

## Resum

Efectuem el disseny de un sistema de bombeig alimentat per energia solar sense acumulació d'energia elèctrica per a les poblacions de Makary i Blangoua a la regió de l'Extrem Nord del Camerun a la proximitat del llac Txad per a dues profunditats de pou existents a la regió.

Es fa una revisió de l'estat actual de la tecnologia i de les solucions comercials existents com a preparació a l'estudi.

Es fa una descripció de les característiques dels diferents elements necessaris.

Procedim a dimensionar el conjunt imposant un augment de la capacitat d'extracció respecte a la que actualment s'efectua manualment.

Es defineix la configuració d'un variador de freqüència per tal que el treball de la bomba s'adapti automàticament a la potència subministrable per el conjunt de panells fotovoltaics.

Finalment concloem que es possible efectuar una proposta competitiva a sistemes comercials si bé simplificant el sistema d'adaptació de freqüència.



# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>3</b>
<b>1. GLOSSARI</b>	<b>5</b>
<b>2. PREFACI</b>	<b>7</b>
2.2. Origen del projecte.....	7
2.3. Motivació.....	8
2.4. Requeriments previs.....	9
<b>3. INTRODUCCIÓ</b>	<b>11</b>
3.1. Objectius del projecte.....	11
3.2. Abast del projecte.....	11
<b>4. ALTERNATIVES TECNOLÒGIQUES</b>	<b>12</b>
4.1. Fonts d'Energia.....	12
4.1.1. Bombeig manual.....	12
4.1.2. Grup Electrogen.....	12
4.1.3. Energia Eòlica.....	12
4.1.4. Energia Solar Fotovoltaica.....	13
4.2. Cicle Hidràulic i Selecció de tecnologia.....	18
<b>5. SOL·LUCIONS DE MERCAT</b>	<b>20</b>
<b>6. COMPONENTS DEL SISTEMA</b>	<b>22</b>
6.1. Sistema de Generació.....	22
6.2. Sistema de condicionament de potència.....	26
6.3. Sistema d'emmagatzemament.....	27
6.4. Sistema d'extracció.....	27
<b>7. CÀLCULS I DIMENSIONAMENT</b>	<b>30</b>
7.1. Energia Solar Disponible.....	30
7.2. Sistema d'extracció.....	32
7.2.1. Cabal.....	32
7.2.2. Alçada de bombeig.....	33
7.3. Potència d'extracció.....	39
7.4. Generació elèctrica.....	39
7.5. VARIADOR DE FREQUÈNCIA.....	45
7.5.1. Selecció dels variadors.....	45
7.5.2. Principi de funcionament.....	45

---

7.5.3. Esquemes de connexió .....	48
<b>8. IMPACTE AMBIENTAL</b> _____	<b>50</b>
<b>9. PRESSUPOST</b> _____	<b>51</b>
<b>10. MANTENIMENT</b> _____	<b>53</b>
<b>CONCLUSIONS</b> _____	<b>55</b>
<b>AGRAÏMENTS</b> _____	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> _____	<b>59</b>

# 1. Glossari

Irradiància	Potència solar incident per unitat de superfície mesurada en $W/m^2$
Irradiació	Energia solar rebuda per unitat de superfície mesurada en $Wh/m^2$
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
HSP	Hora Solar Pic
PV	Fotovoltaic (PhotoVoltaic)
STC	Condicions Estàndard (Standard Conditions)
MPP	Maximum Power Point
MPPT	Maximum Power PointTracking
NOCT	Nominal Operating Cell Tempetature



## 2. Prefaci

### 2.2. Origen del projecte

En col·laboració amb el CITCEA s'han realitzat estudis d'estació de bombeig amb energia solar en col·laboració amb la ONG "Misión y desarrollo para Goundi" que ens serviran de punt de partida.

Immediatament em venen al cap diverses realitats conegudes per a les quals pot ser interessant realitzar l'estudi.

A la meva població de naixement, Santa Eulàlia de Ronçana, hi ha un agermanament amb el poble de Blangoua al Camerun a través dels quals em poso amb contacte amb la ONG Makary-Blangoua ([www.barcelonamissionera.org](http://www.barcelonamissionera.org)) per a veure si pot tenir algun tipus d'interès i així es.

Fa uns anys aquesta ONG va impulsar la construcció de pous amb sistema d'extracció manual i ara es veu com el següent pas molt positiu aportar l'energia solar atès també que a més a més no els es desconeixuda en gaudir ja de una petita instal·lació d'il·luminació i a més s'han preocupat de donar formació a través de l'escola de FP CEFAVIAR (Centre de Formation et amelioration de la vie et de l'habitat rural).



**Figura 2-1** Situació al nord del Camerun



**Figura 2-2** Plaques instal·lades al CEFAVIAR

## 2.3. Motivació

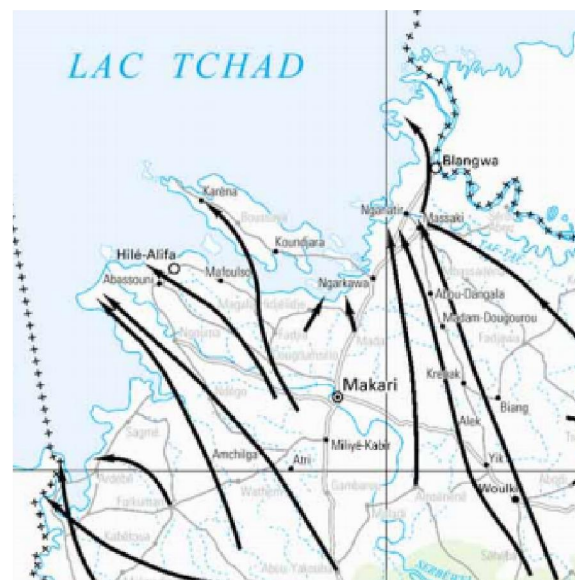
Substituir l'actual sistema manual d'extracció en els anomenats "Forages" per un de motoritzat i automatitzat que alliberi a la població d'aquesta tasca tot i permetent bombejar a més profunditat per tal d'obtenir aigua més salubre.

El llac Txad ha sofert un retrocés molt important en les seves reserves d'aigua superficial. En aquesta zona ha estat important la pesca essent ara la ramaderia transhumant. Com a conseqüència les aigües extretes a poca profunditat poden contaminades i es fa necessari extraure l'aigua de major profunditat.

En no disposar la zona de xarxa d'electrificació cal estudiar una solució amb energies que permetin un funcionament autònom.



**Figura 2-3** Forage



**Figura 2-4** Transhumància



## 2.4. Requeriments previs

Minimització del cost en tractar-se de un projecte de col·laboració amb una ONG.

L'estudi ha de cobrir tota la zona d'influència per tant hem d'aportar solucions per a profunditats de 50 i de 100 metres i de diàmetre de perforació de 150mm.

Per al disseny del sistema de control de velocitat del motor ens basarem en els estudis i informes efectuats per Omron segons la documentació aportada al CITCEA [1],[6].



## 3. Introducció

### 3.1. Objectius del projecte

Revisió d'alternatives tecnològiques.

Revisió de solucions comercials existents i estat actual de la tecnologia.

Calcular i pressupostar una instal·lació simple i assequible.

Proposta de futures actuacions en funció del resultat de l'estudi.

Recomanar estratègies de manteniment per al correcte funcionament del sistema.

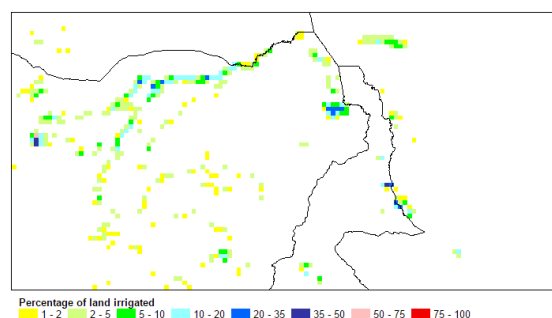
### 3.2. Abast del projecte

Efectuar l'estudi per a una instal·lació pilot per tal de millorar l'aprofitament dels pous existents en base a automatitzar l'extracció substituint els procediments manuals.

Les reserves d'aigua subterranis són essencials per al desenvolupament d'una agricultura de regadiu i la zona té prou potencial però aquest aspecte queda fora de l'abast en no estar identificades les possibles activitats agrícoles.

No es consideren les necessitats per a activitats ramaderes en ésser essencialment transhumants.

Així doncs ens centrarem en cobrir les necessitats de la població.



**Figura 3-1** Absència zones agrícoles irrigades al l'Extrem Nord

## 4. ALTERNATIVES TECNOLÒGIQUES

El tipus de font d'energia a emprar en el sistema de bombeig depèn principalment de factors geogràfics, econòmics i mediambientals.

La situació geogràfica de l'enclavament condiona l'aplicabilitat en funció de la disponibilitat del recurs.

En el cas que ens ocupa hi ha possibilitats de fer servir tant energia solar com combustibles sòlids. El govern del Camerun està impulsant la construcció de preses hidràuliques tant per a la reserva d'aigua potable com per a la generació d'energia elèctrica però aquest recursos a la part central del país queden molt allunyats de la part nord.

### 4.1. Fonts d'Energia

#### 4.1.1. Bombeig manual

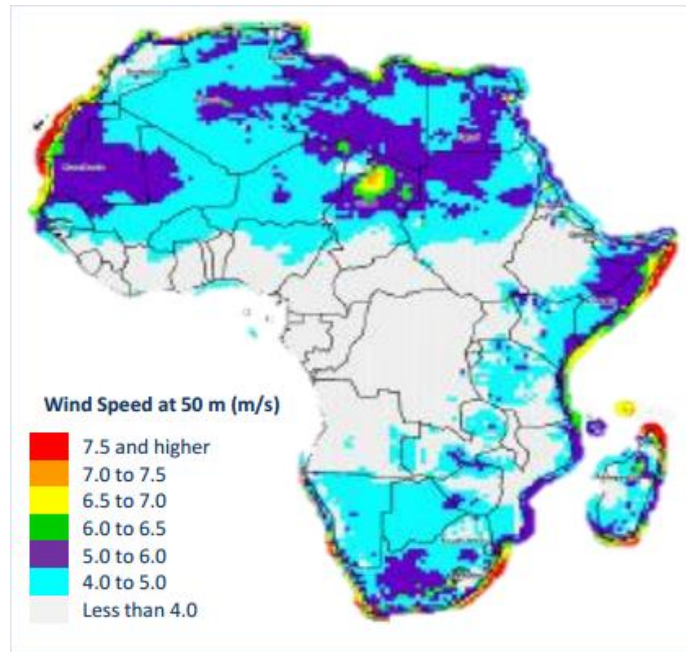
Es el que actualment s'empra per al bombeig d'aigua. El bombeig manual es possible doncs no és difícil accedir a aigua subterrània a pocs metres. L'inconvenient es la possible contaminació d'aquestes aigües poc profundes.

#### 4.1.2. Grup Electrogen

El país disposa de possibilitats d'explotació de recursos combustibles fòssils en petroli i gas natural. Es una possibilitat de funcionament autònom del sistema però estaria condicionat a la possibilitat de subministrament a una regió remota. Només la considerariem com sistema d'emergència, no com a sistema habitual.

#### 4.1.3. Energia Eòlica

La viabilitat d'aquesta tecnologia depèn directament de la intensitat del vent en el territori on es vulgui instal·lar. En el cas que ens pertoca, al ser un sistema autònom aïllat de qualsevol xarxa elèctrica estem parlant d'una turbina petita i de baixa potència. Tot i així és necessari una quantitat de vent mínima abans de posar-se a mirar si seria rentable instal·lar un sistema d'aquest tipus per alimentar una bomba d'aigua. Segons dades de AfDB (African development Bank Group) la mitjana en la zona es pot situar en 4-5 m/s. Aquests valors podrien fer-ho factible a la profunditat de 100m (Figura 4-1). Cerquem una solució aplicable a tots els casos i amb una font d'energia més predictable i constant al llarg de l'any per tant no la estudiarem en aquest projecte.



**Figura 4-1** font AfDB African development Bank Group

#### 4.1.4. Energia Solar Fotovoltaica

La regió de l'extrem Nord del Camerun rep una irradiació solar important (entre 6000 i 7000 Wh/m<sup>2</sup> que fa possible plantejar-se l'aprofitament aquesta font d'energia (Figura 4-3).

La cel·la fotovoltaica és l'element bàsic de la conversió de la radiació solar en energia elèctrica. Essencialment es compon de una unió de semiconductors P-N.

Les cel·les per si mateix proporcionen un voltatge molt baix (0,5,6V de la unió P-N) per a aplicacions pràctiques i s'interconnecten en sèrie agrupades en una estructura de suport. Anomenem mòdul (placa o panell) al conjunt que agrupa combinacions de cel·les connectades elèctricament en sèrie per tal d'aconseguir una tensió suficient.

Anomenem generador un conjunt de mòduls FV així mateix interconnectats elèctricament per a aconseguir majors prestacions elèctriques. En sèrie per elevar la tensió i en rames en paral·lel per sumar els corrents.

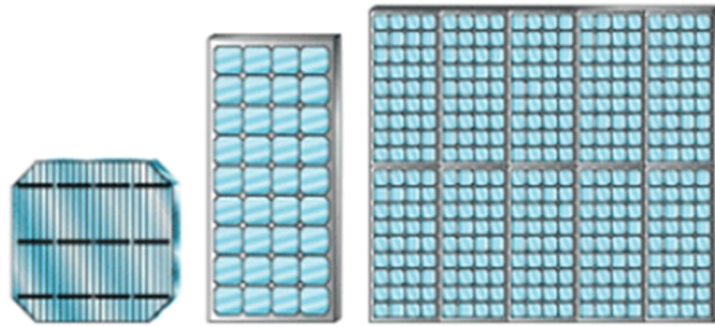


Fig. 4-2 cel·la, mòdul, generador

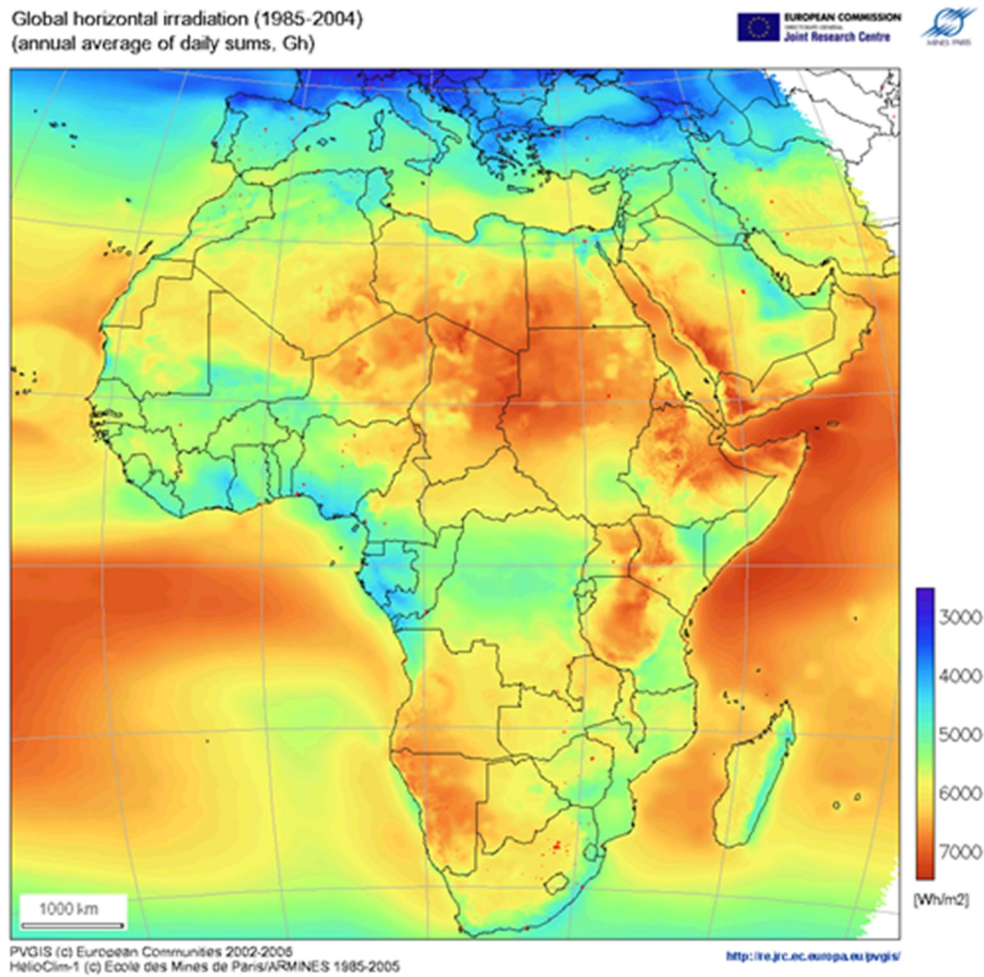


Fig. 4-3 Irradiació sobre superfície horitzontal

Els panells els associem en connexions sèrie-paral·lel per aconseguir el voltatge i corrent necessaris.

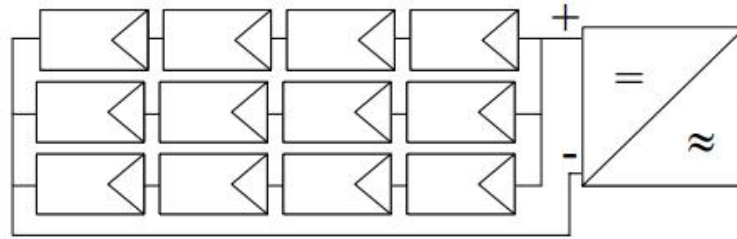


Figura 4-4 Connexió sèrie-paral·lel dels mòduls fotovoltaics

Existeixen diversos tipus de cel·les fotovoltaïques:

-Cel·les monocristal·lines: estan compostades de seccions d'un únic cristall de silici. El seu rendiment és el màxim de les tres famílies (sent d'entre un 15% i un 18%).  
o Inconvenient principal: elevat cost.

-Cel·les policristal·lines: estan compostes per seccions de diferents cristalls de silici. El seu rendiment oscil·la entre el 12% i el 15%.  
o Inconvenient principal: Menys rendiment que les cel·les monocristal·lines

#### **Segona generació** (thin film solar cells)

-Cel·les amorfes: estan formades a partir de silici no cristal·litzat. El seu rendiment no arriba al 10%.

-CdTe (telur de Cadmi)

-CIGS (Core-Indi-Seleniur de Gal·li)

-GaAs (Arseniur de Gal·li)

#### **Tercera generació** (emerging PV)

En fase de recerca se'n espera obtenir altes eficiències a baix cost. Incorporen materials orgànics, compostos organometà·lics. De moment les eficiències són baixes i tenen problemes d'estabilitat en els materials absorbents que no les fan comercialment aplicables.

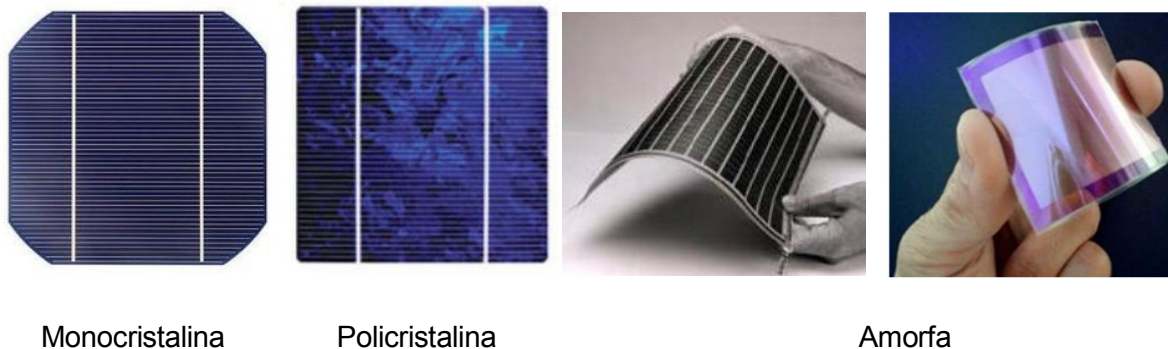


Figura 4-5 Tipus de cel·les fotovoltaiques

**Saurea: Nova tecnologia**

S'ha publicat un article (Caroline de Malet, Le Figaro, France2016-06-25) la invenció de un nou tipus de motor que transforma directament l'energia solar en cinètica. No es fa cap referencia a quines potències hagin pogut aconseguir n'hi expliquen exactament la tecnologia però podria ser del tipus MSLM (Magnetically Levitated Solar Motor ) aquest tipus de motor son de molt baix parell ( <http://ieeexplore.ieee.org/document/7100251/>) . Han fet un prova pilot a Mali 14 m3Dia però només arriba a 8 metres de profunditat.

Amb aquest tipus de disseny en pretén disposar de motors amb una llarga vida (25-30 anys) sense precisar cap tipus de manteniment i per això l'article ho comenta en relació a remotes àrees en els països en desenvolupament, en concret fa referència a que les instal·lacions aïllades solen patir problemes i falta de recanvis als pocs mesos de la implantació. No es el cas de Makary-Blangoua però es clar hi ha un mínim de formació.



Figura 4-1 Motor SAUREA d'Alain Coty



## Orientació dels mòduls

A part del tipus de tecnologia l'angle d'orientació dels mòduls en relació als raigs incidents els farà menys efectius si hi son perpendiculars.

La posició del sol es defineix per dos angles l'altitud del sol ( $\alpha$ ) i l'angle d'orientació respecte al punt del mig dia ( $\gamma$  azimuth). Aquest angle varien durant el dia i l'any. Podem fer una reorientació mecànica (mecanisme de seguiment) o bé si els mantenim fixes cercar quina es la inclinació respecte l'horitzontal que ens maximitzi l'energia transformada al llarg de l'any.

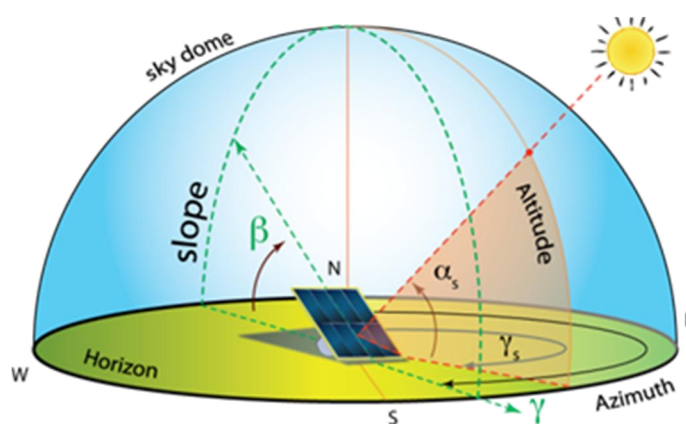


Figura 4-6 orientació dels mòduls

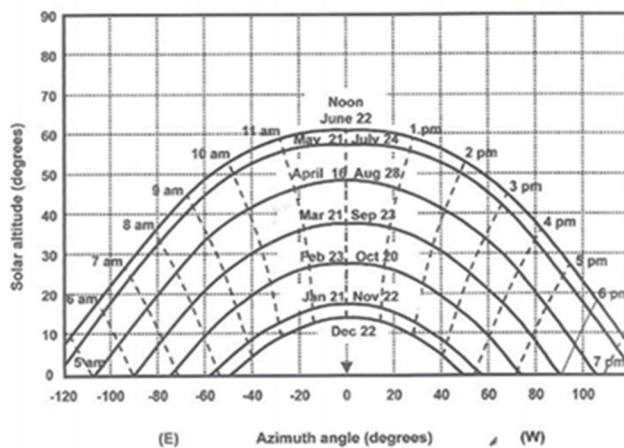


Figura 4-7 Variació d'alçada i d'Azimut al llarg de l'any

## 4.2. Cicle Hidràulic i Selecció de tecnologia

Es defineix com a Cicle Hidràulic el resultat de multiplicar el volum diari necessari per l'alçada de bombeig. En el sistema mètric te unitats de  $m^4$  (metres a la quarta potència).

Per a un mateix valor d'aquest indicador l'energia a aportar i el cost dels sistemes serà aproximadament el mateix.

En l'actualitat a la zona es disposa de pous artesanals fets amb busos de formigó de 150 cm de diàmetre i entre 12-15 metres de fondària que només arriben a la primera capa freàtica. Les noves perforacions efectuades arriben a la segona capa freàtica a partir de 50 metres i fins a 100 metres.

Per a la verificació de la tecnologia més adient fem el conegut gràfic orientatiu que trobem en moltes referències.

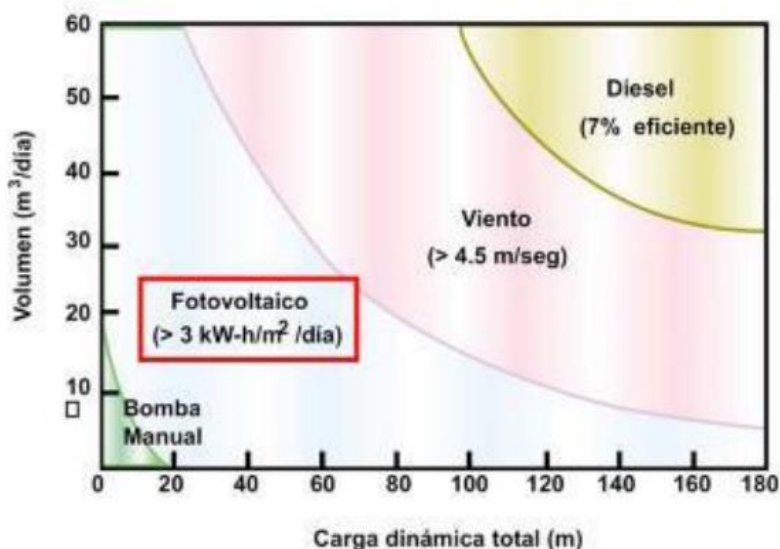


Figura 4-8 Zones d'eficiència segons la font

### Càrrega Dinàmica

Superarà els 20m doncs les perforacions existents a aprofitar van des de 50 a 100 metres.

## Volum diari

El govern del Camerun ha definit el concepte “équivalent point d'eau” (EPE) [1] per a la quantificació de les infraestructures existents. Es defineix un EPE com a la unitat de subministrament per a una població de 250-300 habitants amb un dotació per dia establerta en 25 litres per habitant que es suposa subministrada al llarg de 12 hores al dia.

Aquesta unitat sorgeix de les possibilitats de subministrament d'un sistema de bombeig manual que en aquestes condicions aportaria 7,5 m<sup>3</sup>/dia.

Ens proposem per a la estació pilot ampliar el subministrament diari a 1000 habitants, es a dir extraure 25 m<sup>3</sup>/dia.

$$V_{diari} = \frac{25 \frac{l}{hab} \cdot 1000 hab}{1000 l/m^3} = 25 m^3/hab \quad (1)$$

Amb aquestes premisses confirmem com a més adequada per a profunditats de 50m la tecnologia solar fotovoltaica.

## 5. SOL·LUCIONS DE MERCAT

En el camp del bombeig solar s'han desenvolupat ja moltes solucions en forma de kits en general cobrint la part de generació, no sempre inclouen el conjunt motor-bomba.

Explorem les seves capacitats per tenir punts de comparació amb el resultat a obtenir.

Cerquem especialment els comparables al que es pretén : control amb variador i sense bateries.

### CAPRARI

Fabricant de bombes Amb seguidor de punt de màxima potència, bateries opcionals. Monofàsiques.

### CIRCUTOR

Aquesta empres de casa nostra amb llarga història en el camp de l'electrònica industrial també ha desenvolupat el seu propi sistema CirPUMP.

Les potències dels equips són superiors als 1,5kW del nostre estudi amb un mínim de 4kW i un màxim de 90 kW amb cabals que van des de 600 l/min (36 m<sup>3</sup>/h) fins a 2250 l/min (135 m<sup>3</sup>/h).

Per al seguiment i control de màxima potència cal incorpora un equip adicional anomenat SPC (Solar Power Controler)

Treballem amb bombes amb més diàmetre 6"-8".

### ATERSA

Empresa valenciana fabricant de panells FV que ha desenvolupat un sistema propi (no especificat) de MPPC.

Quadre elèctric compacte. Preus elevats (de 3000 a 5000€) i sense aportar bomba.

Les bombes disponibles son Grundfoss.

### DAMIA SOLAR

El kit ecosolar\_2 es queda curt per cabal i el ecosolar\_3 podria arribar a 76m amb cost de 6500€. Inclou botor-bomba i algoritme MPP.

### GRUNDFOS

Aquest fabricant de bombes també ha desenvolupat uns equips especialitzats per al bombeig

d'aigua en la sèrie anomenada SQFlex 1400W màxim 30-300DC o monofàsica 90-240Vac 50/60 Hz

## LORENTZ

Tres sèries segons el tipus de bomba i d'alimentació

PS-HR "Cargol excèntric" amb profunditats de 50,180,250 i 450m amb limitació de cabals a 2,6 m<sup>3</sup>/h en tractar-se de una bomba volumètrica

PS-C Centrífugues. Alimentades a CC. Cabals de 4 a 79 m<sup>3</sup>/h. Alçades de 20m a 160m.

PSk2 Centrífugues. Alimentació trifàsica, Velocitat controlable de 0-60Hz. Cabals fins de 40 a 240 m<sup>3</sup>/h. Rangs d'alçada màxima de 80 a 200m.

També ofereixen sistemes de seguiment solar orientació mecànica dels mòduls amb els raigs incidents.

## 6. COMPONENTS DEL SISTEMA

Considerarem el conjunt compost per diferents subsistemes segons la funció realitzada.

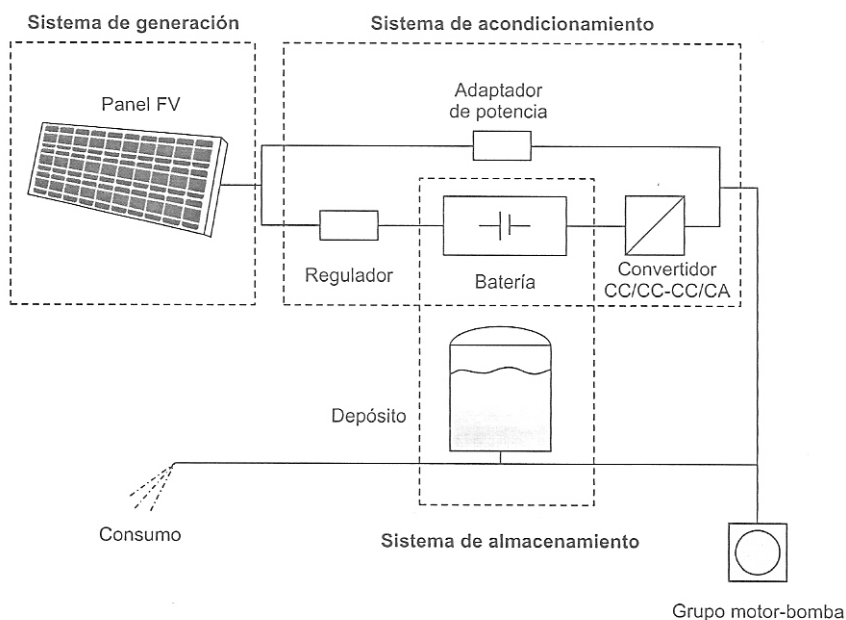


Figura 6-1 Esquema il·lustratiu dels elements

### 6.1. Sistema de Generació

Model de la cel·la i mòdul

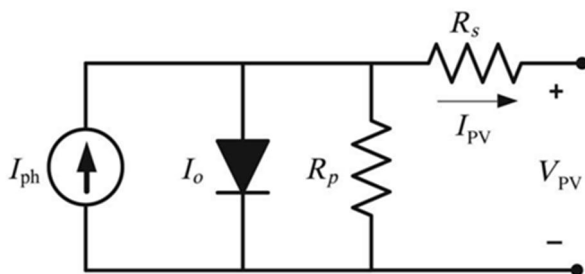


Figura 6-2 esquema elèctric cel·la fotovoltaica

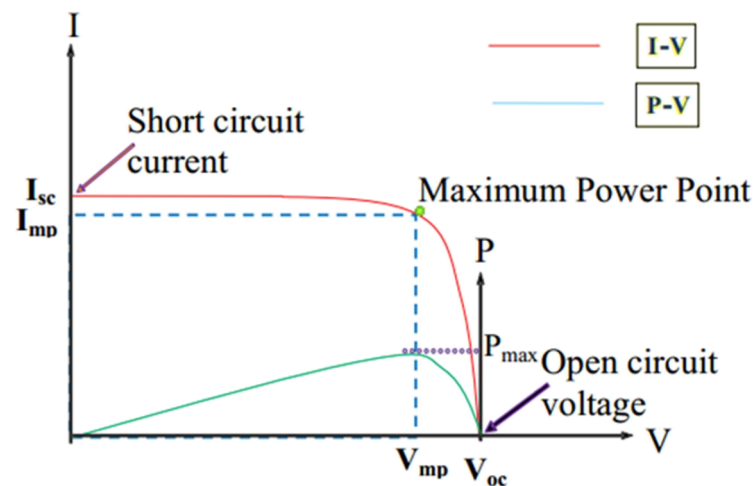
$$I_{pv} = I_{ph} - I_o \left[ \exp \left\{ \frac{V_{pv} + R_s \cdot I_{pv}}{m \cdot V_T} \right\} - 1 \right] - \left( \frac{V_{pv} + R_s \cdot I_{pv}}{R_p} \right) \quad (2)$$

$I_{ph}$	corrent fotogenerada
$I_o$	corrent de foscor
$M$	factor d'idealitat del díode
$R_s$	resistència sèrie
$R_p$	resistència paral·lel
$V_T$	voltatge tèrmic ( $kT/q$ )
$K$	constant de Boltzman ( $1,3854 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ )
$T$	temperatura del dispositiu
$q$	càrrega de l'electró ( $1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ )

### Corbes característiques

El corrent continu generat i la potència elèctrica que subministra es variable en funció de la irradiació incident i de la temperatura de les cel·les.

Les seves característiques es defineixen a partir de les corbes Intensitat-Voltatge i Potència - Voltatge.

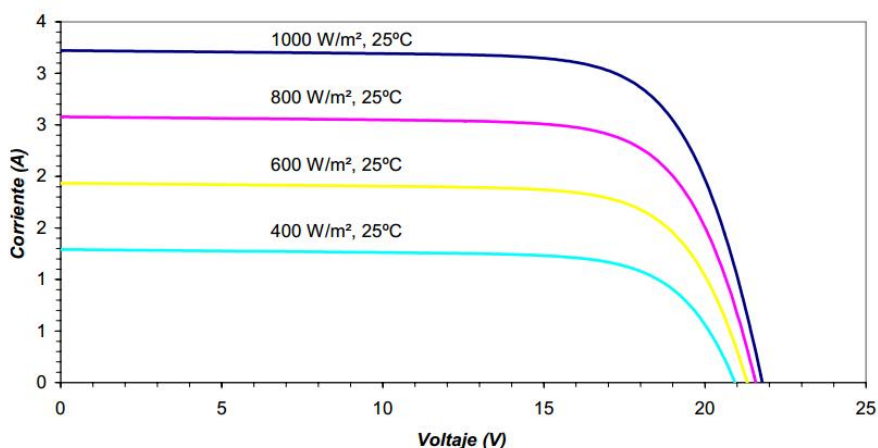


**Figura 6-3** MPP Maximum Power Point

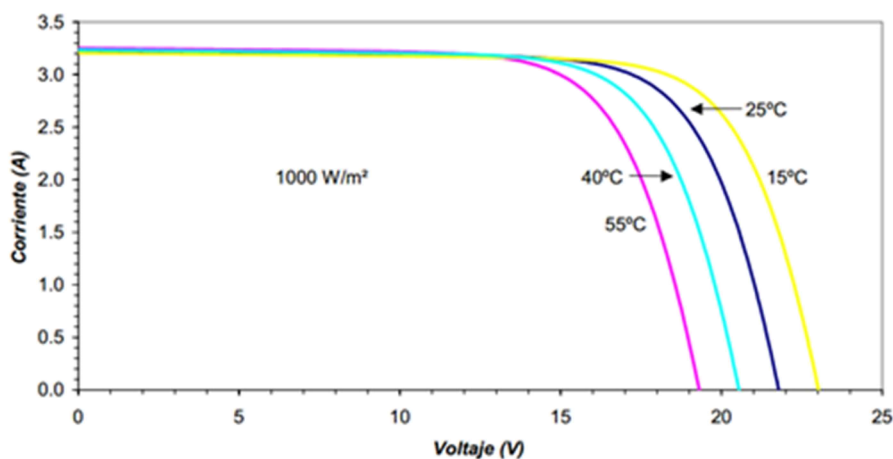
El paràmetre estandarditzat per classificar la seva potència es denomina potència pic  $W_p$ . La potència pic és la potència elèctrica màxima que poden generar els panells fotovoltaics en les condicions normalitzades. Es correspon amb el punt de màxima potència

(MPP) que la cella (o mòdul) que alhora ens defineix dos paràmetres la tensió i el corrent de màxima potència ( $V_{mpp}$ ,  $I_{mpp}$ ).

Per a cada nivell d'irradiància i de temperatura d'operació tenim una corba de funcionament diferent caracteritzades per la Intensitat de curtcircuit  $I_{sc}$  (quant la tensió es zero) i la tensió de circuit obert  $V_{oc}$  (corrent zero).



**Figura 6-4** Efecte de la Irradiància



**Figura 6-5** Efecte de la Temperatura



Podem escriure la equació corrent-tensió en funció de  $I_{sc}$  i  $V_{oc}$ :

$$I = I_{sc} \cdot \left[ 1 - \exp\left(\frac{V - V_{oc} + R_s \cdot I}{m \cdot V_T}\right) \right] \quad (3)$$

### Condicions estàndard de mesura (STC)

Les condicions normalitzades les en que els fabricants ens donen els valors dels paràmetres dels mòduls ( $W_p$ ,  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $I_{mpp}$ ,  $V_{mpp}$ ) s'han establert en:

- Temperatura: 25°C
- Irradiància: 1000 W/m<sup>2</sup>
- Massa d'aire: 1,5
- Incidència normal (perpendicular a la superfície)

### Temperatura d'operació nominal (NOCT)

També es important per a conèixer en rendiment real dels mòduls a quina temperatura estan operant les cel·les.

Aquesta es una altra dada que ens ha de facilitar el fabricant. S'han establert en unes condicions diferents de les estàndard on es fixa la temperatura ambient a 20°C, la irradiància en 800 W/m<sup>2</sup> i una velocitat del vent de 1m/s. Es mesura quina es la temperatura que pren la cel·la i aquest valor s'anomena NOCT.

Ens serveix per determinar una aproximació de la temperatura de treball real de la cel·la que afecta de manera important a la tensió de circuit obert i a la potència que el mòdul pot subministrar mitjançant l'expressió:

$$T_c = T_a + G \cdot \frac{NOCT - 20}{800} \quad (4)$$

### Influència de la Irradiància (G)

La irradiància influeix en proporció directa sobre la intensitat generada:

$$I_{sc} = I_{sc,STD} \cdot \frac{G}{G_{STC}} \quad (5)$$

En canvi té un efecte molt menor en la tensió:

$$V_{OC} = V_{OC,STD} + \frac{m \cdot k \cdot T_C}{e} \cdot \ln\left(\frac{G}{G_{STD}}\right) \quad (6)$$

### Influència de la Temperatura

En els paràmetres característics dels mòduls FV hi trobem especificats tres coeficients de variació amb la temperatura ( $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ ) expressats en %.

El més important és el que afecta la potència que el mòdul podrà lliurar ( $\gamma$ ):

$$P_{MPP,T_C} = P_{MPP,STD} \cdot \left[1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (T_C - T_{C,STD})\right] \quad (7)$$

Els altres dos s'apliquen a el corrent i la tensió:

$$I_{SC,T_C} = I_{SC,STD} \cdot \left[1 + \frac{\alpha}{100} \cdot (T_C - T_{C,STD})\right] \quad (8)$$

$$V_{SC} = V_{SC} \cdot \left[1 + \frac{\beta}{100} \cdot (T_C - T_{C,STD})\right] \quad (9)$$

## 6.2. Sistema de condicionament de potència

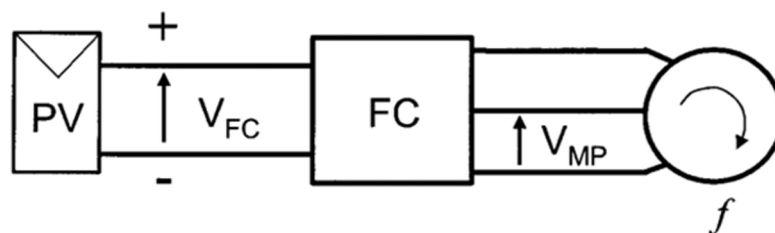
En els sistemes que no son de consum immediat es necessari emmagatzemar d'alguna manera l'energia sobrant. El bombeig basat en obtenir energia de una font que no proporciona un subministrament constant de potència es un cas típic de consum immediat de la potència generada però com que el valor no es constant necessitem un sistema de condicionament que faci l'ajustament.

Quan treballem amb motors de corrent alterna hem d'incloure un ondulador que ens transformi la generació en contínua dels mòduls fotovoltaics.

En general es pot disposar de un bateries com a sistema d'acumulació de l'energia sobrant.

En aquest projecte no es considera en primer lloc per a l'estalvi en la inversió econòmica que representaria el conjunt de bateries en sí mateix, la necessitat del regulador de càrrega com un element més de la instal·lació, la disminució de la fiabilitat, en operacions de manteniment.

Per altra banda el fet d'emprar un variador de freqüència ens permet actuar directament el motor de la bomba adaptant les característiques de la càrrega a la potència generable en cada moment.




---

Figura 6-6 esquema conversió DC-AC

### 6.3. Sistema d'emmagatzemament

S'anomena instal·lació d'autoconsum diferit quan tenim algun tipus d'acumulació d'energia. La instal·lació treballarà com si fos autoconsum instantani (sense acumulació d'energia elèctrica) en el sentit que el conjunt motor-bomba consumirà l'energia disponible en cada moment. El consum de l'aigua no es necessàriament el bombejat en cada moment

#### Bateries

No es recomanen per a sistemes de bombeig. Reducció de l'eficiència del sistema. Eleva la tensió a la que han d'operar el conjunt de panells FV que si s'opera directament la bomba resulta ser menor. Precisen operacions de manteniment addicionals o bé representen un major cost i complexitat en precisar un regulador de càrrega. Molt pocs sistemes instal·lats les incorporen.

#### Dipòsit

És el més natural en tractar-se d'un sistema d'extracció d'aigua. El cabal bombejat i no consumit s'anirà acumulant al dipòsit. El dimensionarem per tal que pugui recollir més volum del precisat en un dia i així tinguem una reserva davant de qualsevol funcionament anòmal.

### 6.4. Sistema d'extracció

El sistema d'extracció es compon de un motor elèctric (DC o AC) acoblat a una bomba. Les bombes poden ser centrífugues o de desplaçament positiu. En relació a el muntatge els podem tenir submergibles, flotants o de superfície.

Segons les càrregues dinàmiques i volum a bombejar disposem del gràfic que ens ajuda a triar la tècnica més adient.

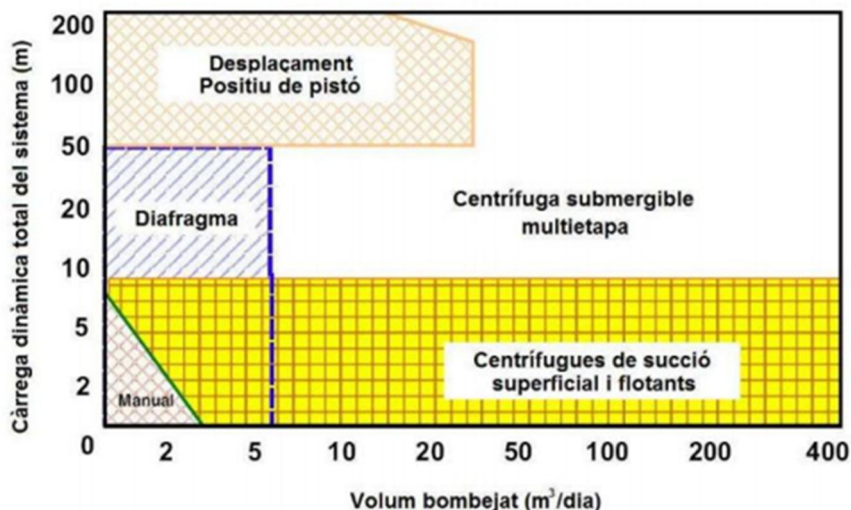


Figura 6-7 Camp de treball de diferents tipus de bombes

Com que les càrregues dinàmiques superaran els 50 metres ens situem en la zona de les centrífugues submergibles multietapa. Les bombes centrífugues són més adequades per a alçades mes o menys fixes i cabals elevats a baixes alçades manomètriques al contrari que les volumètriques però precisen encadenar diferents etapes a raó de 5-6 metres per etapa.

Les bombes centrífugues son simples, amb un mínim de parts mòbils, robustes, de baix cost i amb petits parells d'arrancada.

Per a una alçada donada  $h$  a freqüència nominal  $f_0$  la bomba treballa en un punt  $h-Q_0$  absorbint una potència  $P_0$  (Figura 6-8).

Si la potència disponible disminueix ( $P_1, P_2$ ) aleshores la única opció es treballar a velocitats (freqüències) diferents. La funció del variador es adaptar la freqüència al punt de funcionament.

La variació de potència disponible el cas de subministrament amb energia solar fotovoltaica doncs varia al llarg del dia.

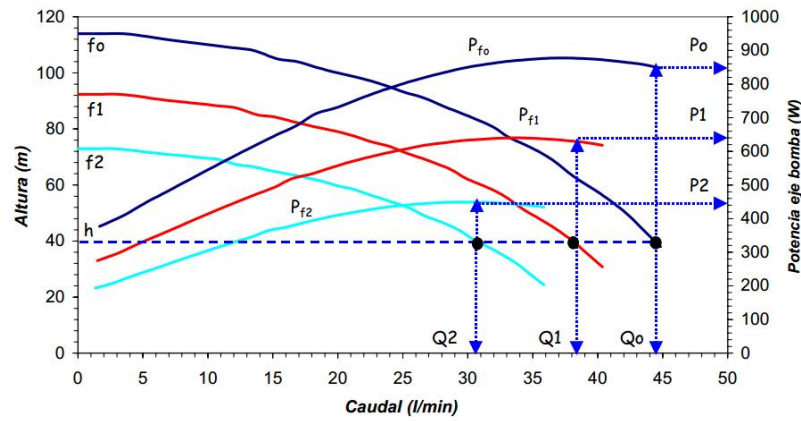


Figura 6-8 Variació de velocitat i cabal a alçada fixa

### Lleis de semblança

Les corbes característiques de les bombes centrífugues a diferents velocitats com les descrites a (Figura 6-8) es poden descriure amb precisió aplicant lleis de semblança

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad \frac{h_2}{h_1} = \frac{n_2^2}{n_1^2} \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{n_2^3}{n_1^3} \quad \frac{\eta_2}{\eta_1} = 1 \quad (10)$$

A partir de conèixer una corba per a una freqüència en podem determinar les que corresponen a altres velocitats.

## 7. CÀLCULS I DIMENSIONAMENT

A l'hora de plantejar el disseny d'un sistema de bombeig fotovoltaic hem de tenir en compte dos factors principals: la sol·licitació energètica constituïda per el volum a extreure i per l'alçada a vèncer i per altra banda la disponibilitat de radiació susceptible de convertir-se en energia elèctrica.

En el flux de l'energia cal tenir en compte nombrosos factors de rendiment.

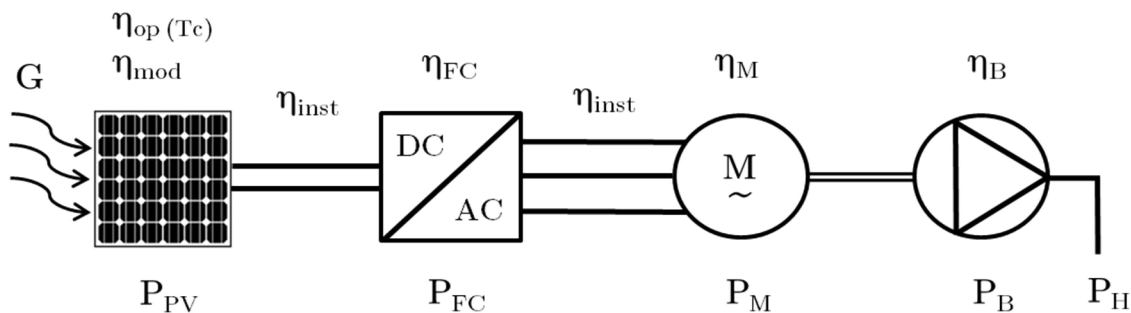


Figura 7-1 Potències i rendiments associats

### 7.1. Energia Solar Disponible

Obtenim les dades del recurs solar aprofitable de les bases de dades de PVGIS (Joint Research Center) de la Comissió Europea.

Actualment es disposa de dos tipus de bases de dades de radiació solar segons el mètode d'obtenció de les dades:

PVGIS-Helioclim i Climate-SAF PVGIS

#### Mesures directes al terreny

Majoritàriament obtingudes amb piranòmetre enregistrant la irradiació global.

#### Estimació mitjançant dades de satèl·lit

Nova CM-SAF Satellite Application Facility on Climate Monitoring

Escollim emprar les dades SAF doncs malauradament no es disposa de moltes mesures precises sobre el terreny a l'Àfrica i segons els estudis de PVGIS tenen molt millor correlació amb les dades reals que la base de dades tradicional . Per altra banda en aquest cas els valors que s'obtenen per una o altra base de dades són lleugerament inferiors als SAF i per tant avaluarem el sistema en condicions que en tot cas probablement podrien ser millors.

	Gh	Gopt	lopt	G6	HSP
	Irradiació pla horitzontal	Irradiació pla inclinat òptim	Inclinació òptima	Irradiació Inclinació 6°	
MES	Wh/m2/dia	Wh/m2/dia	(°)	Wh/m2/dia	hores
Gener	6140	7210	42	6180	6.18
Febrer	6640	7380	32	6560	6.56
Març	7010	7260	17	7450	7.45
Abril	7230	6980	-1	6820	6.82
Maig	7040	6430	-15	6420	6.42
Juny	6650	5940	-22	5840	5.84
Juliol	5900	5380	-18	5380	5.38
Agost	5500	5230	-7	5000	5.00
Setembre	6220	6260	10	5900	5.90
Octubre	6630	7160	27	6380	6.38
Novembre	6240	7200	39	6290	6.29
Desembre	5850	6980	44	6050	6.05
Anual	6420	6610	16	6190	6.19

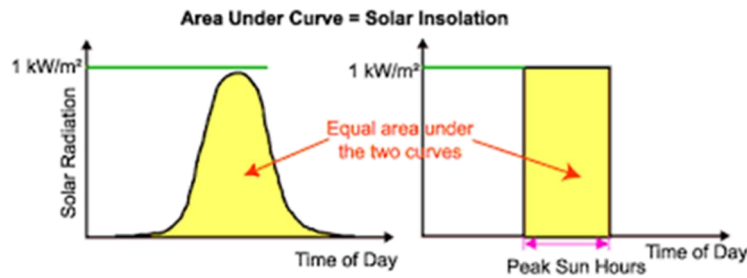
Taula 7-1 PVGIS irradiació diària mitja mensual a Makary

PVGYS ens calcula quina és la inclinació òptima per a cada mes (en orientats al sud) així com la mitjana anual.

En aquest projecte prendrem els valors a 6° doncs els panells restaran col·locats en el sostre amb aquesta inclinació.

### Hora Solar Pic (HSP)

Les HSP és una manera d'expressar l'energia diària incident (G) avaluant en quantes hores a una irradiància constant de 1000 W/m<sup>2</sup> equivaldria a la rebuda durant el dia.



**Figura 7-2** HSP Hores Solar Pic

## 7.2. Sistema d'extracció

Seguim el procediment habitual de partir de dades mitjanes mensuals per al dimensionament.

En aquest cas segons les dades de partida hem d'assegurar un subministrament constant al llarg de tot l'any en no disposar d'un estudi de necessitats diferenciat per mesos. Habitualment les necessitats d'aigua de la població variaran segons les estacions de l'any.

En cas de conèixer aquestes dades mensualment es procedeix a determinar quin es el mes més deficitari energèticament per satisfer la demanda d'aigua. Es construeix una matriu dels quocients Energia Hídrica/Radiació per a cada mes i a diferents angles. Aleshores s'escull el valor mínim dintre els màxims de cada mes.

En el nostre cas coneixem la inclinació de muntatge ( $6^\circ$ ) doncs els panells es fixaran directament al sostre de la construcció existent sense precisar estructures metàl·liques addicionals i la demanda hídrica es considerada fixa ( $25\text{m}^3/\text{dia}$ ).

Partirem de la determinació de la Potència Hidràulica

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (11)$$

### 7.2.1. Cabal

Per fer una estimació del cabal considerem el volum desitjat ( $25\text{ m}^3/\text{dia}$ ) com si fos bombejat a un valor constant durant les hores pic del pitjor dels mesos.

$$Q = \frac{Vd}{HSP} = \frac{25\text{ m}^3}{5\text{ HSP}} = 5\text{ m}^3/\text{h} \quad (12)$$



### 7.2.2. Alçada de bombeig

Ens ve determinada per la suma del nivell estàtic, l'abatiment, el dipòsit i les pèrdues de càrrega.

$$H = H_D + H_{st} + H_a + H_f \quad (13)$$

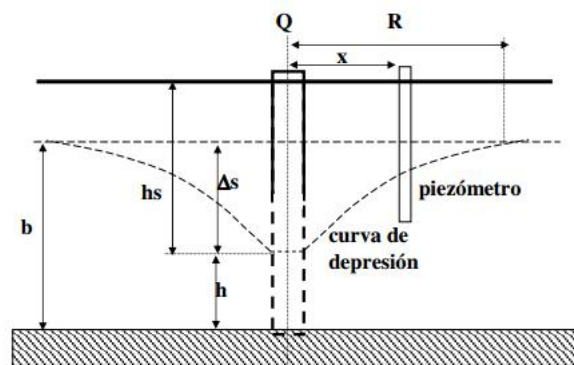
**H<sub>st</sub>** : Nivell estàtic dels pous fins a la superfície: 50 / 100 metres.

#### **Ha: Abatiment**

En efectuar l'extracció en nivell freàtic disminuirà en funció de certs paràmetres de l'aqüífer

Es pot representar com l'anomenada equació del pou que té una expressió prou complexa.

Els paràmetres han d'ésser determinats mitjançant assaigs d'extracció del pou i efectuant mesures de profunditat a un testimoni anomenat "piezòmetre"

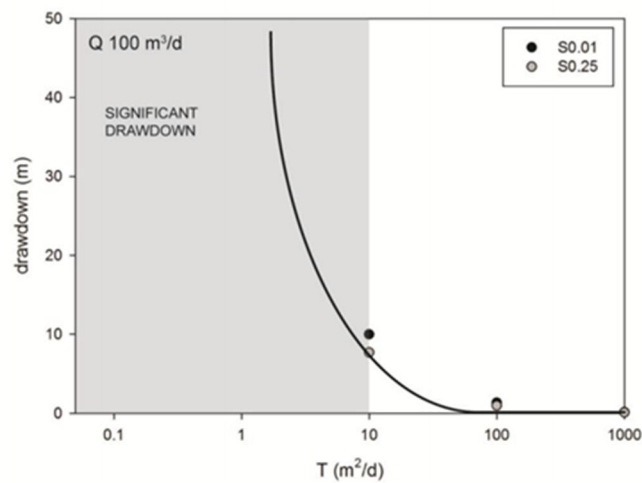


**Figura 7-3** Abatiment

Altres autors opten per fer una aproximació lineal.

A falta de dades sobre el terreny recorrem a cercar d'informació per tal de poder realitzar una estimació aproximada a la realitat de la zona. L'estudi més complert que aborda aquesta qüestió que hem pogut trobar es el realitzat per el British Geological Survey [3] per a tot el continent africà.

L'aqüífer de la zona d'estudi està qualificada com d'alta productivitat i transmissivitat elevada (50-100m<sup>2</sup>/d) que traslladat al gràfic del model dona un resultat de abatiment insignificant.



**Figura 7-4** Abatiment en funció de la transmissivitat

Hem vist que en altres estudis es pren un 10% quan no es té coneixement d'aquest valor.

Amb els models estudiats sembla excessiu però no deixen d'ésser models teòrics.

Prendrem com a aproximació de l'abatiment un valor del 5%

### Hf: Pèrdues de càrrega

Determinem les pèrdues de càrrega en base a l'equació:

$$H_f = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (14)$$

Degut a la dimensió dels pous en centrarem en bombes de 4" quina sortida d'impulsió es de 2" (-50mm). Per determinar el coeficient de fricció considerarem tubs de ferro fos.

Verifiquem a **figura 7-5** que per cada 100m les pèrdues seran de 2,3 m proper al 2% normalment recomanat.

Caudal (l/h)	Diámetros interiores de tuberías en mm											
	19	26	32	38	50	63	75	89	100	125	150	
	metros de altura manométrica por cada 100 m de tubería recta											
500	2.3											
1000	9.3	2.30	0.45									
2000	44.8	10.60	32.85	1.1								
3000		8	5	2	1	0.35						
4000		32.50	9.10	4	1.65	0.75	0.28					
5000			12.9	5.2	2.30	0.95	0.34					
6000			18.50	8.6	3.10	1.15	0.4					
7000			25.70	10.9	4	1.35	0.50	0.25				
8000			33.20	15	5	1.80	0.60	0.30				
9000				18.9	6.10	2.25	0.80	0.40				
10000				25	8.50	2.80	1.15	0.50	0.25			
12000				30.9	10.90	3.80	1.50	0.60	0.45			
15000				47	16.20	6	2.35	0.75	0.65			
18000					22.60	8.20	3	1	0.85	0.25		
20000					28.80	10	4	1.40	0.95	0.30		
25000					41.50	14.40	6.10	1.80	1.40	0.45		
30000						20.60	8.35	2.40	2.10	0.62	0.30	
35000						27.85	11.4	3.20	2.90	0.95	0.40	
40000						36.90	14.5	4.20	3.60	1.15	0.45	
45000						40.60	18.3	5.60	4.50	1.45	0.55	
50000							21.9	6.90	5.40	1.85	0.80	
60000							30.5	9.60	7.60	2.55	1.05	
<i>Factores para otros tipos de tubería</i>												
	<i>Acero sin soldadura</i>		0.75	<i>Fibrocemento</i>				0.60	<i>P.V.C</i>		0.50	

**Figura 7-5** Pèrdues de càrrega [5]

Aleshores la velocitat de l'aigua per al cabal determinat serà:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3600} \text{h/s}}{\pi \cdot (0,050\text{m})^2} = 0,707 \text{ m/s} \quad (15)$$

Constatem que ens trobem en règim turbulent:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\text{visc cinem}} = \frac{0,707 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,050\text{m}}{10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 35368 > 4000 \quad (16)$$

Calculem el coeficient de fricció que emprarem en la construcció de les corbes de càrrega en funció del cabal

$$f = \frac{2,3}{100} \cdot \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,050}{(0,707)^2} \cong 0,045 \quad (17)$$

$$H_f = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (18)$$

$$H_f = f \cdot \frac{8}{g \cdot \pi^2 \cdot d^5} \cdot L \cdot Q^2 = 11889 \cdot L \cdot Q^2 \quad (19)$$

Per als accessoris aplicarem el equivalent lineal determinat per la taula:

## Cálculo de pérdidas de carga

### Pérdidas de carga en accesorios

Longitud equivalente de tubería recta (en metros).

Diámetro del tubo	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	400	500	600	700
Curva 90°	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	1	1.2	1.8	2	3	5	5.5	7	8	14	16
Codo 90°	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.3	1.7	2.5	2.7	4	5	7	9.5	11	19	22
Conos difusores	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Válvula de pie	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	30	45	60	75	90	100
Válvula retención	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	25	35	50	60	75	85
Válv. Compuerta 100% Abierta	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1.5	2	2	2	3	3.5	4	5
Válv. Compuerta 75% Abierta	2	2	2	2	2	2	4	4	6	8	8	8	12	14	16	20
Válv. Compuerta 50% Abierta	15	15	15	15	15	15	30	30	45	60	60	60	90	105	120	150

Valores aproximados, variables dependiendo de la calidad de los accesorios (válvulas, codos, etc.)

**Figura 7-6 Pèrdues de càrrega Accesoris (Catàleg ESPA)**

### Dipòsit (Hd)

Calculem el volum acumulable com per cobrir les necessitats de 2 dies (50 m<sup>3</sup>) preveient una reserva per quan el sistema no pugui treballar les hores necessàries.

Aleshores podem concretar l'alçada en funció del disseny del dipòsit. Si en determinem un de fabricació comercial cal tenir present la dificultat del transport per les seves grans dimensions.

Una altra opció és efectuar una construcció d'obra que caldria avaluar en projecte separat. Proposarem a les autoritats locals que estudiïn si es fan petits per cobrir una zona o u de més gran per cobrir tota la població i a més a més un sistema de distribució.

Una alternativa provisional es emprar una cisterna flexible fins a la determinació d'una solució fixa i que serà reutilitzable per altres cassos. L'alçada es menor i de 1,25 metres màxim al que afegiríem 1m més per mantenir un mínim d'alçada (per exemple amb un talús de terra). No ofereix prou garanties sanitàries a llarg ús i s'hauria de netejar amb aigua calenta (70°) o agents potabilitzants o fer servir clor. Genera dubte que mai es buida completament.



Ens decantem per un de d'acer galvanitzat amb liner interior que es pot muntar in situ. El model que dona cabuda a 54m<sup>3</sup> té una alçada de 2.290 mm. Afegim també 1m de talús per facilitar l'extracció mitjançant una o varies aixetes. Fixarem l'entrada a 2metres resultant en un total de **3m** d'alçada.

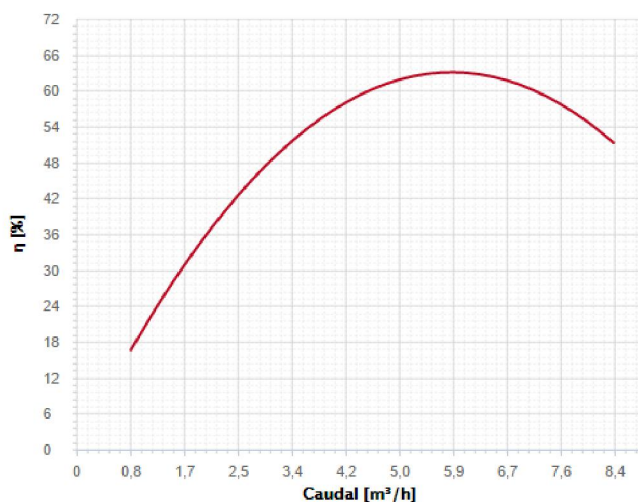
**Figura 7-7 exemple Dipòsit**

## Bomba-Motor

Amb els paràmetres d'alçada i volum diari ens situem en una combinació que entra dins del rang de treball de bombes centrífugues multi-etapa submergibles.

Coneixem que l'amplada del pou (150 mm) es suficient per a l'aplicació de bombes de 4" (102mm)

Cerquem entre les bombes de ESPA les que a freqüència nominal ens compleixi el punt de funcionament desitjat. Trobem que la sèrie ES4 06 es la que té el rendiment més a prop del màxim per a un cabal de  $5\text{m}^3/\text{h}$



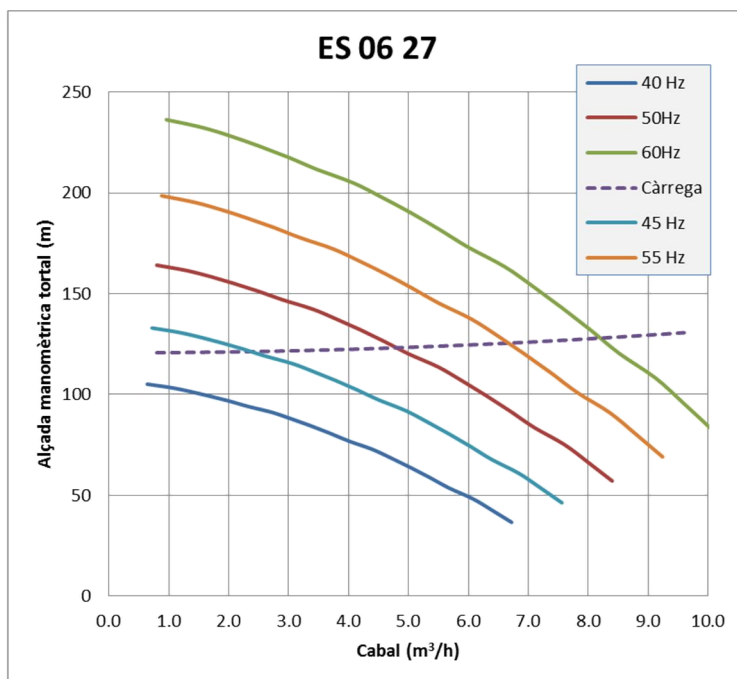
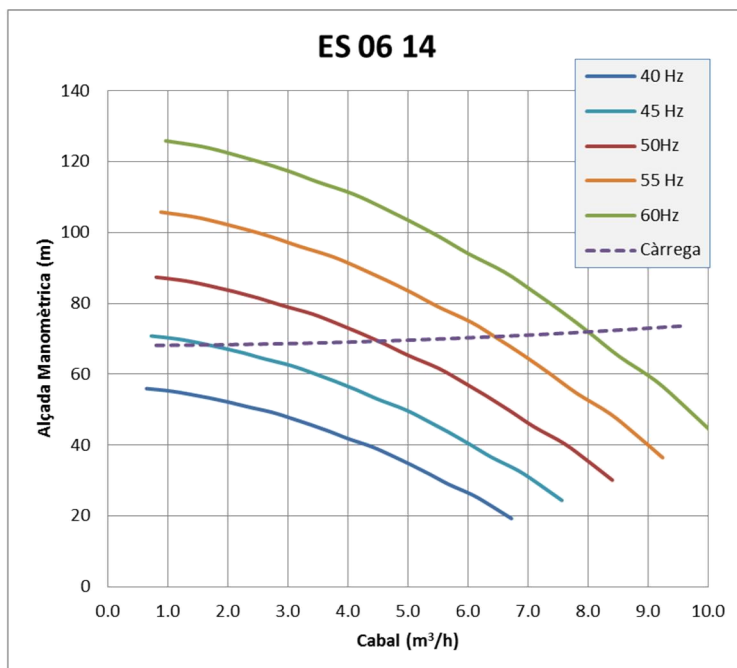
**Figura 7-8** Rendiment bombes esta ES4 06

Modelos trifásicos	Caudal [m³/h]	0,0	0,8	1,7	2,5	3,4	4,2	5,0	5,9	6,7	7,6	8,4
ES4 06 07	Altura [m]	41,8	40,8	39,4	37,5	35,1	32,3	29,0	25,3	21,2	16,5	11,5
ES4 06 10		61,8	60,3	58,2	55,5	52,1	48,1	43,4	38,2	32,2	25,7	18,5
ES4 06 14		88,9	87,4	84,9	81,5	77,0	71,6	65,3	57,9	49,6	40,4	30,1
ES4 06 20		124,1	121,2	117,2	112,0	105,6	97,9	89,1	79,1	67,9	55,5	41,9
ES4 06 27		168,2	164,1	158,4	151,1	142,3	132,0	120,1	106,6	91,6	75,1	57,0
ES4 06 34		206,5	201,9	195,2	186,4	175,7	163,0	148,2	131,4	112,6	91,8	69,0
ES4 06 36		219,2	214,6	207,8	198,8	187,7	174,5	159,0	141,5	121,7	99,8	75,8
ES4 06 49		299,3	292,5	282,8	270,2	254,7	236,4	215,1	191,0	164,0	134,2	101,4

**Figura 7-9** Alçades manomètriques bombes ES4 06

Per a 50 metres triarem la ES4 06 14 i per a 100 la ES4 06 27 que son les que poden elevar per damunt de les profunditats desitjades a les que hem d'afegir les pèrdues de càrrega.

Seguint les lleis de semblança (10) en construïm les gràfiques i verifiquem el punt de funcionament a freqüència nominal 50Hz.



### 7.3. Potència d'extracció

Potència Hidràulica

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (20)$$

Potència Bomba

$$P_B = \frac{P_h}{\eta_B} \quad (21)$$

Potència Motor

$$P_M = \frac{P_B}{\eta_M} \quad (22)$$

Pou	Q m <sup>3</sup> /s	Ht m	Ph W	$\eta_h$	PB W	$\eta_M$	PM W	Cos $\varphi$	I A
50 m	0,0014	69,6	956	61,9%	1544	69%	2238	0,68	8,3
100 m	0,0014	123,3	1693	61,9%	2736	72%	3800	0,73	12,9

Taula 7-2 rendiments i potències

### 7.4. Generació elèctrica

Hem de determinar el nombre de mòduls en sèrie i paral·lel que compleixin amb les necessitats energètiques.

Segons les indicacions de Omron [1] En tensió s'han d'assolir mínim 310V al bus DC i en potència es recomana de triar sempre un variador un nivell superior al motor.

En quant a tensió ho apujarem fins a 325V en ésser el valor corresponent al valor eficaç de 230V.

kW Motor (220V)	VARIADOR	Corrent Nominal	Corrent Arrencada màx.	P mínima recomanada (W)	Tensió Bus CC
0,55	3GMX2-B004-E	3	3,6	900	325 V cc
1,1	3GMX2-B004-E	5	6,0	1800	325 V cc
1,5	3GMX2-B004-E	8	9,6	2400	325 V cc
2,2	3GMX2-B004-E	11	13,2	3600	325 V cc
3,7	3GMX2-B004-E	17,5	21,0	6000	325 V cc

---

Taula 7-3 variadors Omron

Així mateix hem d'assegurar que no superem la tensió màxima d'entrada del variador es de 400V.

Encara ens cal determinar amb més precisió quina es el valor de potència que han de proporcionar el generador tenint en compte rendiments de la instal·lació, el convertidor i el propi funcionament dels mòduls solar en condicions reals doncs les dades que proporcionen els fabricants són en condicions estandarditzades de laboratori. A aquest efecte el fabricant ens ha d'fe proporcionar la Temperatura normal d'operació.

### **Temperatura Normal D'Operació (NOCT)**

Cerquem les temperatures ambient mitjanes mensuals a les poblacions d'estudi i construïm una taula calculant la temperatura de les cel·les en funció de la irradiància segons l'expressió (9).

Prenem llavors el valor de temperatura corresponent a la màxima irradiància mensual per a determinar l'afectació conjunta d'irradiància i de temperatura sobre la potència.

Efectuant els càlculs amb les dades de diferents mesos observem que la potència que donen el mòduls serà entre el 80 i el 89% de la potència pic (Annex C). Prendrem com rendiment el menor dels valors.

### **Pèrdues en el cablejat**

Considerem una aproximació del 2%

### **Rendiment del Variador**

Considerem un rendiment del 95%.



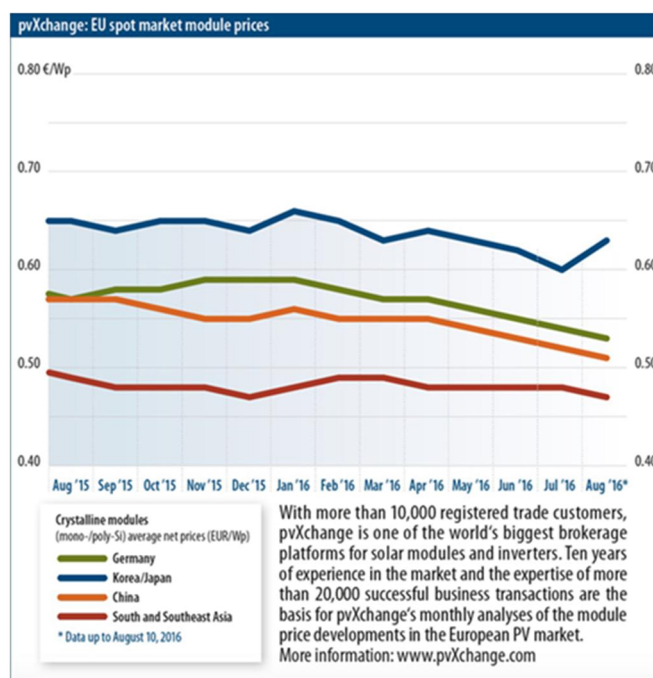
## Relació Qualitat/Cost dels mòduls

Segons els últims estudis de pvXchange publicats a PV magazine (<http://www.pv-magazine.com>) cost de les cel·les major eficiència actualment dobla el de les de més baixa qualitat. Ens centrarem en les de producció europea que ens puguin proporcionar la potència necessària a un preu raonable fugint dels productes "low cost" primant la seguretat de bon funcionament enfront al risc de fallades en la instal·lació donat l'esforç que pot representar aquesta inversió.

Overview of new price points for July 2016 with changes indicated:

Module Class	Price (€/Wp)	Change comp. with previous month	Description
High Efficiency	0.68	+1.5%	Crystalline modules 275 Wp and above with PERC, HIT, n-type or back-contact cells, or combinations thereof
All Black	0.56	+1.8%	Module types with black back sheets, black frames and a rated power between 190 Wp and 270 Wp
Mainstream	0.50	-2.0%	Modules typically with 60 cells, standard aluminum frame, white backsheets and 245-270 Wp, represents the majority of the modules on the market
Low Cost	0.34	-5.6%	Low-output modules, factory seconds, insolvency goods, used modules (crystalline), products with limited or no warranty

**Figura 7-10** Nivell de preus actual dels mòduls (pVXchange)



**Figura 7-11** Evolució de preus interanual

## Pèrdues en els mòduls

Recollim les observacions i valoracions fetes a [8] en la següent taula.

Pols/Brutícia	1%	
Tolerància potència mòdul	3%	Variable segons segons el fabricant
	4%	
Pèrdues instal·lació	2%	Rendiment 98%
Pèrdues variador	6%	Rendiment 94%
Inclinació/Orientació	5%	Ja contemplat a les dades
Sombres	1%	Els panells no es faran ombra entre ells (b)
Falta de disponibilitat	2%	No tenim en compte
Altres (Bateries,...)	2%	No tenim en compte, no n'hi hauran

**Taula 7-3** Factors de rendiment en mòduls solars

## Potència Fotovoltaica

$$P_{PV} = \frac{P_{em}}{\eta_{inst} \cdot \eta_{FC} \cdot \eta_{modul} \cdot \eta_{op}} \quad (23)$$

Així doncs cerquem entre les dades de diferents fabricants de panells (veure càlculs annexes).

$$n^{\circ} \text{ mòduls} = \frac{P \text{ necessària}}{W_{pic \text{ panell}}} \quad (24)$$

Si el corrent subministrat és suficient no ens calen associacions en paral·lel, llavors els mòduls aniran connectats en sèrie. Verifiquem que es compleixi:

$$325 \text{ V} \leq n^{\circ} \text{ mòduls sèrie} \cdot V_{MPP} < 400 \text{ V} \quad (25)$$

Pou	$P_{em}$	$\eta_{inst}$	$\eta_{FC}$	$\eta_{modul}$	$\eta_{op}$	$P_{PV}$
50 m	2238	98%	95%	96%	80%	3130 W
100 m	3748	98%	95%	96%	80%	5241 W

**Taula 7-4** Potència fotovoltaica requerida

Hem contrastat dades de diferents fabricants i per al dimensionament hem seleccionat AXITEC que a part d'esser econòmic te una gran gama de sèries i potències que ens permeten aproximar-nos millor a la combinació de potència demandada sense sobrepassar el límit de tensió del variador així com que en condicions de màxima potència tinguem possibilitat de subministrar el corrent necessari.

Pou	Mòduls	Nº mòduls	$P_{FV}$	$V_{mpp}$	$I_{mpp}$
50m	AXITEC AC285M	11 sèrie	3130 W	349 V	9,1 A
100m	AEET SE200M	9s x 3p	5241 W	340 V	15,6 A

**Taula 7-5** Mòduls seleccionats

### Connexions

pou 50 m	longitud m	$\rho$ $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	P	V	$\Delta V$ %	Smin $\text{mm}^2$	S $\text{mm}^2$
CC	10	0,022	3130	350	2%	0,56	1,50
CA	60	0,022	2238	230	2%	2,59	4,00
pou 100 m	longitud m	$\rho$ $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	P	V	$\Delta V$ %	Smin $\text{mm}^2$	S $\text{mm}^2$
CC	10	0,022	5241	340	2%	1,00	1,50
CA	110	0,022	3748	230	2%	7,95	10,00

**Taula 7-6** Seccions de les connexions

## Envelliment de la instal·lació

Dels valors recollits a [8] no hem tingut en compte un factor envelliment del 1% no justificat. Segons les dades subministrades per tots els fabricants la garantia comercial assegura que es complirà que en un període de 10 anys els paràmetres característics no seran menors que el 90% dels nominal i en 25 anys el 80%.

Els valors de  $V_{mpp}$  i  $I_{mpp}$  ja són un 10% superiors als nominal d'operació que poden permetre que la instal·lació funcioni amb rendiment acceptable en l'horitzó de 20-25 anys.

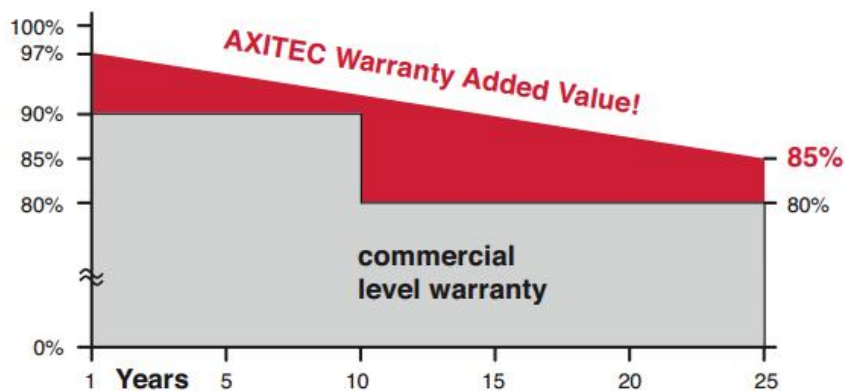


Figura 7-12 Disminució de la potència dels mòduls

## 7.5. VARIADOR DE FREQUÈNCIA

### 7.5.1. Selecció dels variadors

El funcionament serà el mateix en ambdós casos, només hem d'escollir la talla adequada.

A través d'aquest treball hem arribat a una conclusió que s'acosta a la regla que OMRON proposa:

$$\text{Potència fotovoltaica mínima recomanada} = \text{kW Motor} \times 1,6$$

Pou	$P_{FV}$ W	$V_{mpp}$ V	$I_{mpp}$ A	Variador	Motor kW	$I_{nom}$ A	$I_{arr.}$ A	Omron P min PV W
50m	3130	349	9,1 A	3G3MX2-AB022-E	2,2	8	9,6	3600
100m	5400	340	15,6 A	3G3MX2-A2037-E	3,7	17,5	21	6000

Figura 7-13 comparativa resultats projecte – recomanació Omron

### 7.5.2. Principi de funcionament

En base a les instruccions de configuració dels variadors MX2 de Omron presentades a l'informe tècnic [4].

La proposta de Omron es realitzar un control PID sobre la tensió al bus DC per tal que davant qualsevol variació es corregeixi cap a un valor de consigna que s'apropi al valor teòric de tensió de màxima potència.

Aquest no es estrictament un procediment de seguiment del punt de màxima potència doncs sabem que el punt de màxima potència variarà tant amb el nivell d'irradiació (corrent) com amb la temperatura d'operació de les cel·les. En canvi per poder treballar només amb el variador sense altres elements addicionals determinem una consigna fixa.

Per al disseny de un sistema de seguiment del punt de màxima potència cal tenir en compte la mesura de la temperatura que pot tenir un efecte major en la variació de tensió.

Les solucions comercials es basen en algun tipus de PLC que implementen algorismes per modificar la consigna. Omron proposa una solució amb diferents punts de consigna fent servir les entrades multifreqüència (fins a 16 velocitats programables) i adaptar la consigna segons l'època de l'any però cal implementar un codi binari extern per efectuar la selecció.

L'ideal es emprar sistemes de mesura de la irradiància i així poder establir una consigna i per això cal desenvolupar l'electrònica i algorismes de cerca del MPP. Alguns kits comercials ofereixen aquesta possibilitat en equipament específic o bé targetes electròniques a integrar en el quadre de control.

Alonso Abella proposa com a sistema més senzill efectuar la mesura directa de la temperatura del mòdul amb un sensor i un circuit electrònic simple [4] doncs es més gran la variació en tensió deguda a la variació de temperatura que a la de irradiància.

Una proposta alternativa a desenvolupar seria instal·lar una cel·la o mòdul del mateix tipus amb la que es monitoritzi la Voc llavors establim una consigna a 0,76 Voc que segons alguns estudis [7] pot ésser considerada aproximadament constant en tota corba de potència dels mòduls. El que e proposa en aquest estudi es desconnectar la instal·lació uns instants suficient per fer la lectura de Voc i llavors reajustar la consigna.

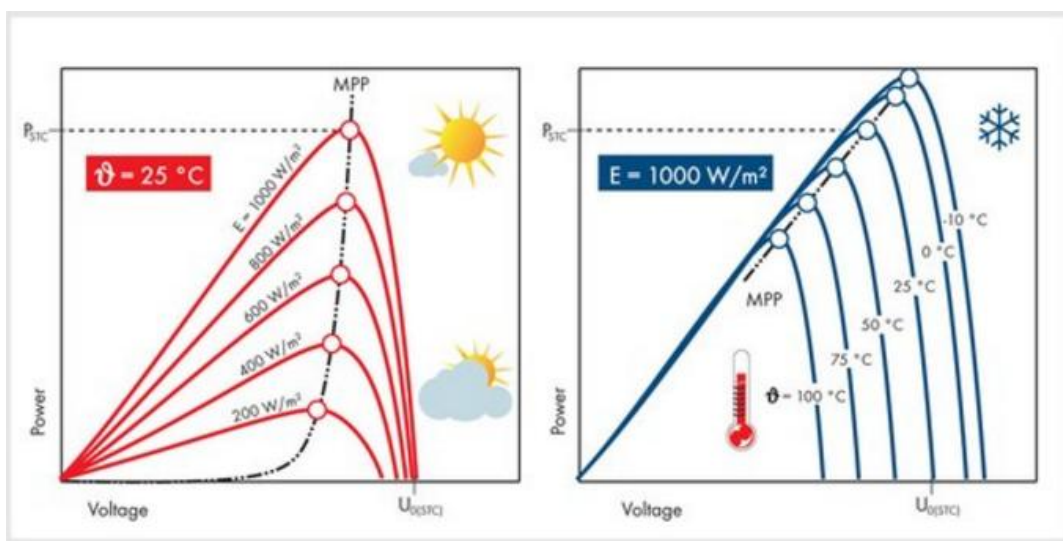


Figura 7-14 variació del MPP (sma-america.com)

Hem d'establir una consigna a un valor lleugerament menor que la tensió Vmpp menor.

Amb les dades que disposem fem el càlcul de les tensions de cada mes.

Mes	Tc	Vmpp (V) AXITEC	Vmpp (V) AEET
Gener	54.5	28.79	34.45
Febrer	59.7	28.30	33.87
Març	65.3	27.77	33.23
Abril	68.7	27.45	32.84
Maig	66.3	27.68	33.12
Juny	64.3	27.87	33.34
Juliol	54.5	28.79	34.45
Agost	62.0	28.08	33.60
Setembre	63.6	27.93	33.42
Octubre	64.1	27.88	33.37
Novembre	60.1	28.26	33.82
Desembre	55.6	28.69	34.33

**Taula 7-7** Tensions de MPP calculades amb Tc temperatura de cel·la

$$\text{Per al kit de 50 m } V \text{ consigna} = 11 \times 27,45 = 301,95 \text{ V, configurarem 300V} \quad (26)$$

$$\text{Per al kit de 100 m } V \text{ consigna} = 9 \times 32,84 = 295,56 \text{ V, configurarem 290V} \quad (27)$$

### 7.5.3. Esquemes de connexió

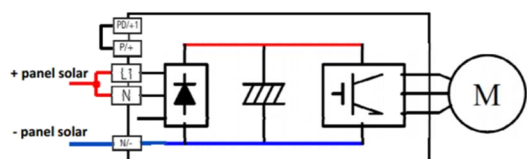


Figura 7-16 Variador Monofàsic

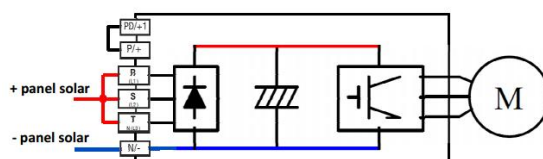


Figura 7-15 Variador Trifàsic

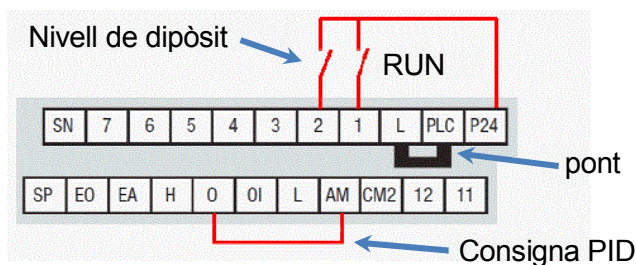


Figura 7-17 Connexions Variador

### Configuració de paràmetres

Considerem que en l'execució del projecte s'ha de lliurar en convertidor programat. Resumim en una taula els més significatius així com els que precisen seleccionar una opció. Els no especificats s'entén que són els recomanats per Omron en el seu document [4]

### Endegament del sistema

Nº	Nom	Valor	Observacions
<b>P102</b>	Consigna Bus DC	300.00	Escalat de consigna i realimentació PID
<b>P100</b>	Temps de retard de marxa	200	2000 ms
<b>P102</b>	Mínima tensió DC	1750	175V per als models de 220V
<b>A075</b>	Conversió d'escala de PV	10.00	10.00 equival a 999,9V (P102 entrada directa en Volts)



**Protecció Baixa irradiància**

Nº	Nom	Valor	Observacions
<b>P101</b>	Baixa tensió	1	Detectar. Reinicia automàticament quan Bus DC > P102
<b>P105</b>	Reset automàtic de fallada	1	Aplicar sempre
<b>B001</b>	Mode reinici automàtic	2	Activa funció de compensació de microtalls
<b>B001</b>	Temps tensió baixa permissible	3 seg.	Temps d'espera abans d'activar falla per baixa tensió

**Detecció nivell de dipòsit**

Nº	Nom	Valor	Observacions
<b>C002</b>	Consigna Bus DC	57: X(01)	Escalat de consigna i realimentació PID
<b>C012</b>	Consigna Bus DC	0: NA	Nivell de dipòsit. Contacte tancat = dipòsit ple

**Activar/Desactivar PID**

Nº	Nom	Valor	Observacions
<b>A062</b>	Límit inferior de freqüència	42 Hz	Freqüència mínima de treball de la bomba
<b>P110</b>	Nivell dormir PID	4500	45.00 Hz
<b>P111</b>	Nivell despertar PID	450	45.0 Hz

## 8. IMPACTE AMBIENTAL

Aquest sistema proporcionarà a la població una font d'aigua potable mitjançant una energia totalment neta.

No s'empraran combustibles sòlids. El país té possibilitat d'explotació d'aquest recurs i podrien alimentar les bombes amb grups electrògens però aleshores generariem doble petjada de CO<sub>2</sub> una per el consum i l'altra per la necessitat de transportar el combustible a aquest racó aïllat del Camerun.

No s'empraran bateries evitant la segura contaminació del medi ambient en no poder assegurar quin en pot ser el destí final un cop restin inservibles.

## 9. PRESSUPOST

Fem un pressupost per a cada cas plantejat que comprendrà només els elements constructius que fan possible el funcionament de la instal·lació. La comunitat disposa de gent preparada per a efectuar el muntatge. No es considerarà el cost d'enginyeria de l'estudi en tractar-se de una ONG. Considerem aquest estudi com només part del que suposaria el projecte de factibilitat. Caldrà avaluar també els costos de transport i eventualment els d'obra civil.

Makary-Blangoua

Sistema de bombeig per energia solar per als pous de nivell estàtic 50 m

Concepte	Producte	Preu €/u.	u.	Preu
			1	
Mòduls	AXITEC	133,95 €	1	1.473,45 €
Variador	OMRON 3G3MX2-AB022E	358,00 €	1	358,00 €
Bomba	ESPA ES4 06 14	185,00 €	1	185,00 €
Motor	ESPA 04L 200 (III 230V)	345,00 €	1	345,00 €
<b>Subtotal elements bàsics</b>				<b>2.361,45 €</b>
			1	
Connexió AC	Exzhellent XXI 1000V 3x4	3,90 €	10	429,00 €
			2	
Connexió DC	Exzhellent Solar-ZZ F	2,60 €	0	52,00 €
			1	
unions estanques	NERLED AI289	9,68 €	1	106,48 €
interruptor nivell	Escoda AA 10 metres cable	32,00 €	1	32,00 €
Caixa variador/connexions	Hazemeyer MIP 43/3P	99,24 €	1	99,24 €
<b>Subtotal accessoris elèctrics</b>				<b>718,72 €</b>
			5	
Tuberia linial	2"	5,93 €	6	332,08 €
Colzes	TUVAIN 2" 90º	7,76 €	2	15,52 €
Aixeta de pas	ARCO esfera HH palanca 2"	37,73 €	1	37,73 €
Vàlvula antiretorn	ARCO 2"	24,43 €	1	24,43 €
Aixeta de sortida	ARCO esfera HH palanca 2"	37,73 €	1	37,73 €
<b>Subtotal elements instal·lació hidràulica</b>				<b>447,49 €</b>
Dipòsit		2.290,00 €	1	2.290,00 €
<b>Subtotal dipòsit</b>				<b>2.290,00 €</b>
<b>Total instal·lació (IVA no inclòs)</b>				<b>5.817,66 €</b>

Makary-Blangoua

Sistema de bombeig per energia solar per als pous de nivell estàtic 100 m

Concepte	Producte	Preu €/u.	u.	Preu
Mòduls	AXITEC	133,95 €	11	1.473,45 €
Variador	OMRON 3G3MX2-A2037-E	600,00 €	1	600,00 €
Bomba	ESPA ES4 06 27	293,00 €	1	293,00 €
Motor	ESPA 04L 400 (III 230V)	642,00 €	1	642,00 €
<b>Subtotal elements bàsics</b>				<b>3.008,45 €</b>
Connexió AC	Exzhellent XXI 1000V 3x10	8,80 €	110	968,00 €
Connexió DC	Exzhellent Solar-ZZ F	2,60 €	20	52,00 €
Unions estanques	NERLED AI289	9,68 €	29	280,72 €
Interrupctor nivell	Escoda AA 10 metres cable	32,00 €	1	32,00 €
Caixa variador/connexions	Hazemeyer MIP 43/3P	99,24 €	1	99,24 €
<b>Subtotal accessoris elèctrics</b>				<b>1.431,96 €</b>
Tub lineal	2"	5,93 €	56	332,08 €
Colzes	TUVAIN 2" 90º	7,76 €	2	15,52 €
Aixeta de pas	ARCO esfera HH palanca 2"	37,73 €	1	37,73 €
Vàlvula antiretorn	ARCO 2"	24,43 €	1	24,43 €
Aixeta de sortida	ARCO esfera HH palanca 2"	37,73 €	1	37,73 €
<b>Subtotal elements instal·lació hidràulica</b>				<b>447,49 €</b>
Dipòsit		2.290,00 €	1	2.290,00 €
<b>Subtotal dipòsit</b>				<b>2.290,00 €</b>
<b>Total instal·lació (IVA no inclòs)</b>				<b>7.177,90 €</b>

## 10. MANTENIMENT

### PLA DE MANTENIMENT PREDICTIU

ACCIÓ	PERIODICITAT
Neteja de la superfície dels mòduls	mensual
Inspecció visual de deteriorament físic dels mòduls	trimestral
Inspecció estat mecànic de les connexions, reajustaments	trimestral
Estat de l'inversor	trimestral
Verificació de caiguda de tensió al cablejat de CC	trimestral
Verificació d'elements de seguretat (terra, proteccions, fusibles)	semestral

Figura 10-1 Tasques de Manteniment

### MANTENIMET CORRECTIU

Com que no hi ha la possibilitat de contactar un servei local de manteniment aquest haurà d'ésser fet per gent formada al CEFAVIAR. Cal valorar la possibilitat de disposar al propi centre d'energia solar d'elements de recanvi.



## Conclusions

Hem pogut dissenyar un sistema més econòmic que els kits comercials (alguns no inclouen el motor-bomba) per el fet de basar-nos en la proposta de Omron.

Vist l'elevat cost de fer servir algun tipus de dipòsit prefabricat s'hauria de fer un estudi per a la construcció d'un dipòsit d'obra com a mínim i al mateix temps una xarxa de punts d'abastiment de la població.

Donada la variació de profunditats d'extracció de 50m a 100 metres es podria realitzar una experiència pilot amb el menys profund i així, amb el coneixement del comportament d'aquest pou en podrem ajustar el disseny per als més profunds.

El complement necessari als treballs d'aquest estil seria el desenvolupament de sistemes de MPPT en base a circuits senzills de monitorització de la temperatura i/o de la irradiància.





## Agraïments

Al professor Antoni Sudrià i Andreu per donar-me suport en aquesta última oportunitat.

A na Mercè Palomera i en Dani Ruano de Barcelona Missionera per acollir amb il·lusió i entusiasme aquesta proposta així com per la col·laboració rebuda.



## Bibliografia

- [1] LOPEZ C, *Solución a Bombeos Aislados*, OMRON, 2013.
- [2] MINISTERE DE L'ENERGIE ET DE LE EAU, *Plan d'action national de gestion integree des ressources en eau. Cadre financier, économique et social du secteur de l'eau au cameroun*. 2009, p. 73.
- [3] BONSOR HC AND MACDONALD AM, *An initial estimate of depth to groundwater across Africa*, British Geological Survey. Keyworth: Open Report OR/11/067, 2011.
- [4] ABELLA, Alonso, *PV water pumping Systems Based on Standard Frequency Converters*. MASTER ENERGIAS RENOVABLES - CIEMAT, Febre 2003.
- [5] ABELLA, Alonso, *Sistemas de Bombeo Fotovoltaico*. PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS, Febre 2003.
- [6] LOPEZ, Carlos, *M Informe técnico. Configuración de variador MX2 alimentado mediante paneles solares para aplicaciones de bombeo*. OMRON, Març 2013 .
- [7] Máximum powerpoint tracking.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Maximum\\_power\\_point\\_tracking?oldid=721331632](https://en.wikipedia.org/wiki/Maximum_power_point_tracking?oldid=721331632)
- [8] CANTOS SERRANO, Juan: *Configuración de instal·lacions solares fotovoltaico*. Madrid: Paraninfo, 2016.
- [9] [http://www.tanks-direct.co.uk/galvanised steel tanks/galvanised steel water tanks/54000 litres galvanise d steel water storage tank](http://www.tanks-direct.co.uk/galvanised_steel_tanks/galvanised_steel_water_tanks/54000_litres_galvanise_d_steel_water_storage_tank)
- [10] <http://www.gwp.org/en/ToolBox/CASE-STUDIES/Africa/Cameroon-Planning-for-sustainable-water-resources-development-and-management-375/>
- [11] <http://www.pv-magazine.com/investors/module-price-index/#axzz4L1BLFwxM>
- [12] <http://www.ensolar.com>
- [13] AINCIBURU, Andrea. *Bombeo Fotovoltaico con paneles de bajo coste*. Treball Fi de Grau UPC, 2014.

## Bibliografia complementària

CASTRO GIL, M. i al.: *Sistemas de Bombeo Eólicos y Fotovoltaicos*. Sevilla: Progensa, 2011

MASCARÓS VICENTE, Mateo: *Instalaciones generadores fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo 2015.

JUTGLAR, Lluís: *Generación de energía solar fotovoltaica*. Barcelona: Marcombo, 2012

PAREJA APARICIO, Miguel: *Energía solar fotovoltaica. Cálculo de una instalación aislada (3ª Ed.)*. Barcelona: Marcombo, 2016.