

SFB: Diseño

Oscar Perpiñán Lamigueiro

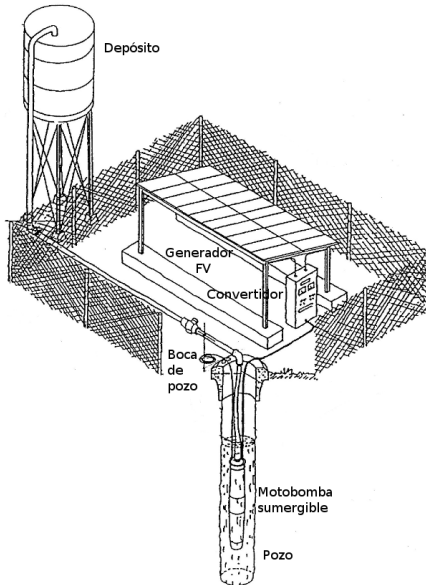
<http://oscarperpinan.github.io>

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño



Caudal

Altura

Potencia del generador

Procedimiento de diseño

Potencia hidráulica

SFB: Diseño

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

- ▶ 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 en watios, H_v en metros y Q en $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$)

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

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

Potencia eléctrica de la motobomba

SFB: Diseño

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

- ▶ 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 .
- ▶ La **potencia eléctrica a la entrada de la motobomba** es (η_{MP} es la **eficiencia de la motobomba**)

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

- ▶ 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:

$$H_T = H_v + H_f$$

Potencia eléctrica del generador

SFB: Diseño

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

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.**
- Integral no resoluble salvo por métodos numéricos (simulación)

Caudal

Altura

Potencia del
generadorProcedimiento de
diseño

Necesidades de caudal

SFB: Diseño

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

- ▶ **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

Caudal

Altura

Potencia del generador

Procedimiento de diseño

Altura total equivalente

SFB: Diseño

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

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

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

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

- ▶ El supuesto de **altura total de bombeo constante** sólo ocurre cuando:
 - ▶ Las **pérdidas de fricción en la tubería son despreciables**: diámetros de tubería suficientemente grandes, pérdidas de fricción por debajo del 5% de la altura total son un requisito de optimización (es decir, $H_f < 0.05 \cdot H_T$).
 - ▶ El **nivel del agua dentro del pozo se mantiene constante**

Caracterización de pozos

SFB: Diseño

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

- ▶ Normalmente se realiza un **ensayo de bombeo para caracterizar los pozos**:
 - ▶ Extraer agua con una bomba portátil
 - ▶ Medir la caída del nivel del agua en el pozo a un cierto caudal de bombeo y cuando dicha caída se ha estabilizado.
- ▶ Tres parámetros:
 - ▶ **Nivel estático**, H_{st}
 - ▶ **Nivel dinámico**, H_{dt}
 - ▶ **Caudal de ensayo**, Q_t

Caracterización de pozos

SFB: Diseño

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

- ▶ 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
 - ▶ Existe un **caudal máximo para cada pozo**, Q_{max}
- ▶ **Normalmente los ensayos están referidos a este caudal máximo**

$$Q_t = Q_{max}$$

Altura total equivalente

SFB: Diseño

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

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 $Q_{AP} = \alpha \cdot Q_d$, y $\alpha = 0.047 h^{-1}$.

Caudal

Altura

Potencia del generador

Procedimiento de diseño

- 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

$$\blacktriangleright \frac{\eta_g}{\eta_g^*} = 0.85$$

- ▶ $\eta_{mp} = 0.35$

- ▶ $\eta_{inv} = 0.9$

Potencia del Generador

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

Ejemplo

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

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

Caudal

Altura

Potencia del
generadorProcedimiento de
diseño

Caudal

Altura

Potencia del generador

Procedimiento de diseño

Elección de la bomba

SFB: Diseño

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

- ▶ 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 un *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.

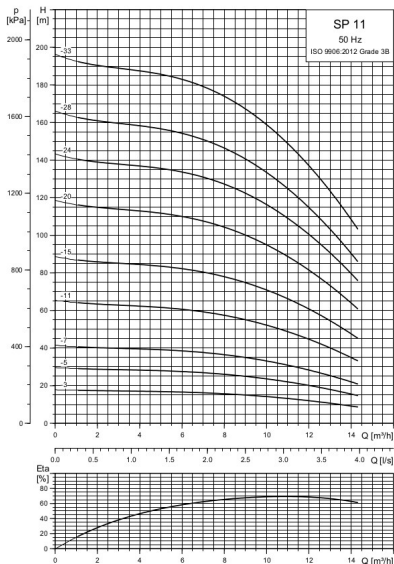
Caudal

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.

SFB: Diseño

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
<http://oscarperpinan.github.io>

Caudal

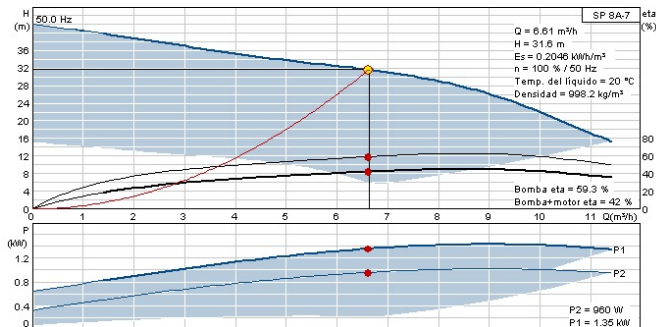
Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

- Leyes de la semejanza (rendimiento constante)

$$\begin{aligned} H &\propto n^2 \\ T &\propto n^2 \end{aligned}$$

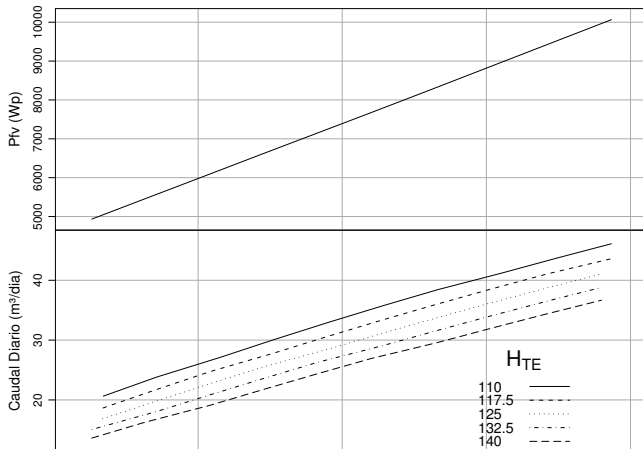


- ▶ Para aproximar el funcionamiento en frecuencia variable, es recomendable **multiplicar el valor de H_{TE} por un factor de 1.4**.

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

Elección de Potencia de Generador para bomba 8A44 y Gd 4 kWh/m²



- ▶ La tensión de entrada al variador debe ser:

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

- ▶ 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.

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño

Pozo, Depósito y Tubería

SFB: Diseño

Oscar Perpiñán
Lamigueiro
[http://
oscarperpinan.
github.io](http://oscarperpinan.github.io)

- ▶ 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.
- ▶ El tamaño del depósito será el suficiente para 1 o 2 días de consumo.
- ▶ 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} .

Caudal

Altura

Potencia del
generador

Procedimiento de
diseño