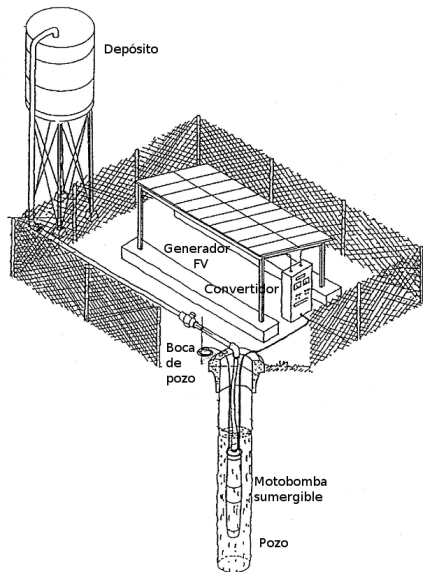


Sistemas Fotovoltaicos de Bombeo

Diseño

Oscar Perpiñán Lamigueiro

<http://oscarperpinan.github.io>



Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

Caudal

Altura

Potencia del generador

Procedimiento de diseño

Necesidades de caudal

Valores de referencia

- ▶ **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.

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

- ▶ La **potencia hidráulica**, P_H , necesaria para bombear agua es una función de,
 - ▶ La **altura vertical aparente**, H_v
 - ▶ El **caudal de agua**, Q

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

- ▶ Cambiando las unidades (P_H en wattios, H_v en metros y Q en $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$):

$$P_H = 2.725 \cdot Q \cdot H_V$$

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

Potencia eléctrica de la motobomba

- ▶ La **potencia de salida de la bomba** incluye las **perdidas de fricción en la tubería**, $P_{mp} = P_H + P_f$.
- ▶ Se puede asimilar a una altura equivalente $H_T = H_v + H_f$:

$$P_{mp} = 2.725 \cdot Q \cdot H_T$$

- ▶ Con la eficiencia de la motobomba obtenemos la **potencia eléctrica a la entrada de la motobomba**:

$$P_{el} = \frac{P_{mp}}{\eta_{mp}} = \frac{2.725 \cdot Q \cdot H_T}{\eta_{mp}}$$

Potencia eléctrica del generador

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

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

Por tanto,

$$\frac{2.725 \cdot Q \cdot H_T}{\eta_{mp}} \simeq \frac{G}{G^*} \cdot P_g^* \cdot \frac{\eta_g}{\eta_g^*} \cdot \eta_{inv}$$

$$\frac{2.725 \cdot Q \cdot H_T}{\eta_{mp}} \simeq \frac{G}{G^*} \cdot P_g^* \cdot \frac{\eta_g}{\eta_g^*} \cdot \eta_{inv}$$

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

$$Q_d = \int_d \frac{\frac{G}{G^*} \cdot P_g^* \cdot \frac{\eta_g}{\eta_g^*} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{mp}}{2.725 \cdot H_T} dt$$

- ▶ **Todos los parámetros varían a lo largo del tiempo** (variaciones de la temperatura ambiente y de la irradiancia; comportamiento dinámico de los pozos)
- ▶ Integral no resoluble salvo por métodos numéricos (simulación).

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

Caudal

Altura

Potencia del generador

Procedimiento de diseño

Altura total equivalente

$$Q_d = \int_d \frac{P_g^* \cdot \frac{G}{G^*} \frac{\eta_g}{\eta_g^*} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{mp}}{2.725 \cdot H_T} dt$$

- ▶ Definimos una **altura total equivalente**, H_{TE} , con las siguientes suposiciones:
 - ▶ Las **pérdidas de fricción en tubería son despreciables** ($H_f < 0.05 \cdot H_T$).
 - ▶ El **nivel del agua dentro del pozo se mantiene constante**

$$Q_d = \frac{P_g^*}{2.725 \cdot G^* \cdot H_{TE}} \cdot \int_{dia} G \cdot \frac{\eta_g}{\eta_g^*} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{mp} dt$$

- ▶ Ahora el cálculo en la integral sólo **depende de la radiación, temperatura, y equipos.**

- ▶ Supongamos que el pozo está caracterizado con tres parámetros:
 - ▶ **Nivel estático**, H_{st}
 - ▶ **Nivel dinámico**, H_{dt}
 - ▶ **Caudal de ensayo**, Q_t .
- ▶ Deseable realizar **ensayo de bombeo para caracterizar los pozos** con bomba portátil empleando el **caudal máximo del pozo**, Q_{max} (por tanto, supondremos $Q_t = Q_{max}$)

Altura total equivalente

Calculamos la **altura total equivalente** con:

$$H_{TE} = H_{ot} + H_{st} + \left(\frac{H_{dt} - H_{st}}{Q_T} \right) \cdot Q_{AP} + H_f(Q_{AP})$$

- ▶ H_{OT} , altura desde la salida de agua hasta el suelo.
- ▶ Nivel estático, H_{st}
- ▶ Nivel dinámico, H_{dt}
- ▶ Caudal aparente: $Q_{AP} = \alpha \cdot Q_d$
($\alpha = 1/24 = 0.0416 h^{-1}$).
- ▶ $H_f(Q_{AP})$, pérdidas en la tubería al caudal aparente.

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

Caudal

Altura

Potencia del generador

Procedimiento de diseño

Formula aproximada

- ▶ Punto de partida

$$Q_d = \frac{P_g^*}{2.725 \cdot G^* \cdot H_{TE}} \cdot \int_{dia} G \cdot \frac{\eta_g}{\eta_g^*} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{mp} dt$$

- ▶ Consideramos constantes las eficiencias

- ▶ $\frac{\eta_g}{\eta_g^*} = 0.85$
- ▶ $\eta_{mp} = 0.35$
- ▶ $\eta_{inv} = 0.9$

Potencia del Generador

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

Ejemplo

Calcula la potencia de un generador FV para bombear un caudal diario de $30 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ a $H_{TE} = 40 \text{ m}$ en un lugar de radiación diaria media $G_d = 5 \text{ kWh m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Caudal

Altura

Potencia del generador

Procedimiento de diseño

Elección de la bomba

1. A partir del caudal diario requerido y la altura total equivalente, se calcula la potencia aproximada del generador FV.
2. Dividiendo el caudal diario requerido por la radiación diaria media, se obtiene un *caudal instantáneo medio*.
3. 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.

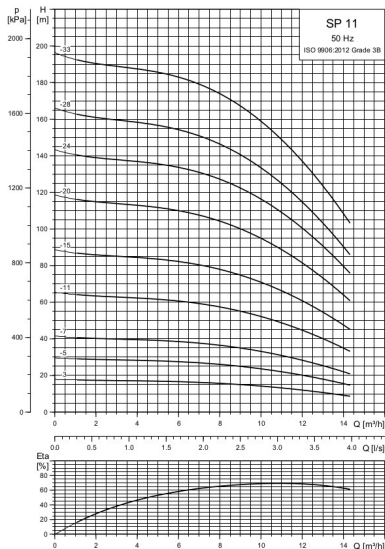
Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

Curvas HQ



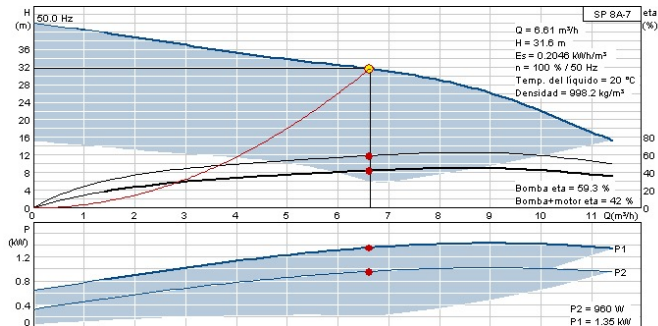
- ▶ Los catálogos recogen información del **funcionamiento instantáneo a frecuencia nominal.**
- ▶ Las curvas H-Q **no** son de uso inmediato para el dimensionado de un SFB.

Curvas HQ a frecuencia variable

- ▶ Para aproximar el funcionamiento en frecuencia variable, es recomendable **multiplicar el valor de H_{TE} por un factor de 1.4.**
- ▶ Leyes de la semejanza (rendimiento constante)

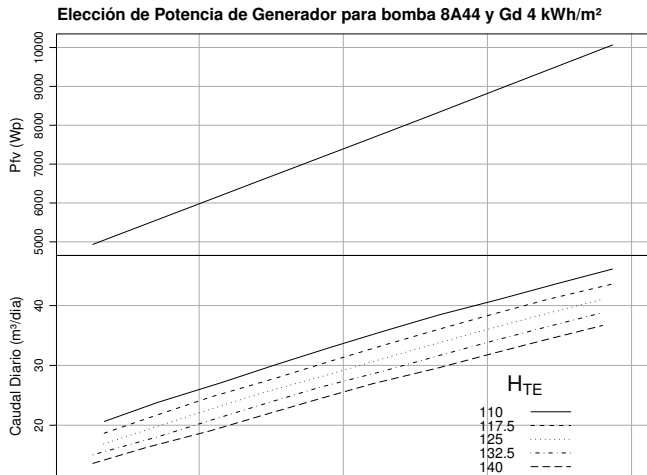
$$Q \propto n$$
$$P_{mec} \propto n^3$$

$$H \propto n^2$$
$$T \propto n^2$$



Simulación

- ▶ Es recomendable simular el funcionamiento del sistema para afinar el dimensionado.
- ▶ El resultado es un gráfico de doble entrada para un modelo concreto de bomba



- ▶ La **tensión de entrada al variador** debe ser:

$$V_{DC} = \frac{\sqrt{2}V_{AC}}{1.1}$$

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

Pozo, Depósito y Tubería

Caudal máximo del pozo

Como seguridad, se debe comprobar que cuando la potencia entregada por el generador es igual al 80% de su potencia nominal, el caudal bombeado correspondiente no excede el máximo admisible por el pozo.

Tamaño del depósito

El suficiente para **1 o 2 días de consumo**

Tubería

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} .