



Doctor
Feynman
2n de
batxillerat

PLAQUES FOTOVOLTAIQUES

TREBALL DE RECERCA 2018-2020

AGRAÏMENTS

Per començar, agraeixo a en TUTOR per haver estat el tutor del meu treball de recerca i haver-me ajudat en qualsevol dubte que he tingut.

A en Francesc Alcalde, qui m'ha ajudat i facilitat les eines per a la construcció de la màquina i tot el coneixement de programació que he sigut capaç d'adquirir.

Aprecio també l'ajuda d'en Joaquim Puigdollers o "Kim", catedràtic de física en la Universitat Politècnica de Catalunya, que m'ha permès realitzar els experiments de les cèl·lules fotovoltaïques i entendre-ho. Dono gràcies també al meu germà, Iván, per haver-me aconsellat.

Finalment, agrair als meus amics i a me germana que m'han ajudat corregint totes les faltes que hi ha en aquest treball.



“Dios no juega a los dados con el universo.”

Albert Einstein

*“Dios no solo juega a los dados con el universo;
a veces los arroja donde no podemos verlos.”*

Stephen Hawking

ÍNDEX

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓ | 9 |
| 2. EFECTE HIVERNACLE | 10 |
| 3. EL SOL | 11 |
| 4. ENERGIA SOLAR..... | 12 |
| 4.1 Energies renovables | 12 |
| 4.2 Energies no renovables | 13 |
| 5. FONTS D'ENERGIA EN EL 2018 | 14 |
| 6. ELECTROMAGNETISME..... | 14 |
| 6.1 Espectre electromagnètic | 15 |
| 7. LA LLUM..... | 16 |
| 7.1 Fotons..... | 16 |
| 7.2 Energia fotònica..... | 17 |
| 7.3 Electrò-volt..... | 17 |
| 8. DEMOSTREM QUE LA LLUM TÉ DIFERENTS ENERGIES | 18 |
| 9. PLAQUES FOTOVOLTAIQUES..... | 23 |
| 9.1 Efecte fotoelèctric | 23 |
| 9.2 Estructura d'una placa fotovoltaica..... | 24 |
| 9.3 Materials semiconductors..... | 25 |
| 10. LA LLEI D'OHM | 25 |
| 11. DOPATGE | 26 |
| 13. L'EFICIÈNCIA | 29 |
| 14. CALCULEM L'EFICIÈNCIA D'UNA CÈL·LULA FOTOVOLTAICA DE SILICI MONOCRISTAL·LÍ DE LA UPC | 31 |
| 15. EFICIÈNCIA QUÀNTICA..... | 36 |
| 16. DETERMINEM L'EFICIÈNCIA QUÀNTICA D'UNA CÈL·LULA FOTOVOLTAICA DE SILICI MONOCRISTAL·LÍ DE LA UPC | 36 |
| 17. PROCÉS DE CREACIÓ D'UNA CÈL·LULA FOTOVOLTAICA | 41 |
| 17.1 SALA BLANCA | 41 |
| 18. RÈCORDS D'EFICIÈNCIA | 44 |
| 19. FACTORS QUE INTERVENEN EN EL RENDIMENT D'UNA PLACA FOTOVOLTAICA | 45 |
| 19.1 FACTORS INTERNS | 45 |
| 19.2 FACTORS EXTERNS..... | 45 |
| 20. DETERMINEM LA IMPORTÀNCIA DELS FACTORS QUE INTERVENEN EN EL RENDIMENT DE LA PLACA FOTOVOLTAICA..... | 46 |
| 20.1 CONSTRUCCIÓ D'UNA MÀQUINA | 46 |

| | |
|---|----|
| 20.2 L'ANGLE RESPECTE EL SOL | 69 |
| 20.3 LA REFLEXIÓ | 73 |
| 20.4 LA RECTA DE CÀRREGA..... | 77 |
| 20.5 CONTINUACIÓ ANGLE RESPECTE EL SOL..... | 79 |
| 20.6 LES OMBRES..... | 81 |
| 20.7 L'ORIENTACIÓ GEOGRÀFICA | 82 |
| 20.8 LA TEMPERATURA | 84 |
| 21. CONCLUSIONS..... | 86 |
| 22. BIBLIOGRAFIA / WEBGRAFIA..... | 87 |



1. INTRODUCCIÓ

Des d'un inici tenia molt clar que l'objectiu del meu treball de recerca seria ampliar el meu coneixement de la física, ja que és una cosa que m'apassiona bastant. Un cop haver arribat aquí, m'he plantejat diferents opcions: desenvolupar tots els factors que hi intervenen en el parkour i a les mortals, fer un estudi de la llum a les càmeres fotogràfiques i per últim un estudi de les plaques fotovoltaïques.

El primer tema l'havia pensat fa anys perquè he realitzat aquesta disciplina durant més de 4 anys però l'he descartada de seguida perquè volia aprendre nous conceptes relacionats amb la llum. Va ser aleshores quan em vaig decidir fer una cosa relacionada amb les càmeres fotogràfiques, que és una altra cosa que m'agrada moltíssim, i amb el camp electromagnètic. Però aquesta opció va ser descartada pel tutor atès que el camí que volia agafar en aquest tema era massa complexa pel nivell de coneixement que tenia. Més tard, sense acabar de decidir-me per un tema de treball, em va proposar el tema de fer alguna cosa relacionada amb la tecnologia com les cèl·lules fotovoltaïques. Al principi no em va agradar gaire, ja que no estava molt interessat per la seva dificultat tecnològica, però després d'investigar una mica em vaig adonar de tota la física que es necessitava per entendre què ocorre quan arriba llum a la seva superfície. Així doncs, em vaig posar immediatament amb el treball i plantejar-me quins objectius havia de tenir aquest treball.

Tal com he dit inicialment, el principal objectiu d'aquest treball és ampliar el meu coneixement d'aquesta ciència, conèixer el desenvolupament tecnològic que estan tenint les plaques solars i què ocorre quan un simple feix de llum arriba a la seva superfície.

2. EFECTE HIVERNACLE

La tria sobretot de les plaques fotovoltaïques és el futur que té i l'impacte ambiental que comporta. Com ja sabem, la Terra s'està escalfant cada vegada més degut a la contaminació que estem produint per culpa de la pluja àcida, la boira fotoquímica, i sobretot el fum que produïm amb els cotxes, a casa, indústries... i és qüestió de dècades que la temperatura del planeta augmenti.

En primer lloc, l'efecte hivernacle consisteix a escalfar la Terra a causa de la retenció de l'energia solar dins l'atmosfera. Això és donat atès que una part de la llum solar és absorbida convertida



Il·lustració 1 Representació de l'efecte hivernacle

en calor, i l'altra és reflectida cap a l'espai, que travessaria l'atmosfera. Aquesta que travessa l'atmosfera, és retinguda per uns gasos de la capa d'aire que absorbeixen gran part d'aquesta calor i eviten que torni a l'espai. Això ajuda a fer que el planeta estigui en una temperatura adient. El problema arriba quan s'hi crea un excés de gasos, ja que això provoca que augmenti la temperatura més del que s'hi hauria. Aquests gasos són naturalment el CO₂, el CH₄, N₂O i el vapor d'aigua. Per a això, es va signar el 2002 el "Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention on Climate Change" o bàsicament el Tractat de Kyoto, on es va pactar la quantitat de CO₂ que podria produir cada país, però segueix sense disminuir aquest efecte. Així doncs, hem de prendre cada vegada més mesures per a protegir el nostre planeta.

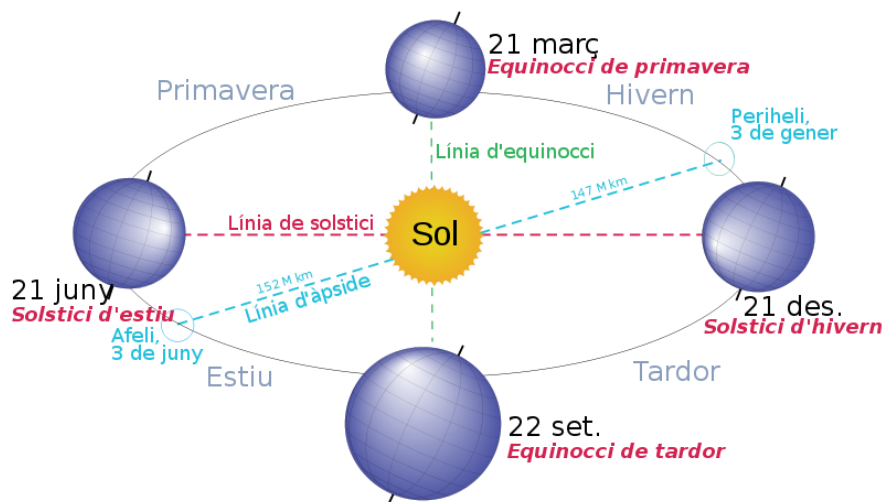
Per tant, aquests dispositius solars són una molt bona font d'energia convertida en electricitat partir d'una energia renovable molt assequible com l'energia solar, que la seva eficiència està molt bé, però s'estan portant a terme encara més recerques que les podria millorar.

3. EL SOL

El Sol és un estel situat al centre del sistema solar, rotant així al seu voltant tots els planetes que hi pertanyen. Gran part de l'energia que fem servir prové de la llum solar.

Aquesta llum solar procedeix directament de les reaccions que es produeixen a causa del xoc de dos nuclis atòmics a velocitats molt elevades i es converteixen en un nucli més pesant. Aquestes reaccions se'ls va anomenar fusió nuclear, que a diferència de la fissió¹, aquest es tracta de convertir dos nuclis atòmics lleugers en un nucli més pesant. Durant aquest procés, s'allibera llum i depenent dels elements que han reaccionat, serà d'un color o altre.

A més, la Terra gira al voltant del Sol (òrbita) i gira sobre si mateixa. Quan gira sobre si mateixa, li afegim un eix de rotació per poder explicar diferents conceptes com el perquè hi ha dia i nit i perquè hi ha diferents estacions de l'any. Doncs aquesta pot estar inclinada respecte a la superfície que descriu amb el seu moviment envers el Sol, que és una el·lipse.

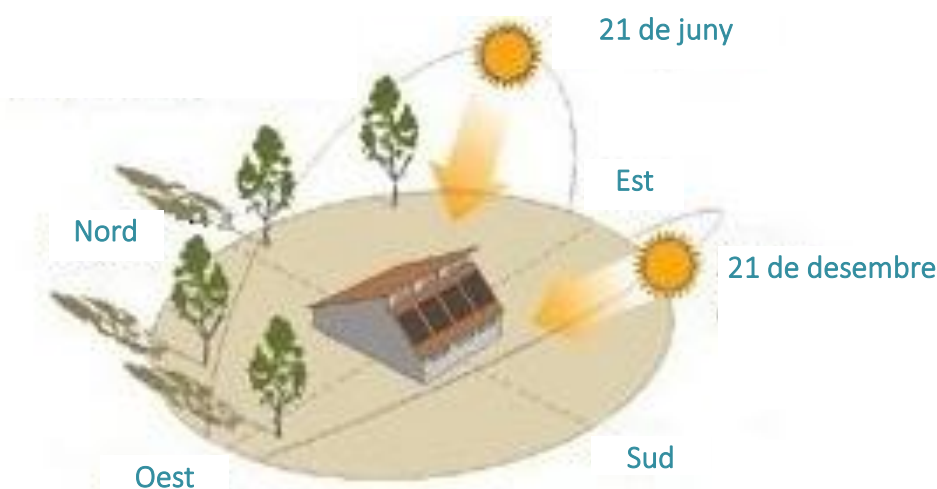


Il·lustració 2 Representació de les estacions de l'any respecte la posició del Sol
Font: Wikipedia

Depenent de quina posició estiguem, s'originarà uns canvis de condicions climàtiques o altres degut a la quantitat de llum que arriba produint així l'estiu, la tardor, l'hivern i la primavera. El fet que hi hagi dia i nit és a causa de la rotació de la Terra sobre si mateixa, provocant que hi hagi una part on li arriba llum solar i una altra no.

¹ La fissió nuclear consisteix a dividir un nucli atòmic pesant en dos o més nuclis lleugers, a més de fotons i neutrons. S'utilitza actualment per a produir l'energia nuclear.

Així doncs, depenent de la nostra posició a la Terra, el Sol tindrà una trajectòria o altra i des de la Terra ho veurem de la següent manera:



Il·lustració 3 Representació del Sol en el cel
Font: mpptsolar.com

El 21 de juny és quan la Terra comença a inclinar-se de manera que els rajos solars ens arriben amb una certa inclinació de manera que arriba més llum solar en una zona que a l'altra. De la mateixa manera ocorre amb la tardor i la primavera. En aquests dos casos és quan els rajos solars incideixen perpendicularment sobre l'equador. Com que l'òrbita de la Terra sobre el Sol és el·líptica, es desplaçarà a una velocitat més gran quan és més a prop del Sol (hivern) i més lent quan està més lluny (estiu)².

4. ENERGIA SOLAR

Totes les energies que fem servir a la Terra són gràcies al Sol, i per tant, l'energia solar és, d'una manera o altra, la font de gairebé totes les energies que fem servir a la Terra. Per això, dividirem les següents energies que fem servir al dia a dia en energies renovables i no renovables. Abans però definirem què són les energies renovables i no renovables.

4.1 ENERGIES RENOVABLES

Són aquelles energies que provenen de la natura i són recursos nets que no provoquen gairebé cap impacte en el medi ambient. Dintre d'aquests estan bàsicament:

² El que determina realment si és estiu o hivern són les hores de llum solar i el seu angle amb la superfície de la Terra.

-L'energia eòlica, que utilitza corrents d'aire que han sigut creades gràcies a l'aire escalfat pel Sol i també a la rotació de la Terra. A més, gràcies a les turbines eòliques podríem convertir l'energia eòlica en electricitat. De fet, entre l'1% i el 2% de radiació solar que absorbeix el planeta es converteix en vent.



Il·lustració 4 d'un parc eòlic

-L'energia hidràulica depèn de l'evaporació de l'aigua pel Sol, que més endavant aquesta es convertiria en pluja fins a arribar a les preses d'aigua.



Il·lustració 5 d'una presa d'aigua

-L'energia solar, que consisteix a transformar directament l'energia solar en electricitat utilitzant plaques fotovoltaïques.

4.2 ENERGIES NO RENOVABLES

Són aquelles energies que un cop fetes servir, no les podem reutilitzar i, a més a més, provoquen un impacte negatiu ambiental. Dintre d'aquests estan:

-Els combustibles, que provenen del Sol, ja que la biomassa pot absorbir l'energia solar per convertir-la en combustibles, que després es podria utilitzar per a la calor, transport o fins i tot electricitat.

-L'energia nuclear, que és una font d'energia que representa un gran percentatge d'ús i és molt perillós i tòxic.



Il·lustració 6 d'una central nuclear
Font: La Vanguardia

També cal destacar que tots els éssers vius utilitzem l'energia solar per a la calor i com a font essencial per a l'organisme. Sense aquesta calor mai s'hauria pogut crear vida, o sense anar molt més lluny, no haurien crescut éssers vius com podrien ser vegetals, ja que no haguessin sigut capaços de realitzar la fotosíntesi.

5. FONTS D'ENERGIA EN EL 2018

Fent un ràpid anàlisi en la pàgina de "Red Eléctrica Española" a l'apartat de les demandes de l'energia elèctrica, podem observar quines fonts d'energia hem utilitzat per produir-la i en quin percentatge. Aquest és el resultat en el 2018, on les cel·les de color verd són energies renovables.

| Fonts d'energia | Percentatge |
|----------------------|-------------|
| Nuclear | 21,4% |
| Eòlica | 19,8% |
| Carbó | 14,5% |
| Hidràulica | 13,7% |
| Cogeneració | 11,6% |
| Cicle combinat gas | 10,8% |
| Solar fotovoltaica | 3% |
| Solar tèrmica | 1,8% |
| Altres renovables | 1,7% |
| Altres no renovables | 1,7% |

Així doncs, l'energia renovable representa només un 40% i l'energia solar fotovoltaica un 3%.

6. ELECTROMAGNETISME

Per començar, sabem que la llum és allò que ens ajuda a percebre tot allò que veiem. Gràcies a això, podem distingir els colors, la forma dels objectes, la distància que ens trobem respecte a qualsevol cosa... Bàsicament, la visió. Doncs en l'àmbit científic, a això li diem la llum visible, que és una petita franja de l'espectre electromagnètic. Per a això, hem de conèixer el concepte d'electromagnetisme, i per tant, saber què és un camp, una ona i les seves propietats.

Ona: propagació d'una pertorbació en un medi sense que hi hagi un transport net de matèria.

Freqüència: el nombre d'oscil·lacions per una unitat de temps.

Període: és el temps que triga una partícula del medi a fer una oscil·lació completa.

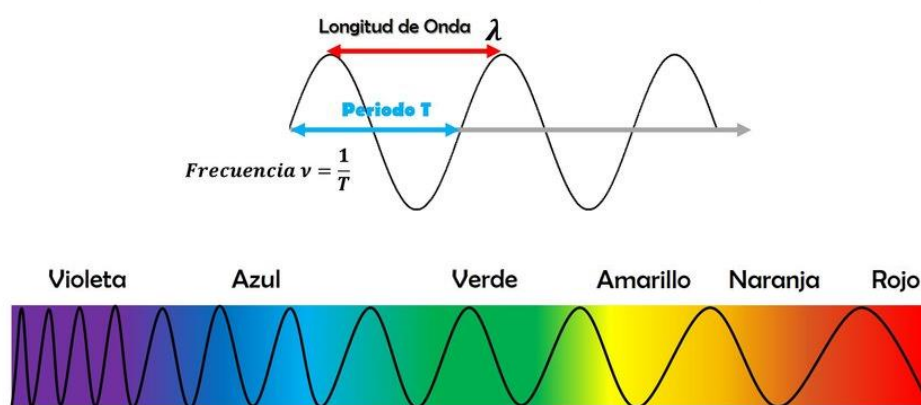
Longitud d'ona: distància que hi ha entre dos punts consecutius que es troben en el mateix estat d'oscil·lació.

Bàsicament un camp és la representació d'un espai amb totes les deformacions d'aquest possible en cada punt, com és el cas del camp elèctric i magnètic on el camp elèctric es veu afectat per les forces d'atracció o repulsió de les càrregues i en el camp magnètic pels imants.

Va ser llavors quan Jean Clerk Maxwell es va adonar que quan un electró realitza una pertorbació en forma d'ona dins un camp elèctric, és quan es forma una ona magnètica dins d'un camp magnètic. Aquestes dues es formarien perpendicularment a la direcció de propagació, ja que són ones transversals. Per tant, aquest conjunt formarien les ones electromagnètiques que serien pertorbacions periòdiques del camp elèctric i magnètic.

6.1 ESPECTRE ELECTROMAGNÈTIC

Un cop va ser definit l'electromagnetisme, van agafar un conjunt de totes les ones electromagnètiques que podem trobar segons la seva freqüència o longitud d'ona en el buit. Tal com podem observar a la imatge següent, està ordenat de freqüències més altes a més baixes o per longituds més baixes a més altes (del violeta al vermell).



Il·lustració 7 Representació de l'espectre electromagnètic i les seves propietats

Cal recalcar que cada determinada freqüència o longitud d'ona (en condicions a l'aire) serà un color, i li direm monocromàtic. Un exemple són els làsers, ja que normalment produeixen llum d'un sol color. En canvi, els colors policromàtics són la suma dels colors monocromàtics. Un exemple molt clar d'aquest és la llum blanca, que està formada per tots els colors. És per això que quan un feix de llum travessa un prisma, es veu refractat els mateixos colors que els de l'espectre electromagnètic com a la imatge.

Els color monocromàtics són: violeta, blau, cian, verd, groc, taronja, vermell.

7. LA LLUM

Tal com hem dit anteriorment, la llum és una petita franja de l'espectre electromagnètic que ens ajuda a visionar el món de la manera que el veiem. Per tant, la llum solar ha ajudat a desenvolupar la vida en aquest planeta i és un recurs bàsic i essencial per a l'ésser humà. Però, realment, què és la llum?

Aquest intent de la definició de la llum ha portat molts conflictes dintre de l'àmbit científic, creant dues teories: la corpuscular i l'ondulatòria.

La corpuscular definia a la llum com partícules petites que es propagaven en línia recta (explicant així la reflexió³ o refracció⁴ de la llum), mentre que l'ondulatòria explicava la naturalesa ondulatòria de la llum, és a dir, com a ones (explicant així la difracció⁵).

Aquestes dues teories explicaven fenòmens de la llum que eren certes, però necessitaven ser complementades. Va ser aleshores quan el científic Max Planck va proposar que l'energia total de la llum estava composta per quàntums d'energia, és a dir, com un conjunt de paquets d'energia o bàsicament, fotons.

7.1 FOTONS

Avui en dia, podem explicar les dues teories anteriors gràcies a aquesta teoria coneguda com la teoria quàntica. En aquesta, defineixen a les ones electromagnètiques com a què es propaguen de forma discreta amb paquets d'energia anomenats fotons. Per a representar aquests fotons, ho fem com si fossin un paquet d'ones.

Un paquet d'ones es defineix com una col·lecció d'ones que interactuen de manera que, si són espacialment localitzats, actuen com una partícula o simplement com una ona. Dit d'una manera més simple, és com si aquests fotons quan es senten observats actuen com a una partícula, i quan no, actuen com a ones. Per tant, depenent de la situació actuen d'una manera o altra i això li anomenem "dualitat ona-partícula".

³ Fenomen corpuscular que consisteix en rebotar al xocar contra una superfície.

⁴ Fenomen corpuscular que consisteix en travessar un objecte.

⁵ Fenomen ondulatori que es produeix quan les ones troben un obstacle, deixen de propagar-se en línia recta i el volten.

7.2 ENERGIA FOTÒNICA

Si coneixem els fotons com a quàntums d'energia, llavors tenim la necessitat de calcular aquesta energia per veure com interactua amb altres objectes, i ho vam aconseguir amb la següent fórmula:

$$E = h \cdot \nu$$

Essent en aquest cas "h" la constant de Planck que equival $6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ i "ν" la freqüència del fotó.

A més, sabem que la velocitat de llum "c" ($2.998 \cdot 10^8 m/s$) és igual a freqüència per longitud d'ona. Per tant, que la freqüència és igual a la velocitat de la llum entre la longitud d'ona:

$$c = \nu \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \nu = \frac{c}{\lambda}$$

A partir d'aquí, podríem dir que l'energia fotònica és igual a:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Quan multipliquem aquestes dues constants (h i c) ens dona una altra constant única:

$$h \cdot c = 1,99 \cdot 10^{-25} J \cdot m$$

Així doncs, ho podem simplificar amb: $E = \frac{1,99 \cdot 10^{-25}}{\lambda}$

Pel que podem deduir aquí, si es tracta de, per exemple, la llum blava que té longituds d'ona més curtes, tindrà una energia més elevada. En canvi, la llum vermella que té longituds d'ona més llargues, és menys energètica.

7.3 ELECTRÓ-VOLT

En la física clàssica s'utilitza el "Joule" com a unitat de mesura de l'energia, però a l'hora de mesurar l'energia de partícules tan petites com àtoms o fins i tot electrons i fotons, és necessària una mesura encara més petita. Per a això, s'utilitza l'electró-volt o electronvolt (eV), que és l'energia necessària per a elevar un electró a través d'un volt. I aquesta energia que és proporcionada per un fotó equival a $1,602 \times 10^{-19} J$, és a dir, 1 eV. A partir d'aquí, en comptes de fer servir la fórmula de l'energia anterior, s'utilitza una altra amb una conversió directa als electronvolts:

$$1,99 \times 10^{-25} \text{ J} \cdot \text{m} (\text{prové de multiplicar les constants } h \text{ i } c) \times \frac{1 \text{ eV}}{1,602 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$= 1,24 \times 10^{-6} \text{ eV} \cdot \text{m}$$

Com que aquesta constant té un ordre de magnitud bastant petit, per comoditat ho passarem a micròmetres on un micròmetre equival a 10^{-6} m . Per tant, acaba essent $1,24 \text{ eV} \cdot \mu\text{m}$.

$$E = \frac{1,24 \text{ eV} \cdot \mu\text{m}}{\lambda (\mu\text{m})}$$

Per a demostrar-ho, realitzarem el següent experiment.

8. DEMOSTREM QUE LA LLUM TÉ DIFERENTS ENERGIES

Introducció

En aquesta part pràctica demostrarem com la llum de diferents freqüències, és a dir, de diferents colors, varien energèticament. Per a fer-ho, utilitzarem un focus de llum de color blanc (que conté tots els colors) i comprovarem el corrent elèctric que pot produir la placa fotovoltaica.

Objectiu

Demostrar que la llum està formada per fotons i que depenent de la freqüència de la llum, tindrà més o menys energia.

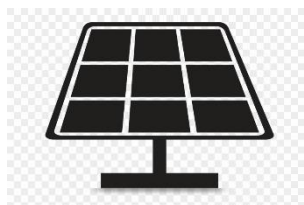
Materials



Filtres de colors



Font de llum blanca



Placa fotovoltaica



Càmera

Metodologia

Per a fer-ho, utilitzarem un focus de llum de color blanc (que conté tots els colors) i comprovarem el corrent elèctric que pot produir la placa fotovoltaica. Llavors afegirem filtres de diferents colors. Per a treballar amb les mateixes condicions, primer buscarem un lloc on no entri cap llum externa, i si és el cas d'una habitació, tancarem les finestres. Seguidament, col·locarem la placa fotovoltaica a 40 cm del focus de llum de manera que

la llum arriba perpendicularment a les superfícies d'aquestes dues. Ens donarà una certa quantitat de voltatge, i veurem com aquest variarà depenent del filtre de color que posem davant el focus de llum. En aquest cas disposem d'un total de set filtres de llums dividits en els següents colors:



Il·lustració 10 Filtre de color



Il·lustració 9 Filtre de color taronja



Il·lustració 8 Filtre de color lila



Il·lustració 13 Filtre de color groc



Il·lustració 12 Filtre de color gris fosc



Il·lustració 11 Filtre de color vermell



Il·lustració 14 Filtre de color verd

Així doncs, procedirem a realitzar tots els càlculs necessaris. Teòricament, tal com podem veure a la imatge de l'apartat de l'espectre electromagnètic, les longituds d'ona dels colors freds com el violeta i blau són més curtes. En canvi, els colors càlids com el vermell i taronja són més llargues, essent l'altre extrem. Això vol dir que, si utilitzem la fórmula de l'energia anterior on hem de dividir "1,24" entre la longitud d'ona, quan menys és aquest valor, més gran és el resultat i a la inversa. Per obtenir una idea de quins colors són més energètics, hem de saber la longitud d'ona. Utilitzarem 7 filtres de diferents colors i els tenim a la taula següent amb el seu valor aproximat d'energia.

| Filtre de llum | Longitud d'ona (μm) | Energia (eV) |
|----------------|----------------------------------|-----------------|
| Blau | 0,46 - 0,48 | 2,6952 - 2,5829 |
| Taronja | 0,6 - 0,62 | 2,0663 - 1,997 |
| Lila | 0,39 - 0,46 | 3,1790 - 2,6952 |
| Groc | 0,58 - 0,6 | 2,1376 - 2,0663 |
| Vermell | 0,62 - 0,78 | 1,997 - 1,5895 |
| Verd | 0,48 - 0,58 | 2,5829 - 2,1376 |
| Gris fosc | No determinat | |

Per assegurar-nos que el filtre de llum funciona de veritat, farem servir la càmera i farem una foto. La passem en un programa on es vegi el diagrama de tots els colors i podrem veure si es filtre la llum que necessitem per a que l'experiment sigui adequat. Aquesta part ens interessa sobretot per després fer un anàlisi de la composició de la llum del Sol.

El que ocorre quan apliquem filtres de colors és que aquests, si són suficientment bons, bloquegen algunes propietats de la llum, deixant entrar només llum d'una determinada freqüència o almenys atenuant els altres.

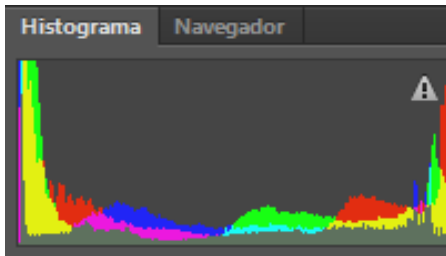
Per a veure-ho d'una manera més clara, utilitzarem el primer filtre: un de color blau. Teòricament, la seva longitud d'ona mesura entre 460 i 480 nanòmetres. Per tant, si

$E = \frac{1,24}{\lambda}$ i substituïm λ (*lambda o longitud d'ona*) pels dos anteriors. En aquest cas ens dona un resultat de 2,7eV a 2,58eV respectivament. Aleshores, amb el focus i el seu filtre de llum, mesurarem el seu voltatge i farem una fotografia per després passar-la a l'histograma:



Il·lustració 15 Histograma del color blau

Per tant, podem observar que a més del color blau, també absorbeix llum de color verda. En aquest cas hem obtingut un voltatge de 3,58V.



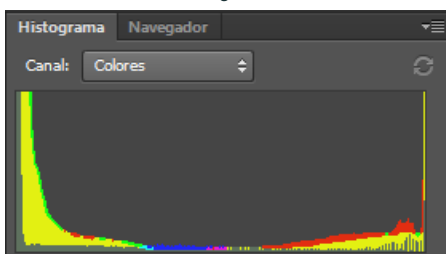
Il·lustració 16 Histograma del color taronja

En canvi, en el filtre de color taronja segueixen entrant colors com el verd, blau i lila que són molt més energètics que els càlids. Hem obtingut un voltatge de 3,9V.



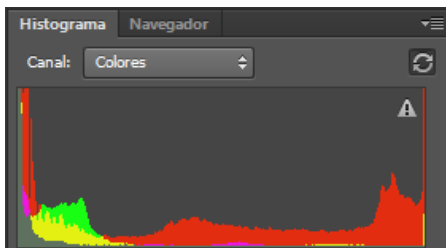
Il·lustració 17 Histograma del color lila

En aquesta mesura del filtre lila només hi ha essencialment blau i lila i hem obtingut un voltatge de 3,63V.



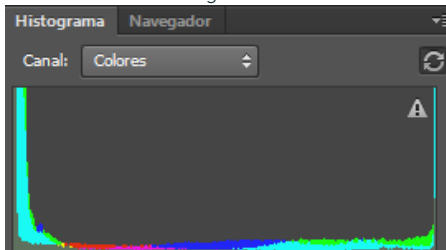
Il·lustració 18 Histograma del color groc

En el cas del filtre de color groc, essencialment era groc però podem distingir en els pics de l'esquerra color verd. Hem obtingut un voltatge de 3,83V.



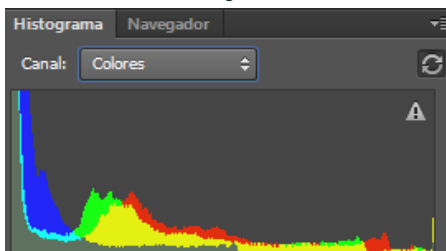
Il·lustració 19 Histograma del color vermell

En el cas del filtre vermell, podem veure que essencialment és de color vermell encara que hi ha color verd sota els pics. Hem obtingut un voltatge de 3,25V.



Il·lustració 20 Histograma del color verd

En el cas del filtre de color verd, observem que essencialment és de color blau cel i verd en els pics. Hem obtingut un voltatge de 3,64V.



Il·lustració 21 Histograma del color gris fosc

Per últim, utilitzant un filtre de gris fosc bàsicament per atenuar la llum, obtenim un voltatge de 2,87V.



Conclusions

En aquesta part pràctica podem concloure que l'únic filtre que ha realitzat la seva funció és el filtre de color gris fosc, ja que la seva funció era reduir la quantitat de llum i és el menor voltatge obtingut. En canvi, les majors tensions obtingudes són el color groc i taronja, però tal com podem observar en el seu respectiu histograma, aquests no només filtraven el color del qual eren.

En canvi, els filtres on hem obtingut menor voltatge són als filtres de color blau, verd i lila on no superaven els 3,63V. Si veiem el seu respectiu histograma, podem observar que essencialment hi havia només els colors freds: verd, blau i lila. A més, en el cas del filtre de color vermell, veiem en el seu histograma que ha realitzat bastant bé la seva funció, ja que en els pics podem veure que és gairebé tot vermell.

Per tant, no podem comparar l'energia dels diferents colors, ja que cada filtre funciona d'una manera diferent i per tant, no estan sota les mateixes condicions. Però el que sí que hem pogut comprovar és que la llum de diferents colors té diferents energies.

9. PLAQUES FOTOVOLTAIQUES

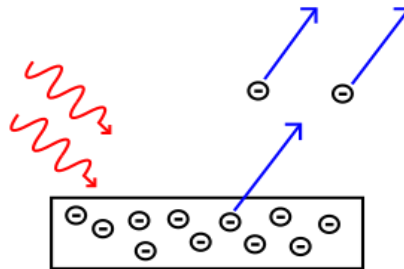
Les plaques fotovoltaïques o panells solars estan formats per un conjunt de cel·les solars. Aquests s'encarreguen de produir electricitat mitjançant l'efecte fotoelèctric que serà esmentat seguidament, i el conjunt d'aquestes connectades en sèrie acaben formant la placa fotovoltaïca. Aquestes cel·les solars són formades per un material semiconductor, que especificarà el tipus de placa fotovoltaïca i la seva eficiència.



Il·lustració 22 Imatge d'una cèl·lula fotovoltaïca
Font: Wikipedia

9.1 EFECTE FOTOELÈCTRIC

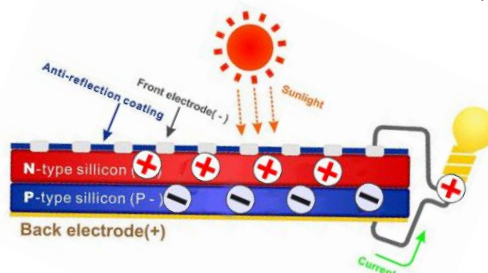
L'efecte fotoelèctric és un fenomen en què la llum (fotons) pot arribar a alliberar electrons d'una superfície metàl·lica. No va ser fins al 1880 gràcies a la proposta de Planck de treballar amb la llum com a paquets d'energia que el científic Lenard va observar com la superfície dels metalls reaccionaven amb la llum. Aquests alliberaven electrons, i de quanta més freqüència arribava, més electricitat alliberava. Això vol dir que com més alta és l'energia d'un fotó, més augmenta l'energia cinètica (corrent elèctric).



Il·lustració 23 Interpretació de l'efecte fotoelèctric
Font: Wikipedia

9.1.1 EFECTO FOTOVOLTAIC

En canvi, l'efecte fotovoltaic és la capacitat d'absorbir aquesta energia per mantenir-la dins els dispositius. Bàsicament l'única diferència que hi ha entre els dos efectes és que a l'efecte fotoelèctric els electrons s'extrauen del material mentre que a l'efecte fotovoltaic es manté.



Il·lustració 24 Interpretació de l'efecte fotovoltaic
Font: CertificadosEnergeticos.com

9.2 ESTRUCTURA D'UNA PLACA FOTOVOLTAICA

Dintre del mercat tenim una gran varietat de tipus de plaques fotovoltaïques, de més grans o més petits, de més potents o menys... però encara així la gran majoria segueixen la mateixa línia d'estructura: són formades per un conjunt de cèl·lules fotovoltaïques (de 36 o 60 o 72 cèl·lules en sèrie) encapsulades al seu voltant per evitar que es facin malbé, depenent del medi com un lloc humit per exemple ja que el vapor d'aigua o l'aigua directament podria provocar curtcircuits. Per tant, depenent del medi on estiguem tindran una estructura (però semblant) fent servir un material semiconductor o altre.

Normalment es connecta una xarxa de cèl·lules en sèrie per a augmentar la tensió de sortida de manera que totes les xarxes estiguin connectades en paral·lel per a poder augmentar el corrent elèctric. S'utilitza una coberta posterior perquè tot estigui protegit per les dues bandes i una caixa de connexions per afegir els cables que connectarem a la xarxa com a font d'alimentació.

A més, el tipus de placa fotovoltaïca determina sovint el tipus de medi on haurà de funcionar o la utilitat que tindrà, ja que existeixen plaques solars on és necessari un marc rígid que normalment és de vidre, però també n'hi ha de flexibles on utilitzen materials semiconductors flexibles com el silici amorf, i òbviament no seran encapsulats rígidament.

Encara així, la gran majoria a dalt tenen un antireflector per intentar que la llum no reflecteixi i així intenta absorbir la màxima quantitat d'energia possible. Finalment, tots els cables estan ordenats de manera que mai hi hagi cap problema de connexions i s'afegeixen a una caixa de connexions, on anirà a parar a la xarxa elèctrica del nostre habitatge.



*Il·lustració 25 Estructura d'una placa fotovoltaïca
Font: Público*

9.3 MATERIALS SEMICONDUCTORS

Els metalls tenen una estructura geomètrica i rígida enllaçats per l'enllaç metàl·lic, i podem classificar la conductivitat d'electricitat en tres tipus:

Aïllants: Són aquelles estructures que no disposen d'electrons lliures, ja que necessiten totes les valències. No hi ha cap possibilitat de trencar aquest enllaç, per tant tampoc a que passi a ser una mica conductors.

Semiconductors: Són aquells metalls que es comporten com a aïllants a temperatures baixes, però presenten una conductivitat elèctrica a temperatura ambient possible de controlar per mitjà de l'addició d'impureses.

Conductors: Aquells que permeten amb facilitat un corrent elèctric.

Els metalls són normalment conductors degut al fet que els electrons de la última capa de valència són menys atrets, i això crea que hi hagi una capa d'electrons on són compartits per tots els àtoms.

| Conductivitat (Ωm) ⁻¹ | Tipus de material | Exemples |
|--|-----------------------------|------------------------------|
| $<10^{-8}$ | Aïllant | Plàstic, quars... |
| 10^{-8} | Semiconductor pur | Silici, Germani... |
| $10^{-8} - 10^6$ | Semiconductor amb impureses | Silici, Germani... Dopats |
| $10^6 - 10^8$ | Conductor | Plata, Coure... |

Aparentment, sembla que ens interessa més un material conductor, però a l'hora de la veritat utilitzem materials semiconductors, ja que aquests poden ser manipulats (dopats), i facilitar encara més el corrent elèctric.

Per entendre tot això, és necessari entendre la llei d'Ohm

10. LA LLEI D'OHM

Aquesta llei consisteix en, donat un circuit elèctric, el corrent que el travessa és directament proporcional a la diferència de potencial que hi ha entre els seus extrems i inversament proporcional a la resistència del circuit.

$$I = \frac{V}{R}$$

On V (voltatge) és l'energia que obté una càrrega depenent de la seva posició en el circuit, I (intensitat) és la taxa del flux d'electrons mesurat en ampers (A) i R (resistència) és el que limita el corrent en ohms (Ω).

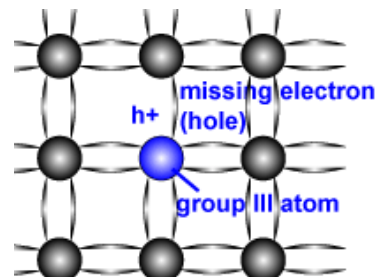
11. DOPATGE

Una manipulació en els materials semiconductors es tracta d'una addició d'impureses que s'anomena dopatge. És molt important, ja que només es dona en alguns materials semiconductors: els que són de la valència IV^6 (quatre electrons) com el silici, germani... i això canvia les seves propietats elèctriques com la conductivitat.

A més a més, ens interessa sobretot a les plaques fotovoltaïques perquè ajuda que si arriba poca intensitat de llum, aquesta sigui capaç de crear un corrent elèctric fàcilment.

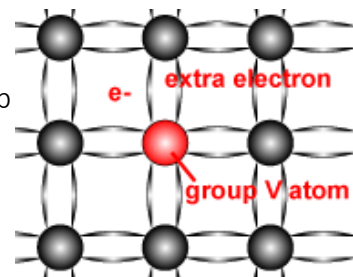
Hi ha dos tipus de dopatge:

·**Tipus P:** El dopatge tipus P consisteix a afegir àtoms amb 3 electrons al silici que a l'enllaçar-se entre si, formaran un enllaç covalent (compartiran els electrons) però no els suficients (4 electrons del semiconductor reaccionen amb 3 electrons del tipus P), per tant, quedarà un sense formar-se. Així doncs, augmentarà el número de forats (falta d'electrons).



Il·lustració 26 Dopatge tipus P
Font: PVEducation

·**Tipus N:** El dopatge tipus N consisteix a afegir àtoms amb 5 electrons al silici que a l'enllaçar-se entre si, formaran un enllaç covalent però com que només 4 electrons dels 5 que afegim en formaran, sobrarà un electró que participarà lliurement en la conducció.



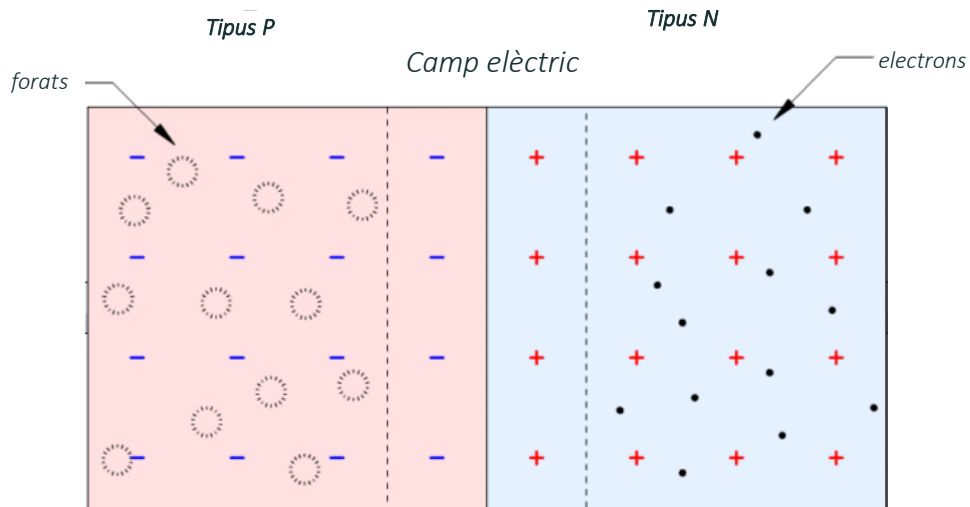
Il·lustració 27 Dopatge tipus N
Font: PVEducation

Quan ajuntem aquests dos tipus de dopatge, formem una unió PN i per tant, un camp elèctric⁷ ja que hi ha una zona carregada negativament i una altra positivament. Per tant,

⁶ Un àtom està format per un nucli i electrons al seu voltant. Els electrons orbiten en diferents capes. Depenent de l'àtom, tindrà una quantitat o altra d'electrons en aquesta capa i en necessiten 8 per a poder estabilitzar-se.

⁷ El camp elèctric és definit com la força que rebria una càrrega unitat positiva pel fet d'estar en un punt de l'espai.

també hi haurà una diferència de potencial. És a dir, que per a que un electró arribi a l'altra banda positiva, haurà de travessar aquest potencial.



Il·lustració 28 Representació de la unió PN i la seva diferència potencial Font: Semesters.in

En el cas del silici, aquesta diferència potencial és de 0,7V més o menys i en el cas del germani, 0,3V.

12. TIPUS DE MATERIALS SEMICONDUCTORS

El material més utilitzat en la indústria electrònica és el silici, derivant d'ell els següents materials on cadascun té una eficiència i per tant, un preu:

Silici monocristal·lí: És el material més utilitzat en l'electrònica. És bàsicament silici pur en forma de monocristalls, amb una estructura ordenada. Com podem observar, és d'un color fosc negre tal com ho són les plaques fetes d'aquest material. Aquesta és una de les raons per les quals és dels materials més utilitzats, ja que aquest color fosc⁸ ajuda que absorbeixi aquesta radiació a més del seu preu econòmic i la seva eficiència perfectament rendible per al dia a dia. Cal destacar que les plaques fetes de silici monocristal·lí són d'un percentatge molt elevat d'aquest material pur.



Il·lustració 29 Silici monocristal·lí Font: Wikipedia

⁸ Una propietat de la matèria és la seva capacitat d'absorbir tots els colors menys el color que és. En el cas del color negre, els absorbeix tots i això ajuda a captar encara més llum.

Silici policristal·lí: Consisteix en petits cristalls de silici. És la forma policristal·lina d'alta puresa de silici i és usada com un dels principals materials per a les plaques fotovoltaïques i en la indústria electrònica. A causa d'això, el 2013 es va produir al voltant de 230.000 tones.



*Il·lustració 30 Procés del silici monocristal·lí a silici policristal·lí
Font: Wikipedia*

Silici amorf: És la forma no cristal·lina del silici. Es pensava que anava a ser un dels grans contribuents en el desenvolupament de l'eficiència de les plaques, però van arribar altres competidors més forts. S'utilitza, per exemple, en les calculadores.



*Il·lustració 31 Cèl·lula fotovoltaïca de silici amorf en una calculadora
Font: Wikipedia*

Arsenur de gal·li: S'usa en la fabricació de circuits integrats i en díodes LED, flaixos de la llum de les càmeres... Com que la seva incorporació dins la tecnologia fotovoltaïca és recent el seu comportament encara és difícil d'entendre, per tant el seu preu és més elevat però la seva qualitat podria a abaratir els costos.

Diselenur d'indi, gal·li i coure: És una alternativa molt eficaç al silici cristal·lí. S'utilitza en la fabricació de la capa fina conductora de les cèl·lules solars.

Tel·lurur de cadmi: El seu preu ha superat al silici cristal·lí en sistemes que es necessiten molta més energia per donar energia a diferents habitatges.



*Il·lustració 32 Tel·lurur de cadmi
Font: Wikipedia*

Perovskita: S'ha incorporat recentment en la fabricació de cèl·lules solars ja que els compostos de perovskita són fàcils i barats de produir. La seva eficiència inicialment era del 3,8% en el 2004 i s'ha incrementat fins al 20,1% en el 2014.



*Il·lustració 33 Perovskita
Font: Wikipedia*

Kesterita: És un material format a partir de metalls de baixa toxicitat (coure, estany i zinc) que són abundants a l'escorça terrestre.

13. L'EFICIÈNCIA

Per a comparar el rendiment de les plaques fotovoltaïques s'utilitza el paràmetre de l'eficiència. Aquesta és definida com a la relació entre la energia provinent del Sol i la producció d'energia de la cèl·lula.

$$\text{Eficiència} = \frac{\text{Producció d'energia}}{\text{Energia de la llum incident}} \times 100$$

Així doncs, l'eficiència és un percentatge calculat sota unes proves anomenades proves de condicions estàndard (STC) i només en aquestes condicions, aconseguirà el seu màxim rendiment. És a dir, si una placa solar té una eficiència del 23%, només en les condicions estàndard treballarà amb aquesta eficiència. En canvi, en altres circumstàncies treballarà d'una altra manera, però normalment a menys rendiment que l'eficiència reportada.

Aquestes proves de condicions estàndard està mesurat a l'hora pic de l'estiu i és l'examinació d'estat més feta servir entre les indústries i recerques. Aquesta hora és el Sol al migdia, i depenent de la posició a la Terra com a l'Equador o Espanya, obtindrem més potència o menys. Per això, es calibren amb una específica irradiància solar, una temperatura interna i una massa d'aire (AM).

En primer lloc, la irradiància solar fa referència a la quantitat d'energia solar en una determinada àrea en un determinat temps. Aquesta és calibrada amb 1000W/m² de manera que totes les indústries examinin les plaques amb aquest paràmetre. Això vol dir que una placa fotovoltaïca d'1m² que té una eficiència del 20%, si arriben 1000W/m² produirà 200W.

En segon lloc, la temperatura interna afecta al rendiment de no només les plaques solars, sinó també als dispositius mòbils. Per això, la temperatura estàndard és de 25°C.

En tercer lloc, si considerem el Sol com un punt que emet una certa quantitat de fotons a totes direccions a la mateixa velocitat (velocitat de la llum), a mesura que aquests recorren més espai la densitat dels fotons (intensitat) disminueix atès que l'àrea que cobreixen augmenta. Per tant, amb la mateixa quantitat de fotons inicial hauran de cobrir cada vegada més una àrea més gran. A més a més, el Sol els produeix de diferents energies. És a dir, de diferents freqüències o de diferents longituds d'ona. Quan aquests arriben a la Terra, han de travessar tota l'atmosfera, de manera que com més distància recorren, més es dispersaran a causa de les partícules que hi ha. Com és obvi, el Sol és

d'un color càlid. Per tant, predominen els fotons amb una longitud d'ona més gran (càlids) però això no vol dir que no hi hagi fotons amb una longitud d'ona més petita, sinó que simplement hi ha pocs. A més, el perquè només veiem el color blau és perquè l'ull humà detecta millor aquest color que no els ultraviolats com el violeta, per exemple.

En canvi, al capvespre o a l'alba és d'un color càlid a causa que la llum ha de recórrer molta més distància i molta més atmosfera. L'energia és repartida en una àrea molt més gran i un cop a l'atmosfera estan més dispersats. És per això que en aquestes hores, podem observar un cel vermellós. Per tant, la distància que recorri la llum dins l'atmosfera és molt important. A aquesta condició l'anomenem massa d'aire (Air mass o AM) i s'utilitza un piranòmetre per a calcular-la. En condicions estàndard ha de ser d'1,5, i quan el Sol està totalment vertical respecte la nostra posició el seu valor és 1. Les plaques fotovoltaïques que s'utilitzen a l'espai es calibren a 0 de massa d'aire.

14. CALCULEM L'EFICIÈNCIA D'UNA CÈL·LULA FOTOVOLTAICA DE SILICI MONOCRISTAL·LÍ DE LA UPC

Introducció

Durant els darrers anys, la tecnologia de les cèl·lules s'ha anat incorporant en diversos centres de recerques en el món en els que observen el seu comportament respecte diferents variables. Dins d'aquestes variables, s'utilitza la corba d'intensitat-voltatge (I-V) per veure com reacciona la intensitat de corrent quan augmentem el voltatge, que a més d'això, ens ajuda a determinar l'eficiència. Tot això ho comprovarem a la Universitat Politècnica de Catalunya, on s'han arribat a fer les cèl·lules fotovoltaïques més eficients d'Espanya.

Objectius

Determinar l'eficiència d'una cèl·lula fotovoltaïca i altres característiques.

Materials



*Cèl·lula de silici
Monocrystal·lí*



Ordinador



*Plaqueta de metall per a
contacte*



Font de llum

Metodologia

Utilitzarem una cèl·lula fotovoltaïca de silici monocrystal·lí polida (sense texturitzar) i determinarem unes de les diferents característiques a partir d'una mesura I-V. Utilitzarem un ordinador que enviarà una tensió de -1V a 1V que augmentarà gradualment i obtindrà un corrent elèctric. Els cables d'aquests són dirigits a una superfície metàl·lica que a sobre d'aquesta hi serà la cèl·lula. Realitzarem dues mesures: una sense emetre llum i l'altre sí. La raó d'això és perquè en el cas de la mesura sense llum, és quan evitem qualsevol tipus de llum externa a la que farem servir en la mesura amb llum i ens assegurem de fer una mesura correcte. En el cas de que fos errònia, la mesura amb il·luminació també ho seria. Quan realitzem la mesura amb llum, utilitzarem un aparell que utilitzant diferents gasos, imita l'espectre solar.



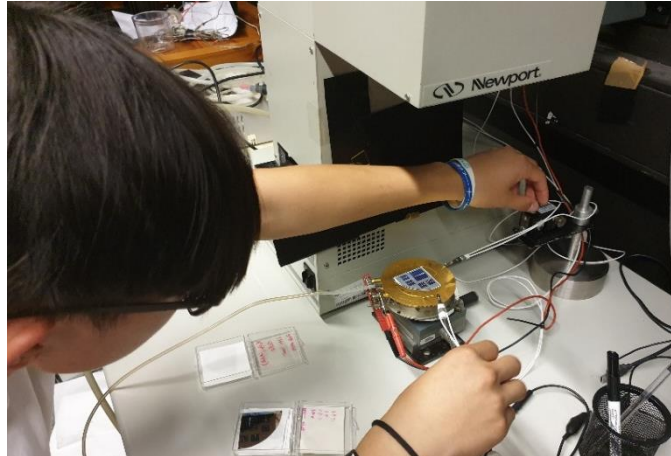
Il·lustració 34 Lloc de treball on realitzarem la pràctica

Procediments

En primer lloc, regularem el voltatge que envii perquè sigui de -1V a 1V i ho faci gradualment augmentant 0,2V utilitzant el mateix programa amb el qual rebrà la intensitat de corrent en ampers (A).

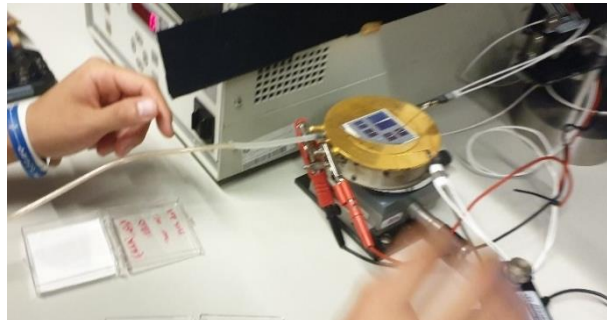
En segon lloc, encendrem l'aparell que desprendrà radiació molt semblant a la solar bàsicament perquè necessita un temps per a preparar-se i així poder emetre la irradiància solar definida en les condicions estàndard: $1000\text{W}/\text{m}^2$.

En tercer lloc, utilitzarem una plaqueta metàl·lica on deixarem la cèl·lula fotovoltaica. L'avantatge de la plaqueta és que per sota té una bomba de buit de manera que absorbirà la cèl·lula solar i es quedi ben enganxada creant un bon contacte. Al voltant afegirem uns altres cables rígids subjectats per dos suports de laboratori que es pot regular la seva altura. Aquests serviran per a mesurar el corrent.



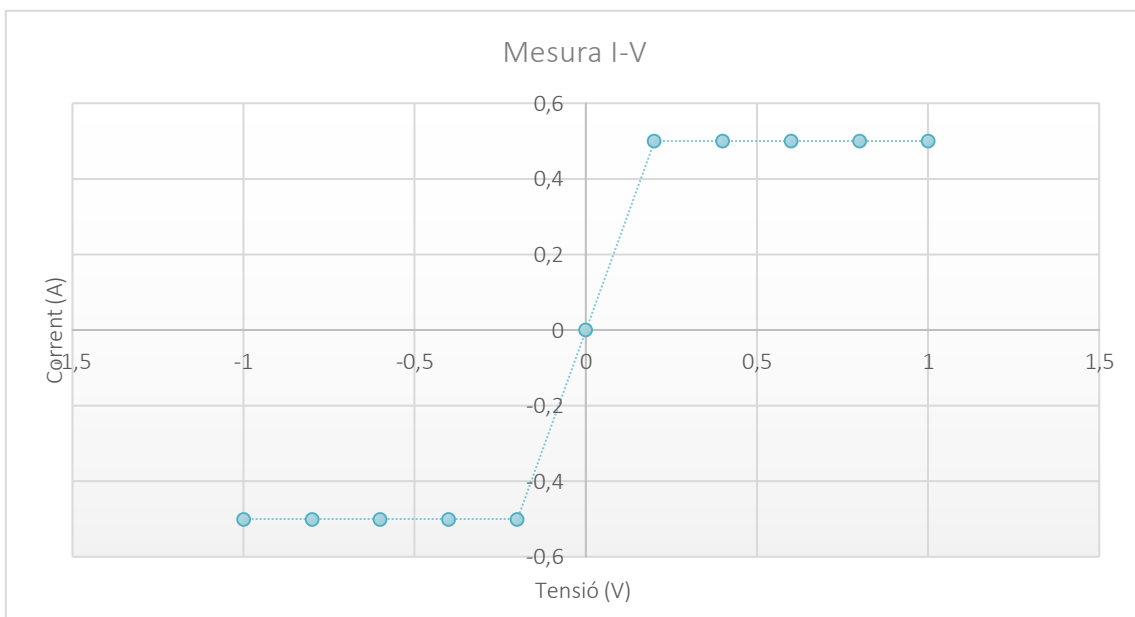
Il·lustració 35 Regulant l'altura dels cables rígids

Altrament, utilitzarem dos cables acabats en pinces que seran enganxades a un lateral. Aquestes dues restants serviran per a crear una diferència potencial. A més, sota la plaqueta metàl·lica hi haurà un regulador de temperatura, que estarà constantment a 25°C.



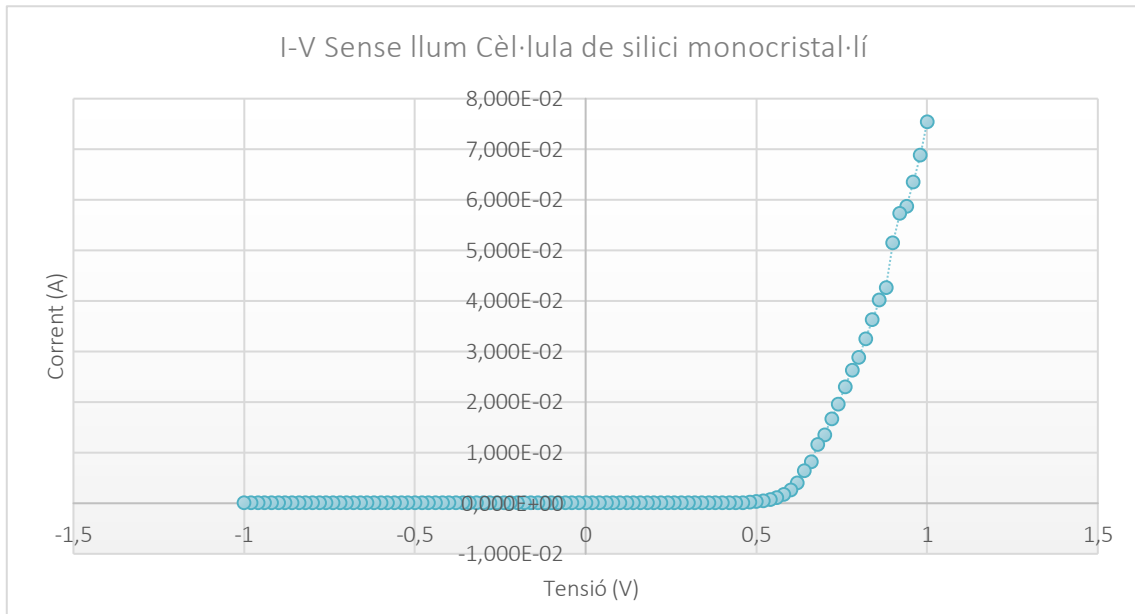
Il·lustració 36 Enganxarem dos cables acabats en pinces a un lateral

Així doncs, procedirem a fer la primera mesura sense llum. Aquesta consistirà en connectar de qualsevol manera les connexions perquè la única manera de saber si totes les connexions estan estables, és adonant-nos d'una mesura errònia.



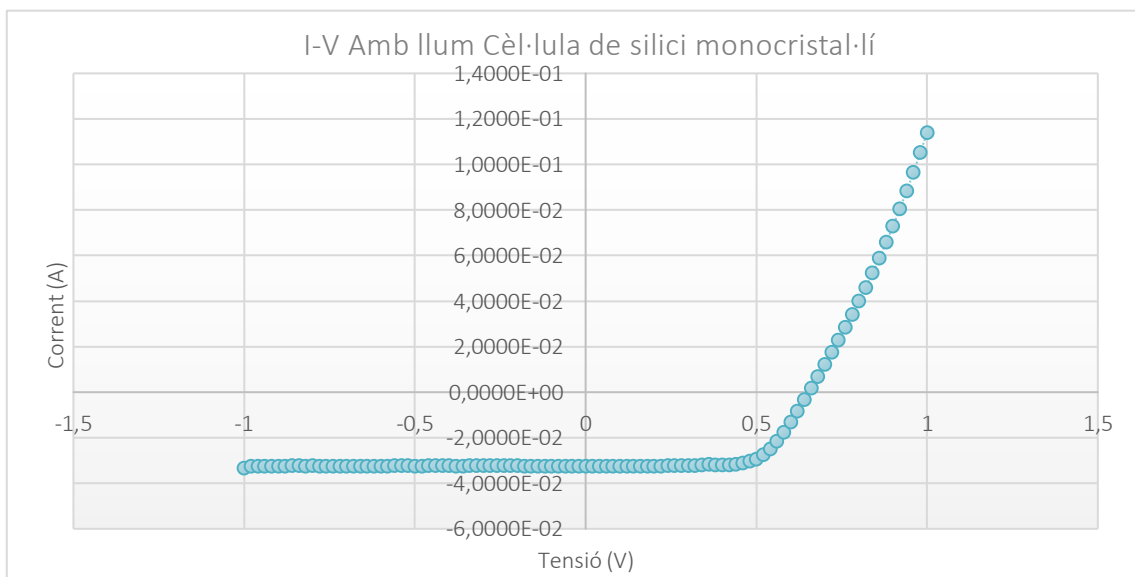
En aquesta gràfica de seguida detectem que no és el tipus de mesura que volem mesurar o els cables estan inversament connectades ja que presenta una pujada de corrent i llavors es manté lineal ràpidament.

Així doncs, connectem els cables a la posició que a nosaltres ens interessa, o sigui que just al contrari que abans.



Com podem observar, és una mesura que no té res a veure amb l'anterior. Aquesta vegada puja ràpidament quan s'arriba a 1V, encara que hi ha marges d'error des de els 0,5V. Com que no hi ha llum, l'eficiència és 0 de la mateixa manera que la corrent.

En la mesura amb llum, utilitzarem aquesta vegada l'aparell que imita la radiació solar. Bàsicament encendrem al botó que farà que permeti l'emissió de llum a la cèl·lula, i aleshores mesurarem.



Podem observar que aquesta vegada sí es manté constant quan augmenta la tensió de 0,5V a 1V, però no ho fa de -1V a 0,5V. Si ens hi fixem, hi ha petites pujades i baixades de corrent que provoquen que no sigui constant en aquests valors.

L'eficiència en aquesta mesura és de 14,69% amb una intensitat de corrent de 32,5mA.

Conclusió

En aquesta part pràctica podem concloure que les condicions de mesura de les plaques fotovoltaïques són bastant estrictes i utilitzen eines sofisticades. Això vol dir que qualsevol dada que no correspongui a la tendència dels resultats, podem arribar a pensar que ocorre realment una cosa i no és cap error de mesura.

En el primer cas quan mesurem sense llum, podem veure com en l'augment de tensió de 0,5V a 1V com hi ha dades que es desvien cap a l'esquerra i tornen a la tendència inicial. La única explicació que li podem arribar a donar són les llums externes, que per petites que siguin, poden arribar a interferir. A més, cal recalcar que els cossos sòlids reflecteixen la llum.

En el segon cas quan mesurem amb llum, podem veure com en l'augment de tensió de 1V a 0,5V hi ha dades que es desvien encara que sigui molt poc. La única explicació que li podem arribar a donar és que quan el corrent entra en la cèl·lula fotovoltaïca, aquest arriba en la unió de tipus P. Aquests, carregats positivament, atrauen els electrons que formen la corrent i , en cas de superar aquesta unió, han de fer-ho també amb la unió N, que està carregat negativament. Això vol dir que repel·liran la corrent, dificultant-la encara més. Per tant, quan arriba a una tensió suficientment elevada, podrà arribar a passar tota aquesta unió. En aquest cas, 0,6530V que és quan la corrent és 0. És a dir, quan tota la corrent provinent del negatiu, arriba a l'altra banda positiva.

Per a finalitzar, cal remarcar que l'eficiència de la cèl·lula fotovoltaïca és de 14,69% sense cap tipus de manipulació tal com observarem en l'apartat de "Determinem la importància dels factors que determinen el rendiment d'una placa fotovoltaïca".

15. EFICIÈNCIA QUÀNTICA

L'eficiència quàntica (EQ) es defineix com el percentatge de fotons que xoquen amb la cèl·lula fotovoltaica que produirà un corrent elèctric. Aquest estudi és molt important ja que ens permet saber en quin marge de longituds d'ona és més efectiu els nostres dispositius fotodetectors. En cas d'arribar fotons de longituds d'ona molt petites, aquests són absorbits molt a prop de la superfície frontal (superfície del material semiconductor) afectant a la capacitat de produir corrent. En canvi, quan es tracta de longituds d'ona molt grans, són absorbits dins la cèl·lula com si travessessin la superfície frontal i això també provoca un efecte negatiu. Els objectius de les recerques és crear cèl·lules que siguin el màxim de sensibles a l'espectre de radiació solar.

16. DETERMINEM L'EFICIÈNCIA QUÀNTICA D'UNA CÈL·LULA FOTOVOLTAICA DE SILICI MONOCRISTAL·LÍ DE LA UPC

Introducció

Amb la mateixa cèl·lula fotovoltaica de silici monocristal·lí utilitzada en la pràctica anterior (punt 14: Calculem l'eficiència d'una cèl·lula fotovoltaica de silici monocristal·lí de la UPC) experimentarem quin és el procés de mesurar l'eficiència quàntica que ahora, també mesura quina és l'energia necessària per a deixar un electró lliure d'un àtom de silici.

Objectius

Determinar l'eficiència quàntica d'una cèl·lula fotovoltaica de silici monocristal·lí de la Universitat Politècnica de Catalunya i l'energia necessària per a treure un electró de la seva unió amb un àtom de silici.

Materials



Fotodíode H1005



Plaqueta de metall per a contacte



Font de llum



Cèl·lula de silici Monocristal·lí



Ordinador

Metodologia

Tal com hem dit anteriorment, utilitzarem una cèl·lula fotovoltaica de silici monocristal·lí sense texturitzar. Aquesta vegada utilitzarem un aparell semblant a un làser que enviarà fotons de més energètics a menys energètics gradualment en forma d'un feix de llum a la cèl·lula solar. Utilitzant la mateixa plaqueta de metall on hi serà el nostre dispositiu, captarem el corrent o electrons que és capaç d'alliberar. Però per a fer-ho, és necessari calibrar el sistema depenent del tipus de cèl·lula. Com que volem mesurar l'eficiència quàntica d'una cèl·lula de silici, s'utilitzarà un fotodíode per a calibrar la configuració del sistema ja que depèn del material semiconductor i la seva superfície o el seu marge de diferents fotons que volem enviar.

El fotodíode pot ser de diferents tipus: silici, germani... En aquest cas utilitzarem un de silici de manera que presenti similituds amb la nostra cèl·lula per a després fer la mesura.

A més, l'aparell que emetrà llum és una caixa on posarem els fotodíodes que volem mesurar dins i es tancaran per evitar qualsevol tipus de llum externa.

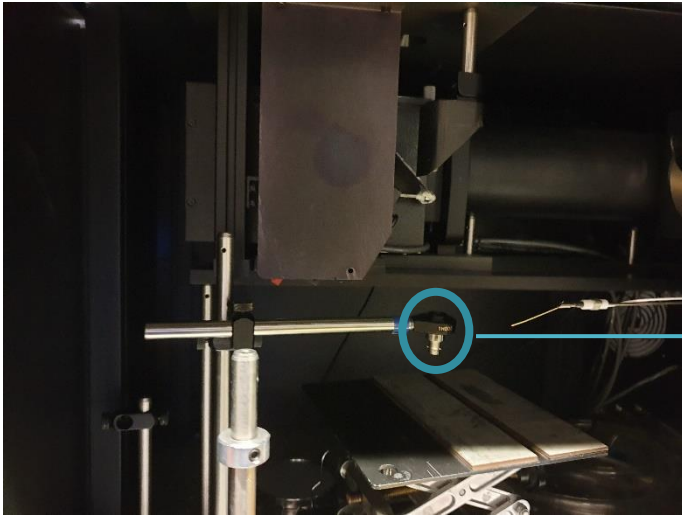


Il·lustració 37 Lloc de treball on realitzarem la pràctica

Procediments

En primer lloc, haurem d'encendre l'aparell que emet llum i esperar 15 minuts. Llavors, configurarem el sistema de manera que realitzi una primera mesura amb el fotodíode H1005. Utilitzarem un peu juntament amb una pinça perquè es quedi subjectat a una

certa altura. Seguidament encendrem un llum verd que indicarà on anirà a parar el feix de llum i situarem el fotodíode sota aquest.



Il·lustració 39 Part interna de la font de llum

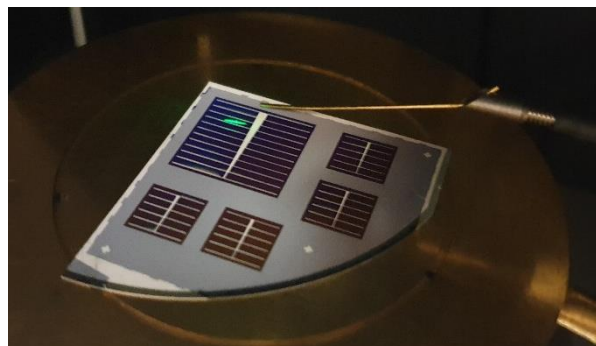


Il·lustració 38 Part superior del díode H1005

Un cop comprovem que surten mesures coherents amb la part teòrica, procedirem a col·locar la plaqueta metàl·lica juntament amb la cèl·lula fotovoltaica. De la mateixa manera que en la pràctica anterior, encendrem la bomba de buit per a establir el màxim de contacte i evitar que es moqui. Llavors posicionarem la cèl·lula fotovoltaica sota la llum verda, tenint en compte que arribi a la superfície del material semiconductor i no a les cintes de metall blanques.



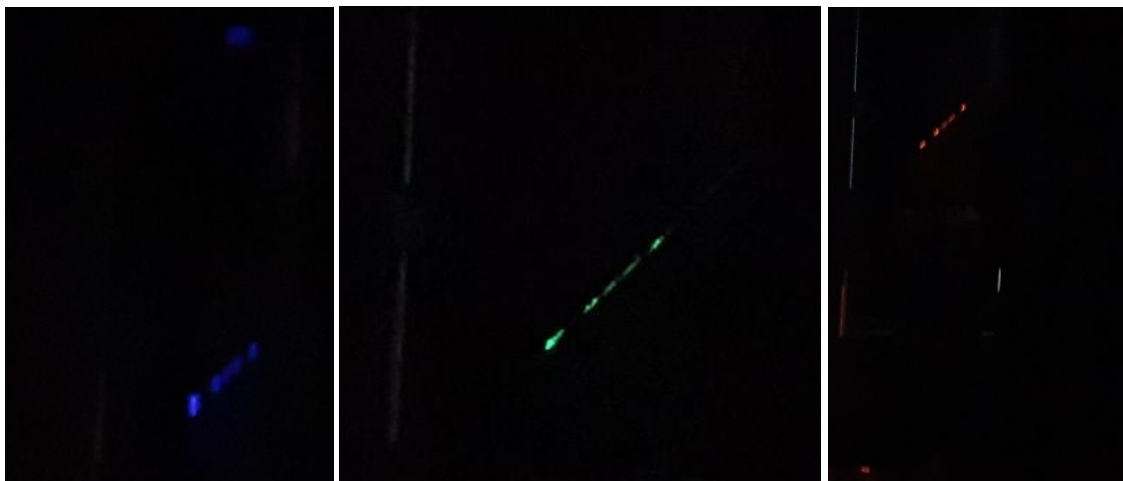
Il·lustració 41 Intentem posicionar la cèl·lula fotovoltaica sota la llum blanca



Il·lustració 40 Llum verda en la superfície del material semiconductor

Tal com podem observar, serà necessari col·locar un cable rígid en la cinta metàl·lica blanca del mig de la cèl·lula per així recol·lectar les dades necessàries.

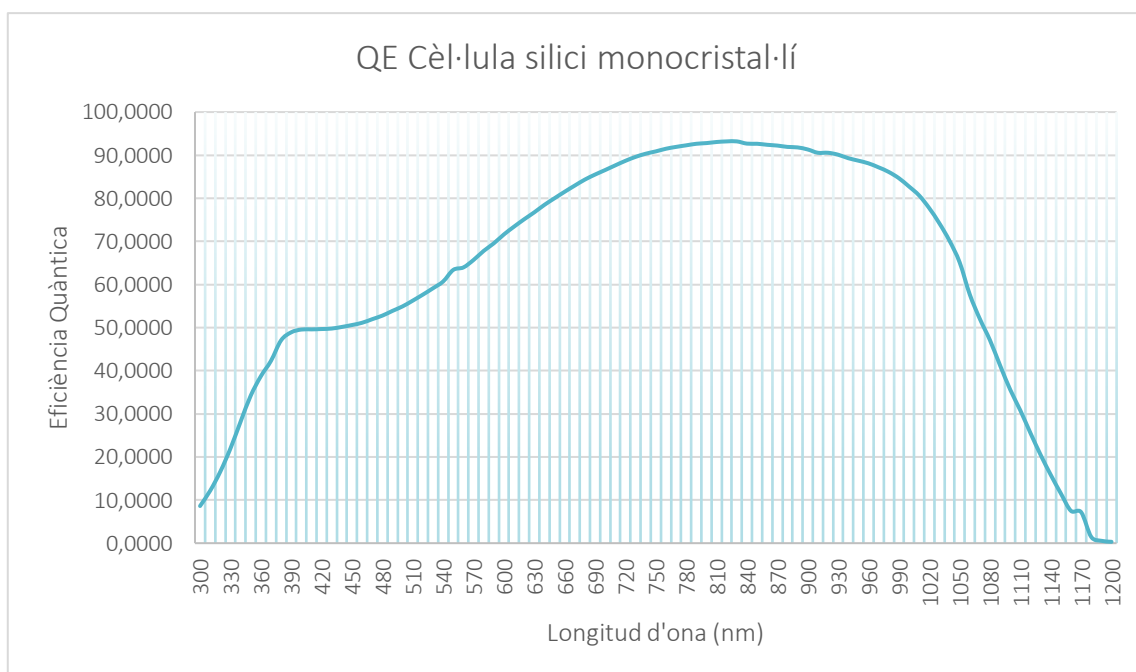
Un cop tot està a la seva respectiva posició, tancarem la caixa per evitar que entri llum externa i configurarem el programa de manera que envii fotons de 300nm a 1200nm i augmenti cada 10nm, tal com havíem fet amb el fotodíode de prova.



Il·lustració 44 Llum blava dels 460nm - 480nm aproximadament

Il·lustració 43 Llum verda dels 480nm - 580nm aproximadament

Il·lustració 42 Llum vermella dels 620nm - 780nm aproximadament



D'entrada, si ens hi fixem en els extrems laterals, són els punts on la cèl·lula fotovoltaica produeix menys corrent i que creix fins a longituds d'ona de 830nm i llavors disminueix.

En primer lloc, als 300nm té una eficiència inicial de 8,6205%. Aquest percentatge és entès com si de 100 fotons que envia la font de llum, surten 8,6205 electrons. A partir d'aquí, augmenta fins als 390nm que es manté gairebé lineal fins als 420nm amb una eficiència gairebé del 50%, i llavors torna a augmentar fins el seu punt màxim: 830nm amb una eficiència del 93,20%.

En segon lloc, disminueix fins a gairebé al 0% als 1190nm, seguint aquesta mateixa tendència fins als 1200nm, que és quan acaba la mesura.

Finalment, després de 151 segons que és el que ha trigat a realitzar la mesura completa, obtenim que l'energia necessària perquè un fotó xoqui contra un electró i el deixi lliure (sense cap unió amb l'àtom) és de 1,112eV.

Conclusió

Així doncs, podem concloure que una cèl·lula fotovoltaica de silici monocristal·lí de la Universitat Politècnica de Catalunya sense texturitzar té unes eficiències relativament baixes (menys d'un 50%) dels 300nm als 390nm i dels 1080nm fins als 1200nm.

Probablement, mesures inferiors als 300nm també tindrà unes eficiències inferiors encara que siguin fotons més energètics i mesures inferiors dels 1200nm cap endavant. Si recordem com era l'espectre de radiació solar, la llum que ens arriba és més o menys dels 300nm fins a aproximadament als 900nm. És a dir, que les longituds d'ona amb les que és més eficient, abasta més de les que arriben del Sol a la superfície de la Terra.

A més, el fet de determinar que l'energia necessària per a crear un mínim de corrent (1,112eV) serveix per a deduir quins fotons són capaços d'alliberar electrons i quins no. Si recordem la fórmula de l'energia d'un fotó, podem entendre el perquè als 1200nm té una eficiència tan baixa:

$$E = \frac{1,24\text{eV} \cdot \mu\text{m}}{\lambda(\mu\text{m})}$$

Longitud d'ona en micròmetres d'un foto d'una longitud d'ona de 1200nm:

$$1200\text{nm} \times \frac{10^{-3}\mu\text{m}}{1\text{nm}} = 1,2\mu\text{m}$$

I la seva energia seria:

$$E = \frac{1,24\text{eV} \cdot \mu\text{m}}{1,2\mu\text{m}} = 1,033\text{eV}$$

Per tant, la seva energia és més baixa de l'energia mínima per alliberar un electró. La única explicació que li puc donar és que aquest percentatge és una manera de simplificar què ocorre quan enviem aquests 100 fotons, i hi ha un concepte molt més avançat i no tinc les eines necessàries per entendre-ho.

17. PROCÉS DE CREACIÓ D'UNA CÈL·LULA FOTOVOLTAICA

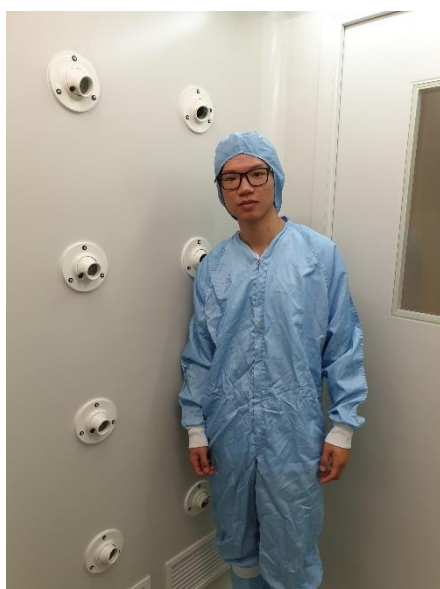
El procediment de fabricació d'una cèl·lula fotovoltaica segueix sent bastant complexa, sobretot si es fan manualment. Gràcies als avenços tecnològics, les indústries poden fabricar una gran quantitat d'aquests dispositius, mentre que en els centres de recerca ho fan utilitzant eines molt sofisticades, però manualment. Per tant, hi ha una gran diferència de producció. Des de la meua experiència, he tingut la oportunitat de visitar les instal·lacions de la UPC, concretament la Sala Blanca.

17.1 SALA BLANCA

Essencialment, una sala blanca és un lloc dissenyat per a fer recerques sobre dispositius electrònics seguint uns protocols de neteja extrems.

En primer lloc, per entrar és necessari portar una granota, sabatilles i gorra de polièster ja que eviten deixar qualsevol tipus brutícia. Aquest procés de vestimenta és dins una sala amb bancs i penjadors per la roba.

Un cop vestits, la següent porta que trobem és una petita cambra de neteja amb tubs que disparen aire. Això serveix per treure la brutícia que es podria haver quedat en la roba. En aquest moment l'individu ha d'anar rotant sobre si mateix per a que l'aire arribi a tot arreu.



Il·lustració 46 En procés d'entrar a la Sala Blanca



Il·lustració 45 Sabatilles per entrar a la Sala Blanca

En segon lloc, dins la Sala Blanca trobem un passadís que porta a diferents cambres amb portes. Això disminueix la quantitat de pols i a més a més, hi ha un sistema de neteja a partir de fluxos d'aire que amunteguen tota la brutícia cap a les parets i estan sempre actius.



Il·lustració 47 Lloc on es controlen els diferents gasos que serveixen com a flux d'aire

D'aquestes sales hi ha, per exemple, una sala groga que no emet llum blava. Aquí es fabriquen components electrònics que són sensibles a la llum ultraviolada.



Il·lustració 48 Zones de neteja de la sala groga

Aleshores arribem on es creen les cèl·lules fotovoltaïques. El procés de fabricar-les és el següent:

1. Es compren els substrats de silici (s'anomenen oblees⁹).
2. Es netegen els substrats amb productes químics com àcid fluorhídric, per exemple, fins que la seva concentració d'impureses sigui gairebé 0.
3. Es col·loquen els sostrats de silici dins un forn, on per difusió s'incorporen impureses dins al silici. En una cara es difonen impureses

⁹ Les oblees de silici són les que acaben donant aquella forma particular de les cèl·lules.

de fòsfor i en l'altra cara impureses de bor. Aquestes capes de fòsfor i de bor actuaran como a contactes selectius.

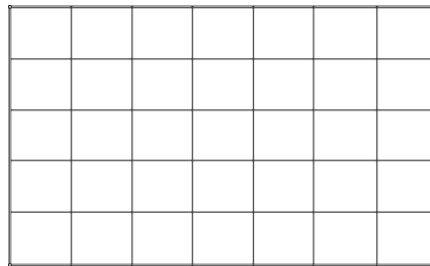


Il·lustració 49 Forns on es fonen els substrats de silici



Il·lustració 50 Equip per a dipositar capes fines de diferents materials

4. Es dipositen els elèctrodes metàl·lics. Sol utilitzar-se plata o alumini. Un dels contactes metàl·lics te forma d'una quadrícula (grid), de manera que permeti l'entrada de llum.

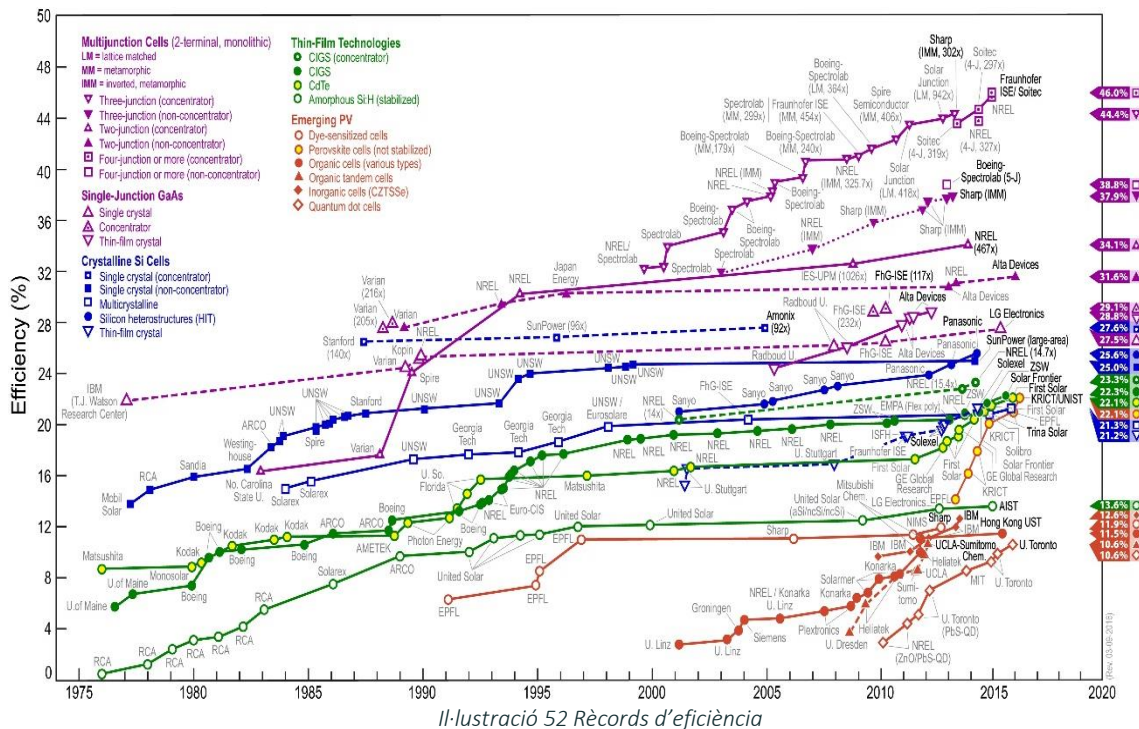


Il·lustració 51 Representació d'un grid

El procés per a fabricar una sola cèl·lula manualment pot arribar a ser de 30 dies.

18. RÈCORDS D'EFICIÈNCIA

Durant els darrers anys, s'ha iniciat competicions per a veure qui aconseguia obtenir la major eficiència en arreu del món tal com podem observar a la següent taula:



Cal destacar que als inicis de les cèl·lules fotovoltaïques convencionals (fets de silici) la seva eficiència era aproximadament d'un 13% i ha anat evolucionant fins a arribar a un 25,6%. Tot i que sembli que aconseguir convertir només una quarta part de l'energia solar en corrent elèctric, això ja és una gran innovació. Va ser llavors quan els diferents centres de recerca van començar a ajuntar diverses capes de materials semiconductors dopats de diferents maneres de manera que han pogut arribar a un 46%, que és l'actual rècord.

19. FACTORS QUE INTERVENEN EN EL RENDIMENT D'UNA PLACA FOTOVOLTAICA

19.1 FACTORS INTERNS

La temperatura: Tal com hem dit anteriorment, un dels factors que poden arribar a perjudicar el rendiment de la placa fotovoltaica és la temperatura interna. Això és degut al fet que com més temperatura, més ràpid xocaran entre ells els electrons. Aquests xocs provoquen una major resistència interna que crea que en comptes d'invertir tota l'energia externa en energia elèctrica, només un percentatge d'aquest serà convertida. Per norma general, a partir dels 25°C cada augment de 2°C redueix el rendiment de la placa 1%. Però tot això depèn del tipus de placa fotovoltaica (material semiconductor) i del sistema en si. És per això que hi ha un sistema de referència anomenat "coeficient de temperatura". Aquest ve donat per l'empresa per a tenir una referència de com actuarà les seves plaques solars.

La reflexió: El fenomen de la reflexió de la llum és un altre factor a tenir en compte, ja que aquest ocorre quan els rajos solars que arriben a la placa solar simplement xoquen i tornen a l'atmosfera o qualsevol altre lloc. De fet, una simple làmina de Silici és capaç de reflectir més d'un 30% de la llum que hi arriba. Això provoca que una part de l'energia es perdi i per evitar-ho, s'utilitza un recobriment d'un material dielèctric de manera que actua com un antireflectant. A més, hi ha altres tècniques com afegir rugositat a les textures del material semiconductor perquè augmenti la probabilitat que aquest torni a canviar la seva trajectòria cap al panell solar.

19.2 FACTORS EXTERNES

Per una altra banda, hi ha altres condicions naturals que disminueixen el rendiment de la placa fotovoltaica:

L'angle respecte el Sol: Depenent de la posició del Sol, la nostra posició a la Terra i de quina manera inclinem els panells solars, obtindrem un major voltatge o menor. En qualsevol angle obtindrem corrent, però on obtindrem una major intensitat de llum solar és aquella en la que inclinem la placa fotovoltaica just al Sol, és a dir, perpendicularment als rajos solars.

L'orientació geogràfica: Com s'ha observat anteriorment, el recorregut del Sol no és simplement un recorregut d'est a oest. Depenent de la latitud a la Terra i la posició de la

Terra a l'òrbita del Sol, el trajecte d'aquest variarà d'una forma o altra. En el nostre cas, el seu recorregut forma una paràbola d'est a oest amb una inclinació al sud. És per això que a les empreses es recomana fer les instal·lacions cap al sud geogràfic.

Les ombres: Tot tenint en compte que les ombres s'originen a causa de l'absència de llum, és important també tenir precaució d'evitar ombres arbitràries enmig de la instal·lació, ja que provoca malinterpretacions de voltatge i corrent. Això és degut al fet que quan un panell recollia energia de diferents maneres (no totes les cèl·lules treballen de la mateixa manera) fan malbé als components del sistema fotovoltaic.

20. DETERMINEM LA IMPORTÀNCIA DELS FACTORS QUE INTERVENEN EN EL RENDIMENT DE LA PLACA FOTOVOLTAICA

Introducció

Per a determinar la importància de cadascun dels factors que intervenen en el rendiment d'una placa fotovoltaica, construirem una màquina que ens ajudarà a mesurar el voltatge. Aquesta màquina consisteix bàsicament en unes plaques fotovoltaiques que giraran respecte al Sol.

20.1 CONSTRUCCIÓ D'UNA MÀQUINA

Metodologia

Construirem una maqueta de fusta que tindrà una base amb una zona de connexions a la part frontal. Allà es trobarà l'Arduino i tots els cables. Als laterals, hi haurà dues columnes que aguantaran una plataforma de fusta que girarà progressivament fins a 130° respecte a la superfície.

En aquesta plataforma, es col·locarà la placa fotovoltaica amb una altra placa de prototip. Aquí és on posicionarem un sensor de temperatura, un sensor de rajos ultraviolats i un LED. Això ens servirà per mesurar la temperatura ambient i els rajos ultraviolats que ens arriba.

Per a la mobilitat de la plataforma, utilitzarem un servomotor de pas a pas col·locat en una columna, i a l'altra banda un disc que ajudarà a fluir el moviment.

La rutina¹⁰ serà iniciada per un polsador soldat a la zona de connexions i ho sabrem gràcies al fet que el LED parpellejarà cada vegada que es mogui 1°. Tot això serà possible gràcies al software programat a continuació en l'Arduino¹¹. Aquest seria el resultat final:

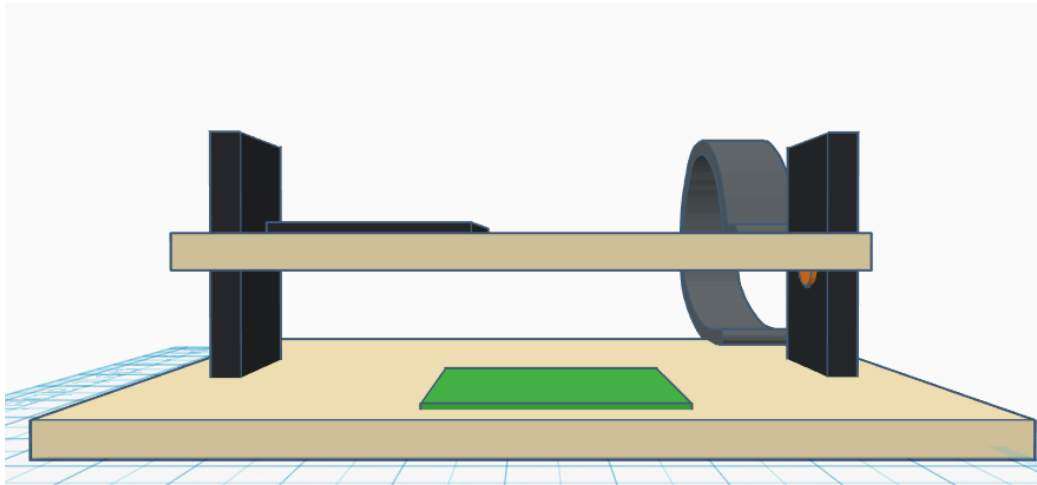


Il·lustració 53 Resultat final de la màquina

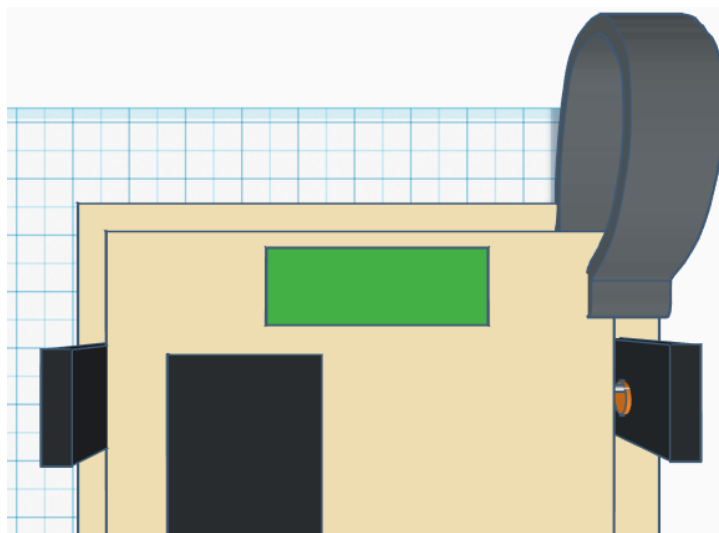
¹⁰ S'anomena rutina en informàtica a un algoritme que realitza un treball en específic.

¹¹ L'Arduino es una plataforma de creació de electrònica de codi obert basat en un software i hardware lliure.

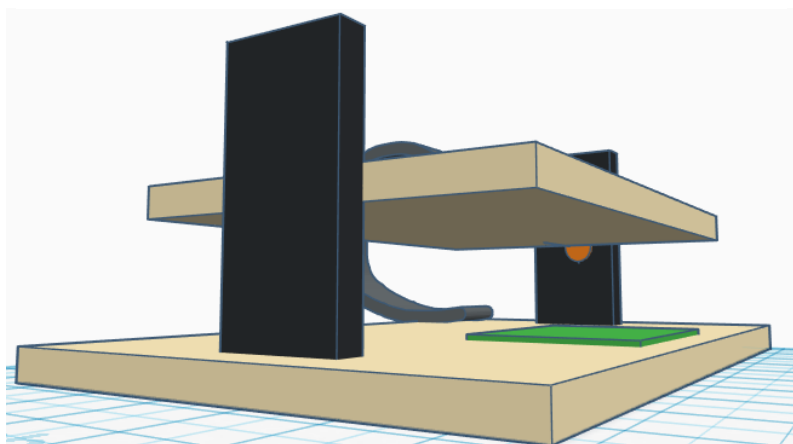
Finalment, donat que tot això és mou, haurem de tenir una clara distribució dels cables i les posicions de cada component per evitar que es faci malbé. És per això que abans de tot, farem un plànol per a tenir una idea de l'organització.



Il·lustració 54 Representació de la maqueta en format alçat



Il·lustració 55 Representació de la maqueta en format de planta



Il·lustració 56 Representació de la maqueta des d'un cantó esquerre

PLAQUES FOTOVOLTAIQUES

Materials



Fusta



Cargols



Cables



Estany



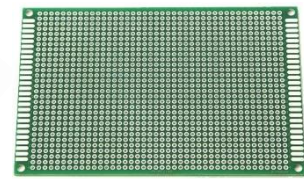
Pintura marfil



Arduino Genuino UNO



Brotxa



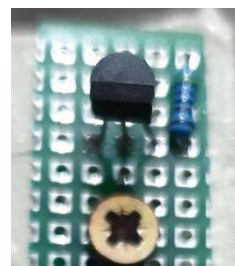
Placa de prototip



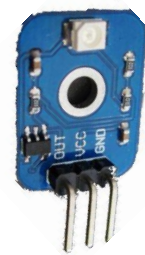
Resistència



Sensor de rajos UV
VEML6070



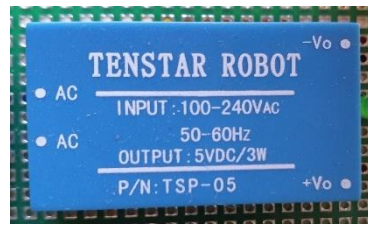
Sensor de temperatura
18b20



Sensor de rajos UV
GUVA-S12SD



Plaques solars



Font d'alimentació



LED



Pulsador



Servomotor

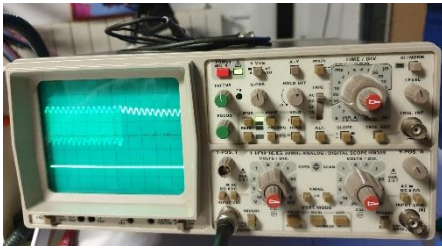


Pins de connexió



Tub de plàstic flexible

Eines



Oscil·loscopi



Ordinador



Voltímetre



Serra de disc gran



Serra de disc



Soldador



Pinces



Serra de calar



Sargent



Tornavís elèctric



Tornavís



Serra de calar

Programes



Excel



Arduino



TinkerCAD

Incís

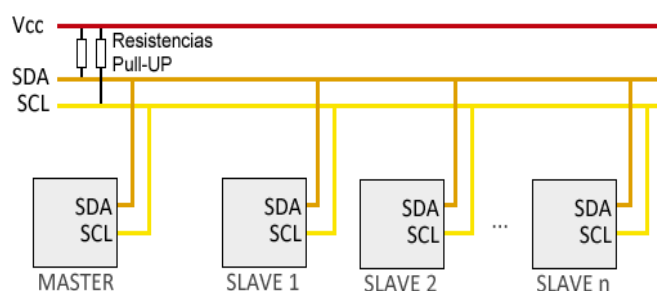
Per a entendre part del procediment, cal explicar breument com funcionen els components de la màquina i quin tipus de sistema de comunicació utilitzen.

Bus I²C

El bus I²C (Inter-Integrated Circuit) es basa en un sistema digital de comunicacions interna entre els dispositius. Es basa únicament en dos cables: un que serveix per organitzar els diferents senyals i la velocitat en què s'envien dels diferents dispositius anomenat rellotge o en anglès 'clock', i l'altre cable per a enviar el senyal amb resistències pull-up per evitar qualsevol tipus d'interferències.

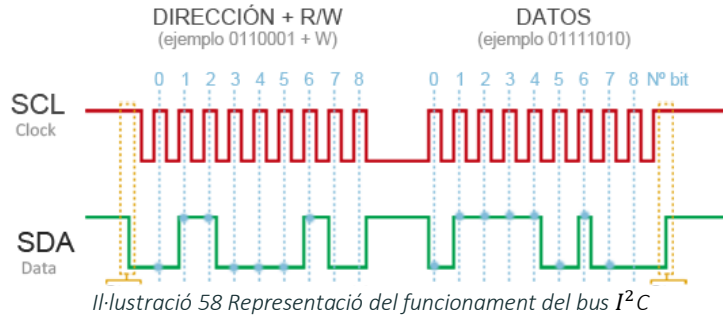
Els avantatges d'aquest sistema és la comunicació fiable de molts dispositius a l'hora, ja que verifica constantment que els senyals siguin enviats pels dispositius respectius, la necessitat de pocs cables i la seva estructura de mestre-esclau.

Aquesta estructura es basa en el fet que hi ha un dispositiu amb l'assignació de mestre (en el nostre cas l'Arduino) que és qui ordena quan rebre els senyals i de qui les ha de rebre. Assigna la velocitat del "clock" per tal d'organitzar i sincronitzar els senyals, i a partir d'aquest rellotge demana els senyals dels dispositius amb un ordre. Aquests dispositius s'anomenen els esclaus, ja que simplement fan allò que els hi demana el mestre i tenen assignats una direcció utilitzant 7 bits.



Il·lustració 57 Representació bus I²C
Font: Luis Llamas

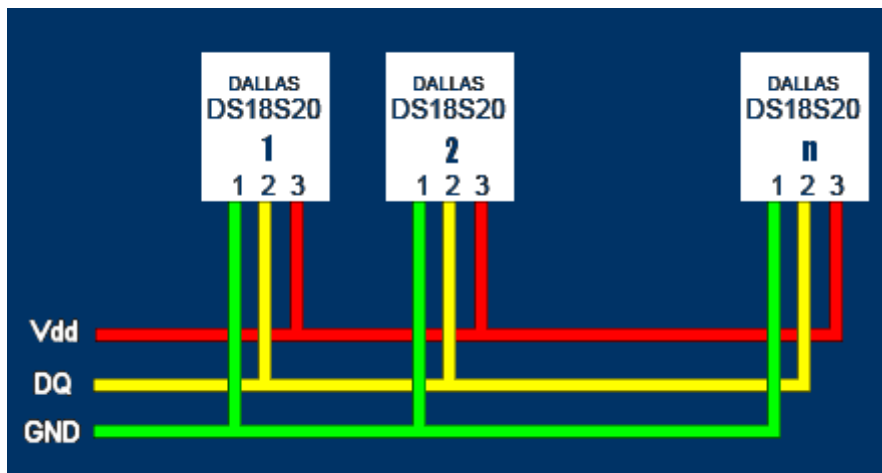
Quan el mestre es dirigeix a una direcció en concreta i única entre tots els dispositius, aquest primer envia 7 bits amb el dispositiu que es vol comunicar, un últim bit per indicar si es vol enviar o rebre informació i es valida la comunicació amb un altre bit. Per una altra banda, l'esclau enviarà els bits necessaris per enviar la informació i un últim bit per validar.



Bus 1-Wire

El bus 1-Wire es basa en un sistema digital de comunicacions semblant al del bus I²C. L'única diferència és que transmeten informació més baixa però amb un major abast. Serveix sobretot per comunicar amb diferents dispositius digitals petits com sensors de temperatura o qualsevol cosa que tingui a veure amb mesurar les condicions d'ambient. Per a comunicar-se, utilitza resistències pull-up de manera que cada baixada de tensió a 0 volts i depenent del temps que es mantingui voldrà dir una cosa o altra.

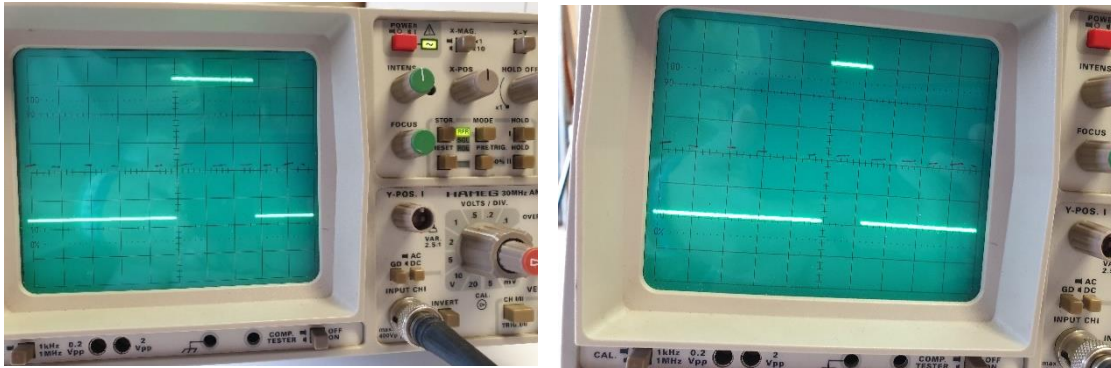
Per això, és necessari que tots els dispositius comparteixin el mateix cable negatiu o 'ground' (terra) per a la sincronització de dades i cada dispositiu té una adreça de 64 bits.



Il·lustració 59 Representació del 1-Wire
Font: jon00.me.uk

Servomotor

El servomotor és un motor pas a pas que bàsicament consisteix a canviar la seva posició depenent dels impulsos elèctrics. Per tant, converteix l'energia elèctrica adquirida en energia mecànica, que en aquest cas la converteix en una mena de rotació. Encara que no ho sembli degut a la seva mida, té bastanta força i és per això que ens interessa fer-lo servir, atès que pot mantenir-se fixe en una posició i mantenir-se estable.

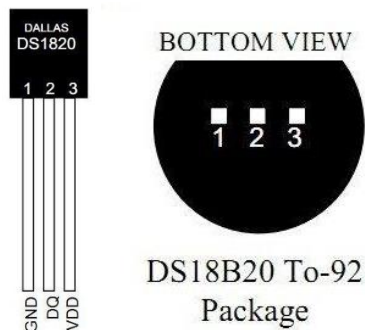


Il·lustració 60 Impulsos elèctrics en un oscil·loscopi

Tal com podem observar, la duració dels impulsos elèctrics varia depenent de la seva posició.

Sensor de temperatura DS18B20

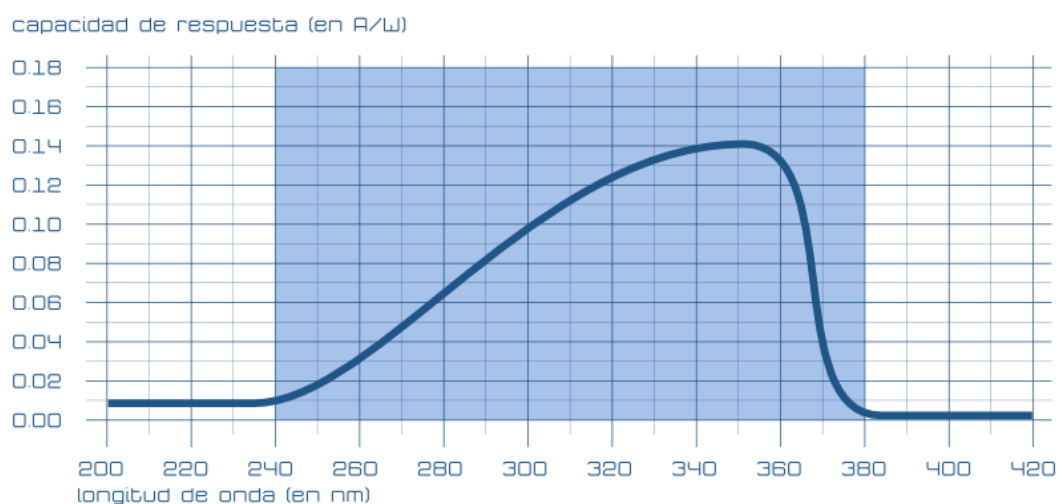
El sensor de temperatura DS18B20 és un dels sensors més precisos (té un marge d'error de 0,5°C) que podem trobar en el mercat de productes barats. Utilitza la tecnologia bus 1-Wire i té un marge de funcionament del 55°C fins als -55°C. Des de les indústries sempre ens indiquen quin són els pins respectius:



Il·lustració 61 Indicacions dels pins d'un sensor de temperatura

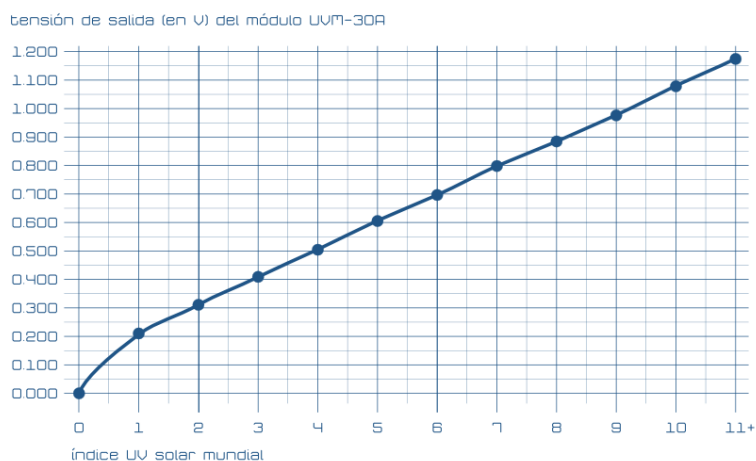
Sensor de rajos ultraviolats GUVA-S12SD

Un sensor de rajos ultraviolats consisteix en fotodíodes (dispositius sensibles a la llum) que mesuren la llum de certes longituds d'ona en comptes de la irradiació ultravioleta. En aquest cas, el sensor de rajos ultraviolats GUVA-S12SD mesura les següents longituds d'ona:



Font: polaridad.es

Com podem observar, és sensible a longituds d'ona de 240nm fins a 380nm i és capaç de produir una quantitat de voltatge. Per a la conversió d'aquesta quantitat de voltatge en un índex de rajos ultraviolats, des de les indústries ens donen la següent gràfica:



Si ens hi fixem, és gairebé una recta lineal que, dit d'una altra manera, per cada aproximadament 0,1 volts que aconseguim generar el sensor (tensió de sortida), correspon a un nivell d'índice de rajos ultraviolats excepte el primer nivell que són 0,2 volts.

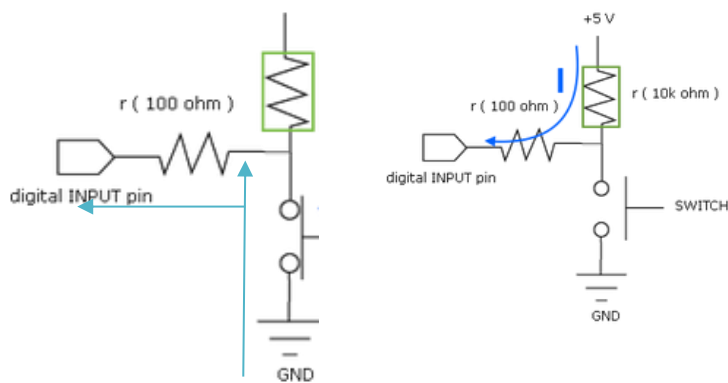
El problema que podem arribar a tenir és que el sensor utilitza connexions analògiques i només té un marge de 0 a entre 1,2 i 1,4 volts. Per tant, qualsevol tipus de factor extern com la calor o senyals electromagnètiques d'altres dispositius pot interferir en les connexions. A més, tenint en compte que si utilitzem un cable mínimament llarg, fa que augmenti encara més les possibilitats de captar senyals errònies.

Resistències pull-up i pull down

Hi haurà diferents sensors com és el cas del sensor de rajos ultraviolats GUVA-S12SD, del sensor de temperatura o fins i tot del polsador on necessitarem una resistència pull-up o una resistència pull-down, depenent del component. Aquests tipus de resistències són bàsicament unes resistències que fan un pont per a mantenir el voltatge alt (HIGH) o el voltatge baix (LOW) que és gairebé a 0. Bàsicament aquests serveixen per a evitar interferències que poden crear falsos estats dels components electrònics.

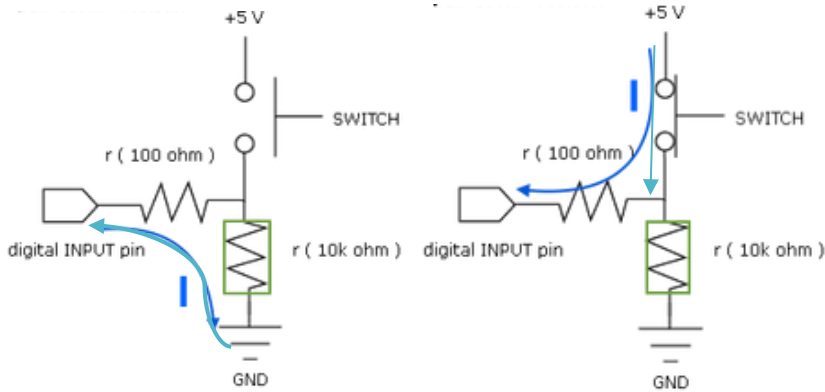
Resistència pull-up

Quan no prenem cap tipus de polsador, tota la corrent es dirigeix cap al pin digital, creant un estat de HIGH. En canvi, quan el prenem, creem un estat DOWN ja que es dirigeix cap al "GND".



Resistència pull-down

En canvi, en les resistències pull-down ocorre tot el contrari. Creem un estat constant de DOWN (0V), però quan prenem el pulsador aquest canvia al seu estat a HIGH.



En els dos casos, la resistència de 100Ω és simplement un afegit de l'esquema dependent del component electrònic.

Procediments

En primer lloc, procedirem a tallar un tros de fusta en diferents dimensions. Essencialment, necessitem quatre trossos: dos trossos iguals, la base i la plataforma. Per a això, utilitzarem: una cinta mètrica, una serra de disc i un serjant.

Donat que les plaques que utilitzarem seran de mida relativament petites, farem una plataforma de 30cm x 20cm. Com que aquesta plataforma girarà, haurem de deixar un marge d'altura per a que ho pugui fer.

Així doncs, les torres que l'aguanten mesuraran 15 cm d'altura. De manera que utilitzarem una base de mida 40cm x 25cm per a que sigui una superfície gran i r. Abans però, marcarem les superfícies anteriors en un tros de fusta, i ho tallarem amb una serra de disc. Per evitar que la fusta es mogui, utilitzarem un serjant a més d'un altre tros de fusta que farà el treball de guia per a la serra de disc i així realitzar talls rectes.



Il·lustració 62 En procés de tallar la fusta

Un cop obtingut els trossos de fusta, col·loquem les torres sobre la base de manera que quedin simètrics, i marquem quina superfície ocuparà. Llavors fem servir una serra de calar per a fer dos forats a cada banda on hi haurien les columnes en la base. Llavors posem la columna sobre la base de manera que quedi alineat amb la figura i aprofitant aquells forats, fem els mateixos a les columnes. Un cop finalitzat això, utilitzem dos cargols per a ajuntar-ho.



Il·lustració 63 Trossos de fusta tallats



Il·lustració 64 Forats en la fusta



Il·lustració 65 Primera columna enganxada

Seguidament, repetim el mateix procés amb el servomotor: marquem la superfície que ocuparà però en aquest cas a la columna, tenint en compte també de l'altura per a que la plataforma giri. Per això, el col·locarem a x altura i buidarem tota la superfície que ocupava utilitzant la serra de calar.



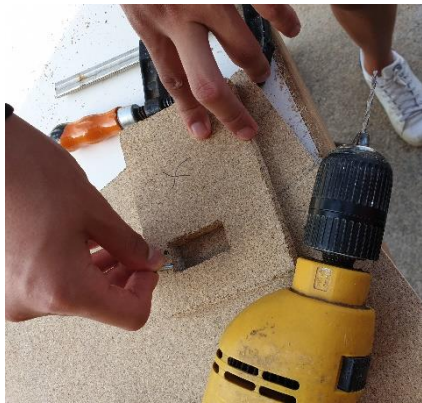
Il·lustració 66 Fent el forat per al servomotor

Com que el servo ja té uns marcs per a que s'enganxi una superfície, els aprofitarem per enganxar-lo a la paret. Primer marcarem els forats que haurem de foradar amb el tornavís, i llavors introduïrem els cargols.

Un cop el servo col·locat a la seva posició, posicionem la columna sobre la base amb els seus respectius cargols. Aleshores fem un forat amb el tornavís a l'altra torre de manera que sigui perpendicular a la caixa del servomotor. Aquest forat l'aprofitarem per ficar el disc per a que ajudi al servo a aguantar la plataforma i girar per l'altra banda.



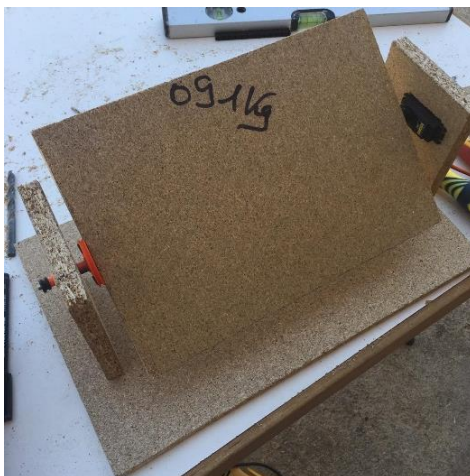
Il·lustració 68 Disc que flueix el moviment



Il·lustració 67 Col·locant el servomotor



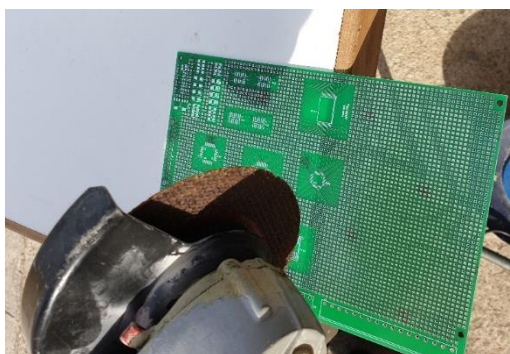
Finalment, aquest és el resultat un cop haver acabat la estructura.



Il·lustració 69 Estructura final

Així doncs, procedirem amb el muntatge d'una caixa de connexions on aniran a parar tots els cables que seran connectats amb l'Arduino utilitzant una placa de prototip. Afegirem una altra de dimensions mes petites però a la plataforma superior. Posicionarem allà dos sensors diferents: el sensor de temperatura i el sensor de rajos ultraviolats. Evitarem el malbaratament dels cables per possibles moviments de la plataforma amb un tub rígid enganxat amb brides que aniran a parar a la caixa de connexions. Utilitzarem dos cables grans (com els que tenim a casa) que dins continguin diferents cables per a facilitar les connexions a més a més d'una malla que ajudarà a evitar interferències. Això ens interessa sobretot per al sensor de rajos ultraviolats, que utilitza connexions analògiques.

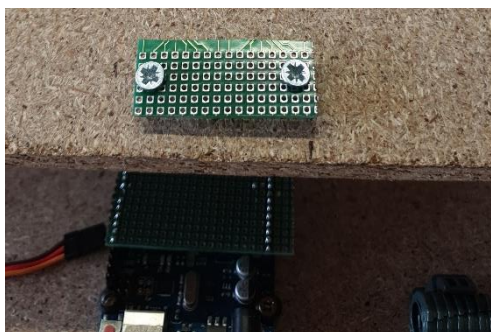
En segon lloc, tallarem dos trossos de plaques de prototip: un on hi soldarem els sensors i l'altre sobre l'Arduino per evitar connexions directes per si en algun moment es trenca, poder canviar-lo ràpidament.



Il·lustració 70 Tallant la placa de prototip

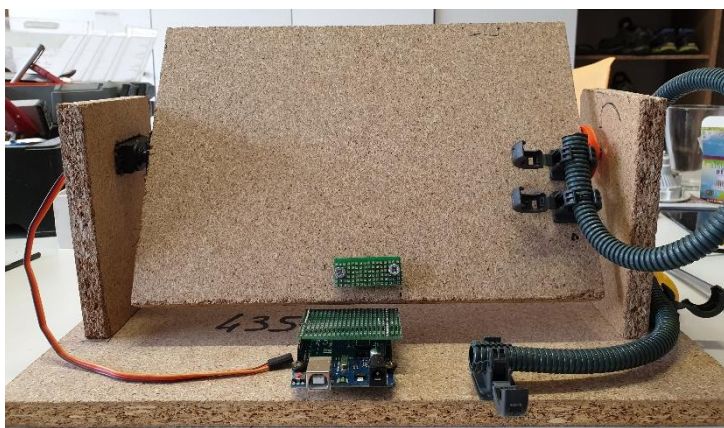
Per tant, un ha de ser més gran que l'altre. L'Arduino mesura aproximadament 6,5 cm x 5,5 cm. Així doncs tallarem un tros que mesuri una mica més de 7 cm x 6 cm i un altre rectangle petit d'aproximadament 4 cm x 2,5 cm.

Posicionarem el rectangle petit a la part superior de la plataforma i farem un forat utilitzant el tornavis elèctric a cada banda. Llavors l'enganxarem amb dos cargols.

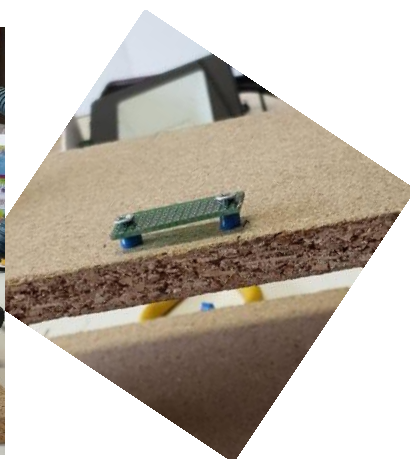


Il·lustració 71 Col·locant una placa de prototip

Per un altre costat, utilitzarem tires de pins connectats a totes les connexions d'Arduino i soldarem cada pin amb l'altra placa gran. Utilitzant uns forats que té l'Arduino, farem forats a la base i ho enganxarem de la mateixa manera que hem fet amb l'altra placa de prototip. Abans però, utilitzarem uns petits tubs de plàstic com a separadors per evitar que les connexions es toquin amb la fusta.

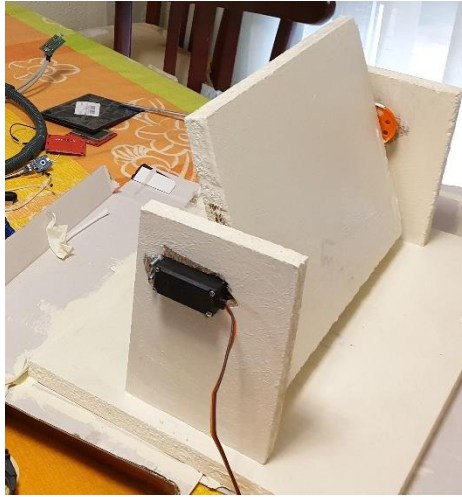


Il·lustració 72 Plaques de prototip col·locades



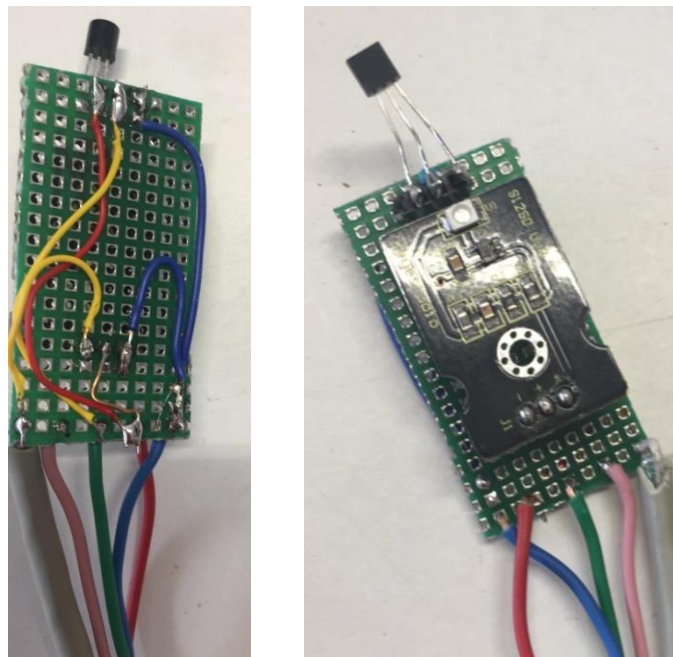
Il·lustració 73 Placa de prototip amb els separadors

Per acabar-ho d'adobar, acolorirem amb pintura marfil fent-ne dues capes. Això ens servirà simplement per a que quedi bé estèticament. Per a això haurem de treure tot el que teníem i un cop acabat, tornar-ho a col·locar.



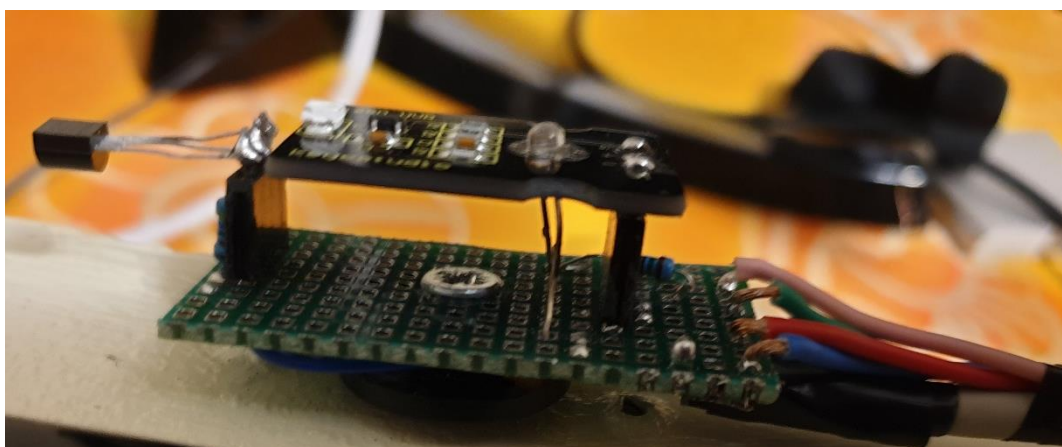
Il·lustració 74 Maqueta pintada

A continuació, connectarem els sensors de rajos ultraviolats i el de sensor de temperatura però utilitzant una altra placa de prototip més gran ja que no tindríem espai. Així doncs, hem de soldar els seus respectius cables. Cal recalcar que utilitzarem una resistència pull-up de $4k7\Omega$ tal com indica el fabricant i utilitzarem els mateixos cables d'alimentació i el que es dirigeix al negatiu o GND (ground). Aquests dos cables sempre seran del mateix color quan tenen el mateix ús: vermell si és positiu i blau si és negatiu.



Il·lustració 75 Circuit del sensor de temperatura

Si ens hi fixem, en el sensor de rajos ultraviolats hi ha un petit forat enmig. L'aprofitarem per a introduir el LED dins aquest forat amb una resistència per a evitar una sobrecàrrega.



Il·lustració 76 Circuit dels sensors

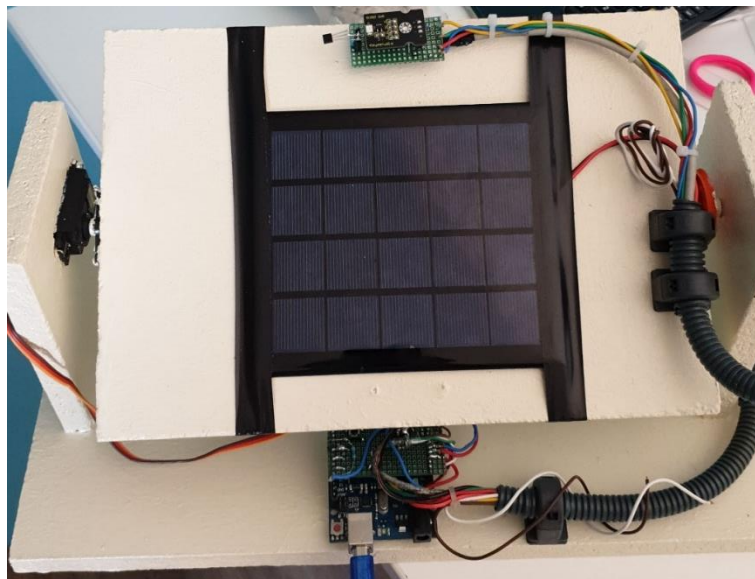
Pel que fa a les connexions de sota, simplement hi haurà un pulsador amb una resistència pull-down. Per a evitar sobreescalfar els components, soldarem amb estany cada component amb el seu respectiu programa. Un cop comprovem que el component funciona correctament i està ben soldat, procedirem amb el segon component i així successivament fins al servomotor. La raó d'això és que tenim els mateixos components per si algun s'espantia durant aquest procés i només caldria un recanvi, però no tenim un altre servomotor. En el cas de que s'espantés, hauríem de comprar un altre i en els mercats de components electrònics barats, solen trigar entre dues a quatre setmanes. Per això, utilitzem un servomotor amb un cable amb pins femelles que era inclòs. Això ens serveix per utilitzar pins mascles doblegat en forma de 'L' soldats a la placa i simplement connectar el servomotor ajuntant-ho sense necessitat de soldar.

Per a evitar tot de cables desordenats, els cables sempre aniran per sobre de la placa i es connectarà a la seva respectiva entrada per sota amb una soldadura per a que mantingui una posició rígida sota la placa i una altra per connectar amb el pin corresponent.

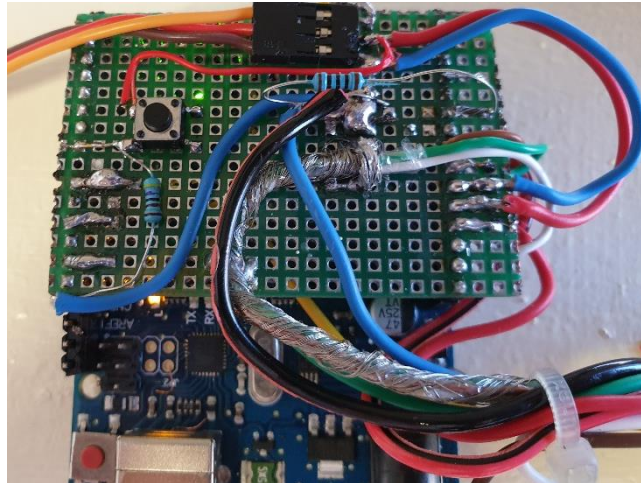
Altrament, els components que utilitzen una connexió digital són: sensor de temperatura, servomotor, el pulsador i el LED. Així que utilitzarem els pins digitals D7, D8, D10 i D12. En canvi, els que utilitzen una connexió analògica són: plaques fotovoltaiques i el sensor de rajos ultraviolats i simplement utilitzarem l'entrada analògica A0 per a la placa fotovoltaica i l'A2 per al sensor.

Un cop confirmem que el programa funcioni correctament, farem un programa conjunt de manera que tot funcioni a la vegada. Per a això, ha d'haver-hi un component que mana per tots els altres per a demanar la informació en un temps determinat. És a dir, fins que no faci l'acció, els altres tampoc ho faran. Dit d'una altra manera, serà la variable independent, i els altres components la variable dependent: el servomotor. Aquest cada vegada que es mogui un grau, els altres enviaran allò que han mesurat. Però per a això, és necessari calibrar el servomotor al seu punt zero de manera que sigui perpendicular a la base ja que aquest està configurat de manera que el seu punt zero ja ve predeterminat. En el nostre cas, configurarem en el software que la posició inicial sigui quan el servo està en 10°.

És aleshores quan introduïm la placa fotovoltaica que serà posicionat sota els sensors (enganxada amb cinta aïllant). Posarem quatre cables (dos positius i dos negatius) per si a un futur volem col·locar una altra placa fotovoltaica.



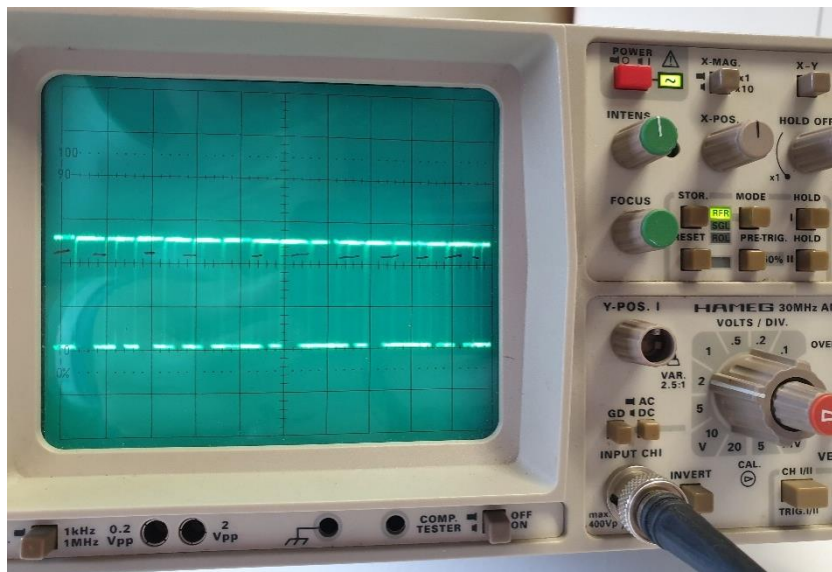
Il·lustració 77 Màquina amb la seva placa fotovoltaica



Il·lustració 78 Circuit de la part inferior

Finalment, programarem un 'software' de manera que cada dada que analitzi sigui enviat a un Excel. Per a cada variable tindrà una columna, i es compondrà de 131 dades per variable. Això vol dir que en total el servomotor farà un gir de 131°.

Per evitar qualsevol tipus de mesura errònia (sobretot per part del servomotor ja que aquest es basa en impulsos elèctrics), comprovarem quina tensió arriba a l'Arduino utilitzant un oscil·loscopi.

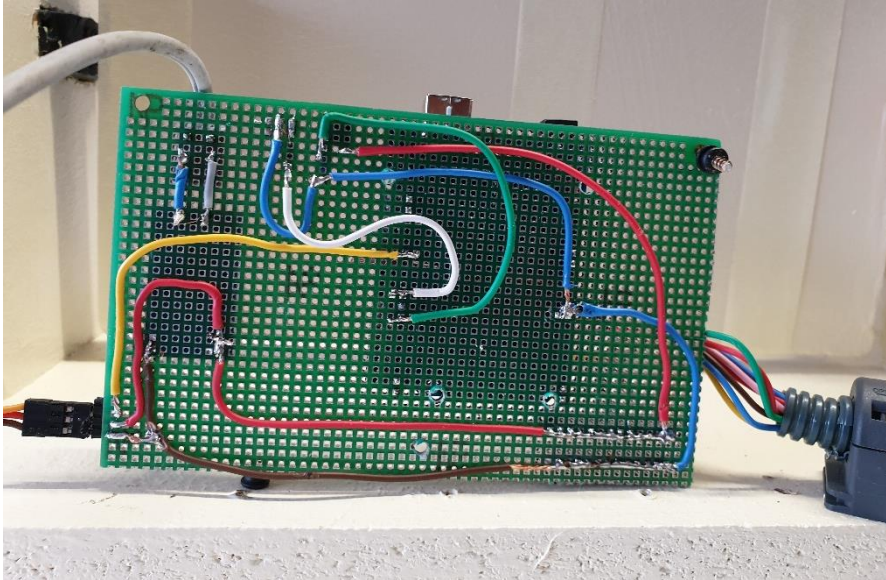


Il·lustració 79 Comprovant la tensió amb el oscil·loscopi

Si ens hi fixem, podem determinar que la corrent que hi arriba no és lineal, sinó que varia constantment. Com que ens basem en dispositius electrònics petits per a l'experimentació, el que ens interessa sobretot és evitar dades falses.

Per a fer-ho, ampliarem la base de connexions de l'Arduino atès que tots els cables estan molt junts i poden arribar a provocar un curt circuit en el cas de que s'ajuntessin per

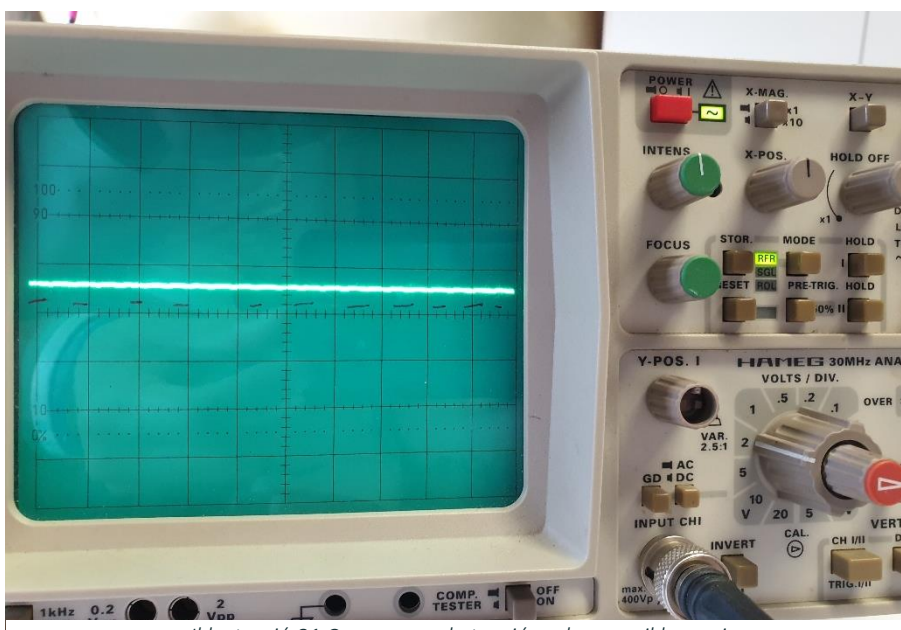
casualitat algun cable i afegirem una font d'alimentació. Aquesta font consistirà en un convertidor de 220V a 5V aproximadament. Bàsicament haurem de tornar a soldar els mateixos components de la mateixa manera a més de la font d'alimentació en una altra placa de prototip més gran.



Il·lustració 80 Part inferior del nou circuit

Des d'aquest punt de vista, podem veure tot el cablejat que hi ha sota la placa. En aquest cas, els cables vermells representen els cables positius, els blaus a més del marró els negatius i els que són d'altres colors funcionen com a pins digitals.

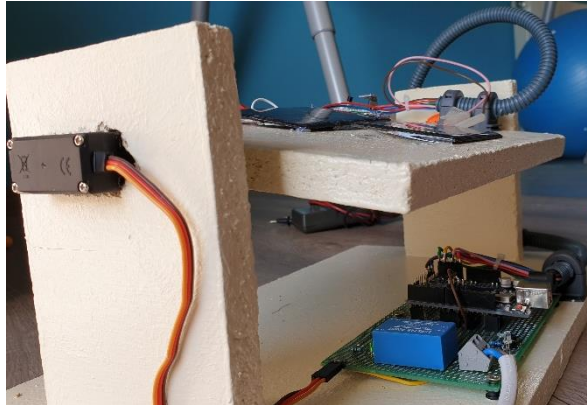
Per a comprovar si realment hem millorat l'estabilització del corrent, tornarem a utilitzar els oscil·loscopi.



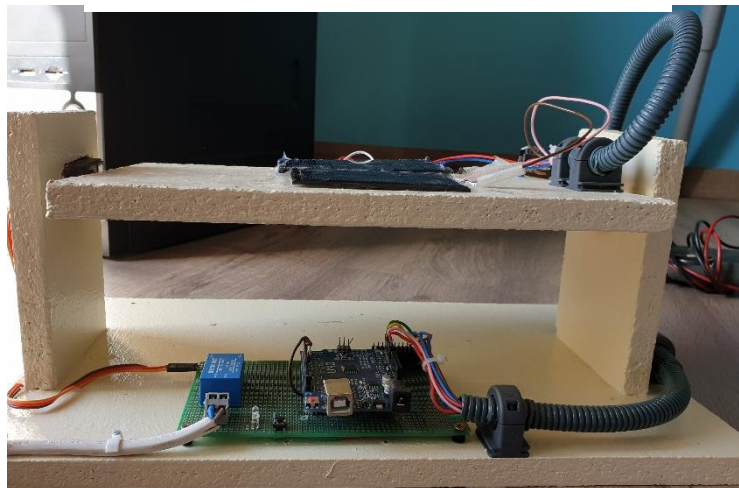
Il·lustració 81 Comprovem la tensió amb un oscil·loscopi

Aquesta vegada podem veure com la corrent és molt més lineal que l'anterior vegada. És a dir, que podem estar encara més segurs d'obtenir dades reals.

Per últim, canviarem el sensor de rajos ultraviolats i el canviarem pel VEML6070. Aquest utilitza la tecnologia bus 1²C i no sabem de la seva existència fins ara. Per tant, aquest és el resultat final de la màquina:

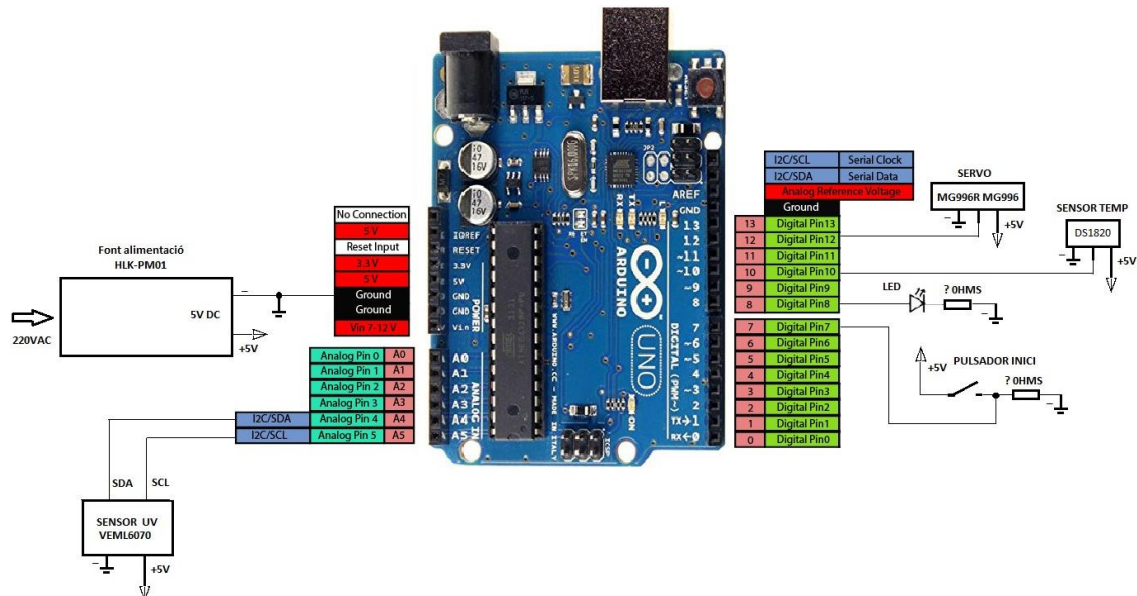


Il·lustració 82 Representació final des d'un cantó de la màquina



Il·lustració 83 Representació final des d'un punt de vista alçat

I el software juntament amb el circuit de la màquina:



```
#define DIRECCIO 0x38 // Primera direcció del VEML6070 0B0111000X
#define CONFIGURACIO 0B00000110 // Byte de configuració con TI=1T, ACK desctivado, SD desactivado
#define PASSOS_UVI 186.81818182 // Pasos devueltos por el VEML6070 con una resistencia RSET de 270

#include <Wire.h> //uv meter
#include <Servo.h> //llibreria que controla el servo
#include <OneWire.h> //llibreria per a utilitzar els cables one wire
#include <DallasTemperature.h> //llibreria que desxifra la temperatura
#include <movingAvg.h> //llibreria que fa una mitjana

OneWire ourWire(10); //Se establece el pin 2 como bus OneWire
DallasTemperature sensors(ourWire); //Se declara una variable u objeto para nuestro sensor
movingAvg avgTemp(10); // define the moving average object
movingAvg avguvTemp (10);
const int sensorPin_1 = A0; //placa fotovoltaica
const int sensorPin_2 = A2; //placa fotovoltaica
float voltspanel_1; //voltatge placa fotovoltaica
float voltspanel_2; //voltatge placa fotovoltaica
float tempambient; //temperatura ambient en la que treballem
int sensorValue; //valor de la placa fotovoltaica
int angleservo; //angle del servo
int led(8);
int valorpulsador;
const int pulsador = 7;
unsigned int lectura;
double IndexUv;
Servo motor;
void setup() {
motor.attach(12);
sensors.begin(); //Se inicia el sensor de temp
avgTemp.begin(); // initialize the moving average
avguvTemp.begin();
Serial.begin(9600);
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(CONFIGURACIO);
Wire.write(0B00000110); // Configuració base del VEML6070
Wire.endTransmission();
pinMode(led, OUTPUT);
pinMode(pulsador, INPUT);
}
void loop()
{
valorpulsador=digitalRead(pulsador);

if (valorpulsador == HIGH)
{
servo();
}
}

```



```

}

digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
delay(200); // wait for a second
digitalWrite(led, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
delay(50); // wait for a second
}
void servo ()
{
//varia la posicio de 0 a 180, con esperas de 15ms
for (int angle = 24; angle <=154; angle++)
{
digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
angleservo = angle - 24 ;
motor.write(angle);
delay(1000);
voltspanel_1=solarcell_1();
voltspanel_2=solarcell_2();
tempambient=llegirtemp();
IndexUv= solaruv();
digitalWrite(led, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
delay(100); // wait for a second

Serial.println( (String) "DATA,DATE,TIME," + angleservo + " ," + voltspanel_1 + "," + voltspanel_2 + "," + tempambient + "," + IndexUv );
}
}
float llegirtemp() //sub de sensor de temperatura
{
sensors.requestTemperatures(); //Se envia el comando para leer la temperatura
float temp= sensors.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C
float avg = avgTemp.reading(temp); // calculate the moving average
return temp;
}
float solaruv()
{
Wire.requestFrom(DIRECCIO,1); // Demana a la direcció I2C del VEML6070 l index Uv
delay (100); // delay per el VEML6070 entre demanar dada i lectura de la dada
lectura|=((unsigned int)Wire.read())<<0; // llegeix del VEML6070
delay (100); // delay per el VEML6070 per donar temps a les dades al bus I2C
return (lectura/PASSOS_UVI);
}
float solarcell_1()
{
float tmpvoltspanel_1;
sensorValue = analogRead(sensorPin_1);
tmpvoltspanel_1 = fmap(sensorValue, 0 , 1023, 0.0, 5.0); // cambiar escala a 0.0 - 5.0
return tmpvoltspanel_1;
}
float solarcell_2()
{
float tmpvoltspanel_2;
sensorValue = analogRead(sensorPin_2);
tmpvoltspanel_2 = fmap(sensorValue, 0 , 1023, 0.0, 5.0); // cambiar escala a 0.0 - 5.0
return tmpvoltspanel_2;
}
}
// cambio de escala entre floats
float fmap(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}
}

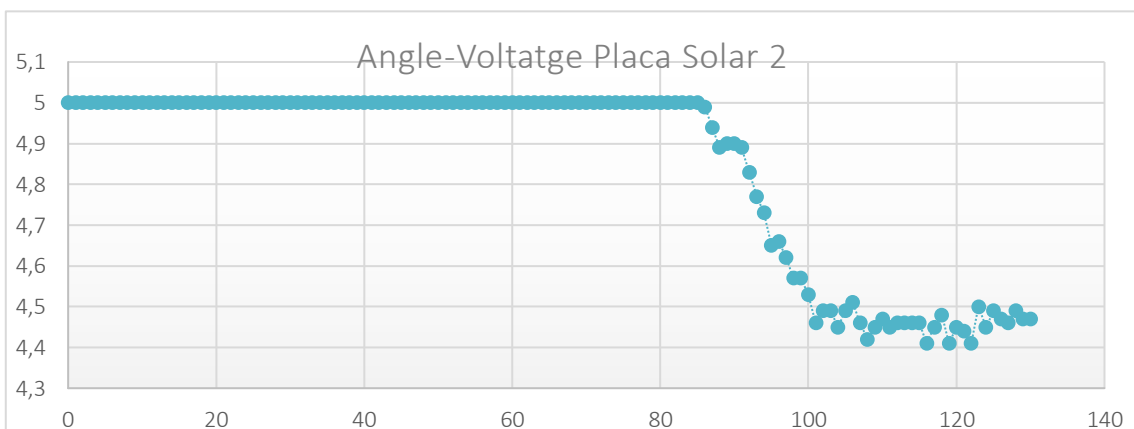
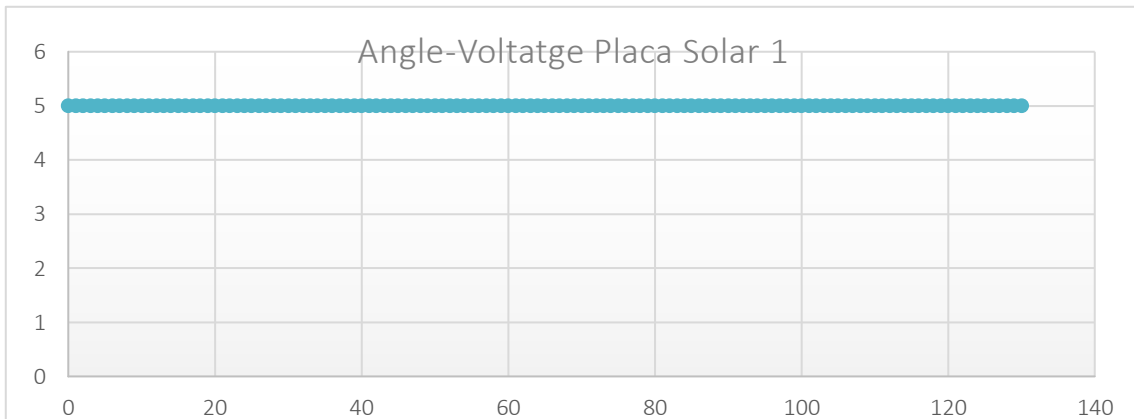
```

Un cop finalitzat, procedirem a realitzar les diferents pràctiques.

20.2 L'ANGLE RESPECTE EL SOL

Per a comprovar si la variació de l'angle respecte el Sol és un factor considerable, utilitzarem la màquina creada anteriorment. Aquesta pràctica consistirà en mesurar el voltatge obtingut depenent del grau respecte la superfície de la Terra.

Per a realitzar aquesta part pràctica, hem fet una mesura al Sol amb dues plaques fotovoltaïques de diferents mides. Abans però, hem fet una prova prèvia.

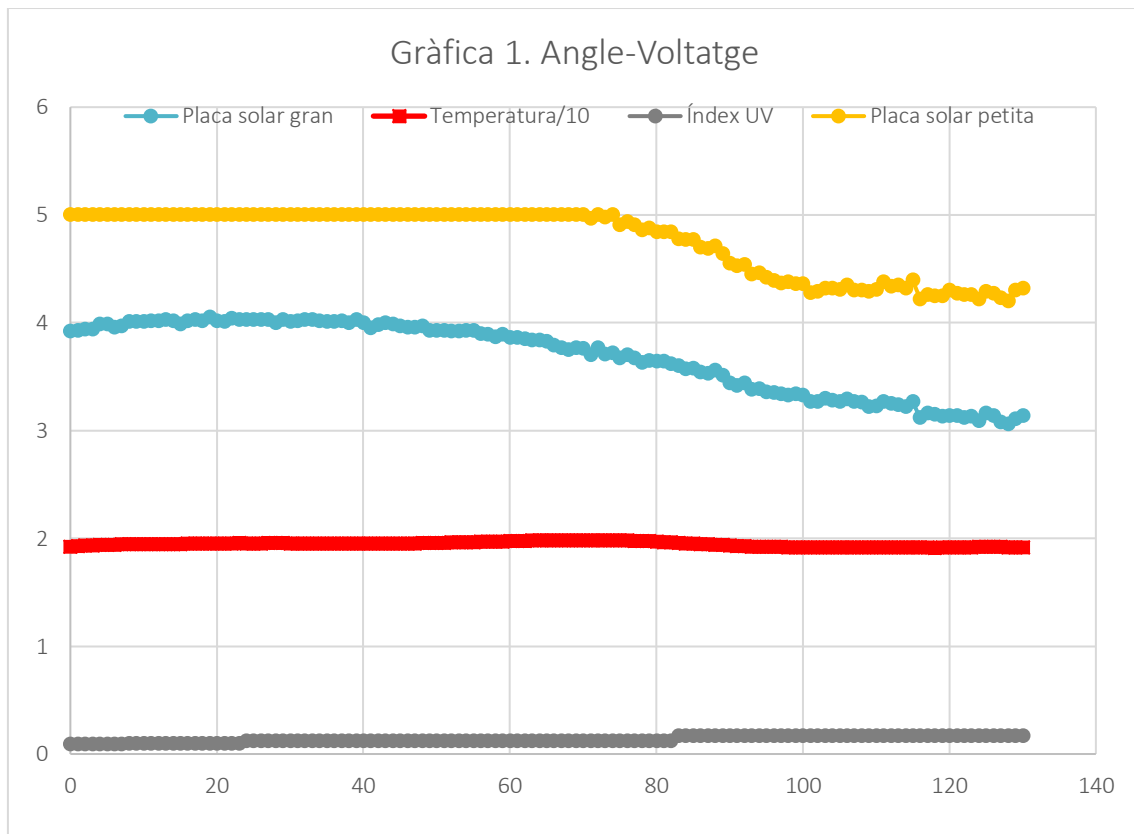


Com podem observar, la major part de la mesura es sobresatura el voltatge i no podem observar cap diferència en aquell punt. Per a observar-ne, hem decidit utilitzar la placa fotovoltaïca que es sobresatura durant tota la mesura (la més gran de 13cm x 11cm) tapant-ne la meitat amb un tros de cartó. Com hem explicat a l'estructura d'una placa fotovoltaïca, aquesta treballa amb cèl·lules connectades en sèrie i entre elles en paral·lel. Per tant, el voltatge no hauria de variar, però sí el rendiment en què ho fa, que seria la meitat. Així doncs, mesurarem des del primer moment en què surt el Sol fins al capvespre.

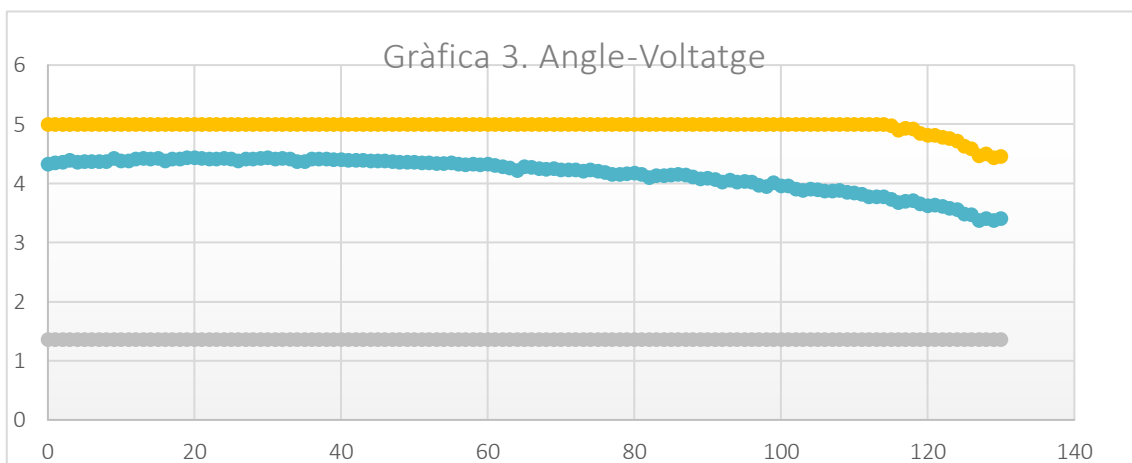
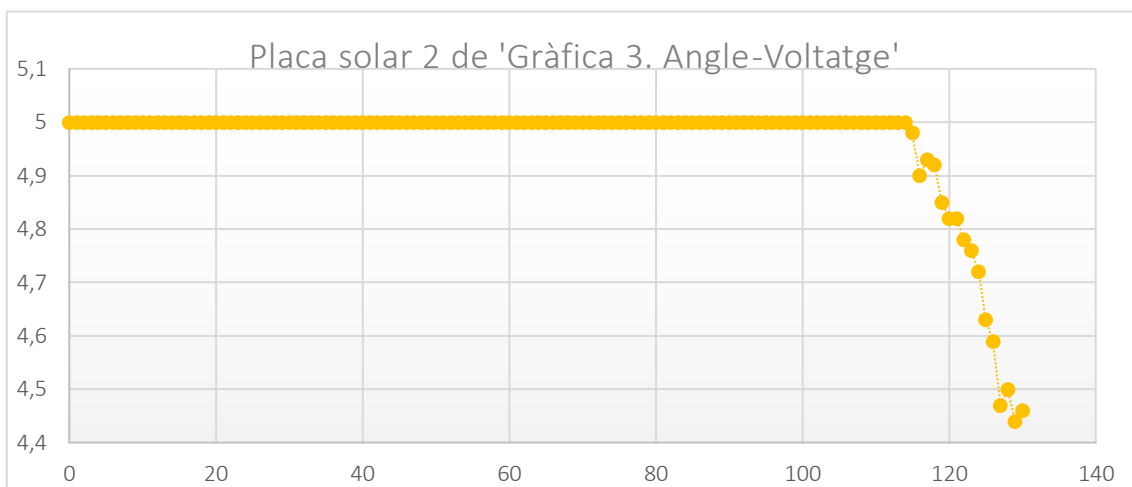
En primer lloc necessitem saber a quina hora surt depenent del dia que estiguem. En aquest cas, just l'últim dia d'agost (31 d'agost) el Sol surt a les 7:15 més o menys. A partir d'aquest moment, farem diferents mesures fins que es pongui, que és més o menys a les

20:30. Algunes gràfiques es trobaran a l'annex amb la seva nomenclatura respectiva per mencionar-la.

En la primera mesura (Gràfica 1) el seu punt màxim és entre els 19° i 22° respecte la superfície del terra i és entre 4,05V a 4,04V. El primer que podem observar és que les mesures de les dues plaques solars no són estables, sinó que sovint hi ha baixades de tensió. A més, la placa solar 1, que tenia mitja superfície tapada per un cartó, és molt més sensible que no pas la placa solar 2.



Per exemple, a la 'Gràfica3' hi ha una inestabilitat de la placa solar 2 dels 0° fins aproximadament als 40° i dels 60° fins als 130° i la placa solar 1 un cop comença a baixar la tensió a partir dels 115°, fa pujades de 4,85V a 4,92V per exemple.



D'igual manera, en la 'Gràfica 8', 'Gràfica 9', 'Gràfica 10', 'Gràfica 11' i 'Gràfica 12' presenten un voltatge no estable. Curiosament, a les tres gràfiques esmentades anteriorment són els punts on s'apropen a la major altura del Sol en aquell dia: 13:30. En aquesta hora, com hem explicat a l'apartat de 'EL NOSTRE SOL', és quan hi arriba la màxima irradiància.

En canvi, a les gràfiques 'Gràfica 11' i 'Gràfica 12' van ser mesurades sota condicions de núvols. En aquests punts podem veure com fins i tot la placa solar 1 ha arribat a desestabilitzar-se i una disminució important de voltatge a menys de 4V en la placa solar 2. A més, en la 'Gràfica 12' (mesurat al capvespre) la tensió de la placa solar 1 baixa encara més que la placa solar 2 i estan sota els 2V. Els seus punts màxims són on la superfície de

la placa fotovoltaica no és perpendicular a la llum directa. Això serà explicat seguidament a l'apartat de 'LA REFLEXIÓ'.

Conclusions

Encara que pel que fa a la placa solar 2, el problema pot ser el tipus de material que hem fet servir per disminuir el seu rendiment, que és un tros de cartó. Això vol dir que en algun moment la llum ha aconseguit entrar a la placa solar pels forats on no tapava el cartó ja que el celo no enganxava suficientment bé. Si ens hi fixem en les mesures restants, és molt més sensible que l'altra placa solar però igual de inestable.

Aquesta part pràctica podem concloure que en algunes hores determinades, les dades que rebíem de la placa fotovoltaica no és coherent ni podem arribar a donar cap sentit, com és el cas de la mesura a les 14:30. Això possiblement és pel fet de que el tros de cartró que hem utilitzat a la placa fotovoltaica no ha fet la seva funció. És a dir, hi haurien llocs on la cinta aïllant no feia tanta força i això provocava que hi hagués llocs on s'aixecava una mica i entrava la radiació solar.

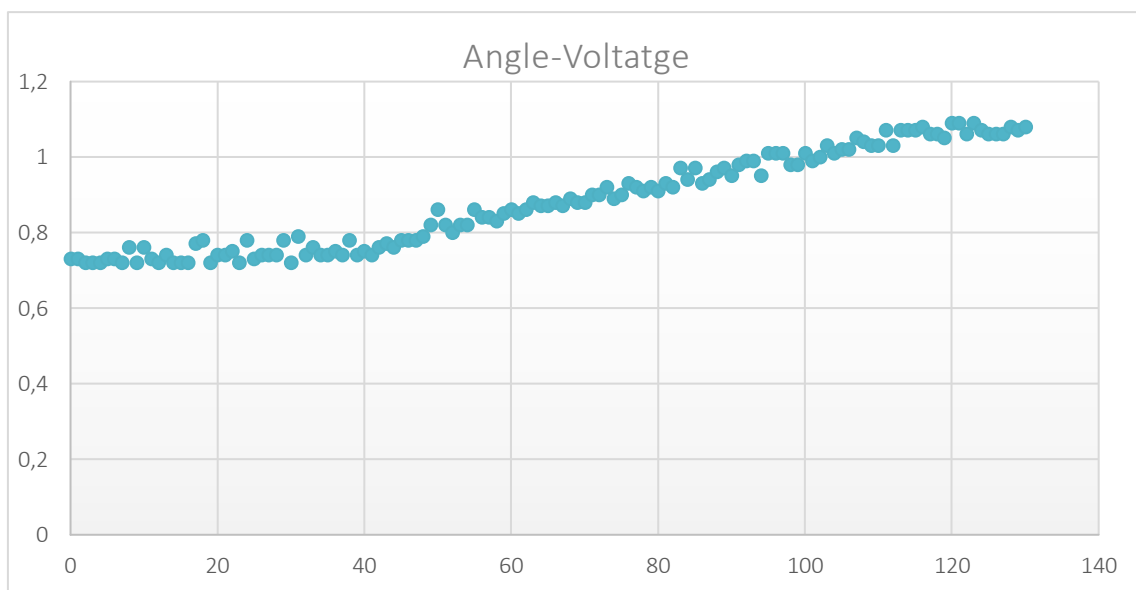
A més, no hi ha cap moment que hagi arribat al màxim voltatge. Això vol dir que no funciona com creiem o perquè hi ha alguna cèl·lula que no funciona.

Per tant, haurem de buscar una altra metodologia per a mesurar com varia el voltatge respecte l'angle treballant la placa solar sencera.

20.3 LA REFLEXIÓ

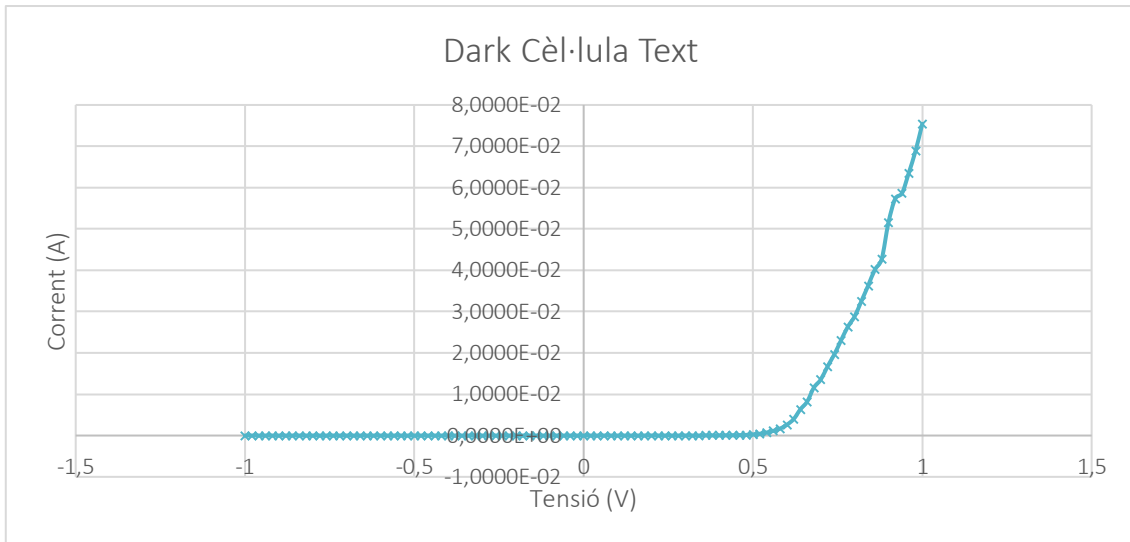
Per a determinar la importància del factor de les reflexions, ho farem de dues maneres. Per una banda, farem servir la mateixa metodologia que en la pràctica anterior on hem utilitzat la maqueta, però aquesta vegada realitzarem una mesura amb núvols.

En primer lloc, mesurarem el voltatge respecte de l'angle a les 19:15 al dia 15 d'agost amb unes condicions de núvols a punt de ploure. Com que aquesta hora és just una hora abans de que es pongui el Sol, haurem d'orientar la placa fotovoltaica cap a l'oest. Per tant, un cop tenim la placa fotovoltaica dirigida cap al Sol, premerem el polsador per a que comenci la rutina.



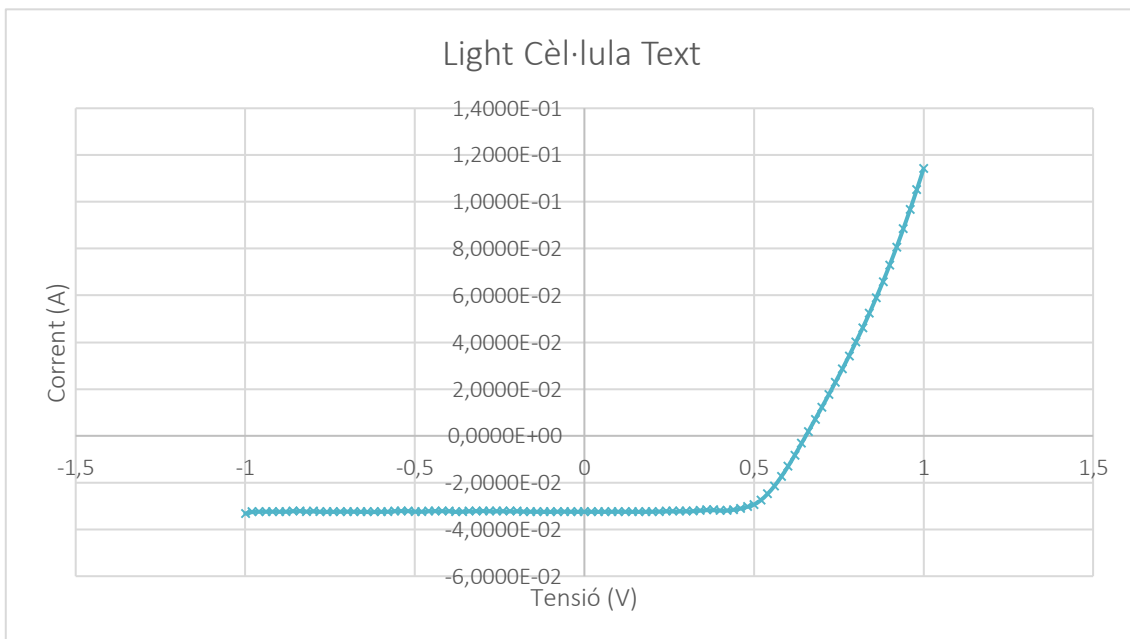
Com podem observar, el voltatge obtingut en els primers graus de mesura (aproximadament dels 0° fins als 41°) és inferior al voltatge mesurat en angles majors de 41°. A més, el màxim voltatge obtingut és de 1,09V i en la pràctica anterior es superaven els 4V fàcilment. Per una altra banda, realitzarem una prova I-V (la mateixa que al punt 14. CALCULEM L'EFICIÈNCIA D'UNA CÈL·LULA FOTOVOLTAICA DE SILICI MONOCRISTAL·LÍ DE LA UPC)

a més d'una mesura de la eficiència quàntica però aquesta vegada serà una cèl·lula texturitzada. Utilitzarem la mateixa metodologia de treball i els mateixos materials. Així doncs, començarem fent una mesura I-V.



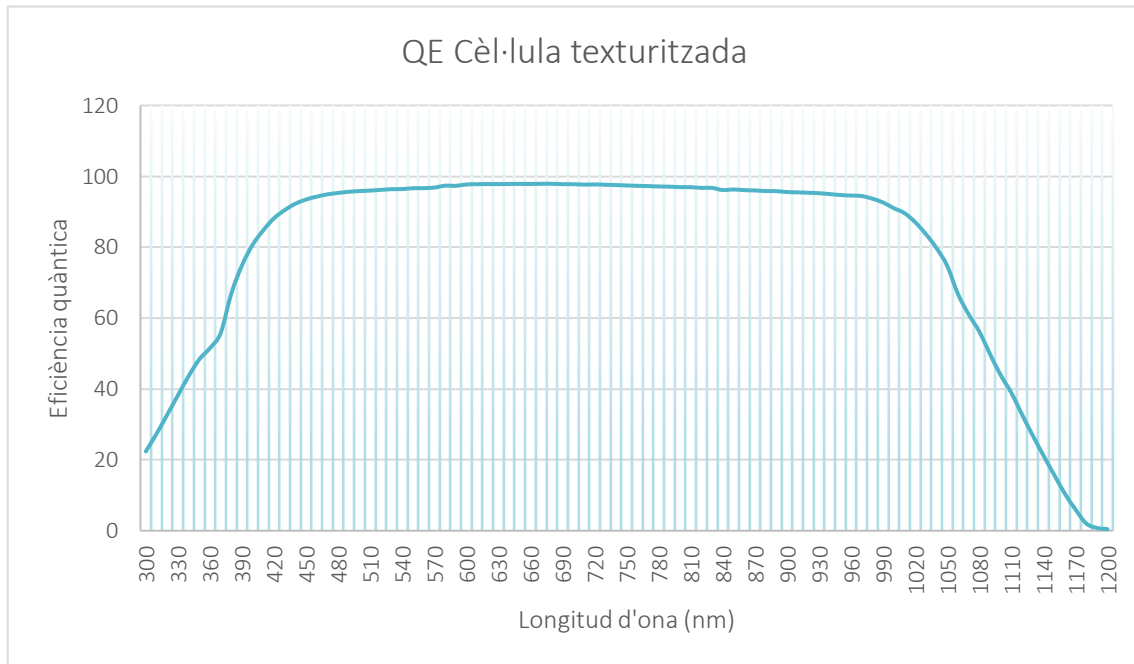
De la mateixa manera que en l'altra mesura I-V a les fosques es presentava tendència a una funció lineal de -1V a 0,5V i aleshores apareix un increment de corrent exponencial però amb dues mesures que es desvien quan s'aproxima als 1V.

Un cop ens assegurem d'haver realitzat una mesura correcta, procedirem a mesurar la cèl·lula fotovoltaica amb llum.



D'igual manera que la mesura sense llum s'assemblava a la mesura de la cèl·lula fotovoltaica monocristalina polida sense llum, també ho és aquesta amb la mesura amb llum. Aquesta vegada hem mesurat una intensitat de corrent màxima de 39,64mA, una eficiència de 16,16% i un voltatge màxim de 0,6042V.

Seguidament, utilitzant també la mateixa metodologia en la pràctica on mesurem l'eficiència quàntica d'una cèl·lula polida, ho farem amb una cèl·lula texturitzada. El resultat és el següent:



En aquesta mesura podem veure com dels aproximadament 600nm fins als 840nm gairebé arriba al 100% de l'eficiència quàntica. A més, la mesura s'inicia amb una eficiència de més del 20% i hi ha una disminució a partir dels 1000nm que passa d'una eficiència major del 90% a una eficiència de gairebé 0% als 1080nm.

Conclusió

En primer lloc, en el primer experiment on utilitzem la maqueta per a mesurar el voltatge sota els núvols, comprovem dues coses:

-Si els núvols són gotes d'aigua, aquestes impedeixen el pas directe de la llum solar a la placa fotovoltaica. És a dir, que probablement si en comptes de gotes d'aigua (matèria en estat líquida) hagués sigut amb partícules en estat sòlid, probablement també hagués disminuït el voltatge.

-Per una altra banda, el fet de que obtinguem un major voltatge en un angle superior de 90° vol dir que quan la placa fotovoltaica està orientada cap a l'altra banda, obté més voltatge que quan està orientada directament cap al Sol.

Les dues úniques explicacions que podem donar és, per un costat, com que hem realitzat la mesura en un balcó on l'orientació oposada al Sol hi havia una paret, possiblement hauria interferit quan la placa fotovoltaica havia arribat a un angle major de 90° , ja que en aquest moment seria orientada cap a la paret.

La manera en com crec que ha interferit és que quan el dispositiu solar té una orientació cap al oest (de 0° a 90°) arriba una quantitat de llum solar directe. En canvi, quan aquest és orientat cap a la paret, la llum que arriba a la paret, aquesta xoca i rebotja una altra vegada fins a arribar a la placa solar. És a dir, tenint una superfície major d'una paret, podria arribar a concentrar una major quantitat de llum a la placa solar.

Per un altre costat, el fet que hi hagués núvols podria provocar que la llum que arriba directament a la placa solar del Sol, hagués de recórrer una major quantitat de volum de núvols, provocant així major pèrdues d'energia i pèrdues òptiques. En canvi, aquella llum que no arribaven al dispositiu, canviarien la seva trajectòria degut a la refracció i haurien de recórrer menys volum de núvols, arribant així a la placa fotovoltaica quan aquesta era a un angle major de 90° .

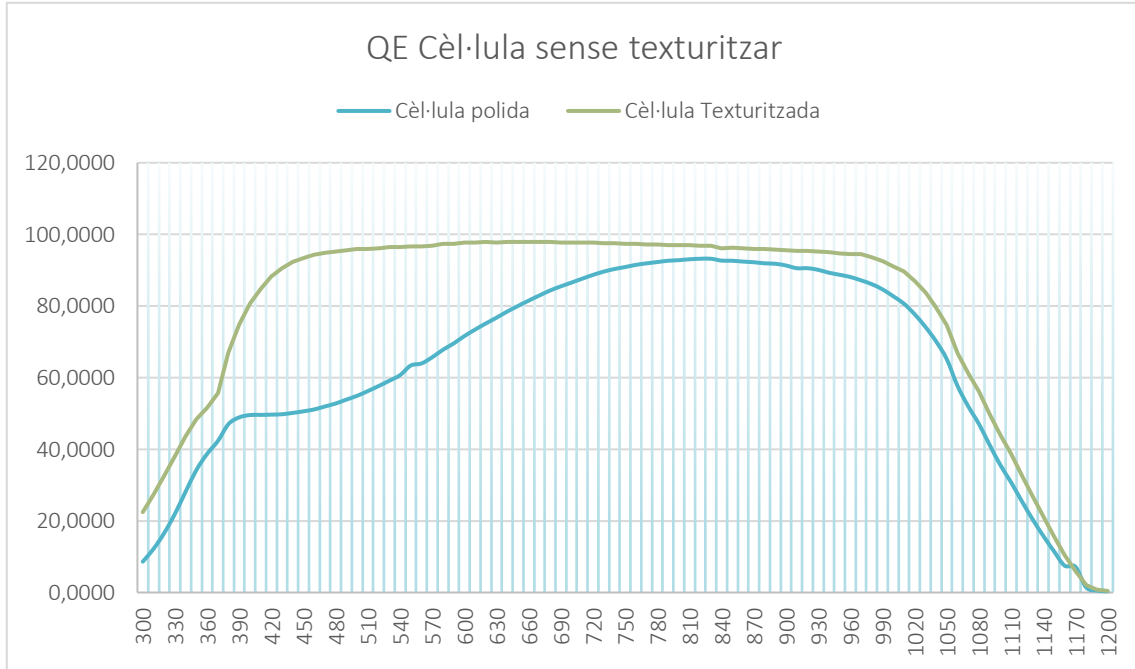
De fet, inclús podríem dir que aquestes dues maneres d'interferir, es podrien arribar a complementar.

En les altres mesures als laboratoris de la UPC utilitzant una cèl·lula fotovoltaica monocristal·lina texturitzada, podem comprovar, per una banda, com els paràmetres varien a més rendiment en la cèl·lula texturitzada. En aquest cas, obté un 1,47% més d'eficiència, 0,0488 menys de voltatge màxim i 7,14 més d'intensitat de corrent. És a dir, que amb una tensió menor, podem produir més corrent.

| | Polida | Texturitzada |
|------------------------|--------|--------------|
| Voltatge màxim (V) | 0,6530 | 0,6042 |
| Intensitat màxima (mA) | 32,50 | 39,64 |
| Eficiència | 14,69% | 16,16% |

Per una altra banda, l'eficiència quàntica es manté gran part gairebé al 100% de les diferents longituds d'ona. En la següent gràfica podem veure clarament la diferència de la eficiència quàntica entre una cèl·lula polida i una cèl·lula texturitzada.

Així doncs, podem concloure que la reflexió és un factor molt important a tenir en compte, que a més de variar el rendiment d'una placa fotovoltaica (com els núvols) també pot arribar a augmentar la seva eficiència. I és per això que s'estan portant a terme diverses investigacions sobre els diferents tipus de textures, com poden ser piràmides.



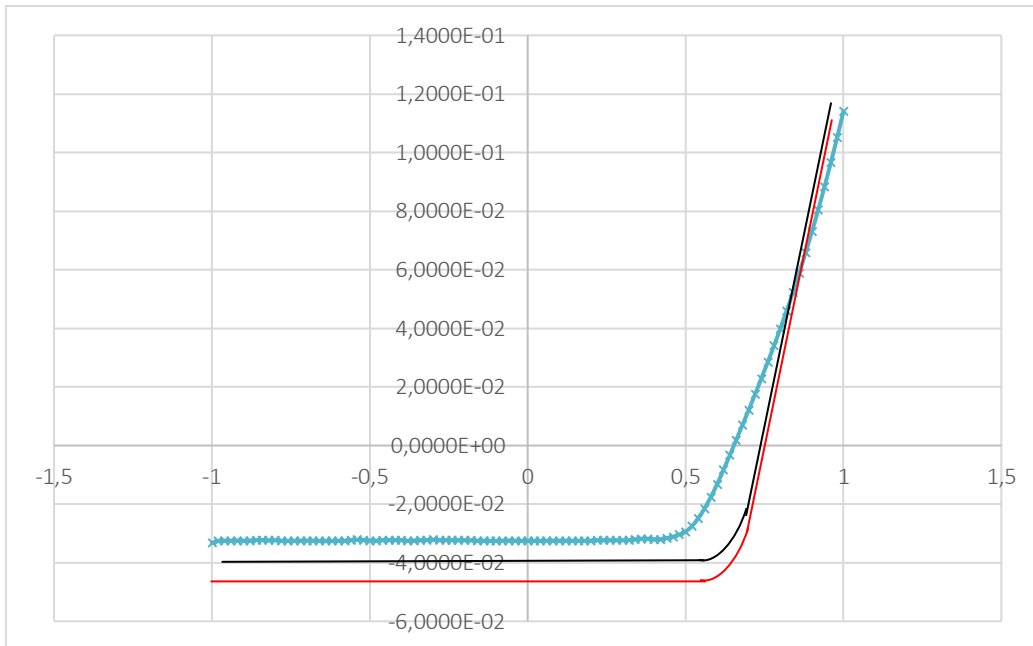
20.4 LA RECTA DE CÀRREGA

En les pràctiques anteriors hem vist com el voltatge no variava de manera lineal, sinó que ho feia de salt en salt. Si recordem la gràfica de les mesures I-V, quan hi ha una llum externa capaç de produir corrent elèctric, havia de superar una tensió i aleshores augmentava exponencialment. Doncs depenent de la irradiància solar, serà un tipus de gràfic diferent ja que haurà produït una major quantitat de corrent. Imaginem-nos en el hipotètic cas de fer una mesura I-V amb ¹²1000W/m², ¹³1200W/m² i ¹⁴1500W/m² i obtenim el següent gràfic:

¹² En la següent gràfica serà de color blau.

¹³ En la següent gràfica serà de color negre.

¹⁴ En la següent gràfica serà de color vermell-



En el hipotètic cas de que les línies vermelles i negres seguissin la mateixa forma que la blava, en l'inici de les rectes podem veure un espai en l'eix "y". Aquest espai ve determinat per la potència de la irradiància del Sol i és proporcional a la intensitat de corrent. En canvi, la tensió mesurada és quan toca l'eix "x" i si ens hi fixem, la distància que hi ha entre les rectes en l'eix "x" no és proporcional. És a dir, si poguéssim considerar la funció exponencial com una recta quan comença a augmentar exponencialment, aquestes tindrien una diferent ordenada d'origen.

Això ens serveix per anomenar a la intensitat obtinguda a la irradiància de $1000\text{W}/\text{m}^2$ amb la unitat de "Sol". Simplement és un factor de conversió per a simplificar les dades.

A més, per a obtenir millor les dades s'afegeix la recta de càrrega, que consisteix en una resistència per trobar el valor de la intensitat i tensió. A més, el que farem serà evitar que les plaques fotovoltaïques que utilitzem es sobresaturin en 5V, ja que a l'afegir una resistència, obstaculitzem el pas de la corrent i hauran de realitzar un esforç però petit. En canvi, en un corrent de circuit obert¹⁵ és com si tinguéssim una resistència molt elevada, i segons la llei d'Ohm, $V = R \cdot I$, amb un mateix corrent si augmentem la resistència serà més elevat aquest voltatge. Per tant, la nostra recta (recta de càrrega) és

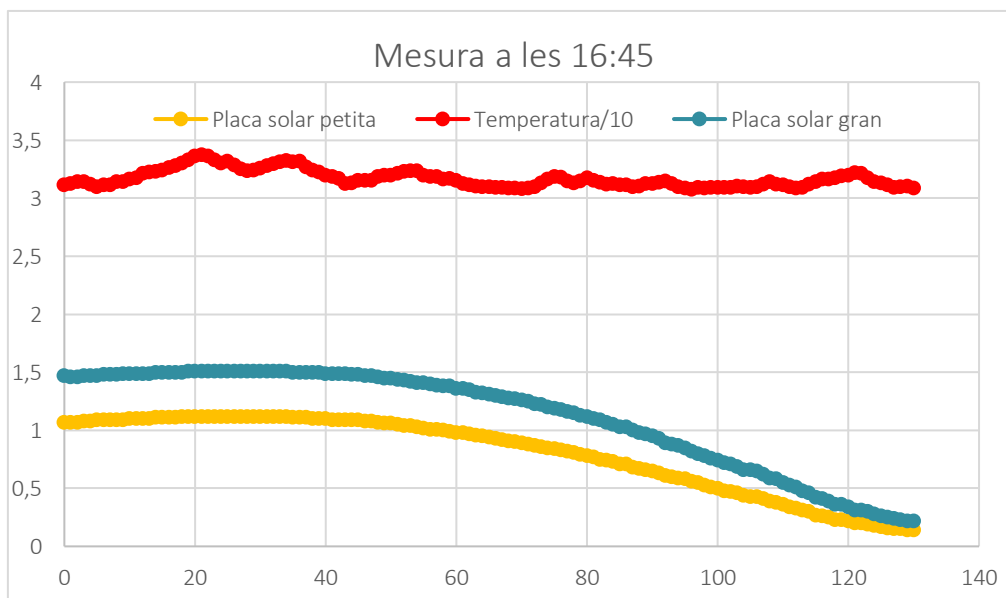
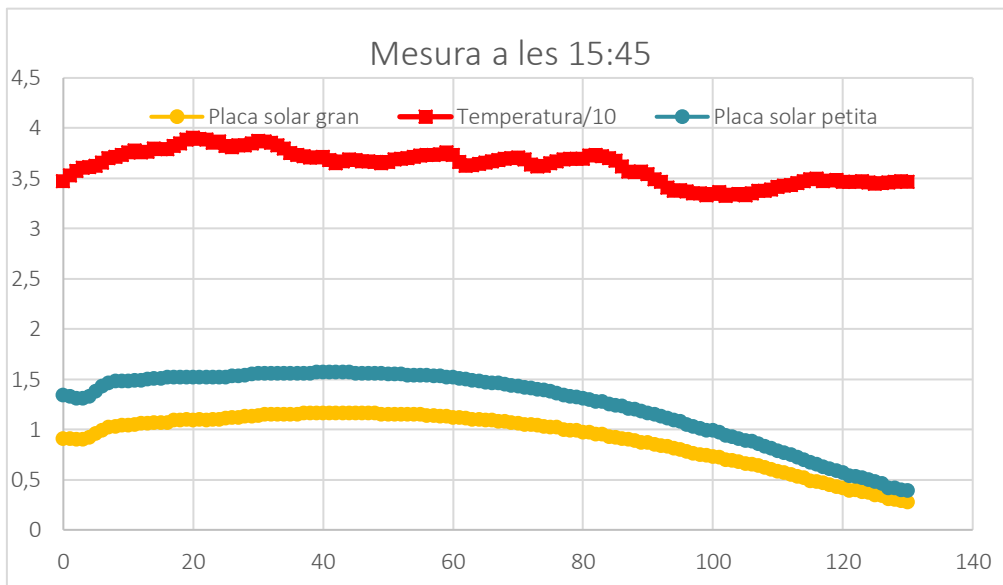
$$V \cdot \frac{1}{R} = I.$$

¹⁵ El corrent en circuit obert és un pas de circuit que no acaba en enlloc.

Per trobar els valors de intensitat i tensió, s'haurà d'utilitzar una resistència molt petita de manera que s'apropi al 0 per estar el més a prop de l'eix "x" ja que volem captar les dades quan la intensitat sigui 0. Així doncs, utilitzarem una resistència de 10Ω .

20.5 CONTINUACIÓ ANGLE RESPECTE EL SOL

Tornarem a realitzar la pràctica anterior però aquesta vegada amb una resistència de 10Ω . Com que les mesures no són del tot incorrectes, les utilitzarem per a tenir una idea de quin és el millor angle respecte el Sol en aquella hora. En les hores que faltaven, ja que va ploure, les hem mesurat tres dies després i els seus resultats són:



En primer lloc la diferència que hi ha és la baixada de tensió, però no ens ha de preocupar, ja que ens interessa quin és el millor angle respecte el Sol, no quin voltatge obtenim. A més, en aquestes mesures sempre podem utilitzar el corrent per comparar l'eficiència, que és proporcional a la irradiància solar.

Conclusió de tota la pràctica de l'angle respecte el Sol

En conclusió, en les últimes mesures sí que es nota la diferència d'estabilitat que ha donat la resistència de 10Ω. Així doncs, aquests són els resultats de les mesures a finals d'agost.

Cal recalcar que les mesures posades en la següent taula són obtingudes per la placa solar gran:

| Hora | Angle (°) | Voltatge (V) |
|-------|-----------|------------------------|
| 7:15 | 23 - 27 | 4,03 |
| 8:50 | 40 | 4,48 |
| 10:20 | 32 | 4,44 |
| 10:50 | 15 | 4,55 |
| 11:50 | 102 | 4,39 |
| 12:50 | 111 | 4,44 |
| 13:30 | 121 | 4,52 |
| 14:30 | 141 | 4,47 |
| 15:45 | 129 - 133 | 1,57 (amb resistència) |
| 16:45 | 149-161 | 1,51 (amb resistència) |
| 18:00 | 165-180 | 1,15 (amb resistència) |
| 20:30 | 174 | 1,65 |

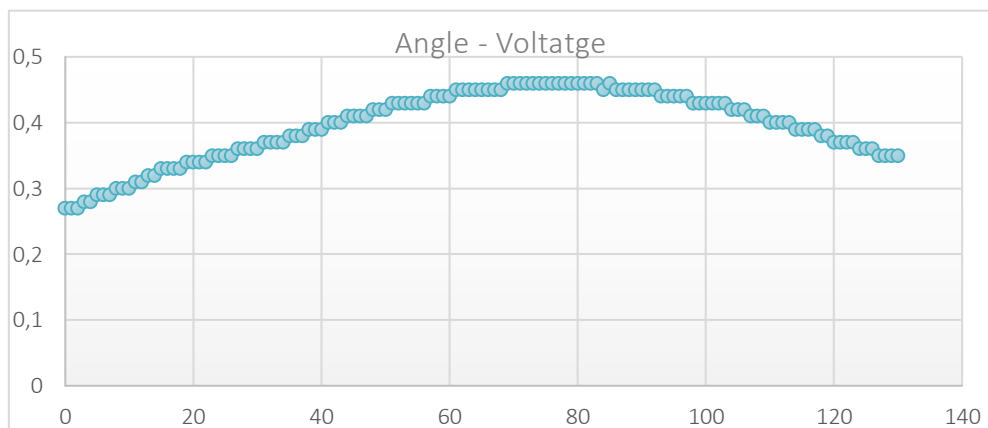
Per tant, aquests són els millors angles per posicionar les nostres plaques fotovoltaïques essent l'angle 0° amb una orientació a l'est, i els 180° acabant amb una orientació a l'oest. Per una altra banda, només són els millors angles en ple agost i principis d'octubre, ja que no tenim dades de com seria en altres mesos i a més, el Sol s'inclina diferent a mesura que passa el temps.

20.6 LES OMBRES

L'absència de llum vol dir que impedeix una llum directa a la placa fotovoltaica. Sembla que sigui un factor no gaire important, però s'ha de tenir en compte a l'hora d'utilitzar panells solars o fer una instal·lació, ja que qualsevol cosa com arbres, murs, nous edificis o fins i tot els núvols (com hem vist anteriorment), varien el seu rendiment.

Per a realitzar aquesta part pràctica, aprofitarem la maqueta anterior (aquesta vegada en una posició fixe) i comprovarem quant varia quan hi ha una ombra (en aquest cas núvols) sense la resistència de 10Ω .

Seguidament, procedirem a realitzar el mateix experiment com el que hem fet anteriorment per esbrinar quin és el millor angle per obtenir el major voltatge en una hora determinada però en condicions diferents. Aquest cas, aprofitarem un dia de pluja per veure quina és la diferència entre un dia solejat d'estiu amb un dia de pluja. Cal destacar que aquest experiment és realitzat el 10 de setembre a les 16:24.



Tal com podem observar a la gràfica, a mesura que augmentava un angle, el voltatge que s'obtenia era major fins a arribar exactament a 0,46 volts. A partir d'aquí, el voltatge disminuïa respecte de l'angle.

Conclusió

Per tant, podem observar una clara baixada de tensió comparat amb un dia de Sol normal i corrent amb un màxim que ni tan sols arriba als 0,5V.

20.7 L'ORIENTACIÓ GEOGRÀFICA

Un dels majors dubtes que es produeixen a l'hora de les instal·lacions de plaques solars és on s'ha d'orientar. Doncs bé, tot això depèn de la posició del Sol. I és que, com s'ha explicat en l'apartat del nostre Sol, aquest no es mou exactament d'est a oest, sinó que depenent de l'estació de l'any i el moment del dia és millor orientar-la cap a una direcció o altra.

Basant-me en les observacions durant les mesures del voltatge obtingut donat un angle determinat, he pogut observar que el Sol no té una trajectòria d'est a oest formant una paràbola de dues dimensions. Com s'ha explicat en l'apartat "EL NOSTRE SOL", aquesta trajectòria només és donada en els equinoccis de primavera i tardor. Utilitzant una brúixola i un seguiment de la trajectòria del Sol, podríem determinar una aproximació de la seva trajectòria.

La maqueta en aquesta imatge és orientada amb una brúixola de manera que als 0° la placa solar sigui orientada cap a l'est a les 14:28 en el 20 d'agost, prop de l'hora on el Sol és al seu punt màxim (13:30). Per tant, podem veure que el Sol realment no passa per sobre formant una paràbola de dues dimensions, sinó que està una mica inclinat respecte el punt més alt cap al sud.



Il·lustració 84 Posició Sol 1

Agafant com a referència l'arbre de l'anterior imatge, podem observar que la trajectòria del Sol rodeja l'arbre fins a acabar sent capvespre, on acabarà el dia. Per tant, si mesurem amb la brúixola cap a quina orientació s'està anant, és a l'oest. L'hora d'aquesta imatge és a les 18:33.



Il·lustració 86 Posició Sol 2



Il·lustració 85 Posició Sol 3

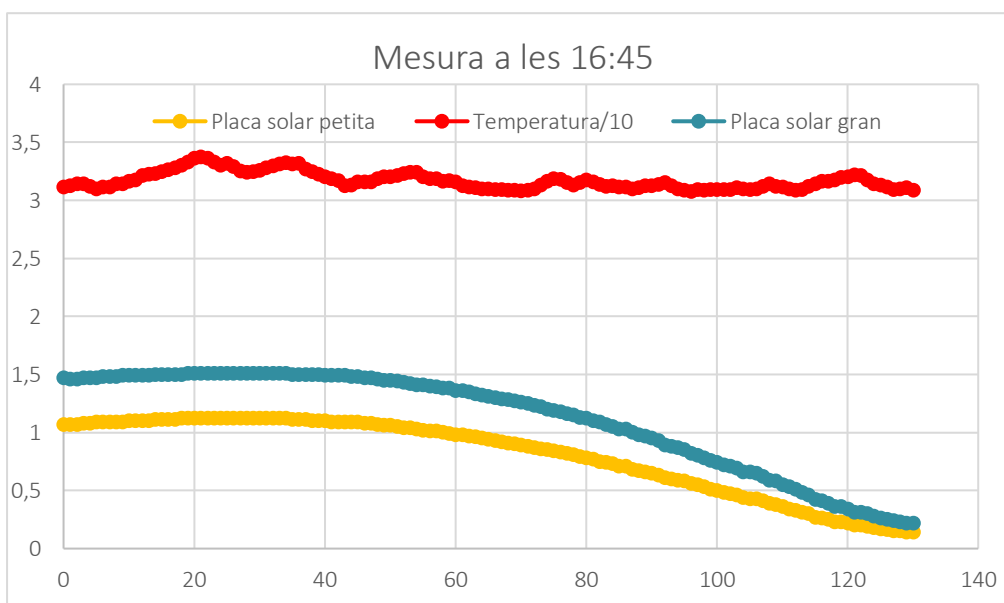
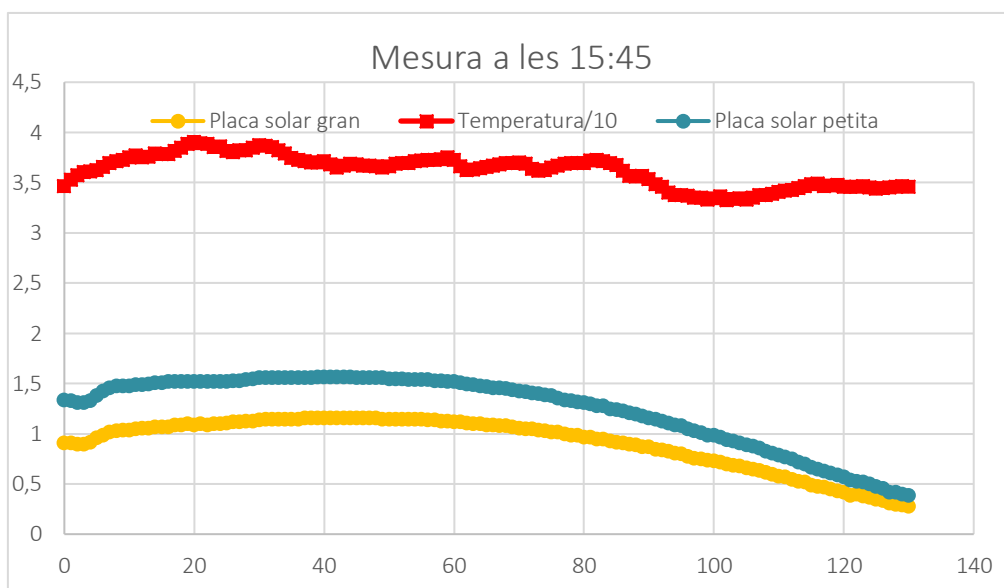
Aquesta última imatge va ser realitzada mitja hora més tard que la il·lustració 86. Com podem veure, des del nostre punt vista el Sol no es mou com una línia recta per sobre nostre, sinó que a més a més, podem veure com forma aquesta paràbola lateral per sobre nostre.

Conclusió

Així doncs, podem concloure que la trajectòria del Sol en el 20 d'agost té una trajectòria d'est a oest amb una inclinació cap al sud. Probablement, també durant el mes d'agost i segons la teoria, durant tot l'estiu. Per això, durant aquesta temporada hem d'orientar les plaques solars cap al sud en cas de tenir plaques fotovoltaïques estàtiques. Sinó, en cas de tenir plaques solars que s'inclinen gairebé 180°, és millor orientar-les d'est a oest, ja que rebrem la màxima quantitat de llum directa als dispositius solars.

20.8 LA TEMPERATURA

Per a determinar si la temperatura és un factor realment important, utilitzarem les dades mesurades en la pràctica de l'angle respecte el Sol.



En la gràfica de la mesura a les 16:45 hem obtingut un voltatge màxim d'1,51V que equival a 0,151A en una temperatura màxima de 32,94°C. Aquest corrent es manté dels 19° fins als 31°. En canvi, en la gràfica de la mesura a les 15:45 hem obtingut un voltatge màxim d'1,57V que equival a 0,157A en una temperatura màxima de 37,06°C dels 39° fins als 44°. Cal destacar que als 38° tenia la mateixa temperatura que als 39° però 1V menys.



Conclusió

Per tant, podem concloure que els efectes de temperatura potser disminueixen el rendiment de les plaques fotovoltaïques, però seran en condicions majors de 40°C. Com que el treball consistia a sortir amb la màquina, mesurar i tornar a casa, deixem un temps per a que es refresqui. En el nostre cas, hem observat com l'augment de temperatura afavoria per tal d'augmentar el voltatge, però possiblement no és un factor de proporcionalitat, sinó que hi arribava més irradiància.

En conclusió, els factors de temperatura només afecten a temperatures molt elevades que en condicions normals com en primavera o tardor no hi arribaríem mai.

21. CONCLUSIONS

Per concloure aquest treball, crec que tots els objectius plantejats abans de realitzar aquest treball han sigut assolits. Els objectius que em vaig plantejar són: “ampliar el meu coneixement d’aquesta ciència, conèixer el desenvolupament tecnològic que estan tenint les plaques solars i què ocorre quan un simple feix de llum arriba a la seva superfície.”

Per una banda, crec que s’han realitzat amb èxit totes les parts pràctiques tant en les que determinem la importància dels factors que intervenen en una placa fotovoltaica com la primera part pràctica “DEMOSTREM QUE LA LLUM TÉ DIFERENTS ENERGIES” (pàg 13). A més a més, el fet d’haver tingut l’oportunitat de realitzar diversos experiments en la Universitat Politècnica de Catalunya com la mesura de I-V i l’eficiència quàntica ha ajudat al fet que pugui entendre com funcionen realment les cèl·lules fotovoltaiques.

Per una altra banda, hem aconseguit explicar el perquè necessitem les plaques fotovoltaiques com a alternativa de font d’energia i com funcionen tant en el món macroscòpic com en el microscòpic. Cal afegir també que hem explicat els procediments de la fabricació de cèl·lules fotovoltaiques manualment, que no té res a veure en com ho fan a les indústries.

Per tant, definitivament sí que s’han complert tots els objectius establerts a la introducció.

22. BIBLIOGRAFIA / WEBGRAFIA

La bíblia de la física cuántica – Brian Clegg

Ones electromagnètiques [2019, setembre 29]

<https://blocs.xtec.cat/tecnologia/2012/04/23/ones-electromagnetiques/>

Sistema fotovoltaic [2019, setembre 29]

https://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_fotovoltaic

Projecte Energia Solar Fotovoltaica [2019, setembre 29]

<https://cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/2%20fotovoltaica.htm>

Photovoltaic cell [2019, setembre 29]

https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_cell

Energía fotovoltaica [2019, setembre 29]

<https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/introducci%C3%B3n/introducci%C3%B3n>

L'amença del desglaç dels pols – Marta Bausells [2019, setembre 29]

https://www.ara.cat/societat/Lamenaca-del-desglac-dels-pols_0_620937918.html

¿Cómo se genera la energía eléctrica? [2019, setembre 29]

<https://www.endesaclientes.com/como-se-genera-electricidad>

Silicio monocristalino [2019, setembre 29]

<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/modulo-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/tipos/silicio-monocristalino>

Panel solar [2019, setembre 29]

<https://solar-energia.net/definiciones/panel-solar.html>

Eficiencia solar [2019, setembre 29]

<https://solar-energia.net/definiciones/eficiencia-solar.html>

Península – Seguimiento de la demanda de energía eléctrica [2019, juny 12]

<https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/demanda/total/2019-06-12>

Dispositivo semiconductor [2019, setembre 29]

[https://es.wikipedia.org/wiki/Dispositivo semiconductor](https://es.wikipedia.org/wiki/Dispositivo_semiconductor)

Paneles solares monocristalinos o policristalinos, ¿cuál elegir? [2019, setembre 29]

<https://sotysolar.es/placas-solares/monocristalinas-policristalinas>

Situació de l'energia nuclear al món [2019, setembre 29]

<https://ca.energia-nuclear.net/situacio>

¿Qué son las energías renovables? [2019, setembre 29]

<https://twenergy.com/a/que-son-las-energias-renovables-516>

Silici amorf [2019, setembre 29]

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Silici amorf](https://ca.wikipedia.org/wiki/Silici_amorf)

Ayesa quiere revolucionar la fotovoltaica con kesterita, un material abundante y de baja toxicidad [2019, setembre 29]

<https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/ayesa-quiere-revolucionar-la-fotovoltaica-con-kesterita-20190214>

Placas solares, ¿cómo evaluar su calidad y rendimiento? [2019, setembre 29]

<https://sotysolar.es/placas-solares/rendimiento>

Reducir la temperatura de los paneles solares [2019, setembre 29]

<https://twenergy.com/energia/energia-solar/reducir-la-temperatura-de-los-paneles-solares-744/>

Panel fotovoltaico [2019, setembre 29]

[https://es.wikipedia.org/wiki/Panel fotovoltaico](https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Panel fotovoltaico#Factores de eficiencia de una célula solar](https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico#Factores_de_eficiencia_de_una_c%C3%A9lula_solar)

¿Cómo influye la temperatura en el rendimiento de tu placa solar? [2019, setembre 29]

<https://www.cambioenergetico.com/blog/influye-la-temperatura-rendimiento-placa-solar/>

Factores que influyen en la eficiencia del módulo solar [2019, setembre 29]

<https://globalsolare.com/2018/03/01/factores-que-influyen-en-la-eficiencia-del-modulo-solar-2-2-2-2/>

Masa de aire [2019, abril 22]

<https://glosarios.servidor-alicante.com/energia-fotovoltaica/masa-de-aire>

<https://www.pveducation.org/es/node/802>

Standard test conditions [2019, setembre 29]

[https://wiki.openmod-initiative.org/wiki/Standard test conditions](https://wiki.openmod-initiative.org/wiki/Standard_test_conditions)

Conductivitat elèctrica [2019, octubre 3]

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Conductivitat el%C3%A8ctrica](https://ca.wikipedia.org/wiki/Conductivitat_el%C3%A8ctrica)

Resistivitat [2019, octubre 3]

<https://ca.wikipedia.org/wiki/Resistivitat>

Entres a la Sala Blanca? [2019, setembre 7]

<https://tv.upc.edu/continguts/entres-a-la-sala-blanca>

Tipos de Placas Solares Fotovoltaicas [2019, octubre 3]

<https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/>

El bus I^2C en Arduino [2019, setembre 10]

<https://www.luisllamas.es/arduino-i2c/>

Señal de reloj [2019, setembre 10]

[https://es.wikipedia.org/wiki/Se%C3%B1al de reloj](https://es.wikipedia.org/wiki/Se%C3%B1al_de_reloj)

El bit [2019, setembre 10]

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Bit 10/09](https://ca.wikipedia.org/wiki/Bit_10/09)

Resistencia pull up y pull down [2019, octubre 3]

<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/resistencia-pull-up-y-pull-down/>

<https://paletosdelaelectronica.wordpress.com/2015/01/25/resistencias-pull-up-y-pull-down/>

Servomotor [2019, setembre 10]

[https://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor 10/09](https://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor_10/09)

Bus 1-Wire [2019, setembre 10]

[https://en.wikipedia.org/wiki/1-Wire 10/09](https://en.wikipedia.org/wiki/1-Wire_10/09)

<http://www.jon00.me.uk/onewireintro.shtml>

Entres a la Sala Blanca? [2019, setembre 29]

<https://tv.upc.edu/continguts/entres-a-la-sala-blanca>

High performance photovoltaic cells [2019, setembre 29]

<https://campusenergia.upc.edu/en/news/high-performance-photovoltaic-cells>

La Unión PN. ¿Cómo funcionan los díodos? [2019, setembre 29]

https://www.youtube.com/watch?v=hsJGw_cNn4

I-V Curves: A Guide to Measurment [2019, setembre 29]

<https://www.ossila.com/pages/iv-curves-measurement>

Sensor ultravioleta I^2C VEML6070 [2019, setembre 29]

<https://polaridad.es/sensor-ultravioleta-uv-i2c-veml6070-arduino/>

Sensor de radiación ultravioleta con Arduino [2019, setembre 29]

<https://polaridad.es/sensor-radiacion-ultravioleta-arduino-indice-uv-uvm30a-guvas12sd/>

<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/1918guva.pdf>

EL 40% DE LA ELECTRICIDAD PRODUCIDA EN ESPAÑA EN 2018 FUE DE ORIGEN RENOVABLE [2019, setembre 29]

<https://www.electricidad.total.es/casi-mitad-produccion-electricidad-en-espana-fue-de-origen-renovable-2018>

Tutorial sensor digital de temperatura DS18B20 [2019, setembre 29]

<https://naylampmechatronics.com/blog/46-Tutorial-sensor-de-temperatura-DS18B20.html>

Rendimiento de Placas Solares [2019, setembre 29]

<https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/rendimiento/>

Diodos. Curva característica y tensión umbral [2019, setembre 29]

<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/10/27/diodos-curva-caracteristica-y-tension-umbral/>

Unión PN [2019, setembre 29]

<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/09/29/union-pn/>

Espectre solar [2019, setembre 29]

<https://www.enciclopedia.cat/EC-GEC-0153168.xml>

Polaridad (eléctrica) [2019, setembre 29]

[https://es.wikipedia.org/wiki/Polaridad_\(electricidad\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Polaridad_(electricidad))

¿Què es la luz? ¿Dónde y cómo se origina? [2019, setembre 29]

http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicalInteractiva/color/LuzOrigen_propied.htm

QEX10 Quantum Efficiency Measurement System Calibration [2019, setembre 29]

<https://www.youtube.com/watch?v=yCZjSenzM8c>

Electró-volt [2019, setembre 29]

<https://ca.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3-volt>

Arnesur de gal·li [2019, octubre 2]

https://ca.wikipedia.org/wiki/Arsenur_de_gal%C2%B7li

<https://books.google.es/books?id=hHAmDwAAQBAJ&pg=PA37&lpg=PA37&dq=arsenur+de+gali&source=bl&ots=JkRSViY7K9&sig=ACfU3U2M0wDvYIB4OKijJk1fIhZKpdCliQ&hl=ca&sa=X&ved=2ahUKEwiLqfO3vv3kAhWYilwKHU7NacYQ6AEwBXoECAoQAQ#v=onepage&q=arsenur%20de%20gali&f=false>

ANNEX

RESULTATS DE COM VARIA EL VOLTATGE RESPECTE L'ANGLE

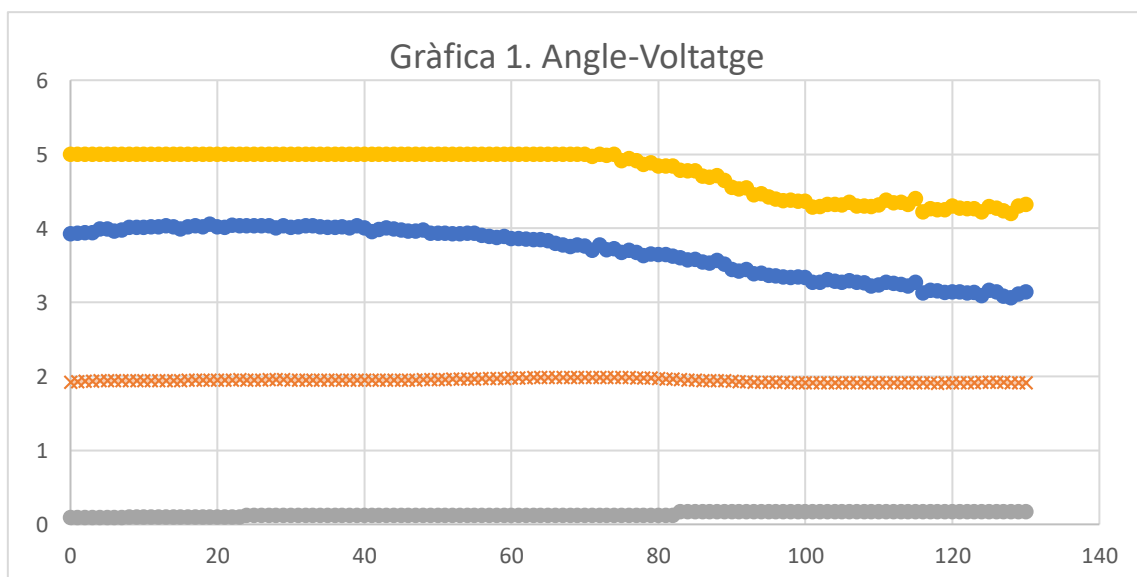
Groc: Placa solar 1 (Placa solar petita)

Blau: Placa Solar 2 (Placa solar gran tapada)

Taronja: Temperatura

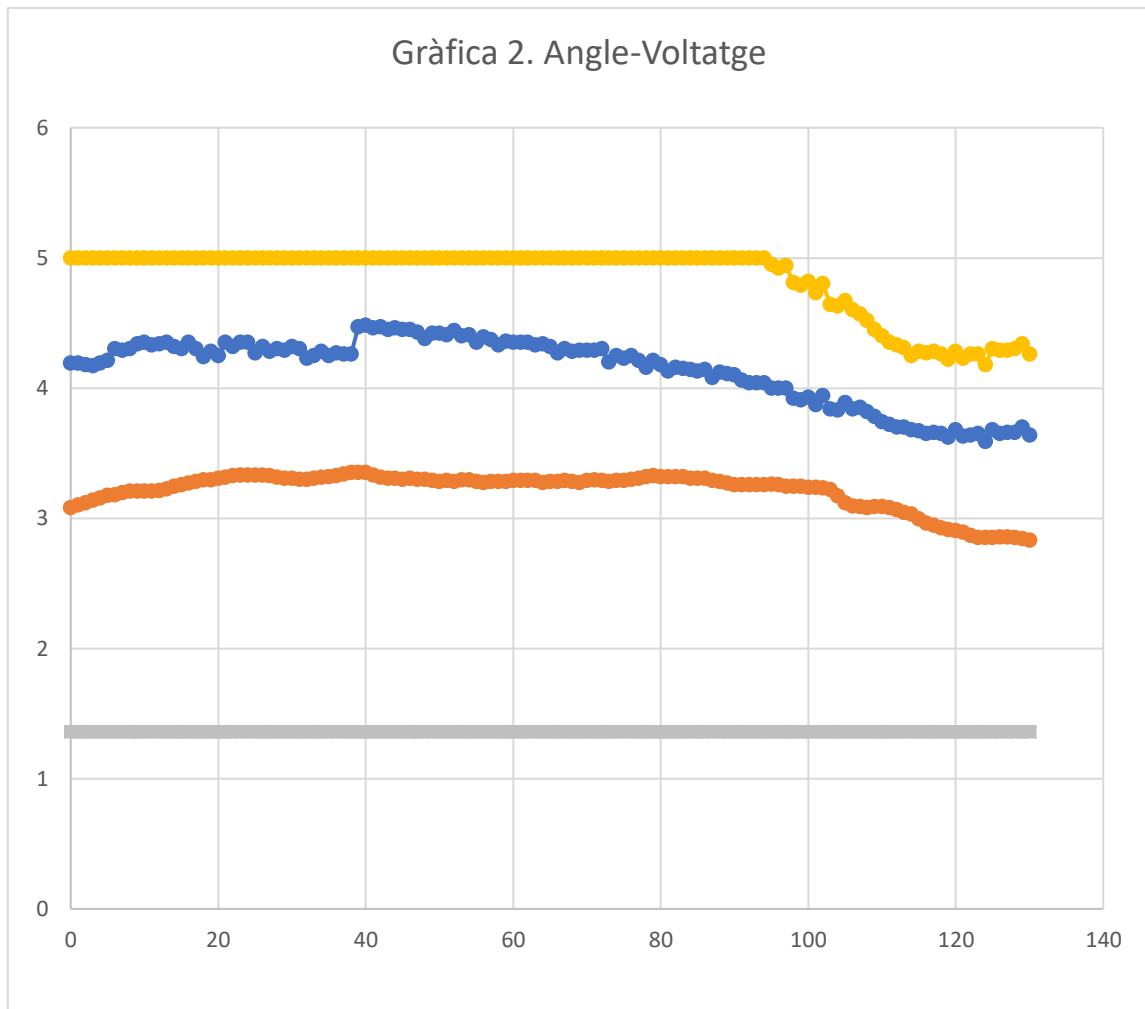
Gris: Índex Rajos UV

Mesura a les 7:15



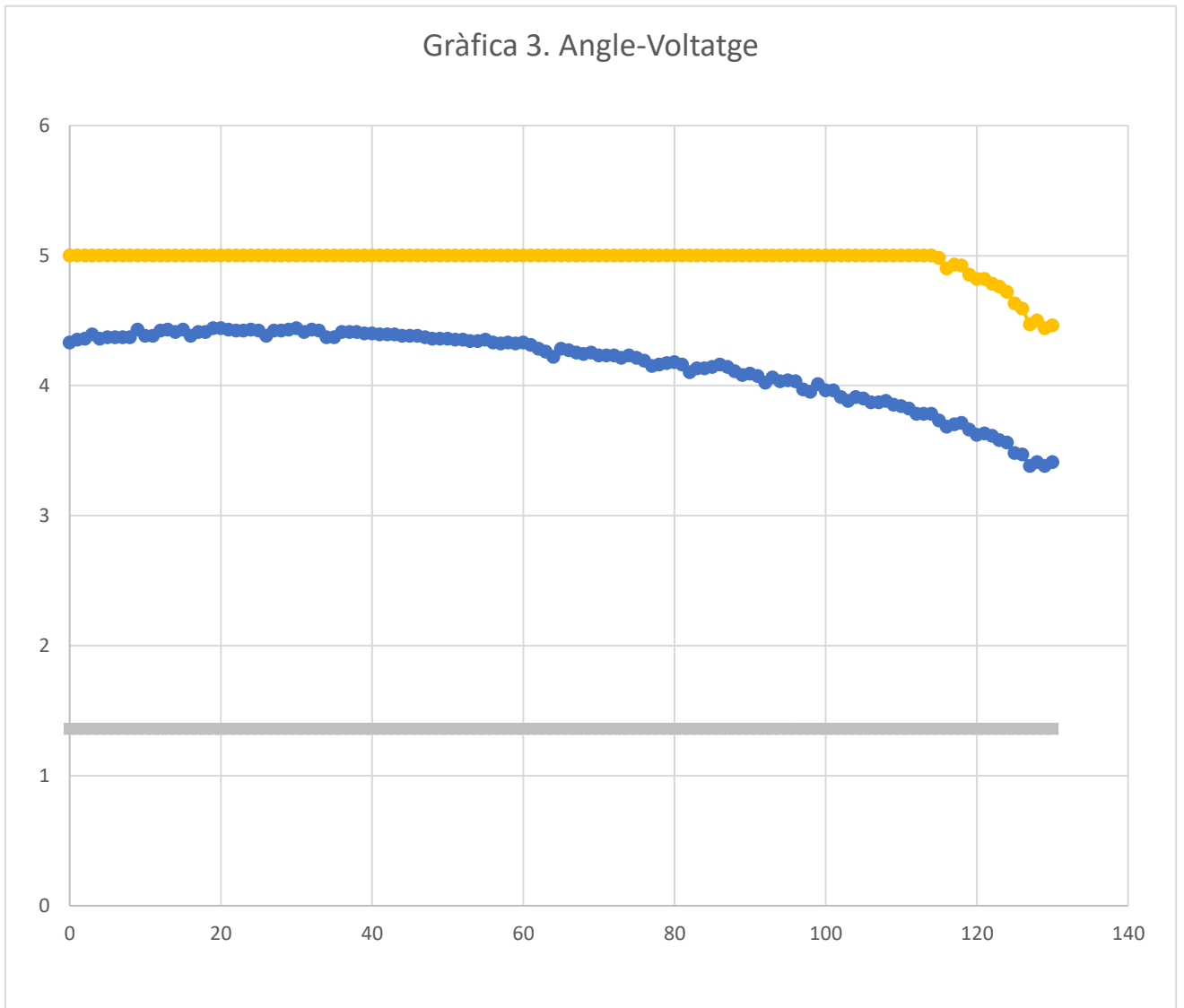
Índex UV predominant: 0,19

Mesura a les 8:50

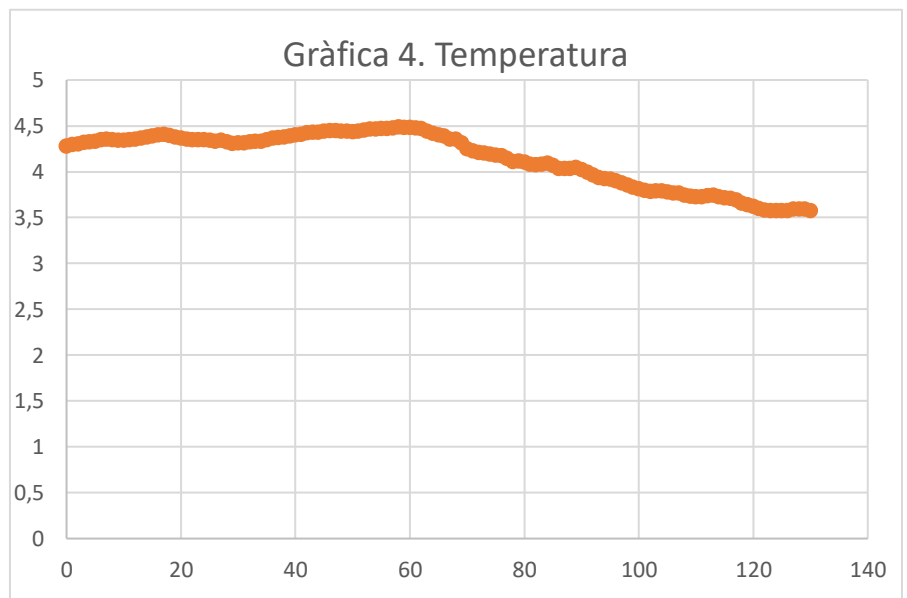


Índex UV predominant: 1,36

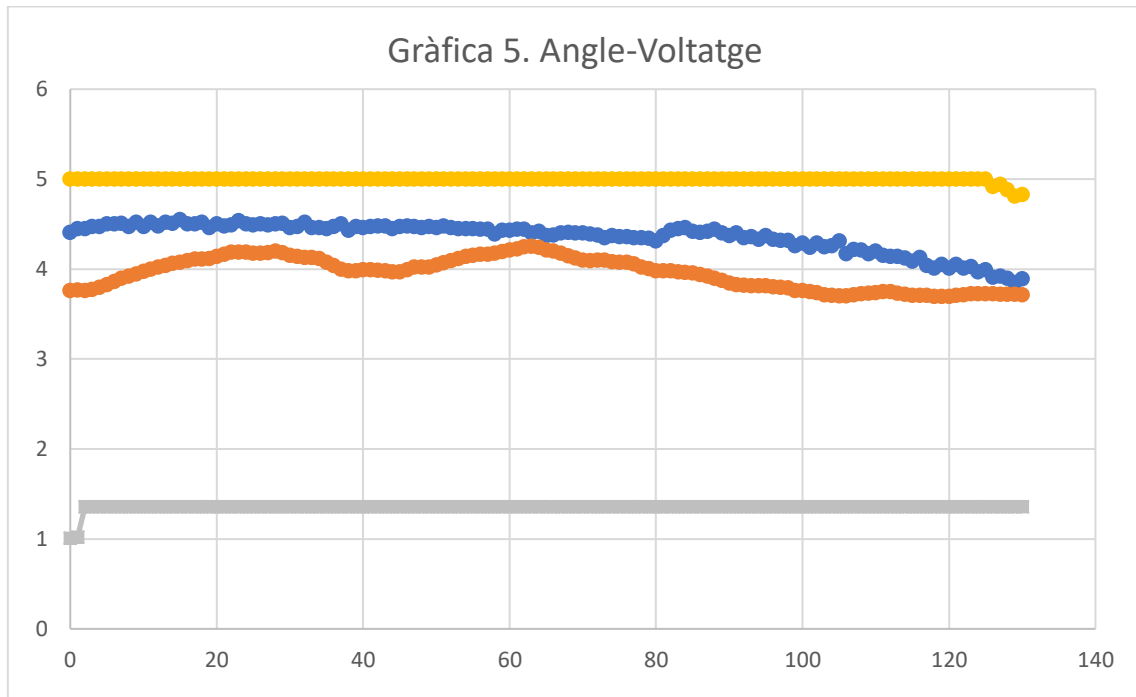
Mesura a les 10:20



Índex UV predominant: 1,36

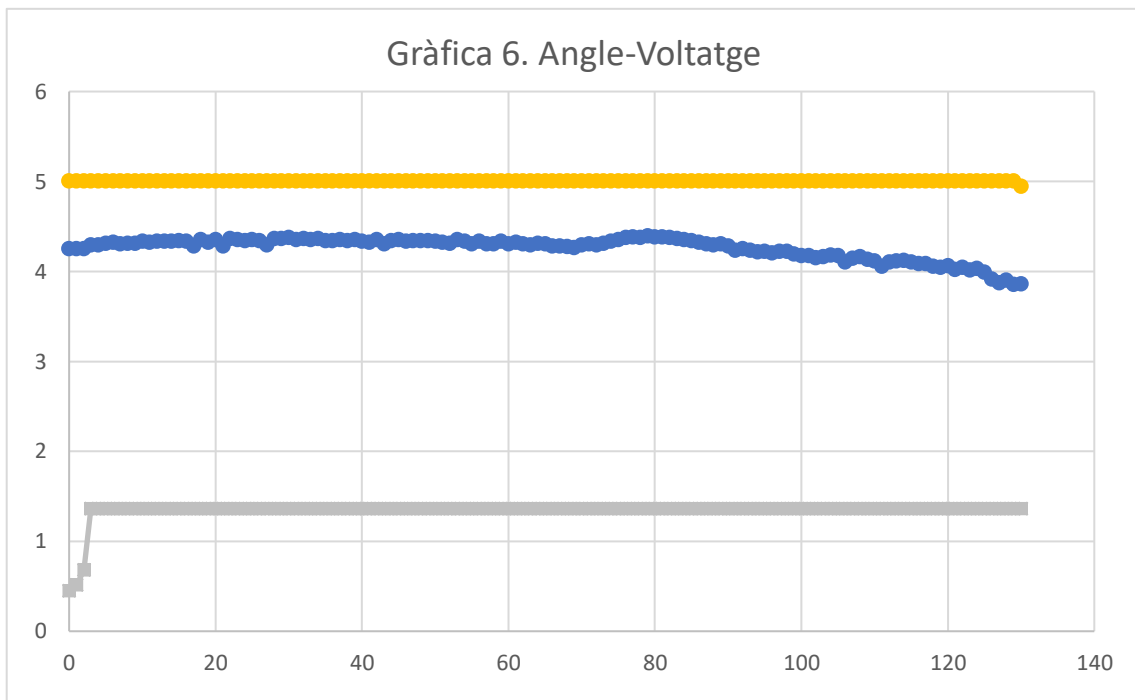


Mesura a les 10:50

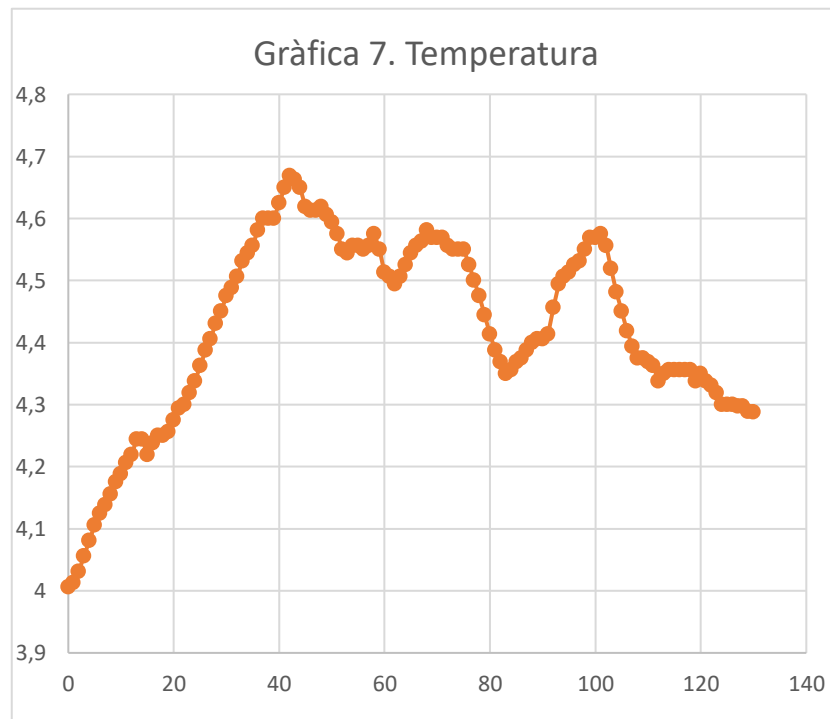


Índex UV predominant: 1,36

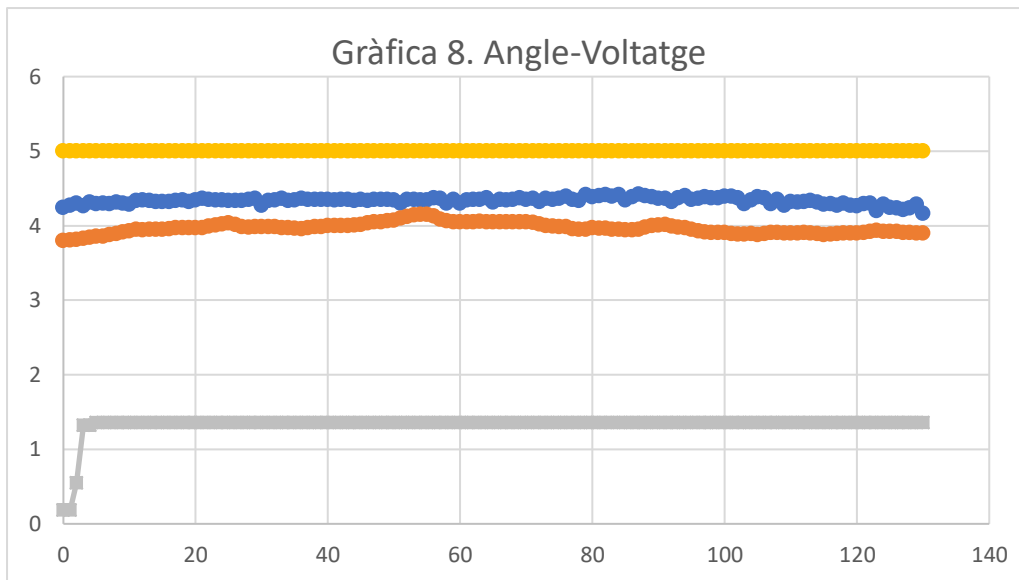
Mesura a les 11:50



Índex UV
predominant: 1,36

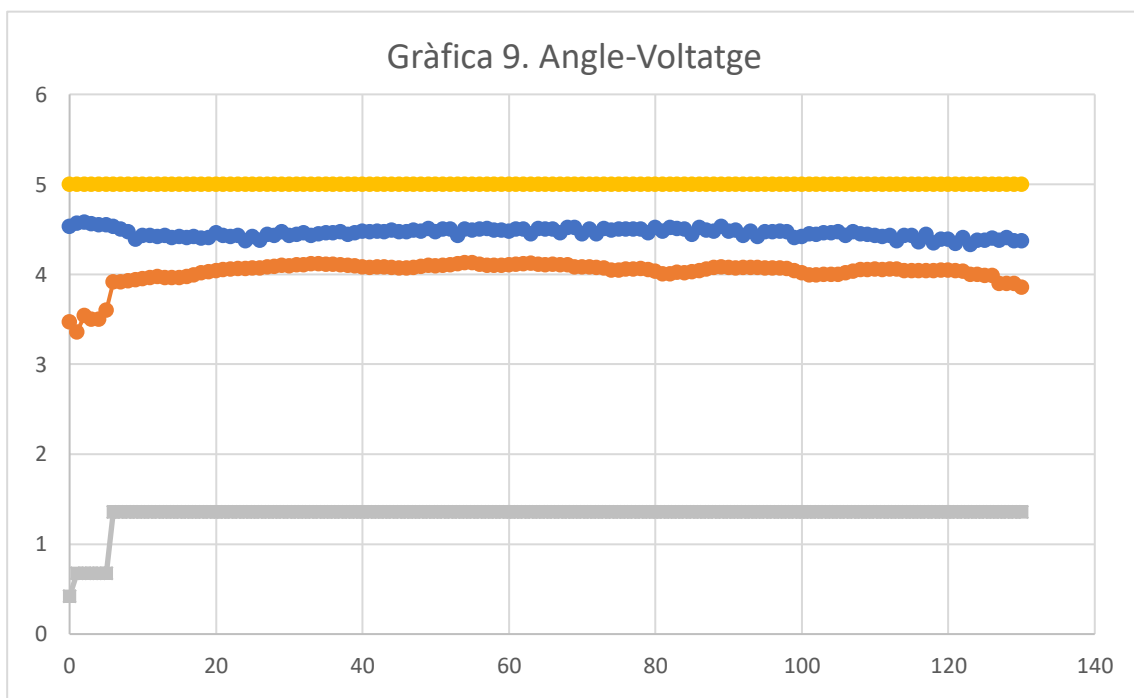


Mesura a les 12:50



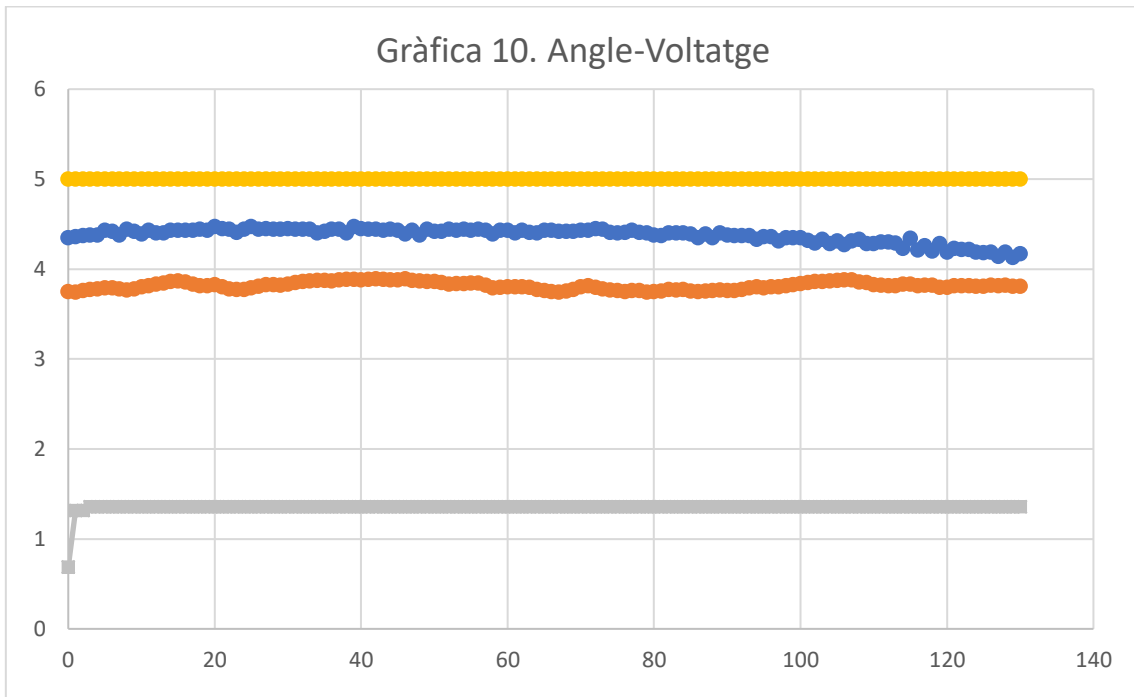
Índex UV predominant: 1,36

Mesura a les 13:30 (el punt més alt)



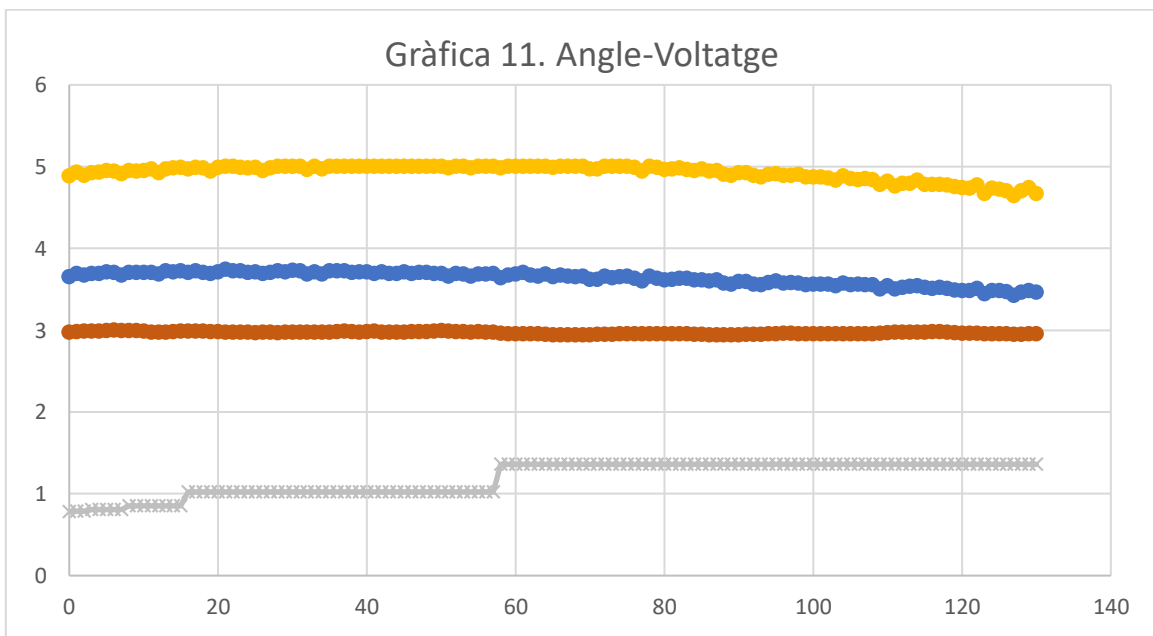
Índex UV predominant: 1,36

Mesura a les 14:30



Índex UV predominant: 1,36

Mesura a les 15:30

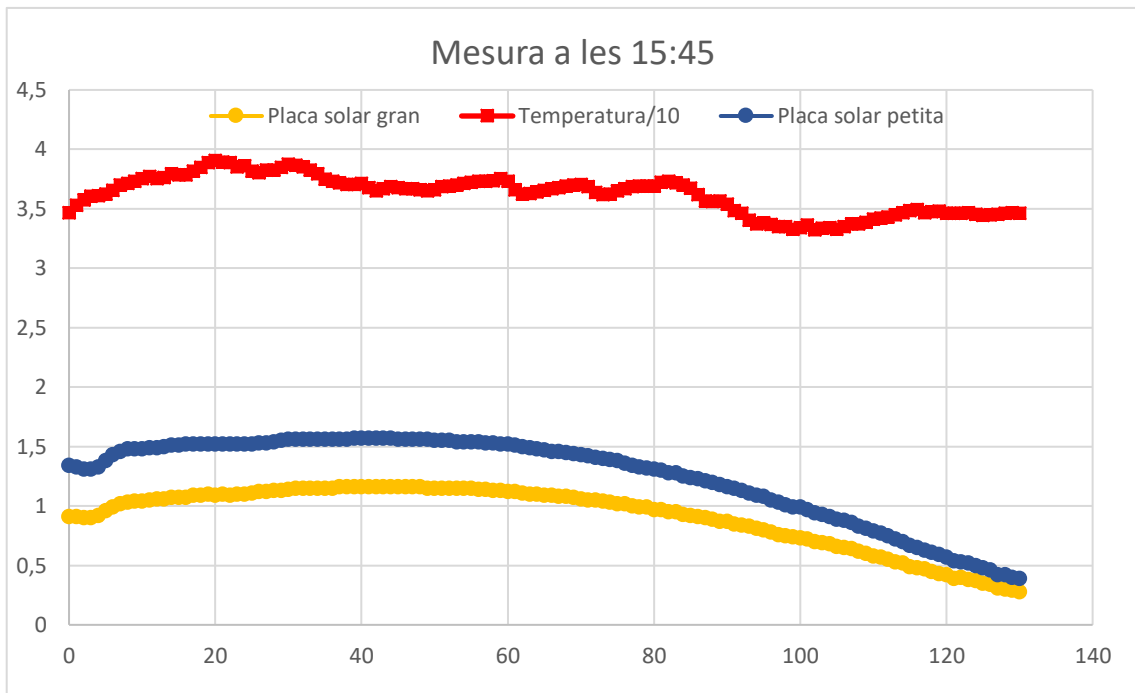


Índex UV predominant: 1,36

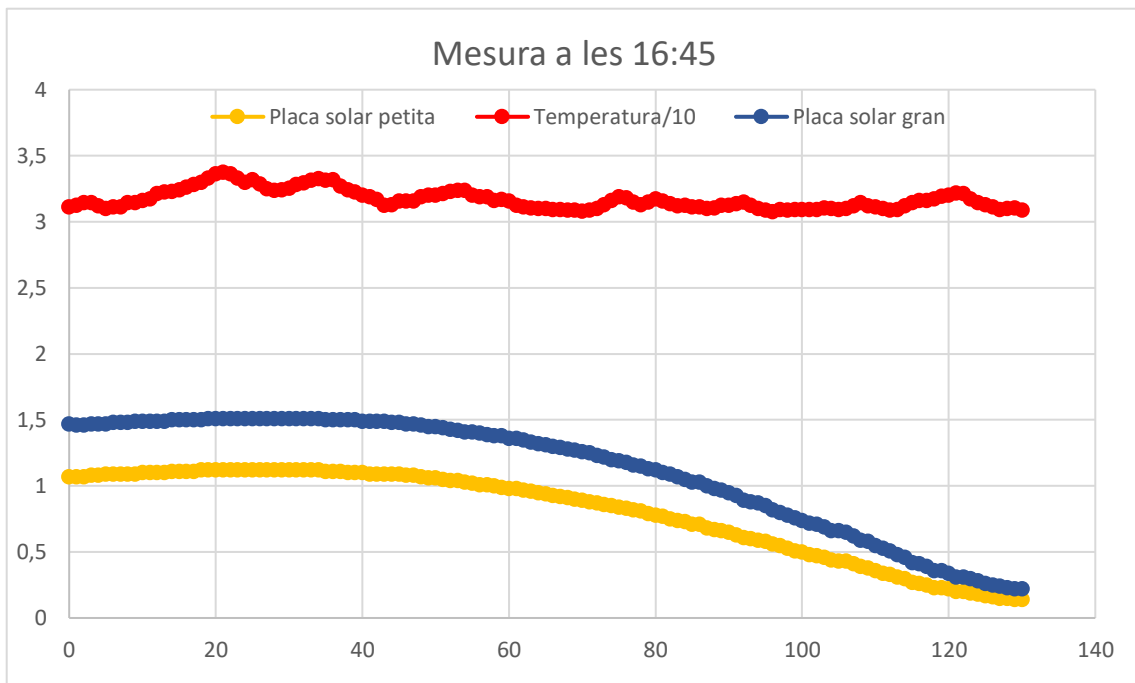
Mitjana Índex UV: 1,07

Condicions de núvols més pluja

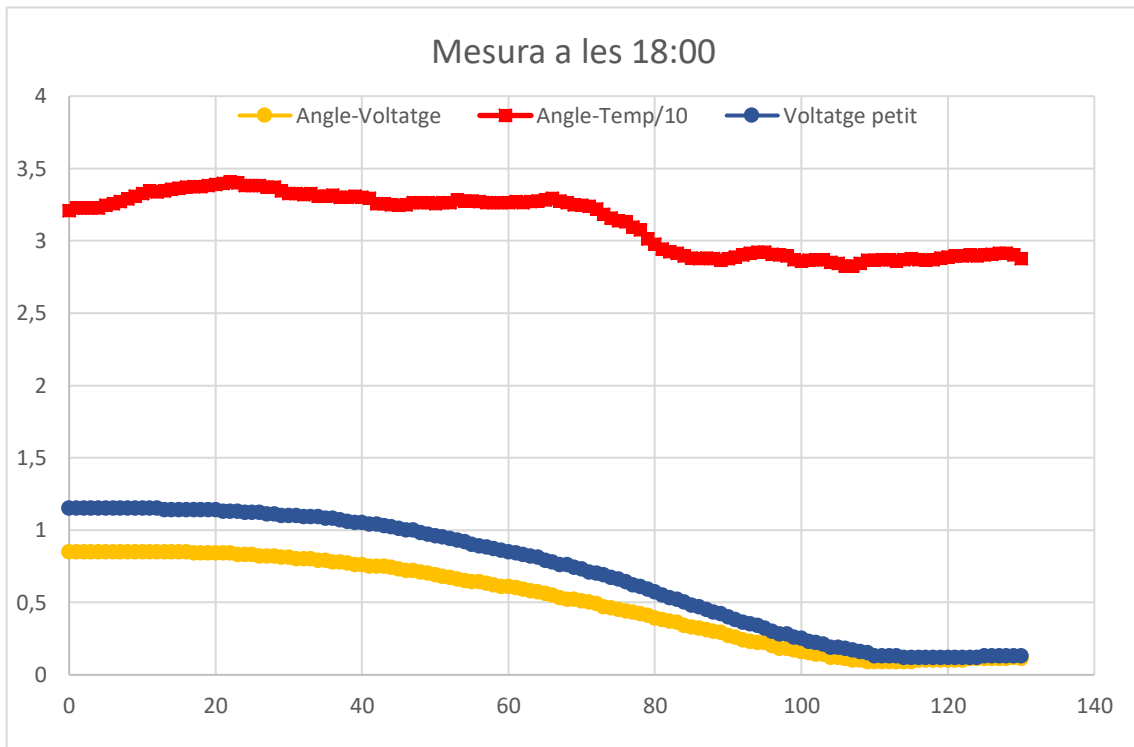
Mesura a les 15:45 (2 de setembre amb Sol)



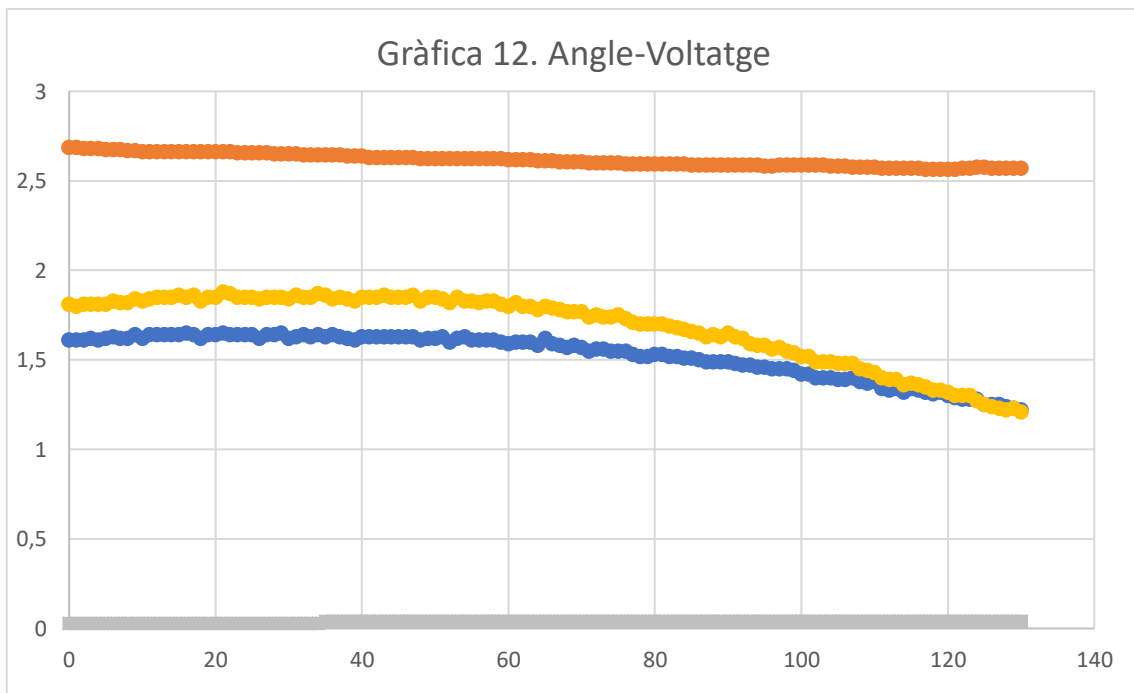
Mesura a les 16:45 (2 de setembre amb Sol)



Mesura a les 18:00 (2 de setembre amb Sol)



Mesura a les 20:30 (posta de Sol amb núvols)



Índex UV predominant: 0,04

A partir de l'angle 118, els voltatges de les plaques solars són similars fins al punt que el panell solar 2 supera al panell solar 1.

CONDICIONS DE MESURA DE LES PLAQUES FOTOVOLTAIQUES SOTA NÚVOLS



Condicció 2



Condicció 1 Sota pluja



Condicció 3 Capvespre