



MÒDUL 6: Xarxa secundària de reg a baixa pressió impulsada per energia solar a través de plaques fotovoltaïques que permetrà model de reg col·lectiu

RESUM

La millora de l'eficiència i la reducció del cost econòmic dels panells de producció elèctrica fotovoltaica en els darrers anys permeten incorporar aquesta tecnologia en el bombament i la distribució d'aigua en els cultius de regadiu. Això, combinat amb l'increment de cost que suposa estendre la xarxa elèctrica en l'àmbit rural, o amb la incertesa respecte al cost dels combustibles fòssils per bombear aigua dels pous, fa que moltes vegades el bombament solar sigui l'alternativa més econòmica.

En la majoria d'ocasions el reg solar va associat a sistemes de reg eficients (reg localitzat o reg per aspersió) perquè necessita menys aigua instantània que el reg per superfície. Per al bombament solar, no són cap limitació ni la fondària de l'aigua ni l'extensió de la superfície que s'ha de regar; senzillament s'han de dimensionar correctament el cabal màxim d'aigua que es necessita, l'equip de bombament i la superfície necessària de panells fotovoltaics per generar la potència elèctrica indispensable.

1. INTRODUCCIÓ

L'aigua és el factor de producció vegetal més important en els entorns de clima mediterrani. La captació d'aigua dels diferents aquífers subterranis és una possibilitat sempre que es disposi d'una autorització (per a extraccions de menys de 7.000 m³/any) o d'una concessió (per a extraccions de més de 7.000 m³/any) atorgada per l'administració hidràulica (Agència Catalana de l'Aigua o Confederación Hidrográfica del Ebro).

En aquests casos, avui en dia el bombament i la distribució d'aigua a la parcel·la per impuls d'energia fotovoltaica esdevenen una oportunitat davant d'altres opcions tradicionals, a través del subministrament de la xarxa elèctrica o a partir de motors de combustió de combustibles fòssils.

En aquest mòdul plantegem la possibilitat d'utilitzar la instal·lació més senzilla d'autoconsum, sense cap tipus de connexió a la xarxa elèctrica, d'acord amb l'RD 244/2019, que regula les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum d'energia elèctrica.

2. OBJECTIUS / QUÈ APRENDREU EN AQUEST MÒDUL

- Què és el bombament solar o fotovoltaic directe
- Com calcular el dimensionament dels equips necessaris per al bombament solar directe

3. EL BOMBAMENT SOLAR DIRECTE

Les instal·lacions de reg per bombament solar directe consisteixen en un generador elèctric de plaques solars que, amb la insolació suficient, comencen a generar corrent continu. Un variador de freqüència transforma aquest corrent continu en corrent altern per alimentar una bomba elèctrica amb la qual s'extreu l'aigua. La pressió de l'aigua és constant però el cabal pot variar en funció de la disponibilitat energètica de cada moment.

No s'aconsella utilitzar bateries d'emmagatzematge energètic per al reg agrícola degut a l'elevat cost i als requeriments de manteniment que tenen.

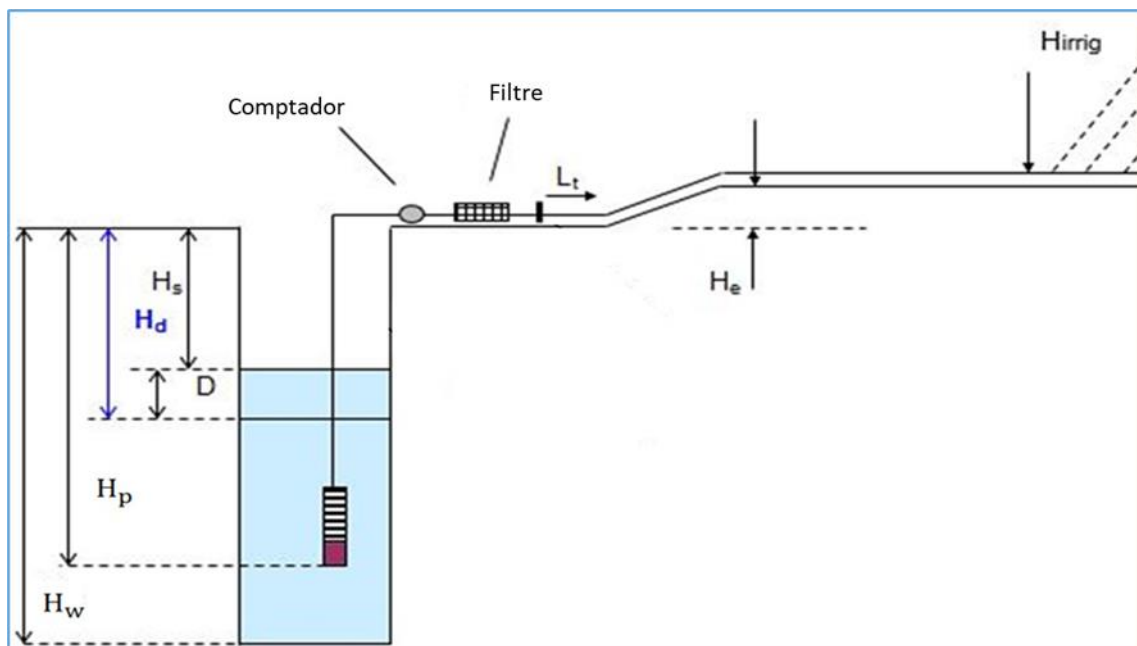


FIGURA 1. Esquema per calcular el dimensionament dels diferents equips per realitzar un bombament solar directe. (H_w = fondària del pou; H_p = fondària de la bomba; D = dinàmica de nivell d'aigua del pou; H_e = altura de l'elevació de la conducció d'aigua pel reg; H_{irrig} = altura manomètrica del camp).

Una instal·lació de bombament solar pot emmagatzemar l'aigua en un dipòsit situat a una cota superior. En aquest cas, l'aigua emergeix per gravetat i es distribueix pels camps. Amb el mateix impuls de bombament, però, també es pot distribuir aigua directament, sense necessitat d'una bassa reguladora o d'emmagatzematge.

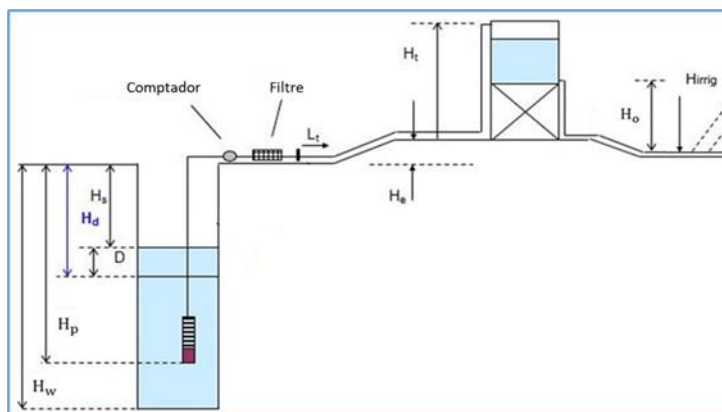


FIGURA 2. Esquema conceptual d'una instal·lació de bombament amb dipòsit i reg posterior per gravetat.

4. PRINCIPALS EQUIPS DE LES INSTAL·LACIONS DE BOMBAMENT SOLAR DIRECTE

El principal equipament de les instal·lacions de bombament solar directe es compon dels elements següents:

4.1. GENERADOR FOTOVOLTAIC

El generador fotovoltaic està format per un conjunt de panells solars connectats en sèrie o en paral·lel per assolir els voltatges i les intensitats necessaris per al funcionament de la bomba. Cada panell té característiques tècniques pròpies definides en fàbrica, i nombrosos equips estan certificats per a una durada mínima de 25 anys.



FIGURES 3 i 4. Dues instal·lacions de panells fotovoltaics per al reg solar.

Els panells estan col·locats sobre estructures metàl·liques fixes orientades al sud o bé sobre estructures mòbils d'un o dos eixos rotacionals que segueixen el moviment del sol. Els panells més habituals per a petites instal·lacions són els fixos. Aquestes estructures metàl·liques poden estar situades sobre el terreny o sobre coberts agrícoles.

Per a consums estivals d'energia fotovoltaica, destinats al reg agrícola, els panells han d'estar orientats al sud amb una inclinació òptima que oscil·la entre 30°-32°.

4.2. VARIADOR DE FREQUÈNCIA

El variador de freqüència és l'equipament electrònic que transforma el corrent continu produït a les plaques fotovoltaïques en corrent altern trifàsic. Al mateix temps regula la velocitat de gir dels motors elèctrics i adapta el consum a la generació de la planta fotovoltaica.

En moments de poca generació elèctrica (al matí o al capvespre), les bombes funcionen a baixa velocitat impulsant volums d'aigua reduïts, i a mesura que la generació elèctrica va augmentant, la velocitat de les bombes també augmenta fins a assolir el cabal nominal de treball on es bombeja el cabal màxim de la instal·lació.



FIGURA 5. Detall del variador de freqüència d'una instal·lació de reg solar.

Els variadors de freqüència també fan un control de seguiment del punt de màxima potència (MPPT), la qual cosa permet adaptar-se a les condicions de generació fotovoltaica (variació de la radiació rebuda, temperatura de la cèl·lula fotovoltaica, etc.) reduint els canvis sobtats d'energia transformada, subministrant l'energia a la bomba de manera més constant i minimitzant el pas dels núvols.

4.3. BOMBA IMPULSORA

Els sistemes de bombament de petita dimensió poden utilitzar corrent continu o altern monofàsic si s'utilitzen bombes de petita potència (inferior a 1,5 kW).

Per a sistemes de bombament de més potència, se sol treballar amb corrent altern trifàsic, habitualment amb bombes submergides. Cal seleccionar adequadament la corba característica de la bomba per permetre el màxim ajustament a les característiques de generació fotovoltaica.

Les bombes superficials només es poden instal·lar quan el nivell d'aspiració és inferior a 7 metres.

4.4. INSTAL·LACIÓ DE REG

El dimensionament de la instal·lació de bombament solar i el seu cost depenen del cabal d'aigua instantani màxim (m³/h) que es vulgui elevar. Per tant, una de les maneres de reduir el cost del reg solar és reduir el cabal instantani i utilitzar un sistema de reg d'alta eficiència, com ara el reg localitzat per degoteig. D'aquesta manera, la mateixa bomba elevadora d'aigua ens dona la pressió suficient per al bon funcionament del sistema de reg.

En aquest sistema de reg hi ha dos components principals:

- El capçal de reg, compost com a mínim per un filtre.
- Les canonades secundàries i els tubs degotants o les cintes de reg amb els degoters integrats.



FIGURES 6 i 7. Models de capçals de reg per degoteig. El primer, provisional, durant la durada del cultiu; el segon, permanent, dins d'una caseta de reg.



Per a més informació, consulteu el web Ruralcat sobre la instal·lació de reg localitzat, el capçal de fertirrigació i el manteniment d'instal·lacions.

4.5. PROTECCIONS DE LES INSTAL·LACIONS ELÈCTRIQUES

A més dels aspectes anteriors, cal tenir en compte la necessitat d'afegir proteccions tant a la part de corrent continu com a la part d'instal·lació elèctrica en corrent altern. En la part de corrent continu, es tracta de proteccions de contactes indirectes contra les sobretensions, així com de fusibles instal·lats en la part de generació fotovoltaica per evitar la inversió de la polaritat en algun element o un defecte en la presa de terra. En la part de la instal·lació alterna, també cal protegir els elements per sobrecàrregues o curtcircuits així com les proteccions habituals d'interruptor automàtic diferencial i magnetotèrmics i la presa de terra habitual.

Disposar d'un instal·lador homologat és la millor garantia per a una instal·lació correcta i eficient amb la seguretat adient i adaptada a la normativa.

5. CÀLCUL DELS EQUIPS DE BOMBAMENT DIRECTE FOTOVOLTAIC

Per al dimensionament dels diferents equips necessaris, és indispensable determinar informació de tres tipus:

1. Q_d = Necessitats d'aigua durant el mes de màximes necessitats (expressat en m^3/h)
2. Dades de la radiació solar teòrica de l'emplaçament (kWh/m^2)
3. Paràmetres del pou i dinàmica d'extracció d'aigua
 - a. H_p = fondària de la bomba (mca)
 - b. H_e = altura de l'elevació de la conducció d'aigua per al reg (mca)
 - c. L = llargada total de la canonada fins al camp (m)
4. Pressió de treball a la capçalera del sistema de reg (mca)

5.1. Energia necessària per al bombament

En els casos de bombament indirecte, cal escollir una bomba amb capacitat per bombar prou cabal com per extreure el volum total de consum en un temps prudencial de funcionament. La potència nominal de la bomba multiplicada per les hores de funcionament requerides dona com a resultat l'energia total que demanarà el sistema de bombament.

Al consum requerit per al bombament s'hi ha d'aplicar el rendiment global de la instal·lació:



1. 0,75 (75 %) per a instal·lacions amb subministrament en CA
2. 0,80 (80 %) per a instal·lacions amb subministrament en CC

Dividint el valor d'energia requerida pels consums (de la taula o àbac gràfic de consums) per al rendiment global, s'obté l'energia necessària que cal subministrar puntualment per al màxim rendiment de la bomba, tal com mostra la fórmula següent:

$$\text{Potència màxima necessària} = \text{Potència màxima} / \text{Rendiment del sistema}$$

5.2. Dimensionament d'equips solars per al bombament directe d'aigua

En aquest apartat s'ha seguit la metodologia proposada al *Manual de bombeo fotovoltaico*, de l'Instituto de Energía Solar (IES), i a *Ingeniería sin fronteras* (1999), reproduït a ICAEN (2020).

Cal aclarir que aquest tipus de bombament no s'utilitza per donar pressió a una xarxa de canonades d'abastament d'aigua potable o de reg, sinó que l'aigua bombada s'emmagatzema en un gran dipòsit situat a una cota superior a la dels punts d'abastament. L'aigua flueix per gravetat per tota la xarxa de canonades.

D'altra banda, a l'hora de dimensionar un sistema de bombament solar s'han de tenir en compte un conjunt de paràmetres, que s'engloben en tres blocs:

- a) Paràmetres o dades del volum d'aigua diari, mensual o anual que es necessita en l'aplicació concreta (reg, abastament de petits nuclis rurals aïllats, etc.).
- b) Dades de radiació solar de l'emplaçament geogràfic de la instal·lació (kWh/m²).
- c) Paràmetres o dades relacionats amb el pou i el dipòsit d'emmagatzematge.

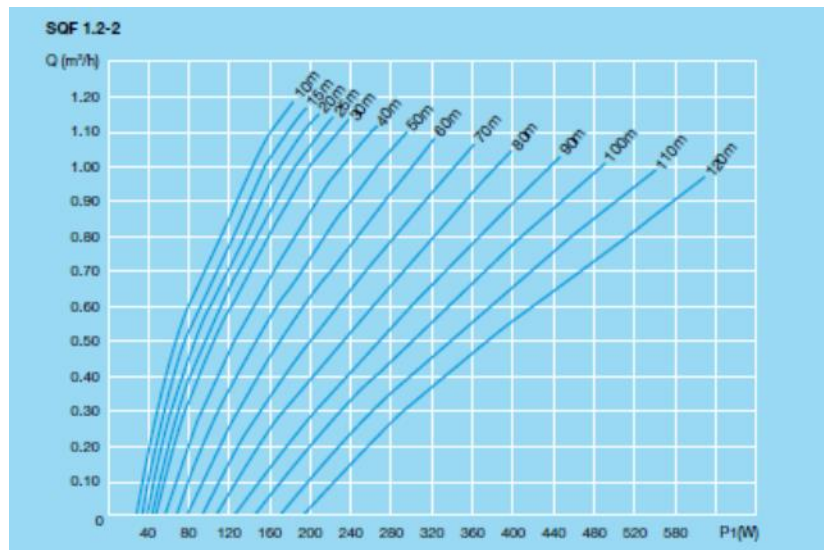


FIGURA 8. Àbac tipus per a la selecció d'equips de bombament directe.

Els àbacs emprats, com el representat a la figura anterior, presenten les dades següents:

- Q = cabal de bombament de la bomba seleccionada (m³/h)
- P1 = potència elèctrica absorbida pel motor de la bomba (W)
- HT = línia d'altura total de bombament, definida com la suma de les altures geomètriques del pou i del dipòsit i les pèrdues per fricció de canonades i accessoris $H_{\text{fricció}}$

$$HT = (H_d + H_{dp} + H_{\text{fricció}}) \text{ (mca) [metres columna d'aigua]}$$

De manera complementària als àbacs dels fabricants, cal avaluar la potència hidràulica de bombament (PH), la potència elèctrica del motor de la bomba (P1) i la potència elèctrica del generador fotovoltaic (PEL).

$$PH = 2,725 \times Q \times HT$$

PH = potència hidràulica de bombament (W)

Q = cabal de bombament (m³/h)

HT = altura total de bombament (mca)

La potència elèctrica de la bomba és:

$$P1 = PHT / \eta_{MB}$$

η_{MB} és el rendiment del motor-bomba

El rendiment del grup motor-bomba està relacionat amb les característiques de cada fabricant i les constructives de l'equip. De l'àbac anterior (figura 8) es pot extreure un



rendiment aproximat del grup motor-bomba d'aquest fabricant que oscil·la entre 0,48 i 0,55. Sempre s'ha de prendre el valor més conservador a l'efecte del dimensionament.

Finalment, la potència elèctrica del generador fotovoltaic (PEL) es pot avaluar de la manera següent:

$$PEL = PNOM \times (G/GREF) \times \eta_1 \times \eta_2$$

PEL = potència elèctrica lliurada pel generador fotovoltaic (W)

PNOM = potència nominal del generador fotovoltaic en condicions estàndard de mesurament (CEM) (Wp)

$G/GREF = 0,733 \text{ W/m}^2$ (corresponent a la irradiància mitjana per als mesos d'estiu)

η_1 = eficiència del generador fotovoltaic

η_2 = eficiència de l'inversor

L'eficiència del generador fotovoltaic (η_1) té en compte les pèrdues de temperatura i de cablejat, la dispersió de paràmetres, etc., les quals generalment s'assumeix que tenen un valor de 0,86. L'eficiència de l'inversor (η_2) s'assumeix que és de 0,90.

El rendiment global queda establert, de manera general, en $(0.86 * 0.90) = 0,77$

Exemple:

Dimensionar una instal·lació solar fotovoltaica per al bombament directe amb unes necessitats als mesos d'estiu de 15 m³, en una finca de Tarragona.

Dades:

Demanda diària (Qd) mesos d'estiu: 15 m³/dia.

Hd = 30 m.

Hdp = 19 m.

Long. canonada diàmetre 25 = 100 m.

Inclinació dels mòduls fotovoltaics $\beta = 25^\circ$.

Orientació $\alpha = 0^\circ$.

Radiació $(0^\circ, 25^\circ) = 6,6 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$.

Inicialment s'avalua el cabal aparent (QAP), que és el cabal mitjà al llarg del dia en relació amb la demanda diària. Una bona aproximació basada en l'anàlisi de casos reals és la següent:

$$QAP = 0,047 \times Qd$$

$$QAP = 0,047 \times 15 \text{ m}^3/\text{dia} = 0,705 \text{ m}^3/\text{h}$$

Amb aquest cabal i una canonada de 25 mm de diàmetre interior, té unes pèrdues per fricció de 0,9 m per 100 m de canonada.



L'altura total (HT) és: $30\text{ m} + 19\text{ m} + 0,9\text{ m} = 49,9\text{ m}$

A l'àbac del fabricant de la bomba (figura 8), es marca una línia horitzontal partint del valor de $0,705\text{ m}^3/\text{h}$ fins a tallar la corba de 50 m . A continuació es traça una línia perpendicular des d'aquest punt fins a l'eix de les potències elèctriques de la bomba (P1), que dona un valor de 191 W aproximadament.

Aquesta potència és la que ha d'aportar el generador fotovoltaic, tenint en compte les pèrdues i el fet que la irradiància solar varia al llarg del dia. Per tant, i aplicant l'expressió analítica definida anteriorment, queda determinada la potència del grup de mòduls fotovoltaics:

$$\begin{aligned}PNOM &= PEL / ((G/GREF) \times \eta_1 \times \eta_2) \\PNOM &= 191\text{ W} / (0,733 \times 0,77) = 339\text{ Wp}\end{aligned}$$

En el cas d'utilitzar un mòdul de 100 Wp , la quantitat equivalent aproximada necessària per produir la potència calculada anteriorment és de:

$$\text{Nombre de mòduls} = 339\text{ Wp} / 100\text{ Wp} = 3,39 \approx 4\text{ mòduls}$$

6. BIBLIOGRAFIA

GUIXÀ, X.; LATORRE, J. «El bombament solar en regadiu». *Fitxa Tècnica* [Ruralcat], núm. 69 (2017): *Tècniques de reg*.

INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA. *Energia solar fotovoltaica*. 2a edició. [S. l.]: 2020. (Quadern pràctic; 4). 143 p.