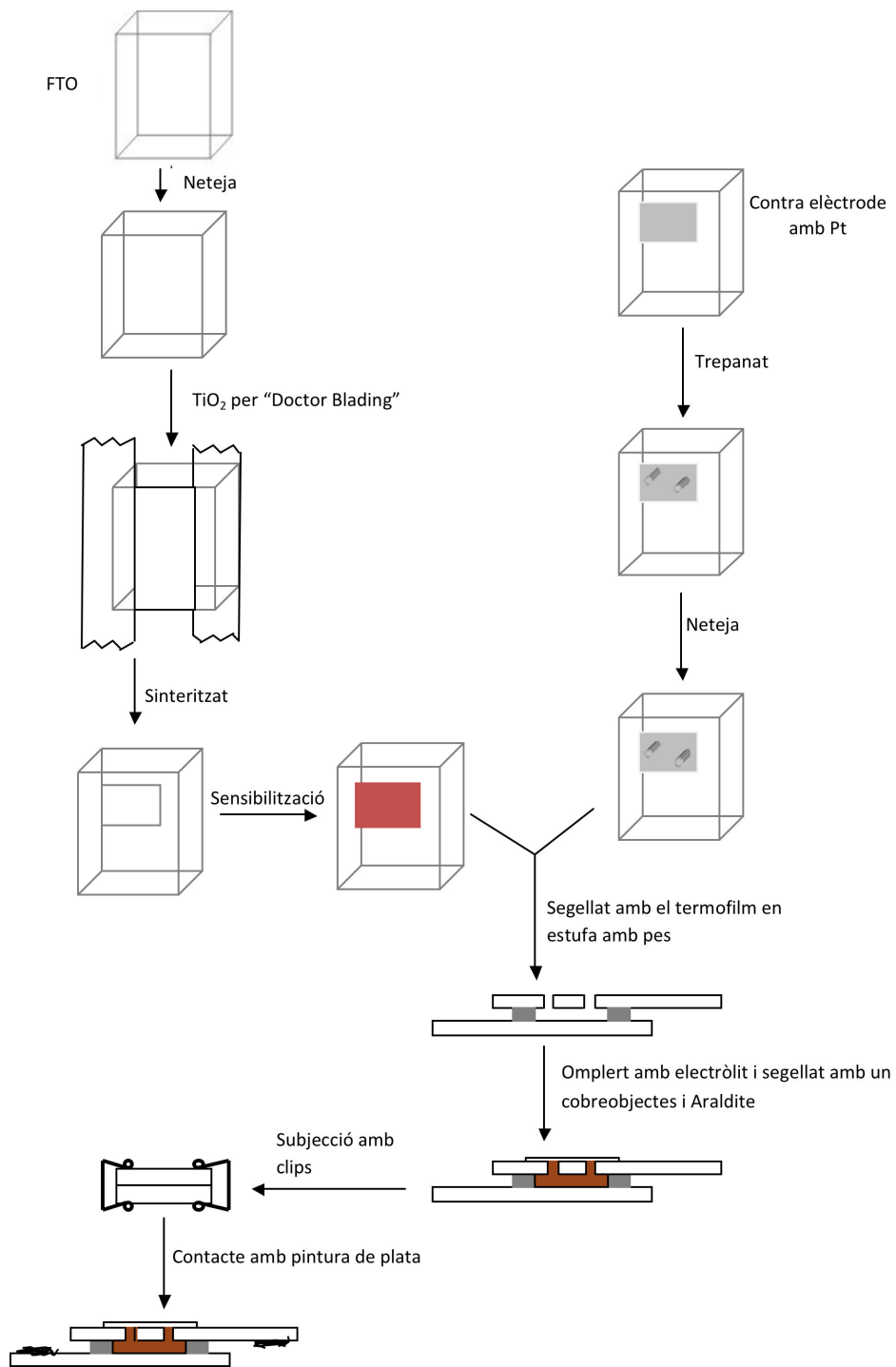


Figura 20. Esquema de la preparació dels dispositius segellats.

Tant en el cas de les DSSCs segellades com les que no han estat segellades, un cop s'ha muntat la cèl·lula, s'ha de realitzar un contacte per a poder fer les mesures de caracterització elèctrica. Aquest contacte es realitza amb pintura de plata a la cara dels elèctrodes en la que es troba el FTO.

3.7 Caracterització elèctrica de la DSSC

Per a la caracterització elèctrica s'ha utilitzat un pico amperímetre (AUTOLAB), en el qual es registra la mesura de la corba característica de densitat de corrent (J) i voltatge (V) per a totes les DSSC preparades. La corba J-V es registra tant en fosc com sota il·luminació. Per a il·luminar les DSSCs s'utilitza un simulador solar "Abet Sun 2000", el qual ha estat calibrat prèviament a les mesures.



Figura 21. Simulador solar ABET SUN 2000

Per a totes les sèries realitzades a excepció de la primera s'utilitza una màscara per a realitzar les mesures, ja que d'aquesta forma l'àrea activa del dispositiu és sempre la mateixa i els resultats són més fàcils de comparar. A la figura 22 es pot observar la màscara utilitzada ja muntada en els dispositius per a poder realitzar les mesures. D'aquesta forma tots els dispositius preparats tenen una àrea activa de $0,196 \text{ cm}^2$.



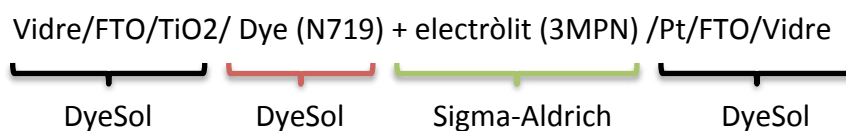
Figura 22. Dispositius amb màscara preparats per a les mesures.

4. Resultats

S'han realitzat diferents sèries per tal d'aconseguir una cèl·lula segellada, estable i reproducible.

4.1 Primera sèrie

Aquesta sèrie es realitza amb DSSC sense segellar i utilitzant els elèctrodes del kit de DyeSol. Per tant la estructura serà la següent.



Amb encapsulant termoplàstic Surlyn 30 de DyeSol.

Les corbes característiques J-V de les DSSC preparades es mostren a la figura 23 i 24. Es mostren sis corbes corresponents als sis dispositius que han presentat millors rendiments.

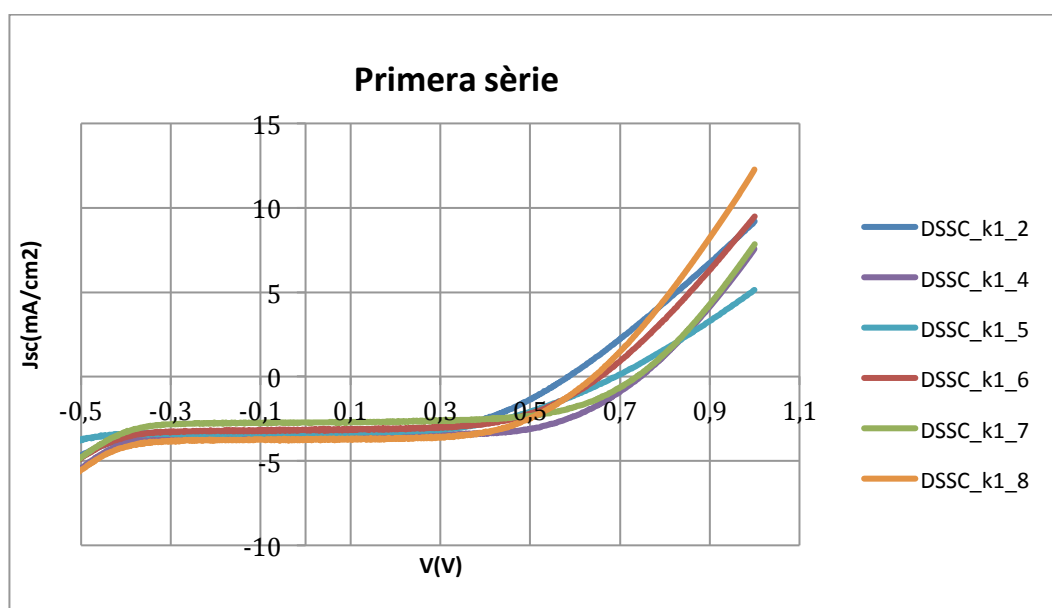


Figura 23. Corba J-V de la primera sèrie de DSSC fabricades.

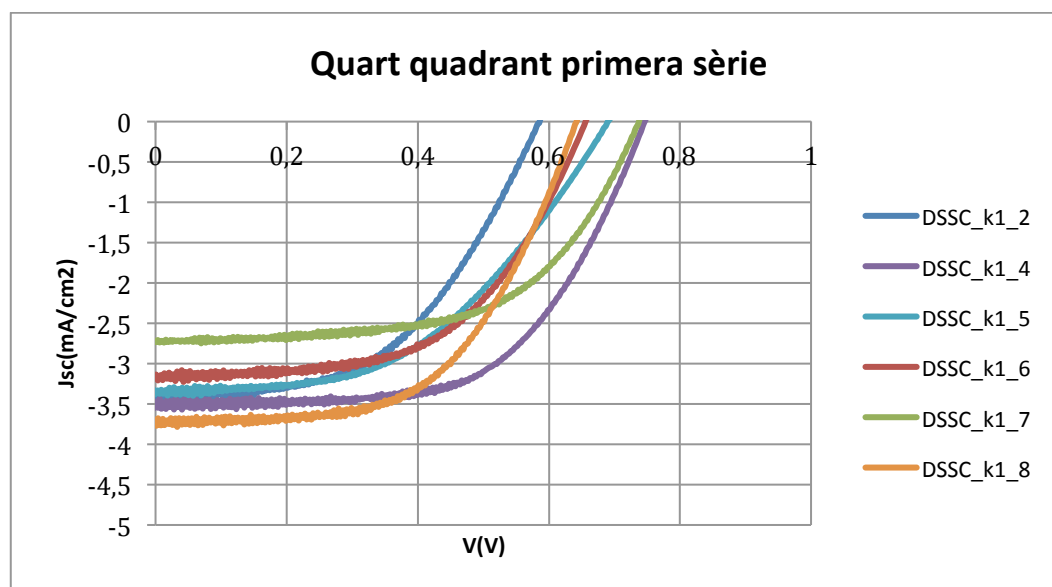


Figura 24. Detall del quart quadrant de les corbes J-V de la primera sèrie fabricada.

En la taula 2 es mostren els valors característics de densitat de corrent a curtcircuit (J_{sc}), voltatge a circuit obert (V_{oc}), potència màxima entregada per la DSSC (P_{max}), el factor de forma (FF) i la eficiència (η)

DSSC	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	Pot.Max (Mw/cm ²)	FF	η (%)
DSSC-k1-2	3,42	0,59	1,02	0,51	1,67
DSSC-k1-4	3,48	0,75	1,56	0,6	2,56
DSSC-k1-5	3,36	0,69	1,12	0,48	1,84
DSSC-k1-6	3,15	0,65	1,16	0,57	1,91
DSSC-k1-7	2,73	0,74	1,19	0,59	1,95
DSSC-k1-8	3,74	0,64	1,35	0,57	2,22

Taula 2. Valors dels paràmetres fotovoltaics de la primera sèrie de DSSC.

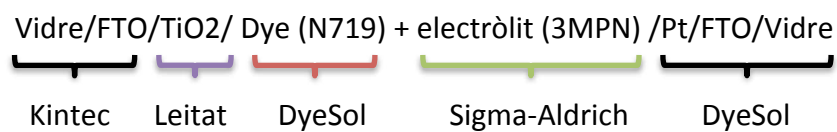
Aquestes DSSCs presenten resposta fotovoltaica durant unes 3 hores.

4.2 Segona sèrie

Aquesta sèrie es realitza igual que la anterior, però s'ha produït un problema en les mesures, pel que els resultats obtinguts no es tindran en compte.

4.3 Tercera sèrie

Aquesta sèrie es prepara amb les DSSC sense segellar però la diferència és que no s'utilitzen els elèctrodes del kit de DyeSol sinó que s'utilitzen substrats de vidre de 4 mm de gruix coberts per una capa fina de FTO de 15 Ω /sq de Kintec sobre els quals mitjançant el procediment esmentat en l'apartat 3.4 es deposita la capa de TiO₂. Així doncs la estructura serà la següent:



Amb encapsulant termoplàstic Surlyn 30 de DyeSol.

Les corbes característiques J-V obtingues es mostren a la figura 25 i 26. Es mostren les corbes corresponents als dos dispositius que han s'han preparat. En la taula 3 es presenten els valors característics mesurats.

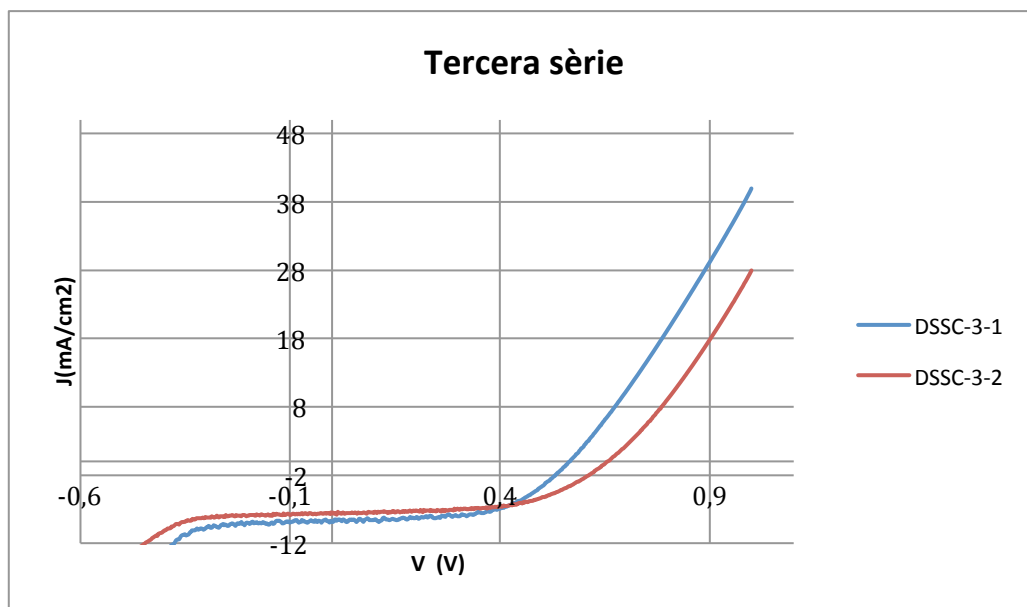


Figura 25. Corba J-V de la tercera sèrie de DSSCs fabricades

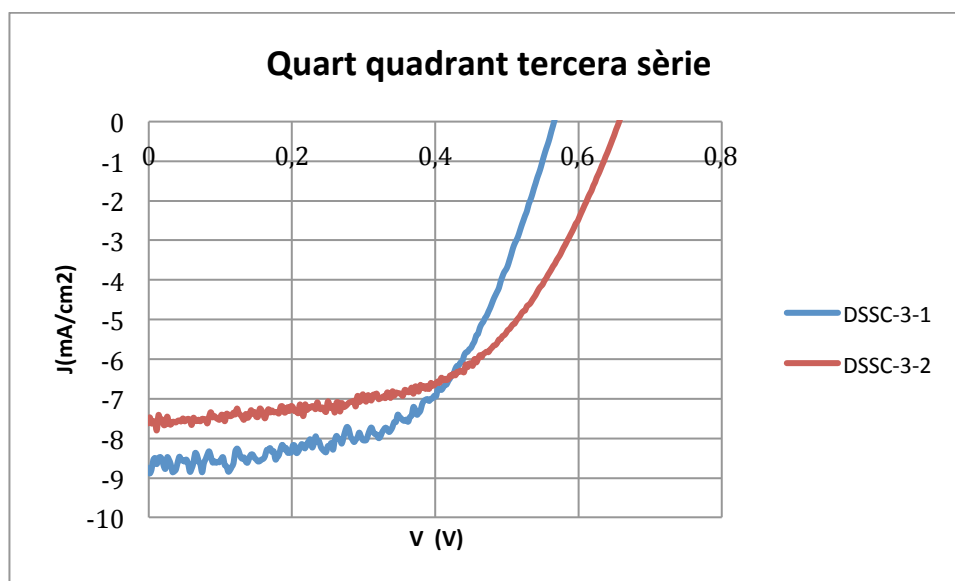


Figura 26. Detall del quart quadrant de les corbes J-V de la tercera sèrie fabricada.

DSSC	Jsc (mA/cm ²)	Voc (V)	Pot.Max (mW/cm ²)	FF	η (%)
DSSC-3-1	8,847	0,566	2,784	0,556	2,784
DSSC-3-2	7,546	0,666	2,790	0,555	2,790

Taula 3. Valors dels paràmetres fotovoltaics de les DSSC de la tercera sèrie.

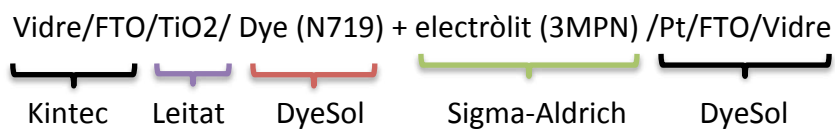
Com es pot observar els valors d'eficiència són molt semblants als obtinguts amb els elèctrodes del kit de DyeSol, per tant donem per bo el mètode de preparació de la capa de TiO₂, de forma que a partir d'aquest moment prepararem nosaltres la capa de TiO₂ en tots els casos, ja que d'aquesta manera podem treballar en continu, m'entres que de l'altra forma es tardava sis setmanes en obtenir els substrats.

El següent pas en el que es vol treballar és el segellat de les cèl·lules.

4.4 Quarta sèrie

Aquesta sèrie s'ha realitzat amb les DSSC segellades com s'ha explicat a l'apartat 3.6.2, col·locant les cèl·lules a una estufa a 100°C durant 4 hores amb un pes a sobre de 3 Kg i una planxa metàl·lica llisa a sota.

La estructura és:



Amb encapsulant termoplàstic Surlyn 30 de DyeSol.

Una altra variant que s'ha introduït és el temps entre el segellat i l'emplenat de la cèl·lula, ja que les DSSC-4-1 i DSSC-4-2 han estat segellades dos dies abans de ser omplertes amb l'electròlit, m'entres que les DSSC-4-3, DSSC-4-4, DSSC-4-5 i DSSC-4-6 han estat segellades i omplertes el mateix dia en que s'han començat a realitzar les mesures fotovoltaïques.

A continuació (figures 27 i 28) es mostren les corbes característiques J-V obtingudes. Tant sols es mostren els resultats dels dispositius que han mostrat major rendiment.

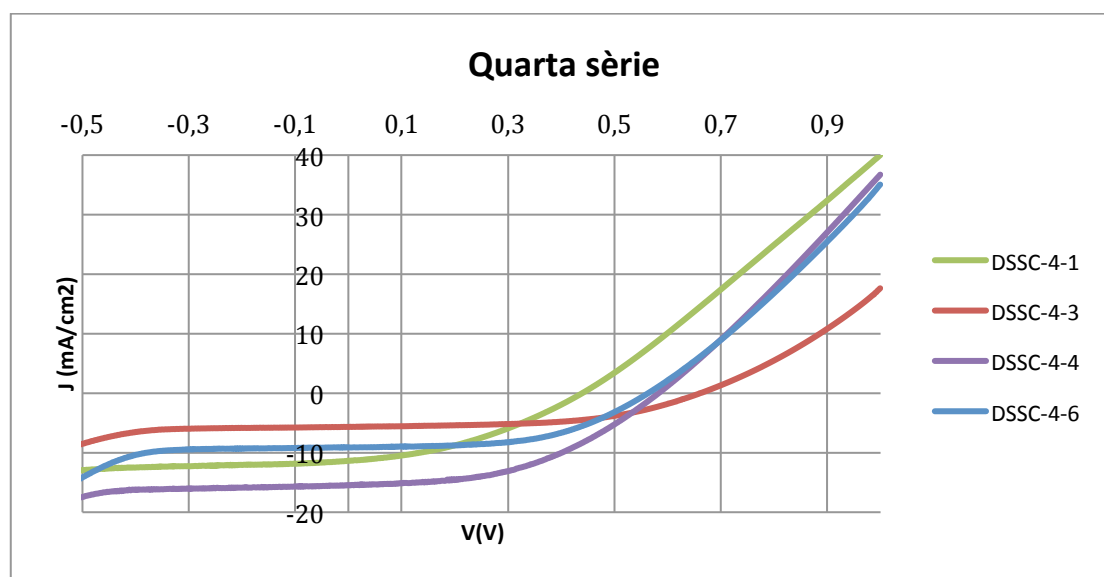


Figura 27. Corbes J-V de la quarta sèrie de DSSCs fabricades

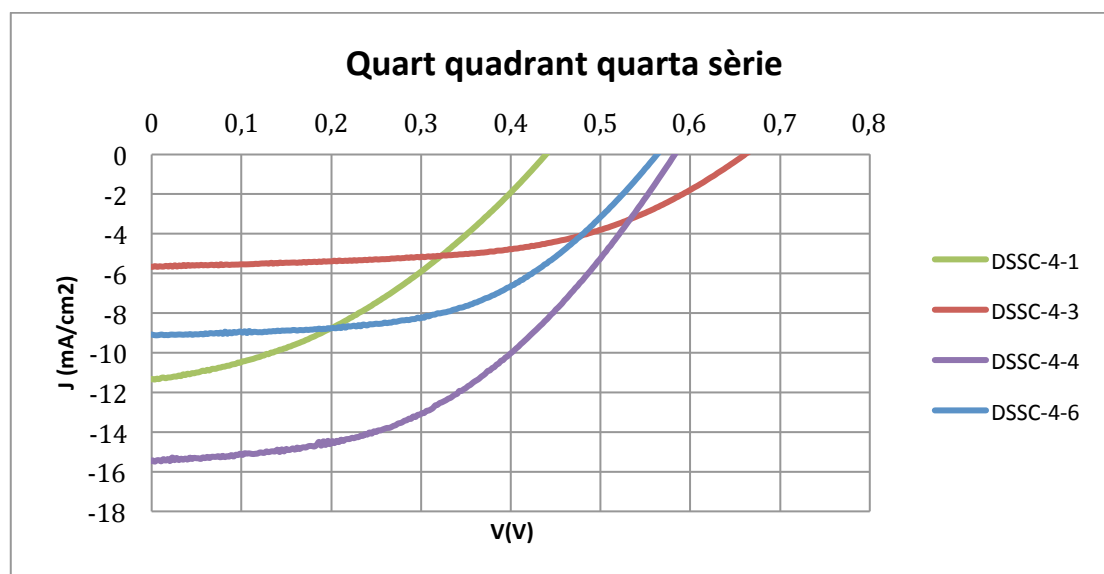


Figura 28. Detall del quart quadrant de les corbes J-V de la quarta sèrie de DSSCs fabricades

A la taula 4 es mostren els valors dels paràmetres fotovoltaics de les cèl·lules que han mostrat millors rendiments. Els resultats de les DSSC-4-2 i DSSC-4-5 han estat eliminats degut a que aquests dispositius presentaven fugues d'electròlit.

DSSC	Jsc (mA/cm ²)	Voc (V)	Pot.Max (Mw/cm ²)	FF	η (%)
DSSC-4-1	11,34	0,44	1,87	0,38	1,87
DSSC-4-3	5,66	0,66	1,98	0,53	1,98
DSSC-4-4	15,46	0,58	4,13	0,46	4,13
DSSC-4-6	9,09	0,56	2,70	0,53	2,70

Taula 4. Valors dels paràmetres fotovoltaics de la quarta sèrie de DSSCs fabricades.

Amb els valors obtinguts sembla ser que les cèl·lules segellades dos dies abans presenten pitjors rendiments, però no ens podem fiar dels resultats ja que la reproducibilitat i la eficiència dels resultats són molt dolentes.

De totes les DSSC fabricades es realitza un seguiment del temps de vida, ja que és un dels paràmetres sobre els quals es vol obtenir una millora. Així doncs es realitzen

mesures dels paràmetres fotovoltaics aproximadament cada hora, obtenint en aquest cas els resultats que es mostren en la figura 29.

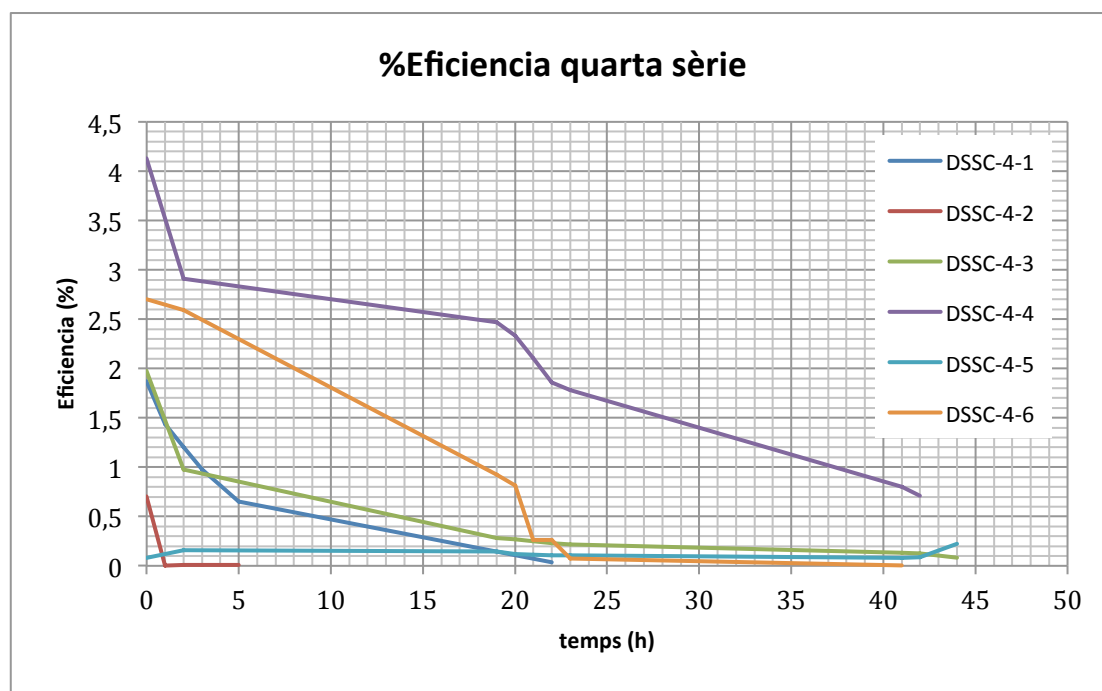


Figura 29. Temps de vida de la quarta sèrie de DSSCs fabricades.

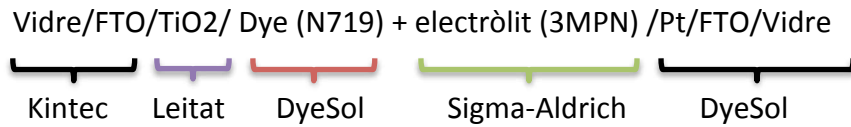
Com es pot observar el temps de vida de les cèl·lules segellades és major al obtingut amb les cèl·lules sense segellar, que era de 3 hores, augmentant fins a unes 20 hores en la majoria dels casos, a excepció de la DSSC-4-4 per la que obtenim un temps de vida d'aproximadament 40 hores. Cal esmentar que la idea en el nostre estudi no és certificar un valor de vida tècnica, sinó tenir una comparativa justa i ràpida per si tenim un sistema més robust.

4.5 Quinta sèrie

Aquesta sèrie es realitza igual que la anterior i com anteriorment, les DSSC-5-1, DSSC-5-2, DSSC-5-3 i DSSC-5-4 han sigut segellades i omplertes amb electròlit el mateix dia en que s'han realitzat les mesures, m'entres que les DSSC-5-5 i DSSC-5-6 han estat segellades dos dies abans de ser omplertes amb l'electròlit i posterior mesura.

En aquest cas el segellat s'ha realitzat primer a 90 °C durant 2h i 30 min amb un pes de 6 Kg, al veure que transcorregut aquest temps els dispositius encara no s'han segellat s'augmenta la temperatura a 150 °C durant 1 h i 15 min amb 6 kg de pes.

La estructura és:



Amb encapsulant termoplàstic Surlyn 30 de DyeSol.

A la figura 30 i 31 es mostren les corbes J-V de les DSSC de les quals s'han obtingut millors rendiments.

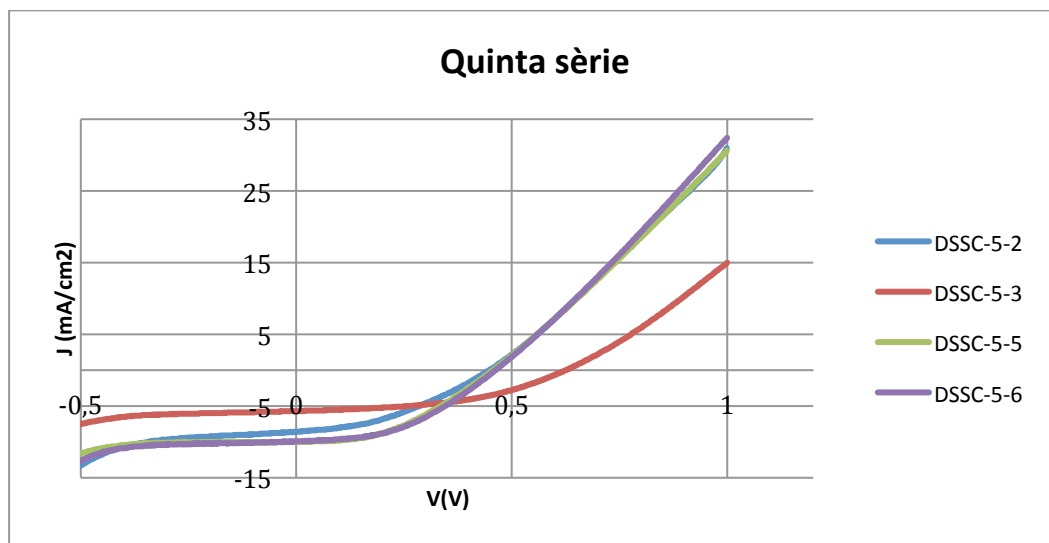


Figura 30. Corbes J-V de la quinta sèrie de DSSCs fabricades

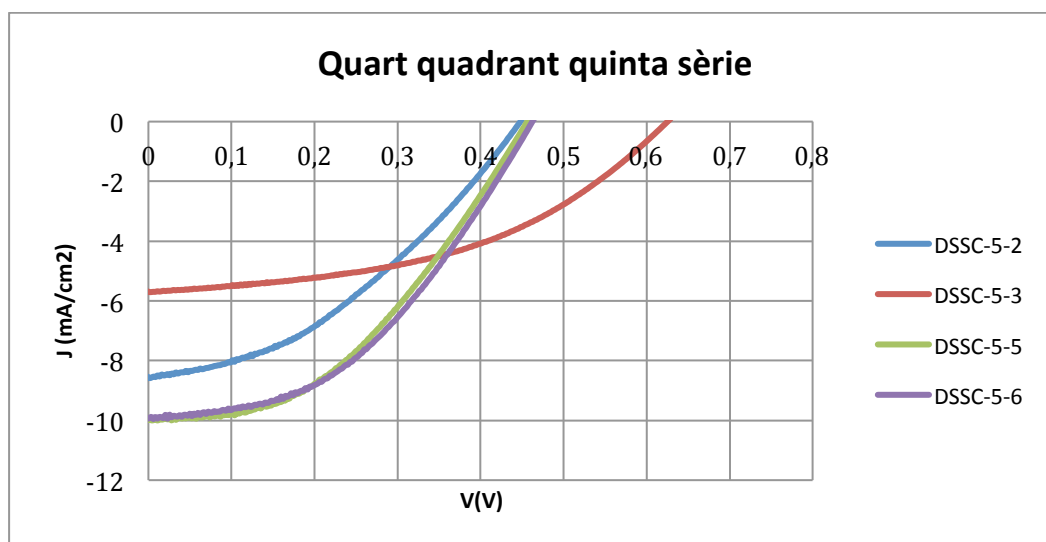


Figura 31. Detall del quart quadrant de les corbes J-V de la quinta sèrie de DSSCs fabricades.

A continuació es mostren els valors dels paràmetres fotovoltaics d'aquesta sèrie.

DSSC	Jsc (mA/cm ²)	Voc (V)	Pot.Max (Mw/cm ²)	FF	η (%)
DSSC-5-2	8,56	0,45	0,70	0,38	1,45
DSSC-5-3	5,69	0,63	1,64	0,46	1,64
DSSC-5-5	9,98	0,46	1,93	0,42	1,93
DSSC-5-6	9,93	0,46	2,00	0,44	2,00

Taula 5. Valors dels paràmetres fotovoltaics de la quinta sèrie de DSSCs fabricades.

Com en els altres casos s'ha realitzat un seguiment del temps de vida de les cèl·lules, però en aquest cas degut a la disponibilitat de la màquina tant sols s'han pogut realitzar les mesures durant 4 hores.

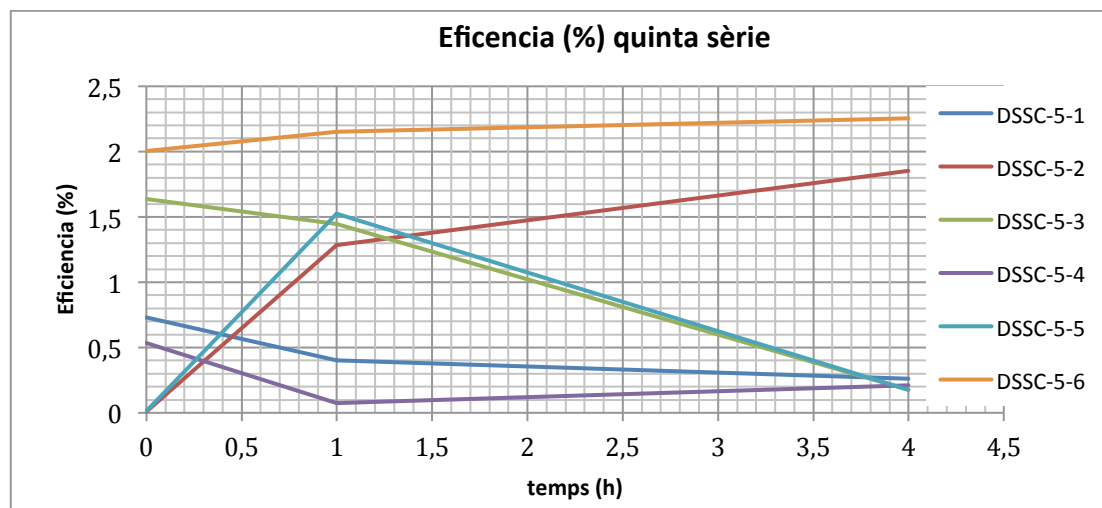


Figura 32. Temps de vida de la quinta sèrie de DSSCs fabricades.

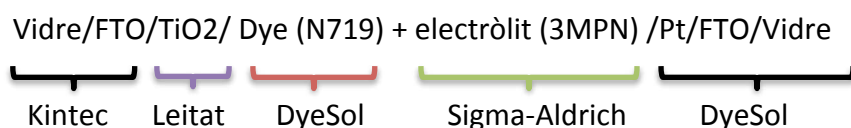
Com es pot observar en la figura 32, les DSSC-5-2 i DSSC-5-6 mantenen els valors d'eficiència durant 4 hores, els casos 5-1 i 5-4 inicialment ja donen mals resultats degut a un mal segellat de la cèl·lula, m'entres que les DSSC-5-3 i DSSC-5-5 presenten un comportament estrany, segurament degut a una mala connexió en la primera mesura i a les 4 hores ja no presenten comportament fotovoltaic degut a pèrdues d'electròlit.

4.6 Sexta sèrie

Com es pot veure amb els resultats anteriors, tenim un problema en el segellat dels dispositius, ja que sovint tenim pèrdues de l'electròlit.

Per tant en aquesta sèrie assajarem diferents mètodes per a obtenir un millor segellat.

La estructura com en els últims casos és:



Amb encapsulant termoplàstic Surlyn 30 de DyeSol.

Així doncs en aquesta sèrie tenim que DSSC-6-1 i DSSC-6-2 han estat segellades tal i com està descrit en el punt 3.6.2 però utilitzant dos termofilms, un sobre l'altre. Pel que fa a les DSSC-6-3 i DSSC-6-4 hem tallat el termofilm de forma esfèrica, i pel cas de la DSSC-6-5, hem realitzat el mateix segellat que fins ara en tots els casos a una temperatura de 140 °C durant 1 hora amb 6 Kg de pes, ja que també ens interessa minimitzar el temps de fabricació dels dispositius.

Les corbes característiques J-V de les DSSC preparades es mostren a la figura 33 i 34. Es mostren quatre corbes corresponents als quatre dispositius que han presentat millors rendiments.

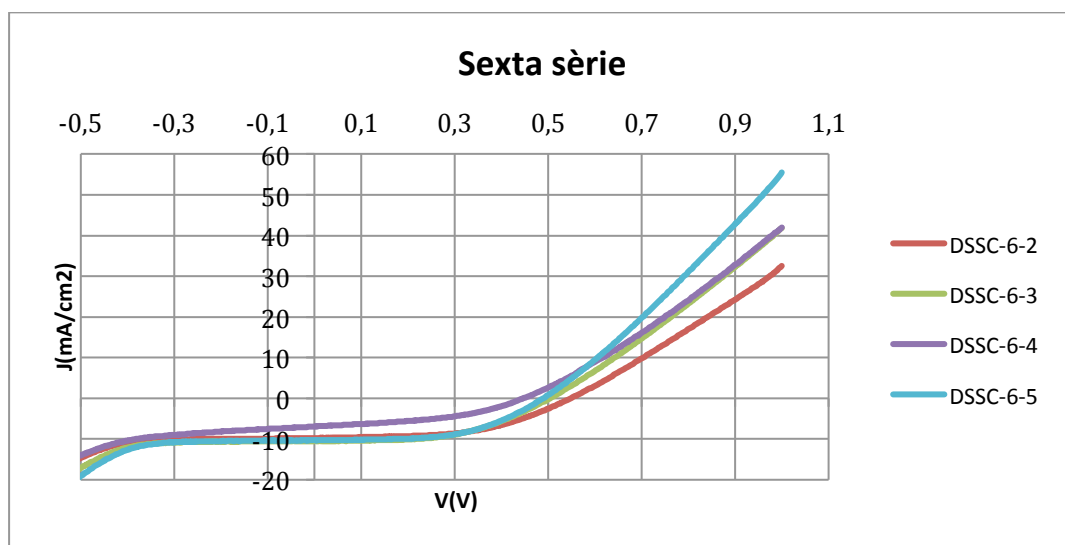


Figura 33. Corbes J-V de la sexta sèrie de DSSCs fabricades

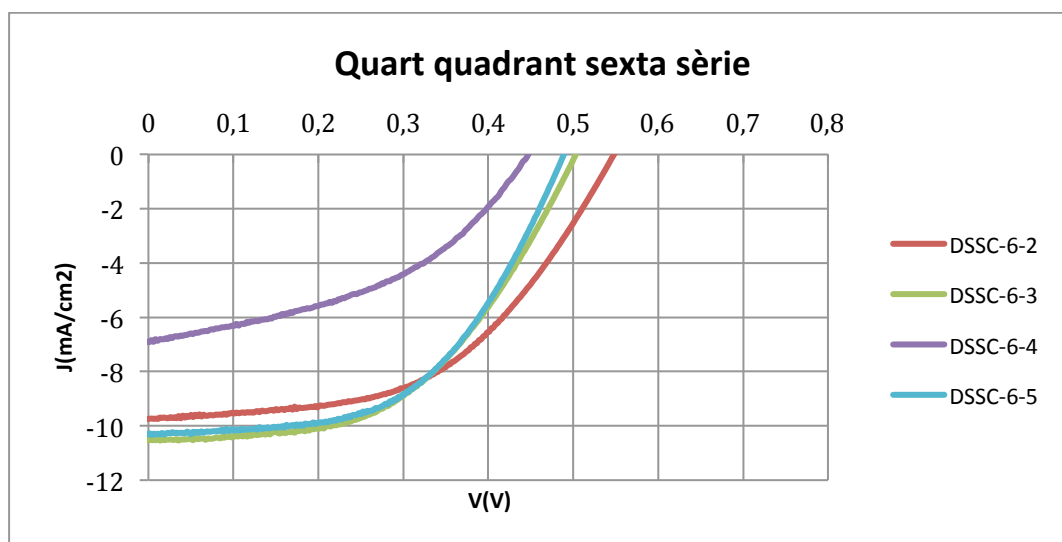


Figura 34. Detall del quart quadrant de les corbes J-V de la sexta sèrie de DSSCs fabricades.

En la taula 6 es presenten els valors característics dels paràmetres fotovoltaics.

DSSC	Jsc (mA/cm ²)	Voc (V)	Pot.Max (Mw/cm ²)	FF	η (%)
DSSC-6-2	9,74	0,55	2,75	0,51	2,75
DSSC-6-3	10,51	0,50	2,70	0,51	2,70
DSSC-6-4	6,91	0,45	1,33	0,43	1,33
DSSC-6-5	10,30	0,49	2,70	0,53	2,70

Taula 6. Valors dels paràmetres fotovoltaics de la sexta sèrie de DSSCs fabricades.

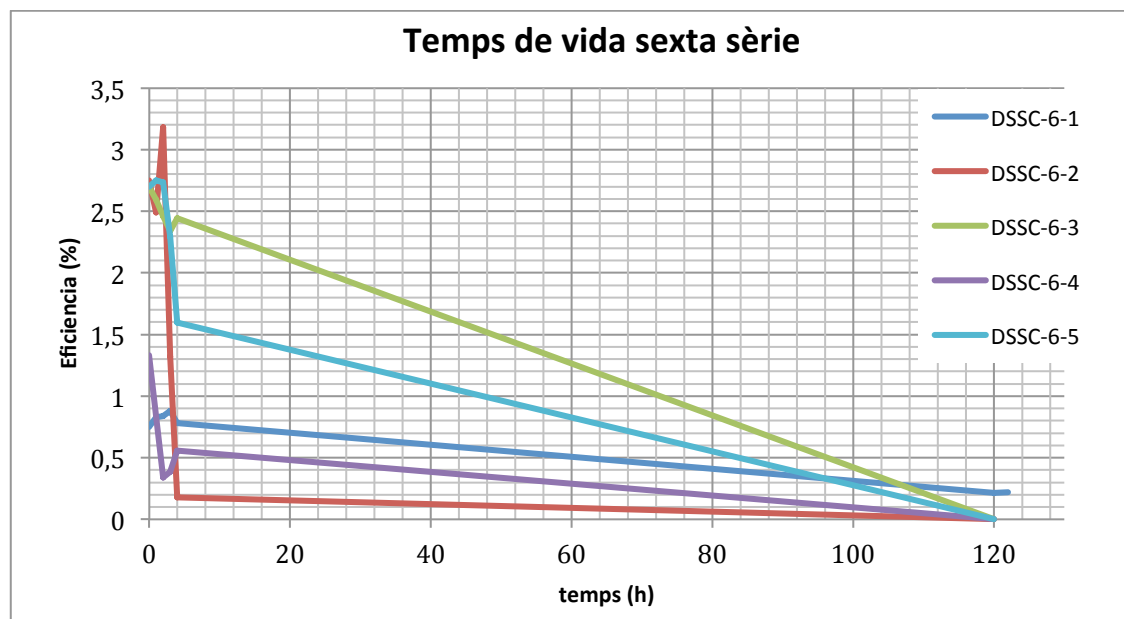


Figura 35. Temps de vida de la sexta sèrie de DSSCs fabricades.

Com es pot observar en la figura 35, la DSSC-6-2 presentava pèrdues i en 4 hores ha deixat de funcionar, però pel que fa als altres dispositius, presenten resposta fotovoltaica fins a unes 100 hores. Per tant pensem que la forma o el gruix del termofil·m no afecta als resultats, sinó que lo important és trobar la forma de que no hi hagi bombolles o zones per les quals es pugui escapar l'electròlit en cap de les DSSC fabricades, ja que en totes les sèries preparades algun dels dispositius ha presentat pèrdues d'electròlit.

4.7 Sèptima sèrie

Aquesta sèrie es realitza amb DSSCs segellades segons l'apartat 3.6.2, però amb el termofil·m tallat de forma circular amb un punxó del número 6 i la capa de TiO_2 depositada per "spin coating" utilitzant el programa que s'ha vist que funciona millor per a la deposició i que realitza el següent cicle:

P0 → 10 segons a 7000 rpm

P1 → 20 segons a 5000 rpm

P2 → 10 segons a 2000 rpm

L'FTO i tres gotes de la dispersió de TiO_2 es col·loquen amb la màquina parada. És important iniciar ràpid el programa un cop depositades les gotes de TiO_2 , per tal d'evitar que s'assequi abans d'iniciar el programa. Es realitzen dues deposicions, una a sobre de l'altra.

La imatge obtinguda per microscòpia de la capa realitzada per "spin coating" es mostra a la figura 36.

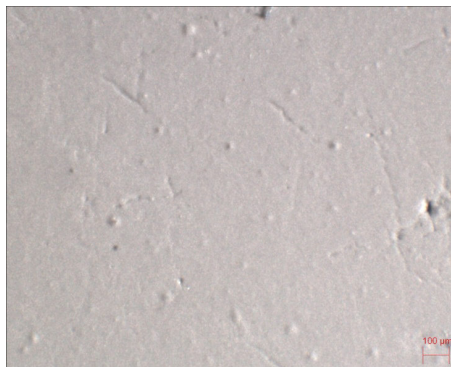


Figura 36. Imatge obtinguda per microscòpia de la capa de TiO_2 obtinguda per "spin coating"

Per aconseguir una deposició en forma circular s'ha col·locat una màscara amb la forma i mida desitjada, com es mostra a la figura 37, i s'ha realitzat la deposició. Un cop s'ha realitzat la deposició es treu la màscara i amb un cotó s'acaba de donar la forma esfèrica.

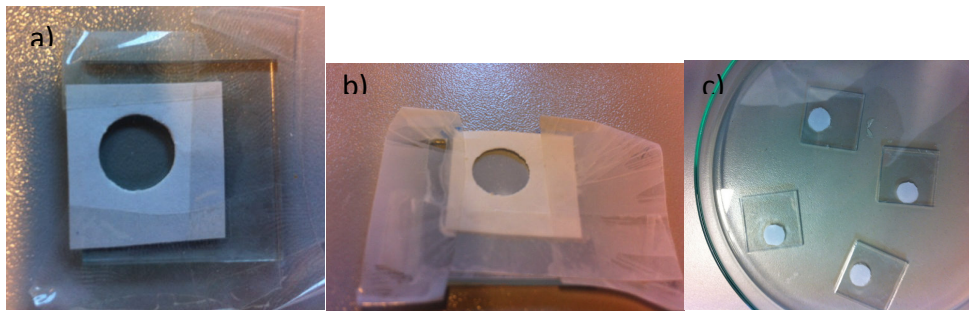
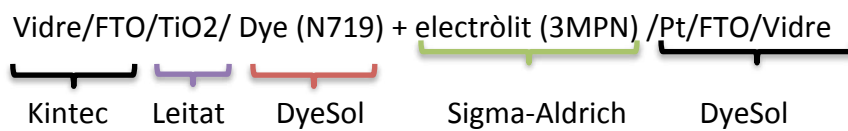


Figura 37. a) FTO amb la màscara per a la deposició del TiO_2 per "spin coating". b) FTO amb la màscara després de la deposició per "spin coating" del TiO_2 . c) resultat final de la deposició del TiO_2 per "spin coating".

La estructura dels dispositius és:



Les corbes característiques J-V de les DSSC preparades es mostren a la figura 38 i 39.

A la taula 7 es presenten els valors característics fotovoltaics dels dispositius realitzats.

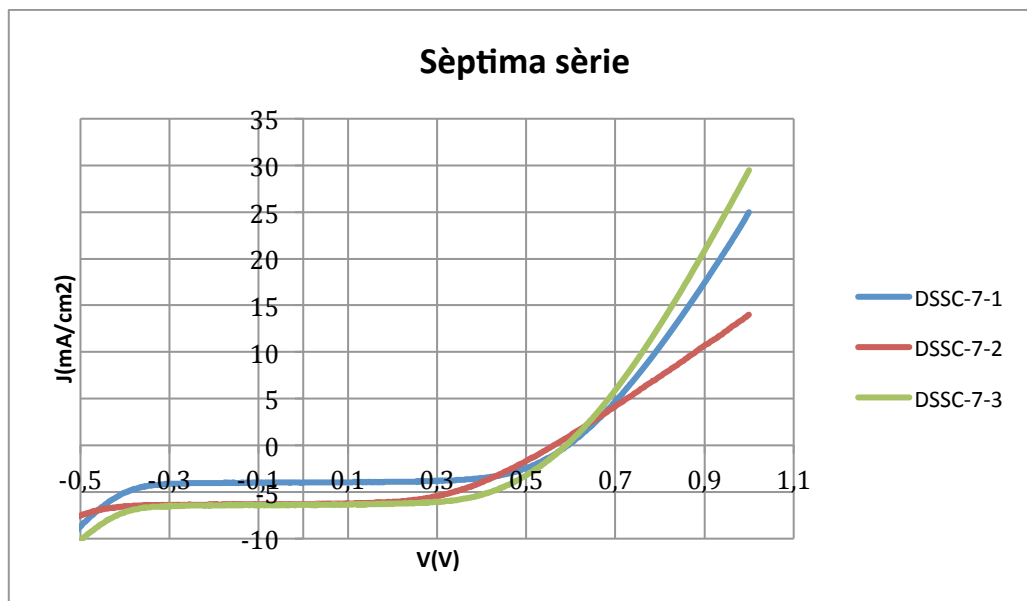


Figura 38. Corbes J-V de la sèptima sèrie de DSSCs fabricades.

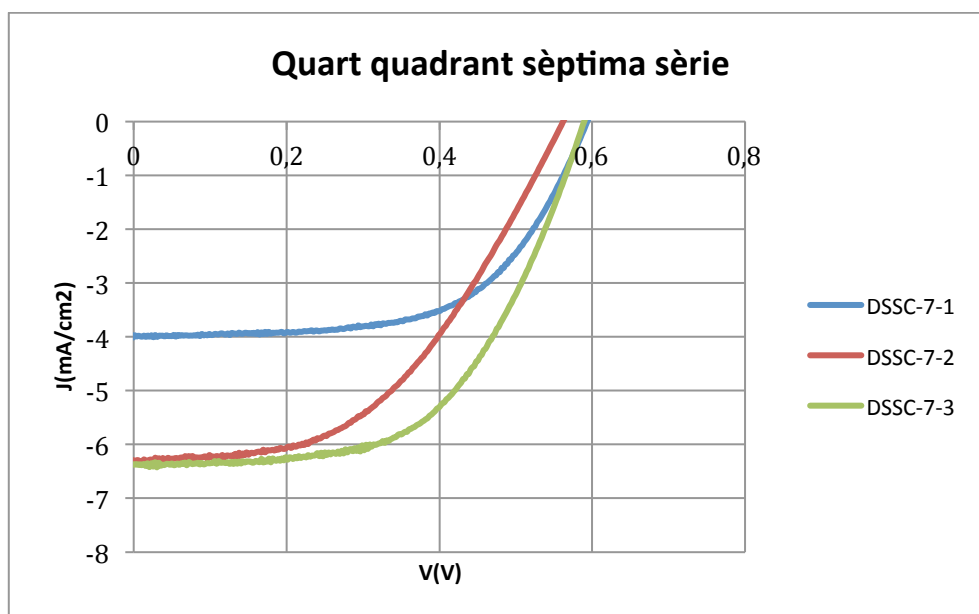


Figura 39. Detall del quart quadrant de les corbes J-V de la sèptima sèrie de DSSCs fabricades.

DSSC	Jsc	Voc	Pot.Max	FF	η (%)
DSSC-7-1	3,99	-0,59	-1,43	0,60	1,43
DSSC-7-2	6,31	-0,56	-1,69	0,48	1,69
DSSC-7-3	6,37	-0,59	-2,12	0,57	2,12

Taula 7. Valors dels paràmetres fotovoltaics de la sèptima sèrie de DSSCs fabricades.

Com en els casos anteriors s'ha intentat seguir el temps de vida dels dispositius, però de nou degut a la disposició de la màquina tant sols s'ha pogut realitzar el seguiment durant 3 hores, com es mostra a continuació.

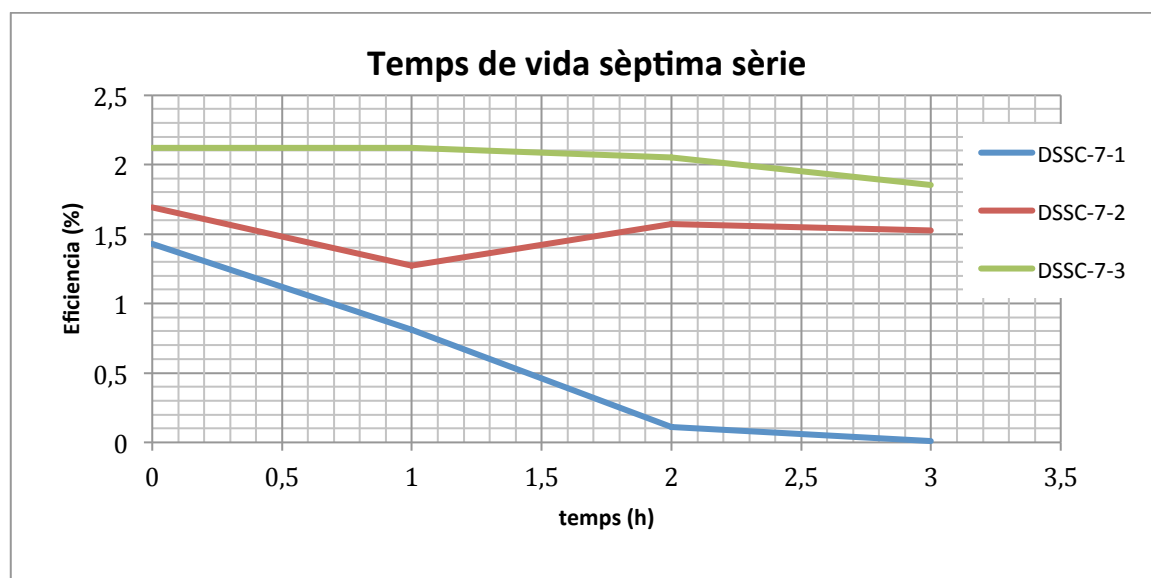


Figura 40. Temps de vida de la sèptima sèrie de DSSCs fabricades.

Com es pot observar la DSSC-7-1 perd ràpidament la funció fotovoltaica com és de costum degut a un mal segellat, però les DSSC-7-2 i DSSC-7-3 pràcticament no presenten pèrdua de la funció fotovoltaica en tres hores.

4.8 Octava sèrie

Aquesta sèrie es realitza amb les DSSCs segellades tal i com s'explica en l'apartat 3.6.2, amb el TiO_2 depositat novament per "Dr. Blading" però el termofilm que s'utilitza és una nova remesa que s'ha demanat ja tallat amb la mida que nosaltres necessitem, ja que és complicat aconseguir el film tallat perfecte a les mides que volem.

En aquesta sèrie utilitzarem un nou "dye", el CT300 de Cyanine Technologies, 0,5 mM en etanol al 96% v/v de Scharlab. L'espectre UV en acetonitril és el que es mostra a la figura 41. Com es pot veure a la figura, el pic de màxima absorció es troba a una longitud d'ona major, que és més pròxim al màxim de irradiància solar de l'espectre AM 1,5G, pel que es creu que s'obtidran més bons resultats que pel cas del N719.

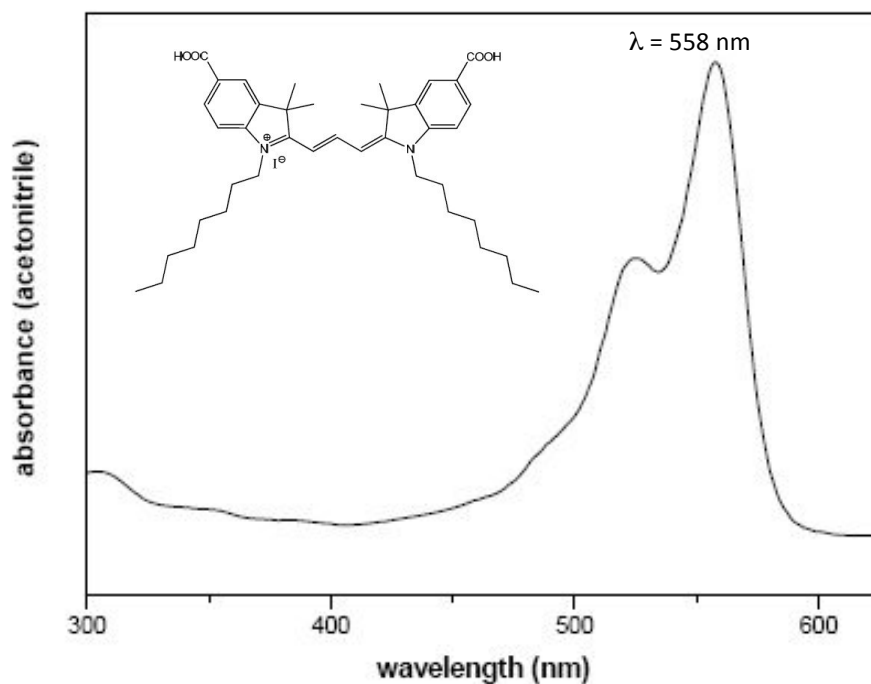
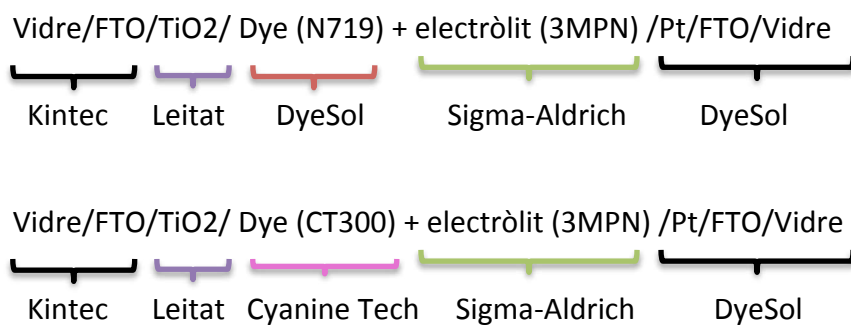


Figura 41. Espectre UV-Vis del “dye” CT300 en acetonitril.

Així doncs en aquesta sèrie tenim dues estructures :



Les DSSC-8-1, DSSC-8-2 i DSSC-8-3 s’han sensibilitzat amb el “dye” CT300 i les DSSC-8-4, DSSC-8-5 i DSSC-8-6 amb el N719 utilitzat fins ara.

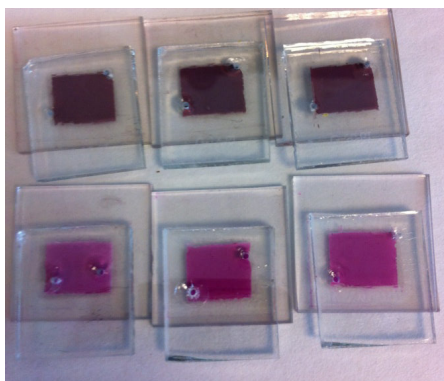


Figura 42. DSSCs sensibilitzades amb CT300 (rosa) i amb N719 (marró).

En aquest cas hem introduït una millora, la forma en que omplim els dispositius d'electròlit. Fins ara utilitzàvem una micropipeta i sovint quedava una bombolla d'aire en els dispositius. Els que hem fet a partir d'aquest moment és utilitzar el buit per a l'emplenat amb el muntatge que es mostra en la figura 43 i seguint l'esquema que es mostra a la figura 44.

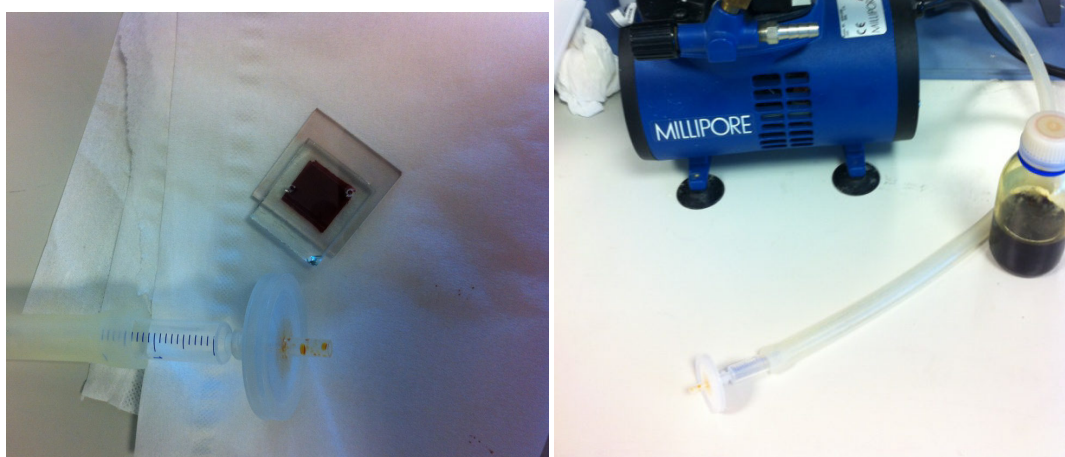


Figura 43. Muntatge de buit per a la introducció de l'electròlit en les DSSCs.

El filtre utilitzat a la punta ens serveix per a evitar que l'electròlit entri dins la bomba del buit.

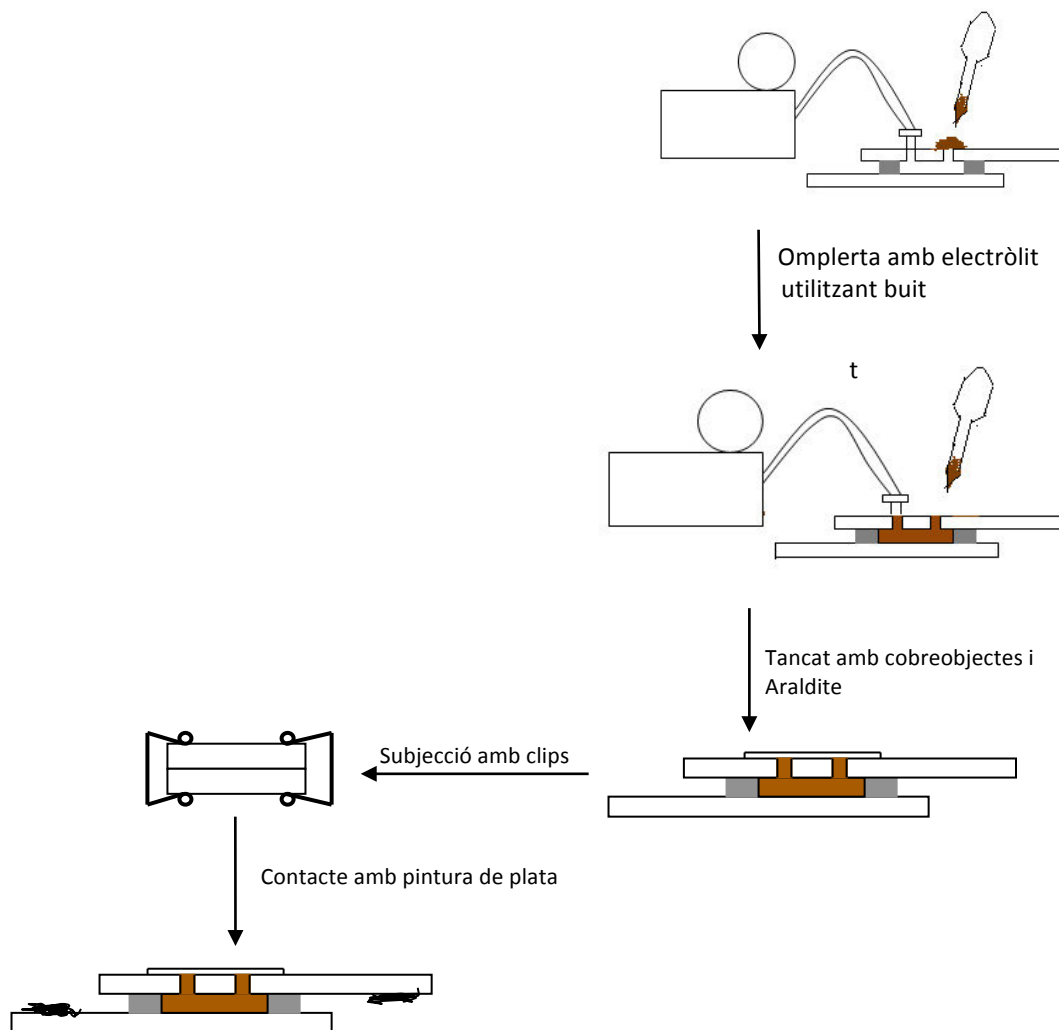


Figura 44. Esquema del sistema d'emplenat al buit i muntatge del dispositiu.

Les mesures d'aquests dispositius es realitzen a la UPC, ja que es vol realitzar la mesura de la EQE (eficiència quàntica externa) i a LEITAT no es disposa del dispositiu per a fer-ho.

A continuació es mostra la instrumentació utilitzada a la UPC per a les mesures fotovoltaiques.

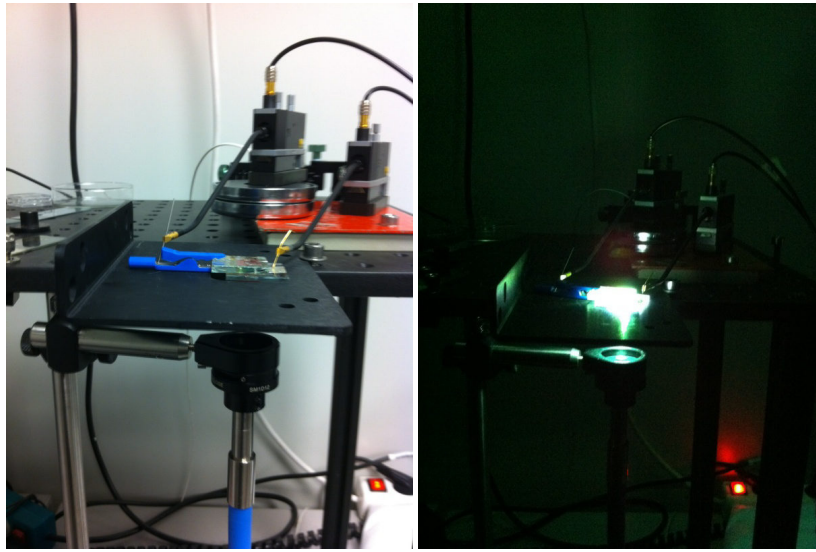


Figura 45. Instrumentació utilitzada per a les mesures fotovoltaïques a la UPC.

Els resultats de les corbes característiques J-V obtingudes i valors dels paràmetres fotovoltaïcs es mostren a continuació (figures 46, 47 i taula 8). Els dos dispositius que no apareixen és degut a que no presentaven resposta fotovoltaïca en el moment de la mesura ja que presenten curtcircuits.

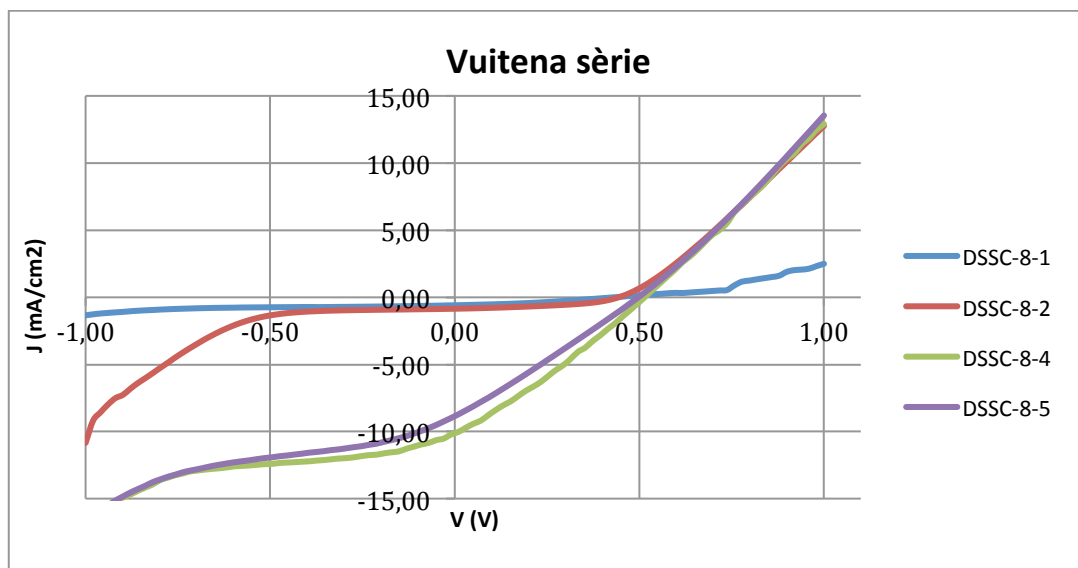


Figura 46. Corba J-V de la vuitena sèrie de DSSCs fabricades.

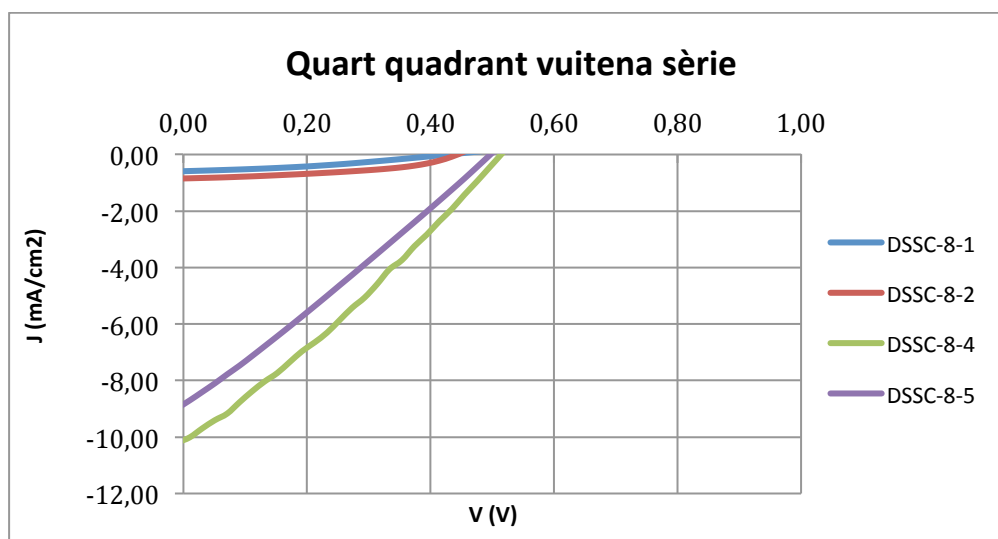


Figura 47. Detall del quart quadrant de les corbes J-V de la vuitena sèrie de DSSCs fabricades.

DSSC	Jsc	Voc	Pot.Max	FF	η (%)
DSSC-8-1	0,59	0,42	0,09	0,35	0,09
DSSC-8-2	0,85	0,44	0,17	0,44	0,17
DSSC-8-3					
DSSC-8-4	10,11	0,51	1,49	0,29	1,49
DSSC-8-5	8,84	0,51	1,17	0,26	1,17
DSSC-8-6					

Taula 8. Valors dels paràmetres fotovoltaics de la vuitena sèrie de DSSCs.

Com es pot observar les DSSC-8-1 i DSSC-8-2 en el moment de les mesures pràcticament no presenten resposta fotovoltaica i en el cas dels altres dos dispositius, la eficiència és molt baixa, per tant no es realitza la mesura de l'EQE, ja que els resultats no serien bons si no es parteix d'un bon dispositiu.

4.9 Novena sèrie

Aquesta sèrie es realitza amb DSSCs segellades segons el punt 3.6.2, amb el termofil·m que hem rebut tallat i la titania depositada per "Dr. Blading".

El que es pretén en aquest punt és veure si amb una titania semitransparent obtenim millors resultats que amb la opaca que hem estat utilitzant fins ara.

Així doncs tenim que DSSC-9-1, DSSC-9-2 i DSSC-9-3 s'han realitzat amb el TiO_2 semitransparent i les DSSC-9-4, DSSC-9-5 i DSSC-9-6 amb el TiO_2 opac preparat a Leitat amb el mètode descrit en el punt 3.4.

Per a preparar la capa de TiO_2 semitransparent realitzem el "Dr. Blading" amb una mica de la pasta de DyeSol i sinteritzem utilitzant la mateixa rampa de temperatures que per la capa opaca.

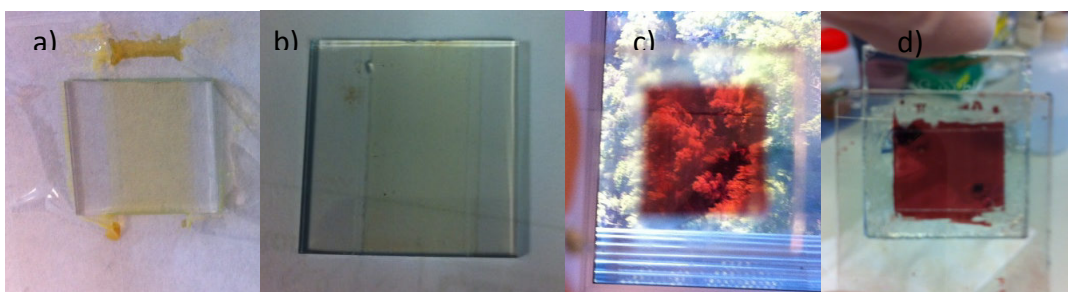


Figura 48. a) TiO_2 semitransparent depositada per "Dr. Blading". b) TiO_2 semitransparent sinteritzat. c) TiO_2 semitransparent sensibilitzat amb el "dye". d) DSSC semitransparent segellada abans de ser omplerta amb electròlit.

Els resultats de les corbes característiques J-V obtingudes i valors dels paràmetres fotovoltaics es mostren a les figures 50, 51 i a la taula 9 a continuació. Aquestes mesures han estat obtingudes amb el nou potenciostat VMP3 de BioLogic.



Figura 49. Potenciostat VMP3 de BioLogic

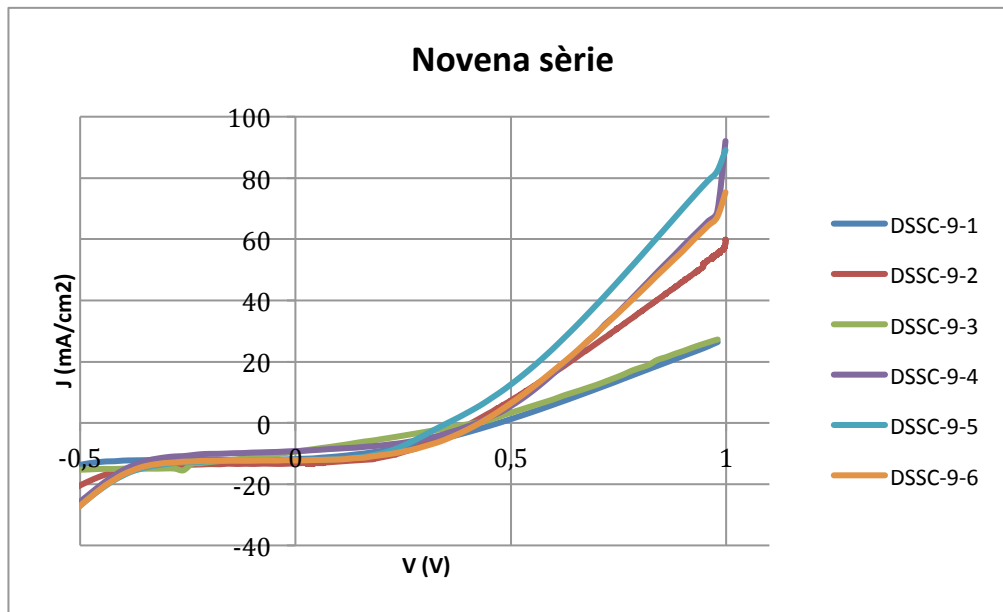


Figura 50. Corbes J-V de la novena sèrie de DSSCs fabricades

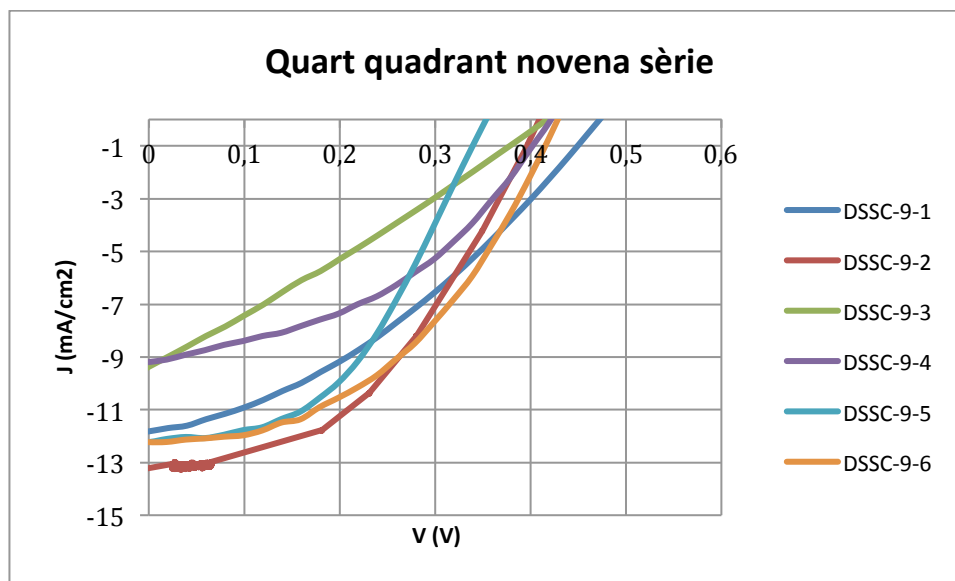


Figura 51. Detall del quart quadrant de les corbes J-V de la novena sèrie de DSSCs fabricades.

DSSC	Jsc	Voc	Pot.Max	FF	η (%)
DSSC-9-1	11,86	0,47	2,00	0,36	2,00
DSSC-9-2	13,24	0,42	2,39	0,43	2,39
DSSC-9-3	9,58	0,41	1,07	0,27	1,07
DSSC-9-4	9,15	0,43	1,63	0,41	1,63
DSSC-9-5	12,16	0,35	2,00	0,47	2,00
DSSC-9-6	12,22	0,43	2,36	0,45	2,36

Taula 9. Valors dels paràmetres fotovoltaics de la novena sèrie de DSSCs fabricades.

Com es pot observar no s'ha obtingut diferència entre els valors de les DSSCs semitransparents i les opaques.

En aquesta sèrie no s'ha realitzat el seguiment del temps de vida, ja que no es disposava de l'aparell i el que interessava era veure si s'aconseguien millors resultats amb la titania semitransparent.

4.10 Estudi i caracterització de nous electròlits

Durant el funcionament d'una DSSC els ions difonen a través del electròlit, per tant algunes de les característiques que caracteritzarem són les següents:

- Compatibilitat de materials.
- Difusió dels ions I^- i I_3^- en l'electròlit.
- Viscositat del electròlit.

S'estudien 4 dissolvents verds que anomenarem A, B, C i D degut a temes de confidencialitat, a partir dels quals realitzarem diferents electròlits.

Es proposa un primer electròlit format per : Líquid iònic i/o dissolvent verd + I_2 + I^-

4.10.1 Compatibilitat dels dissolvents verds amb materials

El primer que mirem és si els dissolvents verds escollits són compatibles amb els materials de la DSSC de referència. Per a fer-ho mesclarem els dissolvents verds amb el termoplàstic Surlyn 30 de DyeSol i el contra elèctrode de FTO/Pt de DyeSol i

observem si es produeix algun dany en els materials. També comprovem la solubilitat del I₂, el Lil, la tert-butilpiridina i el dye N719 de DyeSol en aquests.

Els resultats obtinguts es mostren a les taules 10 i 11.

dissolvent verd	Termoplàstic	Pt/FTO
A	ok	ok
B	ok	ok
C	ok	ok
D	ok	ok

Taula 10. Compatibilitat del termoplàstic i el contra elèctrode amb els dissolvents verds.

dissolvent verd	Dye (N719)	I ₂	Lil	t-BP
A	ok	ok	ok	ok
B	ok	ok	no	ok
C	ok	ok	ok	ok
D	ok	ok	ok	ok

Taula 11. Solubilitat dels dissolvents verds en el dye, el I₂, el Lil i la t-BP.

4.10.2 Conductivitat dels dissolvents verds

A continuació realitzem l'estudi de la viscositat dels dissolvents verds.

El que realitzem és la mesura de la conductivitat en un rang de temperatures des de temperatura ambient fins a 60 °C, ja que durant el funcionament dels dispositius aquests pateixen un escalfament que afectarà la conductivitat dels dissolvents verds.

Les mesures les realitzem amb un conductímetre Crison amb sensor Pt1000 i una placa calefactora que ens permet realitzar agitació, amb el muntatge que es mostra a la figura 52.

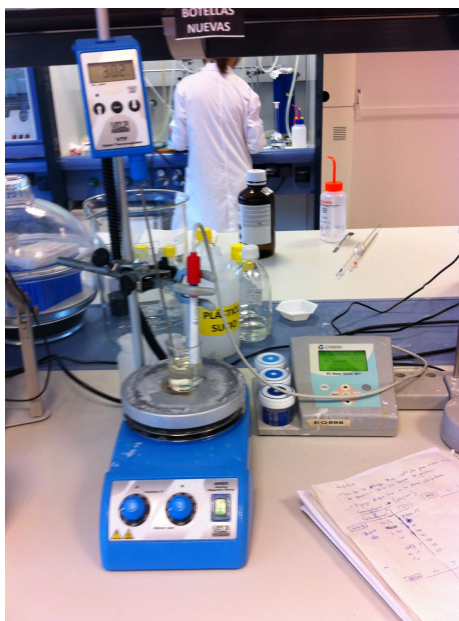


Figura 52. Muntatge per a la mesura de conductivitat

Els resultats es mostren a la taula 12.

	T(°C)	ambient	30	35	40	45	50	55	60
Conductivitat ($\mu\text{s}/\text{cm}$) $\pm 0,01$	A	6,28 (27,4°C)	6,35	6,42	6,47	6,44	6,33	6,29	6,18
	B	1,91(26,2°C)	1,40	1,40	1,42	1,41	1,36	1,30	1,22
	C	41,90 (25,0°C)	93,40	94,10	93,90	93,60	92,70	91,30	90,20
	D	105,30 (22,6°C)	73,80	77,00	99,60	125,90	153,10	183,50	208,00

Taula 12. Resultats de conductivitat dels dissolvents verds en un rang de temperatures.

4.10.3 Viscositat dels dissolvents verds

Amb la viscositat es vol realitzar el mateix que en el cas anterior, ja que aquesta també es veu afectada amb els canvis de temperatura.

Les mesures les realitzem amb un viscosímetre Brookfield.



Figura 53. Viscosímetre Brookfield.

Els resultats que es mostren a continuació (taula 13) són les mesures de viscositat a temperatura ambient, ja que no hi ha hagut temps de realitzar les mesures amb el canvi de temperatura.

dissolvent verd	Viscositat
A	4,2
B	6,6
C	10,8
D	1506

Taula 13. Viscositat dels dissolvents verds estudiats.

4.10.4 Densitat dels dissolvents verds

Una altra mesura que ens interessa és la densitat dels dissolvents verds que pretenem utilitzar.

Les mesures les realitzem amb un picnòmetre i realitzant els càlculs següents:

Tenint en compte que el volum és sempre el mateix

$$V_{\text{aigua}} = V_{\text{DV}} \quad (\text{Eq. 11})$$

Segons la definició de densitat tenim que:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Eq. 12})$$

sabem que amb el mateix volum, la densitat és proporcional a la massa, per tant la densitat del dissolvent verd ve donada per:

$$\rho_{DV} = \frac{m_{DV}}{m_{aigua}} \cdot \rho_{aigua} \quad (\text{Eq. 13})$$

sent : ρ_{DV} la densitat del dissolvent verd

m_{DV} la massa del dissolvent verd continguda en el picnòmetre

ρ_{aigua} la densitat de l'aigua, el valor de la qual és 1,00 g/cm³

m_{aigua} la massa d'aigua continguda en el picnòmetre.

dissolvent verd	densitat (g/cm ³)
A	0,970896806
B	0,969223682
C	1,01351137
D	0,975826051

Taula 14. Densitat dels dissolvents verds estudiats.

Com es pot observar en els resultats de densitat, tots els dissolvents verds tenen una viscositat inferior a la de l'aigua a excepció del C pel qual la densitat és major.

4.10.5 Uv-Visible dels dissolvents verds

S'ha realitzat l'espectre Uv-Vis dels diferents dissolvents verds per a veure quin era el rang en el que absorbeixen. El resultat es mostra a la figura 54.

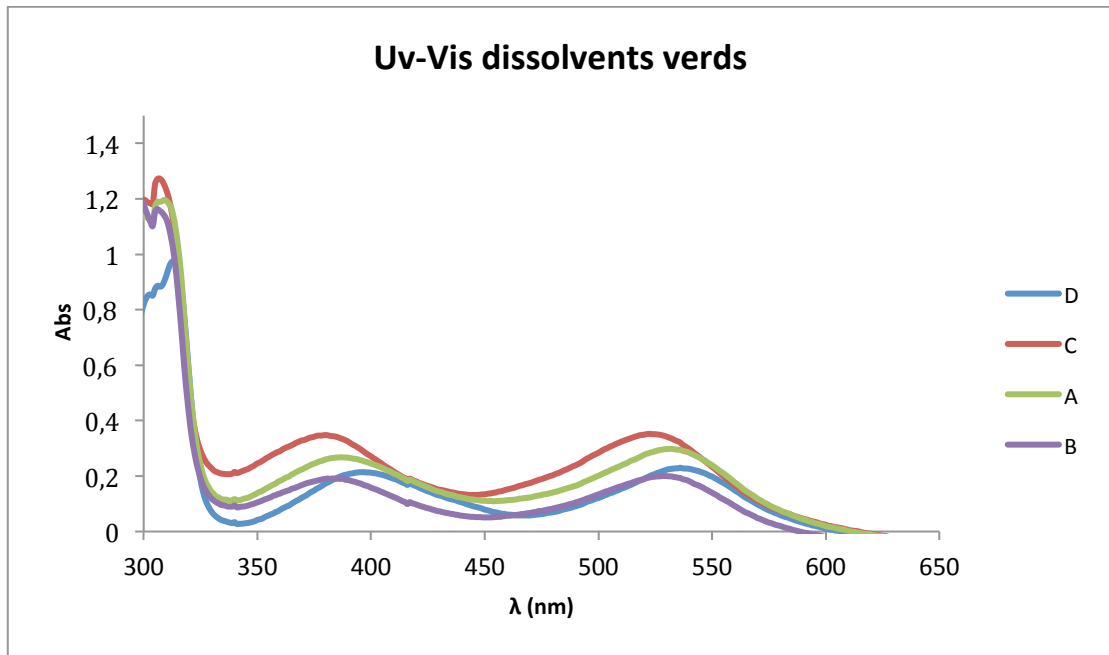


Figura 54. Uv-Visible dels dissolvents verds estudiats.

5. Pressupost

Les despeses del projecte es poden dividir en tres parts. Una corresponent al material i productes químics que es necessiten per a la fabricació de les cèl·lules solars, una altra són les despeses degudes a l'equipament de laboratori que s'ha necessitat, i finalment les despeses degudes als recursos humans. A la taula 15 es poden veure desglossades totes aquestes despeses.

Tipus	Concepte	Quantitat	Preu unitari	Cost (€)
Equipament	potenciostat	24 h	20 €/h	480,00
	Simulador solar	24 h	10 €/h	240,00
	Uv-Vis	3 h	5 €/h	30,00
	Conductímetre	18 h	5 €/h	15,00
	Viscosímetre	1 h	5 €/h	5,00
	Trepant	9 h	5 €/h	45,00
	Microscòpia òptica	0,5 h	10 €/h	5,00
Material	Contra elèctrode amb Pt	48 u	4,84 €/u	232,32
	Vidre + FTO	48 u	1,55 €/u	74,40
	Dispersió TiO ₂	200 g	0,412 €/g	82,40
	Dye	1 g	773,87 €/g	773,87
	Termofilm	1 u	58,04 €/u	58,04
	Pintura de plata	1 u	20 €/u	20,00
	Pasta de TiO ₂ semitransparent	1 g	16,25 €/g	16,25
	Electròlit	55 ml	0,37 €/ml	20,35
RR.HH	Estudi Bibliogràfic	30 h	20,00 €/h	600,00
	Treball experimental	230 h	20,00 €/h	4600,00
	Tractament de dades	35 h	20,00 €/h	700,00
	Redacció de l'informe	80 h	20,00 €/h	1600,00
Total :				9597,63 €

Taula 15. Pressupost del projecte

Així doncs, el cost del projecte és de 9597,63 €. A la figura 55 s'observa com, el 78% del pressupost del projecte és degut als recursos humans, seguit del cost dels materials que en aquest projecte resulten elevats, i finalment el cost de l'equipament.

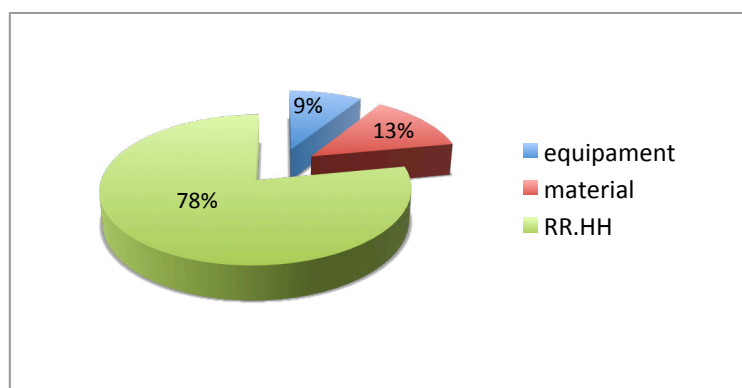


Figura 55. Gràfic amb la distribució del pressupost del projecte.

El cost de la dispersió de TiO_2 i de l'electròlit s'han calculat com es mostra a continuació.

Producte final	Producte	Quantitat	Preu unitari	Total (€)	Total Producte (€)
Dispersió TiO_2	P25 Degussa	40 g	1,1 €/g	44,00	82,40
	Etanol	160 g	0,24 €/g	38,40	
	Lil	3,66 g	3,3 €/g	12,08	
Electròlit	I_2	0,7 g	5,48 €/g	3,84	20,32
	3-metoxipropionitril	55 ml	0,08 €/ml	4,40	

Taula 16. Cost de la dispersió de TiO_2 i de l'electròlit.

6. Conclusions

Els objectius en aquest treball formen part d'un estudi molt més ampli, però en la fase en la qual es troba el projecte, el pla de treball global va consistir en començar a treballar en els estudis preliminars de les etapes de fabricació d'una cèl·lula solar de colorant.

En base a literatura científica (ISI WoK, Sciencedirect, Google Scholar, etc.) s'han seleccionat dos electròlits de referència :

- **REF 1:** 0,50 M LiI, 0,050 M I₂ y 0,50 mM de tert-butylpyridine en 3-metoxi-propionitrile.
- **REF 2:** BMIM/I₂/NBB (12/1/1) M (sense solvent)

L'estudi centrat en obtenir bones cel·les de referència s'ha centrat en la cerca bibliogràfica dels materials que ens poden donar resultats més reproduïbles i dels qual es tenen més coneixements, i en la optimització de la fabricació dels dispositius en quant a segellat, omplerta del electròlit, deposició del TiO₂ i tipus d'aquest (opac o semitransparent). Els primers resultats donaven una eficiència del 1,5 – 2 % amb un temps de vida de poques hores del dispositiu i s'ha arribat fins a una eficiència del 4 % en un dels casos i a temps de vida de fins a 100 hores. D'aquesta forma s'ha avançat cap a la obtenció d'un sistema de referència que permeti una comparació justa de prestacions (eficiència, estabilitat) vs nous electròlits formulats en base a dissolvents verds.

S'han establert col·laboracions amb la UPC de Barcelona per tal de poder realitzar mesures de "External Quantum Efficiency" (també IPCE en l'argot de les DSSC).

Els primers estudis amb els nous dissolvents verds s'han centrat en estudis de compatibilitat i caracterització fisicoquímica dels mateixos (densitat, conductivitat,

viscositat vs T). La principal conclusió fins al moment és que tots els dissolvents verds seleccionats són compatibles a excepció del B que no dissol el LiI.

S'han preparat també cel·les DSSC opaques i semi-transparentes per tal de disposar de nous dispositius d'acord amb les necessitats d'un altre projecte.

Es tracta d'un estudi que pot ajudar molt a millorar l'obtenció d'energia mitjançant cèl·lules solars, disminuint molt els costos de producció en comparació a les actuals cèl·lules solars que hi ha al mercat, i per tant facilitar la implementació d'aquestes.

A nivell personal penso que ha estat un projecte molt interessant, sobre un tema del qual pràcticament no tenia coneixements i que, per tant, m'ha ajudat a aprendre moltes coses noves i a utilitzar equips que no coneixia com són el simulador solar o el potenciostat, també m'ha ajudat a aprendre a extreure i buscar informació en publicacions, llibres i articles.

7. Treball futur

Per a tal de seguir amb aquest projecte alguns dels passos a dur a terme serien els següents:

- Optimitzar el segellat dels dispositius, utilitzant un altre tipus de pes que condueixi millor el calor, o estudiant altres mètodes i materials de segellat.
- Finalitzar la caracterització dels líquids iònics i dissolvents verds.
- Preparació i optimització dels electròlits a base de líquids iònics i dissolvents verds.
- Mesura de la eficiència quàntica externa (EQE).
- Realitzar estudis d'envelliment dels dispositius per a aplicacions interiors i exteriors.
- Caracteritzar per espectroscòpia electroquímica d'impedància (EIS) i ciclovoltaamperometria els dispositius.
- Estudi de la utilització dels nous electròlits a base de líquids iònics i dissolvents verds sobre materials flexibles com són els polímers conductors.

8. Referències Bibliogràfiques

[1] : *Fotovoltaica*. © OPEXenergy Operación y Mantenimiento S.L. [en línia]. Madrid. <http://www.opex-energy.com/fotovoltaica/>. [consulta: 10 de febrer 2012].

[2] : *Energia solar fotovoltaica* [en línia]. [Espanya]: Spain 4 All- Guia General de Espanya, actualització 5 de juny del 2012. <http://www.energia-solar-fotovoltaica.info/> [consulta: 6 de març 2012].

[3] : Pereda Soto, Isidro Elvis. *Celdas fotovoltaicas en generación distribuida*. Juan W. Dixon. Santiago de Chile, 2005. Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, proyecto final de carrera.

[4] : *SET:TE Energia Solar Fotovoltaica*. © 2008 Foro Focus-Abengoa sobre Energía y Cambio Climático. [en línia]. http://www.energiaycambioclimatico.com/colab/web/es/programa_investigacion/set_te/index.html. [consulta: 6 de març 2012].

[5] : Luque, Antonio; Hegedus, Steven; *Handbook of photovoltaic science and engineering*. Chichester, England : Wiley, cop. 2003. 1138 p. Conté índex. ISBN 978-0-471-49196-5.

[6] : Sanchez, Juan Pablo. *Celulas solares de colorante*. 2008. Universitat Jaume I. [en línia]. <http://es.scribd.com/doc/44767176/DSSC-trabajo-2008>. [consulta: 22 denovembre 2011].

[7] : DyeSol. *Product catalogue*. Març 2011.

[8] : Hagfeldt, Anders; Boschloo, Gerrit; Sun, Licheng; Kloo, Lars; Pettersson, Henrik; *Dye-sensitized solar cells*. Chem. Rev. 2010, vol. 110, Issue 11, p. 6595-6663.

[9] : Nazeeruddin, Md.K.; Baranoff, Atiennie; Grätzel, Michael; *Dye-sensitized solar cells: A brief overview*. Solar Energy 2011, vol 85, p. 1172-1178.

[10] : Freemantle, Michael. *An introduction to ionic liquids*. RSC Publishing 2010. Cambridge: RSC Publishing, 2010. 266p. Conté índex. ISBN : 978-1-84755-161-0.

[11] : Kirchner, Barbara; *Topics in current chemistry : Ionic liquids*. Germany: Springer, 2009. 345 p. Conté índex. ISBN: 978- 3-642-01779-7.

[12] : Gutiérrez, David; Zumbeta, Inti; Vigil, Elena; Hernández, M.Angel; Domènech, Xavier; Ayllón, José A.; *New low-temperature preparation method of the TiO₂ porous photoelectrode for dye-sensitized solar cells using UV irradiation*, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 2005, vol. 175, p. 165-171.

[13] : Moore, Gary F.; Brudvig, Gary W.; *Energy Conversion in Photosynthesis: A Paradigm for Solar Fuel Production*. Annu. Rev. Condens. Matter Phys, 2010, vol. 2, p. 303-327, Dept. Chemistry, Yale University.

[14] : Andrade, Luisa; Sousa, José; Aguilar, Helena; Mendes, Adélio; *Phenomenological modeling of dye-sensitized solar cells under transient conditions*. Solar Energy 2011, vol. 85, p. 781-793,

Autor: Anna Cadafalch Muñoz

ABSTRACT

La finalitat d'aquest projecte és l'estudi de la tecnologia fotovoltaica basada en cèl·lules solars de colorant, adquirint coneixements dels materials que componen els dispositius i del seu funcionament per a la posterior fabricació de cèl·lules solars de referència, sobre les quals es realitzarà la caracterització de prestacions fotovoltaiques. A partir dels resultats obtinguts amb els dispositius de referència s'investigaran i es desenvoluparan nous electròlits basats en solvents verds i/o líquids iònics.