

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA: COMPONENTES DE UN SISTEMA DE BOMBEO

OSCAR PERPIÑÁN LAMIGUEIRO

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

2 MOTOBOMBAS

- Motores eléctricos
- Bombas
- Acoplamiento motor-bomba

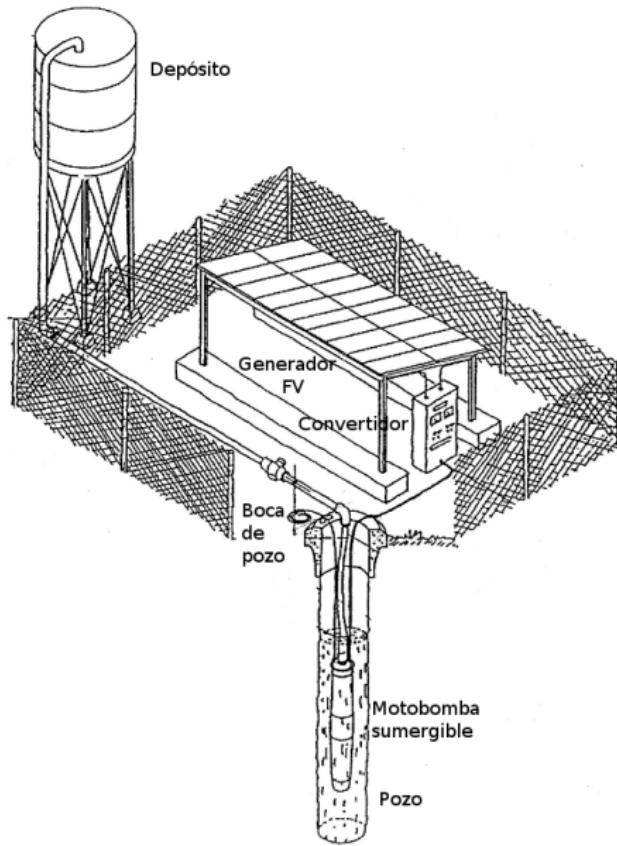
3 ACOPLAMIENTO GENERADOR-MOTOBOMBA

4 CIRCUITO HIDRÁULICO

AGUA Y ESF

- Las **curvas de generación fotovoltaica y de consumo de agua están bien adaptadas**: las épocas de mayor calor y radiación solar son de mayor consumo de agua.
- Se puede utilizar el **agua como medio de acumulación de energía**, evitando baterías con el consiguiente ahorro de costes, a la vez que aumenta la seguridad, eficiencia y fiabilidad.
- El bombeo de agua directo fotovoltaico es limpio: **no presenta los riesgos de una contaminación del pozo a causa de posibles derrames de combustible**. Asimismo, se evitan los problemas logísticos de suministro y transporte de carburante.

COMPOSICIÓN



ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

2 MOTOBOMBAS

- Motores eléctricos
- Bombas
- Acoplamiento motor-bomba

3 ACOPLAMIENTO GENERADOR-MOTOBOMBA

4 CIRCUITO HIDRÁULICO

DEFINICIÓN

- Un **motor eléctrico** es una máquina eléctrica que **transforma energía eléctrica en energía mecánica** por medio de interacciones electromagnéticas.
- Una **bomba** es una máquina hidráulica generadora que **transforma la energía mecánica con la que es accionada en energía hidráulica del fluido** (agua). Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli.

ELECTROMAGNETISMO

- Un campo magnético ejerce una fuerza sobre una carga en movimiento.
- Una corriente eléctrica crea un campo magnético en torno al conductor.
- Un conductor por el que circula corriente, situado en el seno de un campo magnético, altera este campo magnético, y experimenta una fuerza que lo expulsa para disminuir la alteración.

ELECTROMAGNETISMO

- Entre los puntos extremos de una **espira** estática atravesada por **campo magnético variable**, aparece una **tensión inducida**.
- Esta tensión es igual a la **variación** (con signo contrario) **del flujo magnético** que atraviesa la espira.
- Si la espira se cierra, **circulará una corriente** que, a su vez, creará un campo magnético que contrarrestará la variación de flujo.
- Al circular corriente, la espira experimentará un **par de giro**.
 - **Resultado aprovechable** del motor en forma de potencia mecánica.
 - Restablecer el equilibrio existente antes, intentando **alinear los ejes magnéticos de inductor e inducido**.

ESTATOR, ROTOR, INDUCIDO E INDUCTOR

- El elemento que permanece fijo es el estator y el que realiza el giro es el rotor.
- Según el tipo de motor, el rotor puede ser el inducido y el estator el inductor o viceversa.

FRECUENCIA ELÉCTRICA Y VELOCIDAD

$$f_2 = f_1 - n \cdot p$$

- f_2 es la frecuencia en el inducido; f_1 es la frecuencia en el inductor; n es la velocidad angular; p es el número de polos.
- Al utilizar colector de delgas (escobillas) en el inducido, la frecuencia en el circuito exterior (f_L) es diferente a f_2 .

TIPOS DE MOTORES EN ESF

MOTOR DC

- $f_1 = 0; f_L = 0; f_2 = np$
- **Estator-Inductor** alimentado por **corriente DC** (o imanes permanentes).
- El **colector de delgas** transforma la frecuencia de alimentación (DC) en alterna.
- **Rotor-Inducido gira sincronizado** con la frecuencia “transformada”.

TIPOS DE MOTORES EN ESF

MOTOR DC

- Los motores DC con escobillas están sometidos a desgaste. Necesitan mantenimiento y por tanto deben evitarse con bombas sumergidas.
- Existen motores DC sin escobillas, donde la conmutación se realiza mediante un circuito electrónico.
- No necesitan inversor, tienen buen rendimiento, pero están indicados para potencias bajas.

TIPOS DE MOTORES EN ESF

MOTOR ASÍNCRONO O DE INDUCCIÓN

- $f_1 \neq 0; f_L = f_2 = f_1 - np$
- **Estator-inductor** alimentado por una **corriente trifásica alterna**. Produce un campo giratorio.
- **Rotor-inducido** constituido por **espiras cortocircuitadas** (jaula de ardilla).
- Se produce un par que busca alinear el eje de las espiras con el campo inducido. El rotor se mueve siguiendo al campo giratorio.
- La **velocidad de giro es inferior a la frecuencia de alimentación** (asíncrono).

TIPOS DE MOTORES EN ESF

MOTOR ASÍNCRONO O DE INDUCCIÓN

- $f_2 = f_1 - n \cdot p$
- $T \propto \left(\frac{V}{f}\right)^2, \phi \propto \frac{V}{f}$
- Son los más comunes, y más baratos que los DC.
- Tienen **pares de arranque muy bajos**, adecuados para bombas que requieren bajo par de arranque, como las **centrífugas**.

ECUACIÓN DE BERNOULLI

CONSERVACIÓN DE ENERGÍA

$$\frac{\Delta p}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + g \cdot \Delta h = cte.$$

BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

PRINCIPIO: CAMBIO DE PRESIÓN

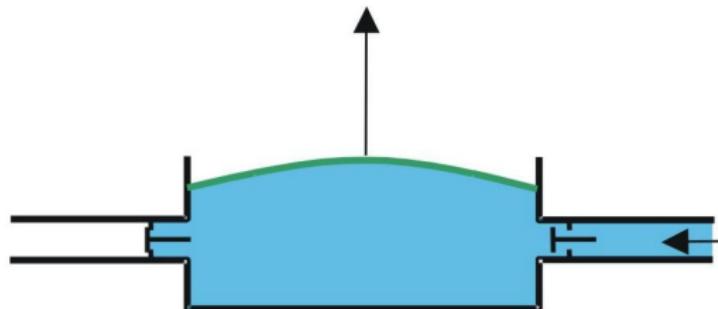
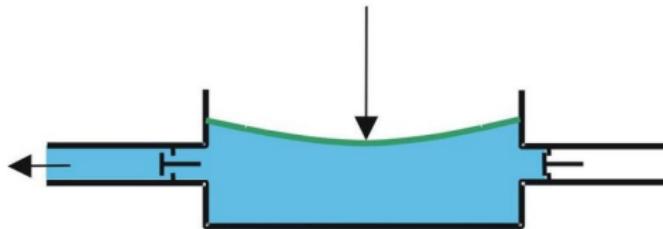
El aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen.

- **Bombas de émbolo alternativo**, en las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana (bombas de pistones)
- **Bombas volumétricas**, en las que una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada (de baja presión) hasta la zona de salida (de alta presión) de la máquina. (p.ej. bomba de tornillo).

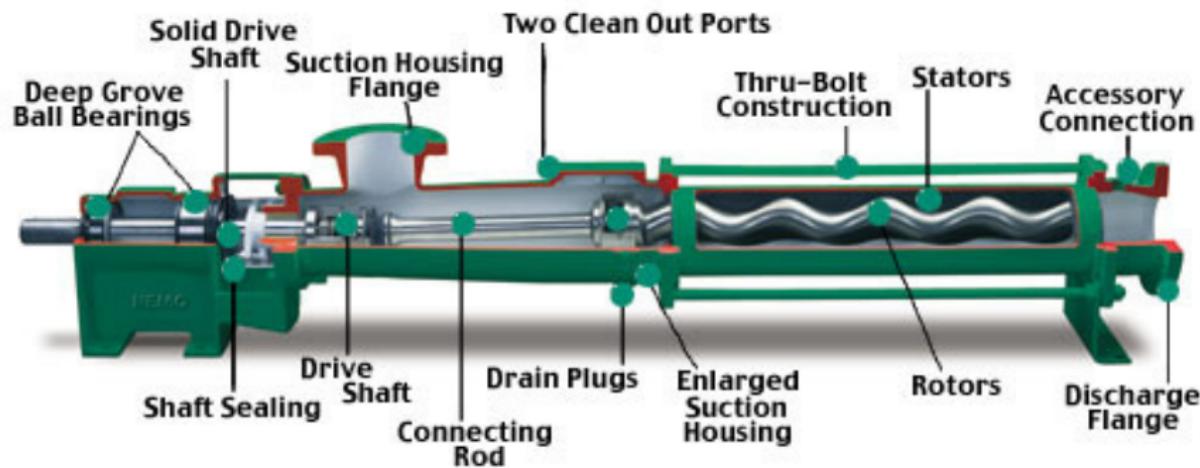
BOMBAS HELICOIDALES Y DE MEMBRANA

- Formadas por un **contorno móvil** que obliga al fluido a avanzar por la máquina por **cambios de volumen**.
- Son apropiadas para **altos incrementos de presión y bajos caudales**. Necesitan un **elevado par de arranque** (por tanto no pueden ser acopladas directamente al generador).
- Las bombas de diafragma, más económicas, requieren el **reemplazo de los diafragmas** cada dos o tres años, dependiendo del fabricante.

BOMBAS DE MEMBRANA



BOMBAS HELICOIDALES



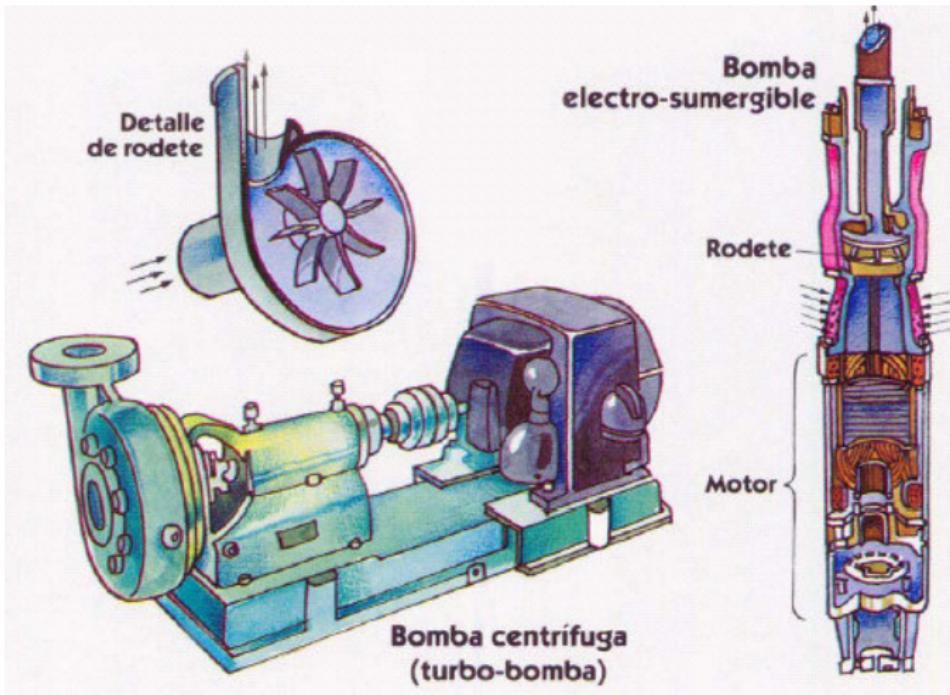
BOMBAS ROTODINÁMICAS

PRINCIPIO: AÑADIR CANTIDAD DE MOVIMIENTO

En este tipo de bombas hay uno o varios rodetes con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido.

- **Radiales o centrífugas**, el fluido entra por el centro del rodetes, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno su forma lo conduce hacia las tubuladuras de salida o hacia el siguiente rodetes (siguiente etapa)

BOMBAS CENTRÍFUGAS



BOMBAS CENTRÍFUGAS

- Están diseñadas para vencer una **presión más o menos constante**, proporcionando **elevados caudales para bajas alturas manométricas**.
- Se puede aumentar la altura que son capaces de vencer añadiendo etapas en serie en la misma bomba.
- Son **bombas simples y robustas, de bajo coste**.
- Funcionan bien con pequeños pares de arranque.

LEYES DE LA SEMEJANZA

BOMBAS CENTRÍFUGAS

RENDIMIENTO CONSTANTE

$$Q \propto n$$

$$H \propto n^2$$

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

$$T \propto n^2$$

SEGÚN LA DISPOSICIÓN

● **Bombas sumergibles**

- Pozos profundos de pequeño diámetro
- Normalmente ensambladas con el motor.

● **Bombas flotantes**

- Instalación en ríos, lagos o pozos de gran diámetro en flotación.
- Mucho caudal pero poca altura manométrica

● **Bombas de superficie**

- Instaladas a nivel de suelo (fácil mantenimiento)
- Tienen un límite en el nivel de succión (8 metros).
- Si utilizan agua como lubricante, no deben operar en seco para evitar el sobrecalentamiento.

MOTOBOMBAS TÍPICAS

- Motobomba sumergible, motor AC y bomba centrífuga multietapa.
- Bomba sumergible, con motor en superficie.
- Motobomba flotante, con bomba centrífuga.
- Motor DC y bomba centrífuga flotante.

CONFIGURACIONES TÍPICAS

● Sistemas de baja potencia (50 a 400 Wp)

- Motor DC accionando una bomba de membrana
- Convertidor DC/DC entre generador y motobomba

● Sistemas de media potencia (400-1500 Wp)

- Bomba sumergible centrífuga multietapa con motor asíncrono; variador de frecuencia.
- Motor DC sin escobillas accionando una bomba helicoidal; controlador externo DC.

● Potencia superior a 1 kWp

- Bomba sumergible centrífuga multietapa con motor asíncrono; variador de frecuencia.
- Motobomba sumergible



ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

2 MOTOBOMBAS

- Motores eléctricos
- Bombas
- Acoplamiento motor-bomba

3 ACOPLAMIENTO GENERADOR-MOTOBOMBA

4 CIRCUITO HIDRÁULICO

MOTIVO

- La **potencia y tensión suministrada por un generador FV varían** con la radiación y la temperatura.
- Las condiciones de funcionamiento **no se adaptan siempre a todos los requerimientos de la motobomba.**
- Es necesario adaptar las condiciones de funcionamiento de la motobomba al punto de trabajo del generador FV.
 - Motor AC: variador de frecuencia
 - Motor DC: convertidor DC-DC.

CONVERTIDOR DC-DC

- Dispositivo que **transforma corriente continua de una tensión a otra**. Suelen ser reguladores de conmutación, dando a su salida una tensión regulada.
- Se utiliza para alimentar **motores DC con generador FV**.
- Normalmente no incorporan buscador de MPP.

VARIADOR DE FRECUENCIA

- El variador de frecuencia **transforma una señal alterna de una frecuencia en otra señal alterna de otra frecuencia.**
- Está compuesto por un rectificador y un inversor en serie. El rectificador convierte la señal de entrada en continua, y el inversor transforma de nuevo en alterna a la frecuencia deseada.
- En sistemas FV puede evitarse la pérdida debida al rectificador entrando directamente al inversor, o bien puede asumirse esta pérdida y entrar al rectificador, lo que sirve como protección contra inversión de polaridad.
- El rendimiento de un variador a una tensión cercana a la nominal oscila entre el 94 y el 95 %.

VARIADOR DE FRECUENCIA

- Realiza **continuas variaciones en la tensión de generador para alcanzar un valor de referencia.**
- Para conseguir igualar la tensión de generador y referencia, varía la frecuencia.
- No suele realizarse seguimiento del punto de máxima potencia (MPP), ni por temperatura ni por radiación.

VARIADOR DE FRECUENCIA

$$T_{max} = k_T \left(\frac{V_1}{f_1} \right)^2$$

$$\phi \simeq k_\phi \frac{V_1}{f_1}$$

- Par constante: $\frac{V_1}{f_1} = \text{cte.}$
- Par cuadrático: $V_1 = k_V \cdot f_1^2$

PROTECCIONES

POZO VACÍO

- **Control de frecuencia de salida del variador.**
- Cuando el motor trabaja en vacío, la corriente consumida baja. Por tanto, el variador debe subir la frecuencia para alcanzar la tensión de referencia.
- Si se supera la frecuencia de 55 Hz se para el sistema y se marca un intervalo de espera para permitir que el pozo vuelva a llenarse.

PROTECCIONES

DEPOSITO LLENO

- **Presostáto en la tubería combinado con una boyas en el depósito.**
- Cuando en el depósito se alcanza un nivel determinado, la boyas acciona el cierre de la entrada al depósito.
- Sin embargo, la bomba sigue elevando agua. De esta forma, la presión dentro de la tubería aumenta hasta accionar el Presostáto.
- Se pone en marcha un temporizador para permitir que baje el nivel del depósito.



ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

2 MOTOBOMBAS

- Motores eléctricos
- Bombas
- Acoplamiento motor-bomba

3 ACOPLAMIENTO GENERADOR-MOTOBOMBA

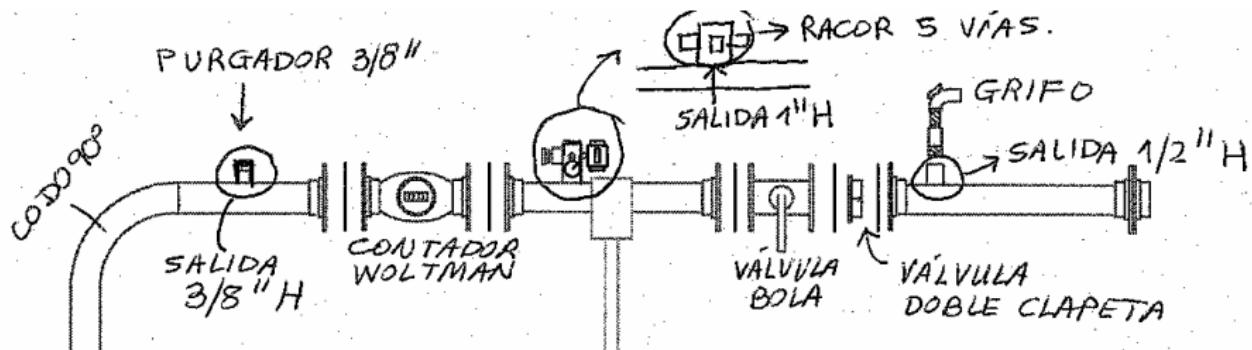
4 CIRCUITO HIDRÁULICO

CIRCUITO HIDRÁULICO

Es el conjunto de accesorios hidráulicos que completan la instalación desde la salida del pozo/sondeo hasta el punto de suministro, pasando por el almacenaje en depósito elevado en caso necesario (reserva para días de baja o escasa radiación, ya que generalmente se bombea más agua de la necesaria)

- Tubería de impulsión
- Boca de pozo
- Tubería de distribución y valvulería
- Depósito

CIRCUITO HIDRÁULICO





TUBERÍA DE IMPULSIÓN

- Es la tubería instalada a la salida de la bomba.
- Podrá ser de polietileno de alta densidad calidad alimentaria, de coste menor pero con ciertos problemas a la hora de la instalación por su tendencia a enrollarse.
- Como alternativa están las tuberías autoportantes flexibles que evitan los problemas anteriores, aunque su coste es mayor, además de requerir terminales específicos fabricados en acero inoxidable que encarecen la instalación.

DEPÓSITO ELEVADO

- Para depósitos pequeños, de 20 a 1.000 l, para agua potable, debe elegirse un depósito plástico de color negro, ya que los colores que transparentan la luz favorecen la aparición de algas y otros contaminantes.
- El plástico puede ser polietileno de alta densidad para uso alimentario.

