

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA: DISEÑO DE SF DE BOMBEO

OSCAR PERPIÑÁN LAMIGUEIRO

La **potencia hidráulica**, P_H , necesaria para bombear agua es una función de, la **altura vertical aparente**, H_v y del **caudal de agua**, Q :

$$P_H = g \cdot \rho \cdot Q \cdot H_v$$

donde g es la aceleración de la gravedad, y ρ es la densidad del agua.

Cambiando las unidades

$$P_H = 2,725 \cdot Q \cdot H_V$$

con P_H en watios, H_v en metros y Q en m^3/h .

POTENCIA ELÉCTRICA DE LA MOTOBOMBA

Asumiendo que el agua bombeada sale por el conducto a una velocidad insignificante, la potencia de salida de la bomba necesita satisfacer P_H más las **perdidas de fricción en la tubería**, P_f . Consecuentemente, la **potencia eléctrica a la entrada de la motobomba**, P_{el} , es:

$$P_{el} = \frac{P_H + P_f}{\eta_{mp}}$$

donde η_{MP} es la **eficiencia de la motobomba**.

El valor de $P_H + P_f$ es la **potencia mecánica a la salida de la bomba**. Este valor se asimila a una altura equivalente H_T asociado a un caudal determinado:

$$H_T = H_v + H_f$$

La potencia eléctrica requerida por la motobomba es entregada por un generador FV y un acondicionador de potencia:

$$P_{el} = P_g^* \cdot \frac{G}{G^*} \frac{\eta_g}{\eta_g^*} \cdot \eta_{inv}$$

siendo η_{inv} la eficiencia del equipo de acondicionamiento de potencia.

El **caudal diario** bombeado por este conjunto es:

$$Q_d = \int_d \frac{P_g^* \cdot \frac{G}{G^*} \frac{\eta_g}{\eta_g^*} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{mp}}{2,725 \cdot H_T} dt$$

Debido a las variaciones de la temperatura ambiente y de la irradiancia, y también a causa del comportamiento dinámico de los pozos, **todos los parámetros mencionados anteriormente varían a lo largo del tiempo**. Por tanto, la resolución de la anterior ecuación es tarea difícil.

- El supuesto de **altura total de bombeo constante** sólo ocurre cuando, por un lado, las **pérdidas de fricción en la tubería son despreciables** y, cuando por otro, el **nivel del agua dentro del pozo se mantiene constante**.
- Lo primero se puede asegurar usando diámetros de tubería suficientemente grandes: pérdidas de fricción por debajo del 5 % de la altura total son un requisito de optimización (es decir, $H_f < 0,05 \cdot H_T$).

Se puede definir una “**altura total equivalente**”, H_{TE} , como el hipotético valor constante que llevaría al mismo volumen de agua bombeada:

$$Q_d = \frac{P_g^*}{2,725 \cdot G^* \cdot H_{TE}} \cdot \int_{dia} G \cdot \frac{\eta_g}{\eta_g^*} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{mp} dt$$

Ahora, dada una H_{TE} , la **ecuación depende exclusivamente de las condiciones meteorológicas y de las características de la bomba fotovoltaica**. En la ecuación, H_{OT} representa la altura desde la salida de agua hasta el suelo.

Normalmente se realiza un **ensayo de bombeo para caracterizar los pozos**.

Éste consiste en extraer agua con una bomba portátil, y medir la caída del nivel del agua en el pozo a un cierto caudal de bombeo y cuando dicha caída se ha estabilizado.

Tres son los parámetros que completan la caracterización del pozo tras el ensayo: el **nivel estático**, H_{st} , el **nivel dinámico**, H_{dt} , y el **caudal de ensayo**, Q_t .

Debe tomarse en consideración que la excesiva velocidad de extracción de agua de un pozo puede dañar su superficie interna y provocar agujeros que pueden llevar a un eventual colapso del pozo. Consiguientemente, existe un **caudal máximo para cada pozo**, Q_{max} .

De hecho, la información de los ensayos mencionados de caracterización de los pozos están, normalmente, referidos a este caudal máximo al que se puede extraer el agua de ellos ($Q_t = Q_{max}$).

Es posible calcular H_{TE} mediante:

$$H_{TE} = H_{OT} + H_{ST} + \left(\frac{H_{DT} - H_{ST}}{Q_T} \right) \cdot Q_{AP} + H_f(Q_{AP})$$

siendo Q_{AP} el caudal aparente, calculado mediante

$$Q_{AP} = \alpha \cdot Q_d, \text{ y } \alpha = 0,047 h^{-1}.$$

Si consideramos constantes a lo largo del tiempo las eficiencias del generador fotovoltaico ($\frac{\eta_g}{\eta_g^*} = 0,85$), motobomba ($\eta_{mp} = 0,35$) y variador ($\eta_{inv} = 0,9$), es posible **calcular de forma aproximada la potencia nominal del generador** necesaria para bombear un caudal diario Q_d a una altura total equivalente H_{TE} :

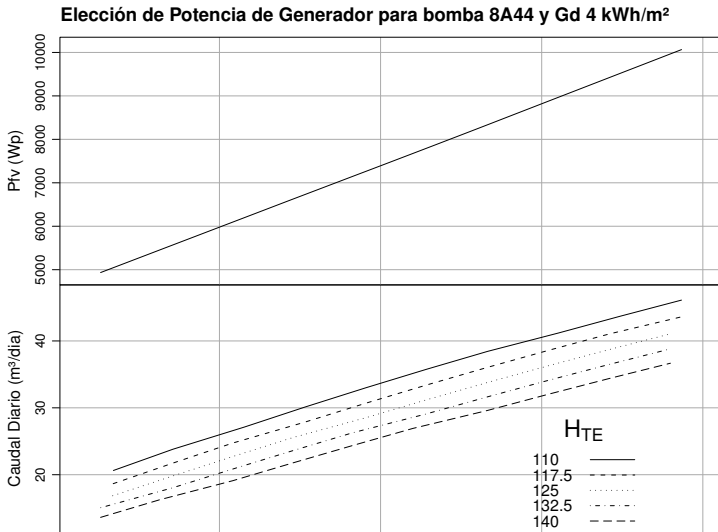
$$P_g^* = \frac{10 \cdot H_{TE} \cdot Q_d}{G_d / G^*}$$

Por ejemplo, para bombear $30 \text{ m}^3/\text{d}$ a $H_{TE} = 40 \text{ m}$ en un lugar de radiación diaria media $G_d = 5 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{d}$ se necesita un generador fotovoltaico de:

$$P_g^* = \frac{10 \cdot 40 \cdot 30}{5} = 2400 \text{ Wp}$$

- A partir del caudal diario requerido y la altura total equivalente, se calcula la potencia aproximada del generador FV.
- Dividiendo el caudal diario requerido por la radiación diaria media, se obtiene el caudal instantáneo medio.
- Con este caudal, se acude al catálogo del fabricante (por ejemplo, la nomenclatura de Grundfos para las bombas sumergibles es SP-XX-YY, siendo XX el caudal instantáneo nominal de la bomba) y se elige un grupo de bombas en el entorno.
- Con los nomogramas se elige con el modelo concreto de bomba (caudal nominal y número de etapas) y se obtiene un valor más preciso de la potencia del generador. Este valor debe compararse con el inicial por comprobación de errores.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO



PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

- Como seguridad, cuando la potencia entregada por el generador es igual al 80 % de su potencia nominal, el caudal bombeado correspondiente no debe exceder el máximo admisible por el pozo.
- La tensión de entrada al variador debe ser:

$$V_{DC} = \frac{\sqrt{2}V_{AC}}{1,1}$$

luego para una bomba de tensión de $230 V_{ac}$ se necesita una tensión en la entrada que no sea inferior a $V_{dc} \simeq 300 V_{dc}$. A partir de esta tensión se configura el número de módulos por serie y el número de ramas del generador.

- A partir del caudal Q_{AP} y de la longitud de tubería necesaria, se elige el diámetro de la misma (en curvas del fabricante) de forma que las pérdidas sean inferiores a un porcentaje prefijado de H_{te} .

- **OMS:** 50 litros diarios por habitante.
- En **crisis humanitarias**, mínimo 3 litros diarios en climas templados y 5 litros en climas cálidos.
- En **programas de cooperación**, 30 a 35 litros diarios por persona.
- Para **sistemas fotovoltaicos**, se recomienda 25 litros diarios por habitante (fuentes comunitarias) o 45 litros (con grifo en cada domicilio).
- **Contexto:** en grandes ciudades 250 litros diarios por habitante.