



## TÍTULO

**ESTUDIO DEL AHORRO MEDIANTE BOMBEO SOLAR**

## AUTOR

**David Cruz Baldán**

Director  
Curso

ISBN

©

©

**Esta edición electrónica ha sido realizada en 2011**

Roberto Zilles

**POP Tecnología de los Sistemas de Energía Solar  
Fotovoltaica (2009)**

978-84-7993-949-6

David Cruz Baldán

Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



## Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 2.5 España.

### Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

### Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
  - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
  - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
- 
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
  - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
  - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*

# ESTUDIO DEL AHORRO MEDIANTE BOMBEO SOLAR

David Cruz Baldán



## ÍNDICE

Introducción.....	4
Ventajas y desventajas del bombeo solar.....	5
Comparación entre distintas opciones de bombeo.....	8
Aplicaciones del sistema de bombeo.....	9
Descripción del sistema de bombeo fotovoltaico.....	10
Subsistema de generación .....	13
Subsistema motor-bomba .....	19
Subsistema de acondicionamiento de potencia.....	26
Estudio de las bombas Shurflo, Lorentz y Grundfos.....	29
Shurflo 9300.....	31
Lorentz PSC HR 200.....	35
Grundfos SQF 14A-3.....	37
Calculo de los costes, ahorro y tiempo de amortización.....	43
Descripción de la aplicación bombeo.....	48
Conclusiones y resultados.....	51
Bibliografía.....	52
ANEXO 1: Características de los sistemas alternativos.....	53
ANEXO 2: Curvas características Q-H-P.....	67

## AHORRO MEDIANTE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO

### Introducción

La escasez de agua en el mundo es un problema grave. Aún asumiendo que no existiera polución en las fuentes de agua potable, la mayor parte del volumen de agua en este planeta (97,5% del total) es agua salada. El volumen de agua potable representa sólo un 2,5% del total. De esta cantidad, el 68,9% es en forma de hielo en los polos, o nieves permanentes en las altas cumbres. Un 30.5% se encuentra bajo tierra, en forma de napas (ríos subterráneos), como humedad en el terreno, o como pantanos líquidos o congelados (permafrost). El volumen de agua “fácil de utilizar” (lagos y ríos) es el **menor de todos**, ya que representa el 0,3% del total de agua potable, **MENOS DEL 1% DEL VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN EL PLANETA ES POTABLE**<sup>1</sup>. Si a estos números substruimos el volumen que es inusable debido a la polución, y tomamos en cuenta el aumento exponencial de la población mundial, no es difícil entender porqué los expertos hablan de una crisis mundial hacia el 2030. Factores adicionales, como la ineficiencia de los métodos de riego para las explotaciones agrícolas, la deforestación, la falta de conciencia de los usuarios que poseen servicios de aguas corrientes, y los cambios climatológicos, contribuyen a disminuir sensiblemente el volumen de las napas subterráneas. Nuevos pozos deben perforarse a mayor profundidad, elevando el costo de los sistemas de bombeo, independientemente del tipo que se use.

Un tema del que se habla poco en este momento es la adquisición, por parte de consorcios internacionales, de fuentes de agua potable no contaminadas en diversos países. La ambición de estos gigantes es convertirse en vendedores casi exclusivos de un elemento tan vital para la vida en este planeta. Algunos expertos visualizan guerras (militares o económicas) entre países que comparten una fuente de agua potable. Este es el caso en ríos que atraviesan varios países entre su lugar de nacimiento y su desembocadura (el Nilo en África) o lagos compartidos por dos (o más países), como los grandes lagos en la frontera entre EEUU y el Canadá.

Dada la necesidad de fuentes energéticas limpias, no contaminantes de bajo impacto ambiental y a la vez renovable, es por lo que los sistemas solares fotovoltaicos cumplen un papel preponderante en la provisión de energía eléctrica. En la mayoría los países en vías de desarrollo la energía eléctrica convencional no está aún disponible en vastas regiones aisladas. La construcción y el mantenimiento de redes de distribución resulta onerosa, por lo menos hasta la actualidad. Lo mismo ocurre con los grupos electrógenos. En las regiones rurales dispersas, generalmente las necesidades energéticas son pequeñas y existe una baja densidad poblacional en donde los usuarios potenciales están ampliamente diseminados.

En las condiciones mencionadas los generadores solares fotovoltaicos resultan una solución fiable para el desarrollo rural, suministrando energía eléctrica destinada a bombeo y al tratamiento de agua en cualquier sitio y en cantidades razonables, facilitando el consumo humano y animal, riego, impulsando el desarrollo socioeconómico de áreas rurales alejadas. La provisión de electrificación rural destinada a iluminación, bombeo de agua, aparatos electrodomésticos brinda mejores condiciones de vida, facilitando las

---

<sup>1</sup> The fourth Global Environment Outlook (GEO-4)

comunicaciones y el acceso a la información, proveyendo de infraestructura básica necesaria para el afincamiento y arraigo de pobladores, evitando de manera notable la emigración a los grandes centros urbanos.

A este respecto el bombeo de agua con energía solar fotovoltaica (FV) es una aplicación de especial interés en sistemas aislados. Esta tecnología ha demostrado a lo largo de los años ser un modo efectivo de suministro de agua potable para usuarios y comunidades rurales, así como para aplicaciones agrícolas (irrigación) y ganaderas (abrevaderos). Desde las primeras instalaciones de bombeo FV realizadas en 1978 el número de sistemas instalados en el mundo aumenta rápidamente, algunos estudios indican que mas de 10.000 unidades estaban operativas en 1994 y las previsiones indican que cerca de medio millón de unidades estarán en operación para el año 2010. Cabe destacar la exitosa implementación de numerosos programas de cooperación internacional en el área de bombeo FV como el “Programa Regional Solar del Sahel” (PRS) donde se instalaron 829 sistemas de bombeo FV para el suministro de agua a comunidades rurales, 641 unidades sumergibles y 188 de superficie, con una potencia FV instalada total de 1258 kWp (se incluyeron además 538 sistemas de electrificación rural) en siete países de la zona subsahariana. Experiencias similares se han dado en Mali (40 sistemas en 1990), India (500 sistemas en 1994, 3.320 en el año 2000) o Filipinas (150 sistemas). Durante la década de los noventa y principios de este siglo la actividad en bombeo FV ha continuado en crecimiento mediante la acción directa de gobiernos, usuarios y compañías instaladoras, como por ejemplo 23 sistemas de bombeo FV en Marruecos (1999), 50 en Gambia (2001), 60 en Argelia<sup>8</sup> (2001), etc...Las ventas de módulos FV a nivel mundial fueron de 70 MWp en 1994 (449 MWp acumulados) de los que un 17% fueron destinados a instalaciones de bombeo FV. Suponiendo un incremento anual del 29%, las ventas aumentaron de 200 MWp en 1999 a 278 MWp en el año 2000, es razonable suponer que el mercado de ventas anuales alcanzará los 8 GWp en el año 2010, de los que un 7% de este volumen estará dedicado al bombeo FV de agua.<sup>2</sup>

### Ventajas del bombeo solar

#### Ventajas

- No dependen de la existencia de una red distribuidora de energía eléctrica para ser puestos en funcionamiento.
- No dependen de generadores eléctricos portátiles que consumen combustibles que polucionan el ambiente, o son caros o difíciles de obtener.
- Su diseño es simple, ya que no requieren un banco de baterías (uso diurno).
- Sistemas de bombeo para profundidades moderadas pueden ser acarreados entre locaciones.
- Las bombas modernas pueden operar a grandes profundidades y son más durables y eficientes.

---

<sup>2</sup> Módulo 3:Sistemas fotovoltaicos para bombeo de agua. Miguel Alonso Bella y Faustino Chenco p.6

- En muchos lugares los vientos que hacen funcionar la típica aerobomba, cesan durante el verano, cuando la radiación solar alcanza su máximo.

## Desventajas

- El volumen extraído por hora es menor que el de una bomba de varios CV. El criterio de diseño para un equipo de bombeo solar sólo considera el volumen diario requerido.
- La reparación o el mantenimiento preventivo de motores de menor tamaño (sistemas solares) son más factibles de ser hechos en el lugar de utilización, ahorrándose el costo de transporte.
- Necesita un tanque de acumulación para compensar por los días con radiación solar baja o nula.
- El costo inicial del sistema es alto, debido al costo de los paneles. Sin embargo, la sencillez del mismo y la duración de las nuevas bombas, permiten la amortización del costo de un sistema solar en tiempos relativamente cortos.

Respecto a este último punto, se puede usar un argumento de contenido estrictamente humano y justificar el costo de un sistema solar de bombeo como despreciable frente al costo de no tener agua para sobrevivir. Si este argumento no es válido (explotación industrial) la rentabilidad depende de factores que son característicos del lugar en donde el sistema de bombeo solar será instalado. Por ejemplo, ¿El nuevo sistema es el único que se utilizará, o complementará a otro en uso? ¿Existe más de un pozo perforado? ¿El sistema en uso comienza a tener serios problemas de mantenimiento? ¿Ha aumentado el costo o la dificultad de conseguir combustibles para el generador eléctrico auxiliar que alimenta las (la) bombas ya instaladas? etc.

Estudios realizados años atrás por el Sandia National Laboratory de los EEUU muestran que cuando la potencia instalada oscila entre un mínimo de 100W y un máximo de 700W, el sistema solar resulta económicamente viable, resultados semejantes son presentados por Fedrizzi, 1995<sup>3</sup> Lo que se traduce al rango de los 200 a 1500 m<sup>4</sup>/día.<sup>4</sup> (ver Fig. 1).

---

<sup>3</sup> Fedrizzi M.C., Sauer I.L., Zilles R. Economic analysis of photovoltaic and Gasoline Pumping Systems. *Renewable Energy*, 4, 1-4, pp. 424-427, 1996.

<sup>4</sup> Una buen indicativo del tamaño y costo es el ciclo hidráulico, que es el producto del volumen diario por la profundidad. En el sistema métrico el ciclo hidráulico tiene unidades de m<sup>4</sup>. Por ejemplo, 5 m<sup>3</sup> extraídos de una profundidad de 20 m dan un ciclo hidráulico de 100 m<sup>4</sup>. Así mismo, 20 m<sup>3</sup> extraídos de una profundidad de 5 m también dan 100 m<sup>4</sup>. En ambos casos la energía requerida es aproximadamente la misma y el costo de estos sistemas es muy similar. [http://solar.nmsu.edu/wp\\_guide/factibilidad.html](http://solar.nmsu.edu/wp_guide/factibilidad.html)



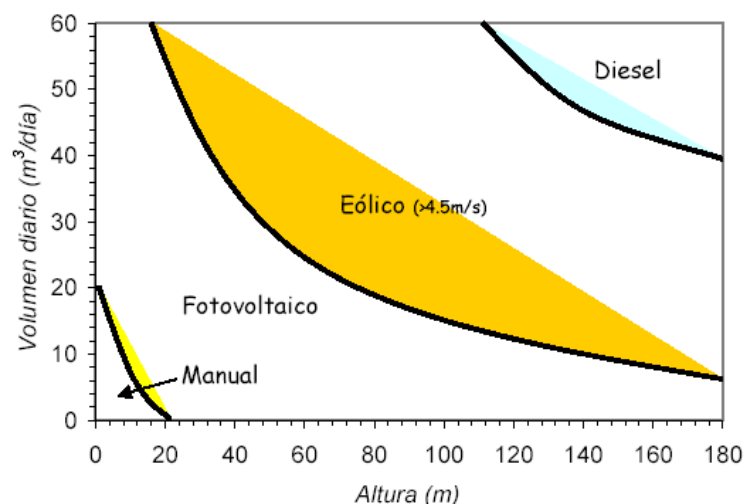


Figura 1.- Gráfico indicativo de selección de la tecnología más apropiada de acuerdo al volumen diario y profundidad de bombeo. Se ha considerado una insolación diaria de  $3.0\text{KWh/m}^2$ , un recurso eólico (es decir, la velocidad promedio del viento) de  $4.5\text{ m/s}$  y una eficiencia de 7% de los sistemas de Diesel.<sup>5</sup>

Las necesidades básicas de agua para consumo humano (mínimo vital) en áreas rurales de países empobrecidos se ha estimado en 20 l/día. El sistema FV de bombeo de agua típico tiene una potencia nominal en torno a 1 kWp, suministrando del orden de 30 m<sup>3</sup>/día a 25 metros de altura. Recientemente estos valores se están modificando ligeramente, especialmente en aplicaciones de riego en explotaciones agrícolas alejadas de la red eléctrica, aumentando el margen de competitividad de los sistemas de bombeo FV, debido principalmente al descenso del coste de los módulos FV y a la disponibilidad de sistemas de bombeo de mayor potencia y menor coste, como es el caso de la utilización de convertidores de frecuencia en sistemas de bombeo FV. Todo ello debido a la exitosa implementación de numerosos proyectos de bombeo FV en el mundo y la buena calidad general de las instalaciones FV realizadas en los últimos años.

El auge de la demanda de sistemas de bombeo fotovoltaico está siendo favorecido tanto por el incremento en la satisfacción del usuario final, debido al aumento de la calidad y eficiencia de las instalaciones, como por la amortización del sistema a corto plazo (está demostrado que el riego de 2 o 3 Ha. de viñedo con un sistema de bombeo fotovoltaico de 1 kWp de potencia nominal puede aumentar su producción en un 30%, lo que puede suponer un periodo de amortización inferior a tres años). Las demandas actuales para sistemas que pueden ser cubiertas por sistemas FV se sitúan actualmente en el rango de los 20 a 50 m<sup>3</sup>/día a alturas entre 20 y 70 m, aumentando progresivamente siendo ya habitual la instalación de sistemas de mas de 10 kWp.

No existe duda alguna que en el futuro los combustibles derivados del petróleo permanecerán con costo altos y sin estabilidad de precios. Este factor

<sup>5</sup> En la figura, la palabra insolación debe ser sustituida por irradiancia o energía incidente por unidad de tiempo y superficie.

es extremadamente importante si se tiene en cuenta que un sistema de bombeo solar tiene una vida útil de unos 20 años.

Es posible adoptar distintas soluciones tecnológicas para bombear un determinado volumen de agua a una determinada altura en función de los rangos de potencia (producto altura por caudal) requeridos. En la mayor parte de los casos, la solución más eficiente y económica es usar un sistema de bombeo en el que se conecta un generador fotovoltaico a un conjunto motor/bomba mediante un determinado dispositivo de acondicionamiento de potencia entre ambos. No es recomendable la utilización de baterías de acumulación siendo preferible la acumulación de energía en forma de energía hidráulica. No obstante se pueden dar determinadas situaciones en las que puede resultar más económico utilizar sistemas de bombeo con baterías, como pueden ser los casos de la existencia de baterías en un sistema de electrificación doméstica en la que el bombeo es uno de los consumos parciales o la imposibilidad de disponer de un depósito de acumulación.

La elección de un sistema de bombeo alimentado mediante energía solar fotovoltaica frente a otras fuentes energéticas depende principalmente de factores geográficos y económicos. La experiencia muestra que un proyecto es económicamente factible cuando el ciclo hidráulico no sobrepasa los 1.500 m<sup>4</sup>/día (ver Fig.1). Los sistemas de bombeo diesel o eólicos son más competitivos cuando se requiere un ciclo hidráulico mayor.

### [Comparación entre opciones de sistemas de bombeo tipo de sistema, ventajas e inconvenientes](#)

#### **Manual**

- Bajo costo. Tecnología simple.
- Fácil mantenimiento. Limpieza.
- No necesita alimentación.
- Mantenimiento regular. Bajo caudal.
- Consume tiempo y energía que puede ser empleado con mayor productividad en otras actividades.

#### **Solar**

- Bajo mantenimiento. Limpieza.
- Fácil de instalar. Fiable. Larga vida.
- Sistemas modulares que pueden ser acoplados a las necesidades.
- No combustible.
- Relativamente, alto coste inicial.
- Producción de agua dependiente de la radiación solar.

#### **Diesel**

- Inversión de capital moderada.

- Portátil. Muy experimentadas.
- Fácil instalación.
- Mantenimiento a menudo inadecuado, reduciendo su vida.
- Combustible caro y suministro intermitentemente.
- Problemas de ruido, suciedad y humos.

### Aplicaciones de sistemas de bombeo fotovoltaico.

Las dos principales aplicaciones de los sistemas de bombeo alimentados mediante energía solar fotovoltaica son:

- Aplicaciones de riego agrícola.
- Abastecimiento de agua en zonas rurales.

Las necesidades de agua para riego se caracterizan por su gran variación estacional, ya que dependen del tipo de cultivo que se pretenda regar. La demanda de agua puede oscilar entre valores pico de 100 m<sup>3</sup>/día/Hectárea en los meses secos hasta volúmenes próximos a cero en los meses de invierno. En áreas agrícolas de países en desarrollo, para el abastecimiento de pequeñas granjas, las necesidades de agua por hectárea son del orden de 1 a 5 l/s, con alturas manométricas superiores a 7 metros. Las bombas de esta capacidad se sitúan en el rango de 150 a 500 W y pueden suministrar agua para regar entre 0.5 y 1 hectáreas, dependiendo del cultivo y del rendimiento de sistema de distribución de agua. El abastecimiento de agua en zonas rurales, bien para consumo humano o de animales de granja, se caracteriza en cambio por una demanda de agua casi constante a lo largo del año.

Las necesidades de agua para consumo de animales domésticos oscilan entre los 50 l/día de un caballo hasta los 0.1 l/día para un ave de corral. El consumo humano es más complicado de determinar, ya que éste varía dependiendo de la localización y del estilo de vida. Sin embargo se puede estimar en 20-40 l/día/persona la cantidad de agua para satisfacer las necesidades básicas. Esto supone una potencia hidráulica media de 0.3 Watios, suponiendo un periodo de utilización de 8 horas y una altura de elevación del agua de 20 metros.

El consumo humano es más complicado de determinar, ya que éste varía dependiendo de la localización y del estilo de vida. Sin embargo se puede estimar en 20-40 l/día/persona la cantidad de agua para satisfacer las necesidades básicas. Esto supone una potencia hidráulica media de 0.3 Watios, suponiendo un periodo de utilización de 8 horas y una altura de elevación del agua de 20 metros.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Módulo 3: Sistemas fotovoltaicos para bombeo de agua. Miguel Alonso Bella y Faustino Chenco pp.7-8

## Descripción del sistema de bombeo fotovoltaico.

Una instalación de bombeo fotovoltaico (ver Fig.2) está compuesta principalmente por un generador FV, un motor/bomba, un pozo, un sistema de tuberías y un depósito de acumulación. Se puede disponer de un sistema de acondicionamiento de potencia (controladores DC/DC, inversores DC/AC u otros dispositivos electrónicos) de acople entre el generador FV al motor, para poder operar motores AC o para incrementar el rendimiento medio diario en sistemas con motores DC que accionen bombas de desplazamiento positivo. El sistema ha de estar debidamente instalado y protegido, utilizando sensores de nivel en el pozo y en el depósito de acumulación para evitar el desperdicio del agua y la operación en vacío. A pesar de que se instalan bombas de superficie o flotantes, la configuración más habitual es un sistema motobomba sumergible instalada en un pozo de sondeo.

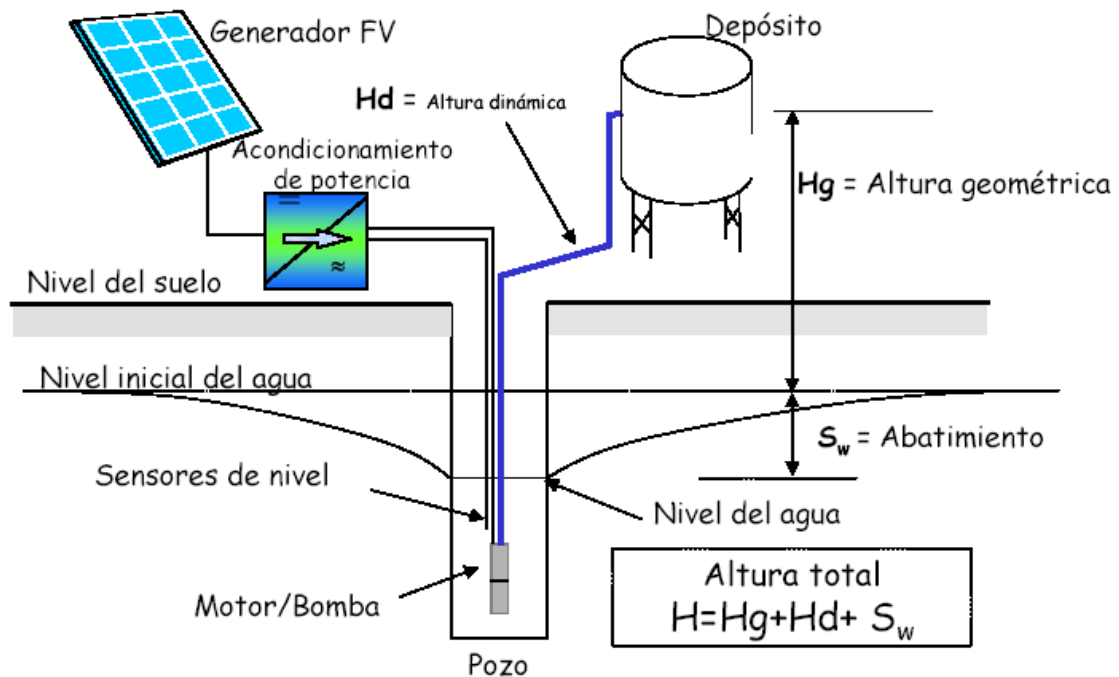


Figura 2.- Descripción de los distintos componentes y parámetros que intervienen en el bombeo solar<sup>7</sup>

Para llevar a cabo un diseño, se necesita calcular el valor de la **altura** del sistema a instalarse. Este valor representa la suma de todos los valores que deben ser tenidos en cuenta cuando la bomba está en actividad, a fin de determinar la potencia a instalarse (ver Fig.2) Uno de ellos es la profundidad dinámica del pozo (**Hd**). Este valor es siempre superior al del valor estático (**Sw**), ya que el nivel de agua se hace más profundo al extraerse el agua. A parte de haber pérdidas en el entubado. Dependiendo del caudal y la velocidad de extracción, esta variación puede ser despreciable o apreciable. La altura de cisterna o depósito (**Hg**), incrementa el valor total. En las tuberías se originan pérdidas por rozamiento, estas deben ser consideradas en todo el sistema como una función del caudal. Es evidente que las pérdidas por fricción en las tuberías se incrementan de manera proporcional al caudal. Por tal

<sup>7</sup> Optimización del uso de convertidores de frecuencia con bombas centrífugas y motores trifásicos en sistemas de bombeo fotovoltaico. Era Solar 2001. Miguel Alonso Bella y Chenco.

motivo se recomienda seleccionar un diámetro adecuado para que las pérdidas sean mínimas. Las pérdidas por fricción en la cañería, se dan como la altura dinámica. La altura dinámica para los codos, si se usan, dependen del ángulo y de su diámetro. La distancia horizontal, de existir, debe considerarse sólo para calcular las pérdidas por fricción, pero no contribuye, siendo horizontal, a incrementar el valor de la Hd.

Los principales factores que determinan la configuración de un sistema de bombeo fotovoltaico son:

- Las condiciones hidráulicas
- La profundidad del nivel del agua en el pozo bajo la superficie.
- La altura estática de elevación del agua por encima de la superficie del suelo (por ejemplo hasta un depósito de almacenamiento).
- La energía suministrada por el generador fotovoltaico a lo largo del día, determinada por la radiación solar y las condiciones climatológicas.
- Las pérdidas adicionales de presión en tuberías y accesorios (altura dinámica).

De acuerdo con estos factores, se pueden definir varias configuraciones de un sistema de bombeo fotovoltaico: sumergible, flotante, con bomba centrífuga o de desplazamiento positivo, con motor de corriente continua o de corriente alterna, etc (ver Fig.3).

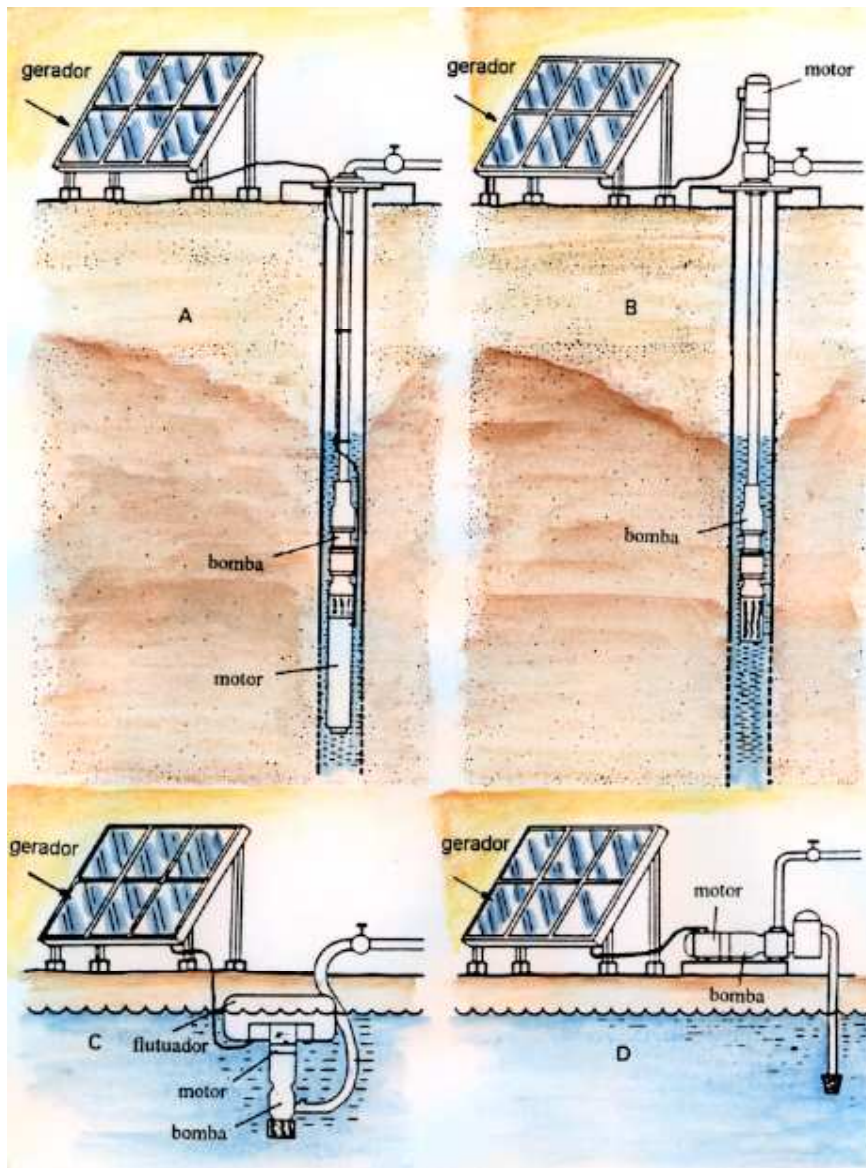


Figura 3 – Ejemplos de posibles configuraciones de sistemas de bombeo. Modificado de FRAENKEL, P., A Handbook for Users and Choosers<sup>8</sup>

<sup>8</sup> FRAENKEL, P. Water-Pumping Devices: A Handbook for Users and Choosers. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), London, Intermediate Technology, 1990.

Los componentes esenciales en toda instalación (ver Fig.4) son:

- Subsistema de generación o generador fotovoltaico.
- Subsistema motor-bomba.
- Subsistema de acondicionamiento de potencia.
- Subsistema de acumulación y distribución.

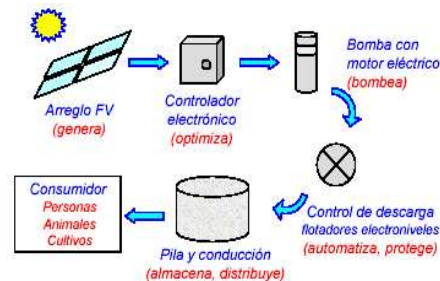


Fig.4: esquema de los componentes de una instalación fotovoltaica para el bombeo.

A continuación se describen detalladamente cada uno de estos elementos<sup>9</sup>:

### Subsistema de generación

La base del efecto fotovoltaico es la *célula solar* que no es más que una unión *p-n* cuidadosamente diseñada para ser especialmente sensible a la luz que incide sobre ella. Cuando la luz solar llega a la zona *n* de la unión, los fotones que la constituyen son capaces de transmitir su energía a los electrones de valencia del semiconductor y romper el enlace que les mantiene ligados a los átomos respectivos. Cada enlace roto genera un electrón y un hueco capaces de circular, si se cierra el circuito, debido al campo eléctrico de la región de carga espacial. La diferencia de potencial, *VC*, que esta situación provducidos por la luz, y la llamada *corriente de oscuridad*, *ID*, debida a la recombinación de portadores que siguen una ley exponencial.

Una única célula es capaz de proporcionar una tensión de algunas décimas de voltio ( $j \ll 0,5$  V para células de Si) y una potencia máxima de 1 ó 2 W. Para su empleo práctico, las células solares se conectan eléctricamente dando lugar al *panel* o *módulo fotovoltaico*. La relación entre la corriente y la tensión del panel (*I* y *V*, respectivamente) se calcula a partir de la ley exponencial multiplicando según las células en serie y paralelo que lo forman. oca en los contactos de la célula, produce una disminución de la barrera de potencial de la unión con la correspondiente difusión de portadores y posterior recombinación. La corriente final, *IC*, que entrega la célula al circuito externo es la diferencia entre la llamada *fotocorriente*, *IL*, debida a los portadores pro

Puesto que una sola célula fotovoltaica tiene un voltaje de trabajo cercano a 0.5 V, estas generalmente se conectan juntas en serie (positivo con negativo) para proporcionar voltajes más grandes. Los paneles se fabrican en una amplia

<sup>9</sup> Módulo 3: Sistemas fotovoltaicos para bombeo de agua. Miguel Alonso Bella y Faustino Chenco págs. 9-30.

gama de los tamaños para diversos propósitos que generalmente caen en una de tres categorías básicas:

- Paneles de bajo voltaje / baja potencia son confeccionados conectando entre 3 y 12 segmentos pequeños de silicio amorfo fotovoltaico con un área total de algunos centímetros cuadrados para obtener voltajes entre 1.5 y 6 V y potencias de algunos milivatios. Aunque cada uno de estos paneles es muy pequeño, la producción total es grande. Se utilizan principalmente en relojes, calculadoras, cámaras fotográficas y dispositivos para detectar la intensidad de luz, tales como luces que se encienden automáticamente al caer la noche.
- Paneles pequeños de 1 - 10 vatios y 3 - 12 V, con áreas de 100cm<sup>2</sup> a 1000cm<sup>2</sup> son hechos ya sea cortando en pedazos celdas mono o policristalinas de 100cm<sup>2</sup> y ensamblándolas en serie, o usando paneles amorfos de silicio. Los usos principales son en radios, juguetes, bombeadores pequeños, cercas eléctricas y cargadores de baterías.
- Los paneles grandes, de 10 a 60 vatios, y habitualmente 6 o 12 voltios, con áreas de 1000cm<sup>2</sup> a 5000cm<sup>2</sup> son generalmente construidos conectando de 10 a 36 celdas del mismo tamaño en serie. Se utilizan individualmente para bombeadores pequeños y energía de casas rodantes (luces y refrigeración) o en conjuntos para proporcionar energía a casas, comunicaciones, bombeadores grandes y fuentes de energía en área remotas

Los parámetros usados habitualmente para caracterizar las células solares, para una irradiancia dada, una temperatura de operación y una determinada área son:

- *Corriente de cortocircuito*,  $I_{sc}$ , la corriente máxima, a voltaje cero. Idealmente sí  $V=0$ ,  $I_{sc} = I_L$ .  $I_{sc}$  es directamente proporcional a la luz disponible.
- *Voltaje de circuito abierto*,  $V_{oc}$ , máximo voltaje, a corriente cero.  $V_{oc}$  aumenta logarítmicamente con la luz irradiancia incidente.
- *Punto de máxima potencia*,  $P_m$ , donde el producto  $P_m = V_m \times I_m$  alcanza su valor máximo.
- *El factor de forma*,  $FF$ , es una medida de la calidad de la unión y de la resistencia serie de la célula.

$$FF = \frac{I_M V_M}{I_{sc} V_{oc}}$$

La curva I-V de una célula FV depende de sus características constructivas (número y tipo de células) y por las condiciones ambientales (Irradiancia, temperatura y espectro de la radiación). Normalmente los parámetros



característicos se dan en unas determinadas condiciones determinadas que permiten la intercomparación universal de distintos tipos de módulos, estas son:

- Estándar de medida (STC) definidas por Irradiancia 1000 W/m<sup>2</sup>
- Espectro solar AM1.5G (incidencia normal)
- Temperatura de célula 25°C
- Condiciones estándar de operación
- Irradiancia 800 W/m<sup>2</sup>
- Espectro solar AM1.5G (incidencia normal)
- Temperatura ambiente 20°C
- Velocidad del viento 1 m/s

Así pues definidas las condiciones de operación estándar podemos decir que el efecto de la temperatura (ver Fig 5.) afecta muy poco a la corriente de cortocircuito, la tensión en cambio, de circuito abierto disminuye con el incremento de temperatura.

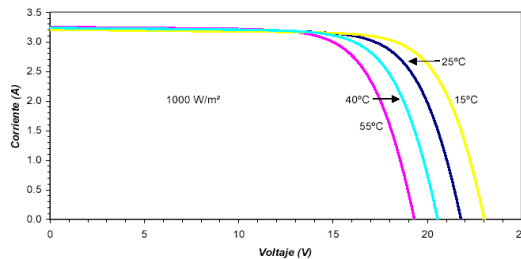


Fig.5 Característica I-V que muestra el efecto de variación de la temperatura (manteniendo constante la intensidad radiante).

En el caso que variemos la irradiancia, (ver Fig.6) también se produce un cambio en la corriente y en el voltaje de salida, pero en este caso es la corriente de cortocircuito la que más lo nota, variando linealmente con la irradiancia, mientras que por el contrario el voltaje en cortocircuito se ve menos afectado, presentando una dependencia logarítmica.

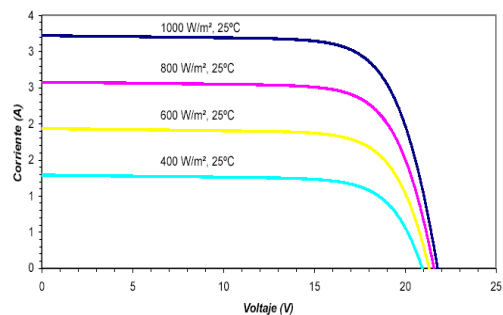


Fig.6: Característica I-V que muestra el efecto de variación de la irradiancia a temperatura constante.

Debido a estos dos fenómenos se originan unas pérdidas del orden de 0.5% sobre la potencia entregada por cada grado de temperatura a que se encuentre la célula, por encima de las condiciones estándar.

Si una aplicación requiere más energía de la que puede ser proporcionada por un solo panel, se pueden hacer sistemas mayores combinando más paneles. Sin embargo, se presenta una complicación en los casos en que la

potencia y voltaje requeridos sea mayor que el puede ser proporcionado directamente por los paneles. En estos casos, se utilizan los sistemas fotovoltaicos, compuestos por las siguientes partes:

1. Un conjunto de paneles fotovoltaicos, variando de dos a varios centenares de paneles.
2. Un marco y una cubierta para el sistema.
3. En forma opcional se puede contar con fuentes de alimentación de reserva tales como generadores diesel. (cogeneración)
4. Otros elementos que pueden llegar a formar parte del sistema son mecanismos de seguimiento y sensores. Aumentando la energía colectada en aproximadamente un 30%.

Los paneles en conjunto, funcionan generalmente en serie/paralelo, para limitar el voltaje de la salida entre 12 y 50 voltios, pero con un amperaje más alto (corriente). Esto es por seguridad y para reducir al mínimo las pérdidas de energía.

Veamos las características eléctricas de una configuración serie/ paralelo.

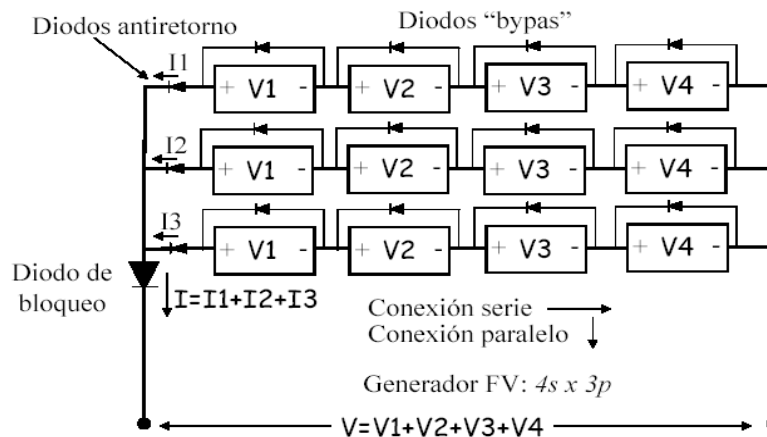


Figura 7. Asociación de paneles serie/paralelo para obtener los valores de Potencia necesarios para un sistema de bombeo genérico. El número de paneles conectados en serie/paralelo, depende de las limitaciones de nuestra bomba.

En la Figura 7 se muestra un generador FV compuesto por 4 módulos conectados en serie y 3 en paralelo (4sx3p). Se muestra la posición de los diodos de paso (diodos que presentan un camino alternativo de la corriente en caso de sombreado, evitando la formación de puntos calientes), anti-retorno y del diodo de bloqueo (diodo para evitar el flujo de corriente en dirección opuesta). El diodo de bloqueo únicamente es necesario en sistemas con baterías.

El generador FV proporciona una tensión que es la suma de las tensiones de cada uno de los módulos conectados en serie, y una corriente que es la suma de las corrientes de cada rama conectada en paralelo.

Por ejemplo, si se conectan 12 módulos FV como se indica en la figura 5 (4sx3p), 3 ramas en paralelo, con 4 módulos en cada rama. Si las características de cada módulo son  $I_m=3.1A$ ,  $V_m=17.2V$ , entonces para el generador fotovoltaico se tendrá una curva I-V similar a la de la, pero con los siguientes parámetros:  $I_m = 3.1 A \times 3 = 9.3A$ ,  $V_p = 17.2 V \times 4 = 68.8V$ ,  $P_m = 53.32 Wp \times 12 = 640 Wp = 0.64 kWp$ . El generador puede trabajar en cualquier punto de su curva I-V pudiendo suministrar una potencia distinta para idénticas condiciones de irradiancia y temperatura, impuesta por el tipo de carga eléctrica de salida. No obstante existe un punto de funcionamiento ( $I_m$ ,  $V_m$ ) en la curva I-V en el cual la potencia entregada es máxima: es el punto de máxima potencia. En un sistema de bombeo FV se ha de procurar que el punto de trabajo esté lo más cerca del punto de máxima potencia del generador que sea posible. Este hecho se analizará con mayor detalle posteriormente.

Los conjuntos de paneles se están utilizando cada vez más en la construcción de edificios en donde cumplen dos funciones, proporcionar una pared o un techo y abastecer de energía eléctrica al edificio. Eventualmente cuando bajen los precios de celdas solares, la construcción de edificios con celdas solares integradas puede convertirse en una fuente de la energía eléctrica importante.

La cantidad de energía diaria entregada por los paneles fotovoltaicos variará dependiendo de la orientación, de la localización, del clima y de la época del año. En promedio, en verano, un panel producirá cerca de cinco veces la energía especificada en vatio por horas y por día, y en invierno cerca de dos veces esa cantidad. Por ejemplo, en verano un panel de 50 vatios producirá un promedio de 250 vatios/hora, y en invierno cerca de 100 vatios/hora. Estos valores son solamente indicativos, y se debe buscar ayuda profesional para obtener cálculos más exactos.

Los mecanismos de seguimiento se utilizan para mantener los paneles fotovoltaicos directamente frente al sol, de modo de aumentar la potencia de salida de los paneles. Los mecanismos de seguimiento pueden casi duplicar la salida de un conjunto de paneles fotovoltaicos (ver *Fig.8*). Se requiere de un análisis cuidadoso para determinar si el incremento en el coste y la complejidad mecánica de un mecanismo de seguimiento es rentable en circunstancias particulares.

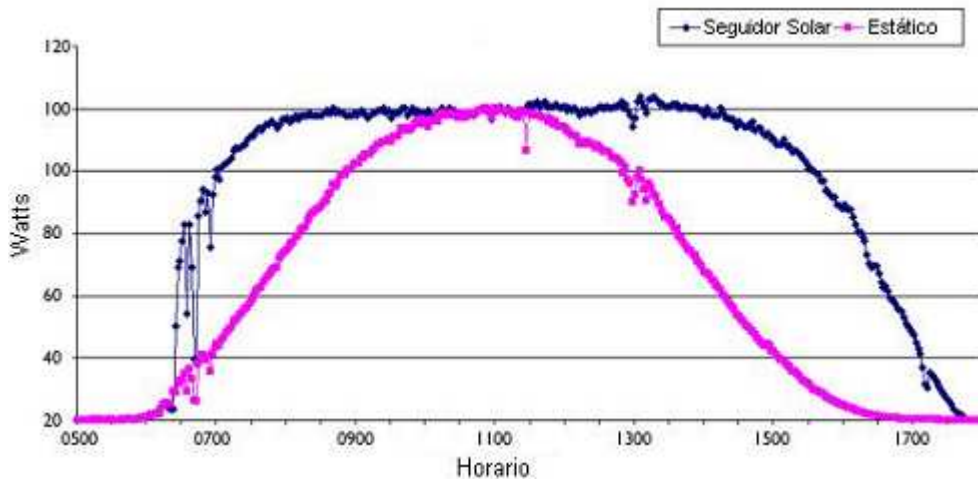


Figura 8. Comparación entre la energía captada por un sistema fotovoltaico estacionario y con seguidor solar.<sup>10</sup>

Las fuentes de potencia auxiliar o de reserva son requeridas cuando debe ser garantizada la confiabilidad de la fuente de electricidad, cuando es poco económico proporcionar el almacenaje con baterías para períodos nublados extendidos infrecuentes, o cuando algunas aplicaciones tienen requisitos intermitentes de grandes cantidades de energía que sean poco convenientes de satisfacer con el sistema fotovoltaico.

En ocasiones, si es viable la combinación del sol y del viento, se utilizan generadores eólicos conjuntamente con sistemas fotovoltaicos. Pequeños generadores a gasolina o diesel se utilizan a menudo como reserva. Estos sistemas son relativamente baratos de comprar pero su funcionamiento es costoso.

Las ventajas del uso de los generadores fotovoltaicos son claras:

- No requiere el tendido de Líneas de transmisión .
- La energía se produce en el lugar donde se utiliza.
- No consume combustible.
- No tiene partes mecánicas en movimiento, ni sometidas a desgaste.
- Son totalmente silenciosos.
- Resiste condiciones extremas de viento, granizo, temperatura y humedad.
- La vida útil de los módulos fotovoltaicos es superior a los veinte años en condiciones normales de uso.
- Es modular, lo que permite aumentar la potencia instalada sin interrumpir el funcionamiento del generador.
- Alta confiabilidad y mínimo mantenimiento
- Independencia en cuanto a la provisión.

<sup>10</sup> Adaptado de estudio hecho por Solartrax, disponible en: <<http://www.solartrax.com/advantage-comparison.shtml>>. Acceso en XX de septiembre de 2008

## Subsistema motor-bomba

El subsistema motor-bomba está formado por un motor que acciona una bomba de agua. En general, los motores pueden ser de corriente continua (DC) o de corriente alterna (AC). Las bombas pueden ser centrífugas o de desplazamiento positivo. Por su situación en el pozo los sistemas motor-bomba pueden ser sumergibles, flotantes o de superficie.

## **Motores**

Un motor es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica. Dependiendo del tipo de alimentación eléctrica, los motores pueden clasificarse básicamente en:

- motores de corriente continua (DC)
- motores de corriente alterna (AC)

Dependiendo del tipo de construcción, los motores de corriente continua pueden ser de imán permanente (con o sin escobillas), Serie, Shunt o Compuesta y los motores de corriente alterna pueden ser monofásicos o trifásicos, síncronos o asíncronos.

El principio de funcionamiento de los motores es la inducción electromagnética, según el cual una espira por la que circula una corriente eléctrica dentro de un campo magnético está sometida a una fuerza de desplazamiento.

### **• motores DC**

Las partes fundamentales de un motor de corriente continua son el inductor o estator que es la parte fija de la máquina, el inducido o rotor que es la parte giratoria, el colector que va montado sobre el mismo eje que el rotor y giran simultáneamente y las escobillas que son unos contactos a presión que rozan sobre el colector y tienen como misión la entrada y salida de la corriente del rotor.

Los motores de corriente continua se caracterizan por su voltaje, potencia y velocidad nominales y por el par motor. La potencia que puede desarrollar un motor es proporcional al par motor y a la velocidad. El par motor es proporcional al flujo inductor y a la intensidad de carga. La velocidad de giro del motor varía con el voltaje e intensidad de funcionamiento así como con el flujo magnético.

Uno de los principales inconvenientes que tienen los motores de corriente continua con escobillas es el desgaste de éstas con el funcionamiento. Aumentando el número de escobillas (de dos a cuatro o más) se puede aumentar considerablemente su tiempo medio de vida. Las tendencias actuales tienden al desarrollo de motores DC sin escobillas, conocidos como motores

*brushless*, de muy alto rendimiento, Los motores DC sin escobillas tienen un rotor de imanes permanentes y un estator bobinado (normalmente a tres fases). La conmutación del campo, realizada por las escobillas en los motores DC convencionales, es realizada en este caso electrónicamente. La electrónica de control puede ir incorporada en el propio motor o ser externa. El circuito de conmutación electrónica constituye una fuente de pérdidas de potencia, pero no mayor que las pérdidas en la resistencia serie de los motores con escobillas. Las ventajas de estos motores estriban en la posibilidad de operar sumergidos reduciendo el mantenimiento por no tener que reemplazar las escobillas y presentar un rendimiento elevado y un grado de fiabilidad semejante al de los motores AC de inducción. Las principales ventajas de los motores DC son:

- Altos rendimientos
- No necesitan un inversor

En general están bien diseñados para acoplarse directamente al generador FV cuando accionan bombas centrífugas. La utilización de motores DC con escobillas debe evitarse en sistemas sumergibles, ya que requieren mantenimiento regular que implica sacar la bomba del pozo (labor que puede resultar tediosa en grandes sistemas), son más caros que los motores AC y generalmente no se dispone de motores DC de grandes potencias, salvo diseños específicos.

#### • **motores AC**

Debido al gran número de aplicaciones para los que se han estado utilizando durante años se dispone de una gran variedad de motores AC. Su inclusión en un sistema fotovoltaico implica aumentar el coste económico debido a que necesitan la presencia de un inversor DC/AC. Además, se necesitan dispositivos electrónicos auxiliares para proporcionar las altas corrientes de arranque. Sin embargo, los motores AC son, en general, más eficientes y relativamente más baratos, siendo típicamente la mitad del costo de un motor DC de la misma potencia.

Los dos tipos básicos de motores AC son motores de inducción asíncronos y motores síncronos. Los habitualmente utilizados en sistemas de bombeo FV son los motores de inducción asíncronos. Los motores de inducción poseen pares de arranque muy bajos, siendo adecuados para bombas de bajo par de arranque, como las bombas centrífugas. Los motores AC se componen fundamentalmente de dos partes, rotor y estator, y se caracterizan por su voltaje y potencia nominales, por su velocidad de giro, dependiente de la frecuencia de la tensión de alimentación, y por el par motor. Los motores de corriente alterna tienen un factor de potencia que limita el aprovechamiento de la corriente suministrada, dando lugar a pérdidas adicionales.

El par depende de la velocidad y de la corriente. El rendimiento de estos motores depende de la potencia activa de alimentación y de la carga. Si la carga es diferente de la carga nominal, el rendimiento suele decaer bruscamente. Las pérdidas por fricción mecánica contribuyen significativamente a las pérdidas en los motores de alto rendimiento. Para

minimizar el mantenimiento y las pérdidas por fricción es aconsejable lubricarlos con grasas de índice de viscosidad cinético independiente de la temperatura, pudiendo reducir las pérdidas por fricción hasta un 60%. Las imperfecciones en el circuito magnético también contribuyen a las pérdidas, si un motor está bien diseñado, éstas deberían ser pequeñas. El bajo rendimiento de algunos motores es debido principalmente a las pérdidas en el circuito magnético. Otro factor que contribuye a disminuir el rendimiento es el calentamiento del motor. Cuando la temperatura aumenta, aumentan las pérdidas resistivas y como consecuencia aumenta la temperatura.

## Bombas

Una bomba es una máquina capaz de transformar energía mecánica en energía hidráulica. Hay dos tipos básicos de bombas:

- Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas
- Bombas centrífugas.

Las bombas de desplazamiento positivo tienen un contorno móvil que, por cambios de volumen, obliga al fluido a avanzar a través de la máquina. Se abre una cavidad en la que el fluido penetra a través de una toma y después se cierra expulsando el fluido por la abertura de salida.

Las bombas centrífugas añaden simplemente cantidad de movimiento al fluido por medio de paletas o alabes giratorios. Estas bombas son útiles cuando hay que bombear agua a poca altura, y por ello se las utilizan para extraer agua de ríos, arroyos o lagos. Incrementos substanciales en el valor de la altura, requieren valores muy elevados para la potencia a instalarse. Algunos modelos son flotantes, mientras que otros operan en la superficie (orilla).



*Figura 9. Bomba centrífuga Conergy*

A no ser que estén diseñadas especialmente (auto-cebantes), estas bombas necesitan ser “cebadas”, es decir que se necesita mantener una columna **continua** de agua entre la toma y la boca de entrada. La *Figura 9* muestra una bomba de este tipo fabricada por CONERGY bajo la marca SunCentric.

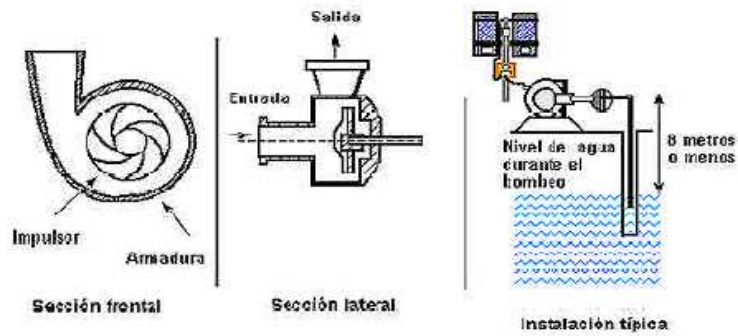


Figura 10. Diseño y montaje de una bomba centrífuga

La Figura 10 muestra el diseño típico de una bomba de este tipo, así como su montaje. Un motor eléctrico hace girar, a alta velocidad, un sistema de paletas, las que, al rotar dentro de una cavidad cerrada, “expulsan el agua” hacia la salida. Para aumentar el volumen de expulsión, las paletas tienen forma en espiral, forzando al agua a ir hacia el borde exterior, donde la velocidad alcanza su mayor valor. Si se usa una cisterna de acumulación ésta no podrá ser muy alta.

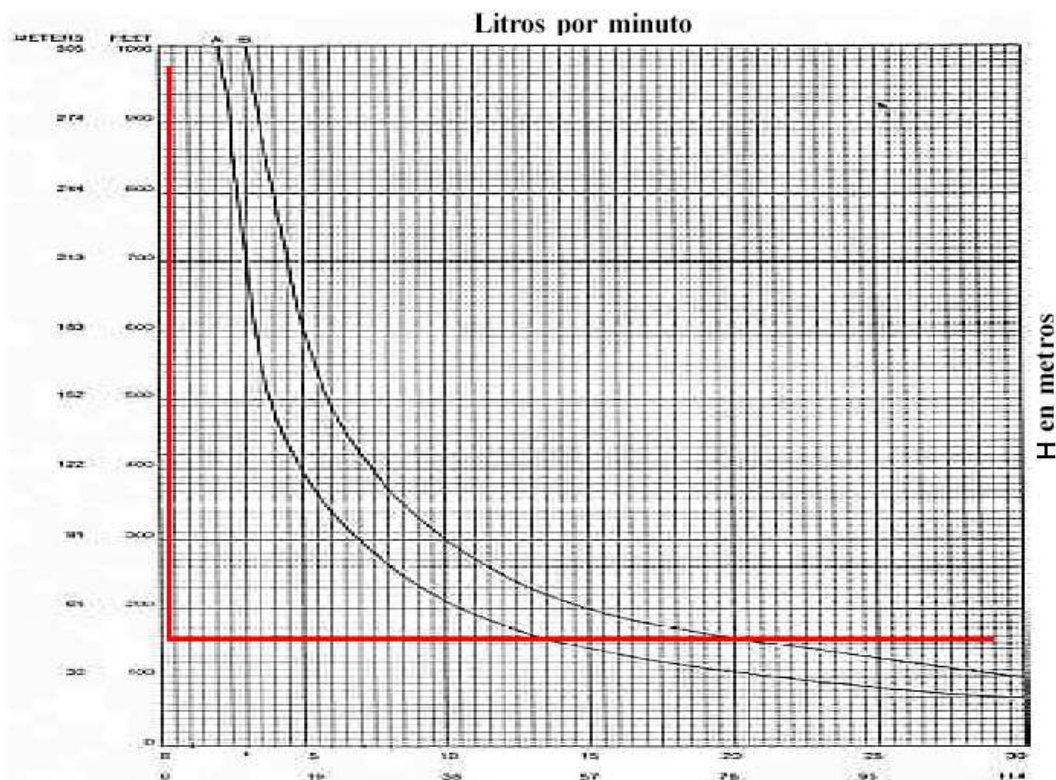


Figura 11. Ejemplo de curva característica de una bomba centrífuga

La siguiente figura (Fig. 11) muestra la relación entre la altura dinámica máxima y el caudal a extraerse. Estas curvas suelen ir acompañadas de una tabla que nos relaciona cada una de estas variables, con el valor de la potencia mínima a instalarse. Observar que las curvas de rendimiento, **para cualquier tipo de bomba**, tienen tres variables: **H**, **caudal** y **potencia** a instalarse. Para



simplificar la presentación, la potencia se especifica, a veces, como parámetro fijo (1, 2 ,4 paneles, etc.) o como función de las otras dos variables.

Las bombas centrífugas como ya se ha dicho, están diseñadas para una altura manométrica más o menos fija y proporcionan generalmente mayor caudal que las bombas de desplazamiento positivo.

Las bombas de desplazamiento positivo son apropiadas para altos incrementos de presión y bajos caudales, mientras que las bombas centrífugas proporcionan caudales elevados con bajas alturas manométricas. Las bombas centrífugas no son recomendables para profundidades de aspiración mayores de 5-6 metros y pueden tener varios estados, el número de estados depende de la altura de bombeo necesaria.

Las bombas de desplazamiento positivo, como la que se muestra en la *Figura 11*, **desplazan**, dentro de la cañería de extracción, un volumen de agua igual al succionado. El movimiento de extracción abre la válvula de entrada a la primera cámara de retención. Con la siguiente succión, el nuevo volumen fuerza al precedente hacia arriba, abriendo la válvula de salida.



*Fig.11 Bomba de desplazamiento positivo Kyocera serie SD.*

Estas bombas tienen un mínimo de tres cavidades, a fin de que la primera soporte sólo la diferencia de presión con la siguiente. La repetición de este proceso llena el largo de la cañería que conecta la bomba con la salida. A partir de ese momento se alcanza el estado de equilibrio, y la bomba proveerá un caudal constante, igual al de extracción. El mecanismo tradicional para la succión es un diafragma elástico, el que cambia su forma de cóncavo a convexo, con la acción del motor.

A continuación (Ver Fig.12) se comparan las curvas características típicas Altura-Caudal de las bombas centrífugas y de desplazamiento positivo a velocidad constante  $n_i$ . Las bombas de desplazamiento positivo proporcionan un caudal aproximadamente constante directamente proporcional a la velocidad e independiente de la altura, mientras que las bombas centrífugas proporcionan una curva caudal-altura variable.

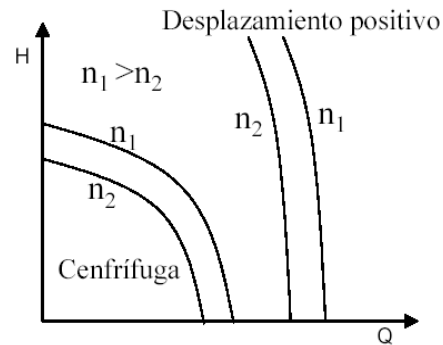


Fig. 12: Gráfica comparativa del Q-H, para una bomba de desplazamiento positivo y otra centrífuga a velocidad constante  $n_i$

Las curvas características de las bombas centrífugas permiten relacionar el caudal con la altura generada, potencia absorbida, rendimiento y a veces, con la altura máxima de succión.

En los diseños convencionales de bombas centrífugas se alcanzan elevados rendimientos para alturas relativamente bajas. Para superar esta limitación se utilizan bombas multietado formadas por varias cavidades adyacentes que impulsan el agua **en serie**, consiguiendo bombear a mayores alturas dependiendo del número y tipo de impulsores.

Otras ventajas de las bombas centrífugas son su simplicidad, con un mínimo de partes móviles, bajo costo, robustez y tolerancia a los pequeños pares de arranque.

Las bombas de desplazamiento positivo, en las que se incluyen las bombas de pistón, bombas de diafragma y de cavidad progresiva o helicoidales, son adecuadas para bombear pequeños caudales de pozos muy profundos. Al contrario que las bombas centrífugas, su característica par-velocidad no las hace adecuadas para operar directamente conectadas a un generador FV. Debido a la necesidad de un par prácticamente constante, necesitan una corriente constante lo que no ocurre en los generadores fotovoltaicos donde la corriente es directamente proporcional a la irradiancia. Por otro lado, si el par de operación se corresponde con la corriente del generador cerca del punto de máxima potencia, entonces, una pequeña reducción de la irradiancia tendrá como resultado una corriente insuficiente para mantener la velocidad de bombeo. El motor/bomba disminuirá el caudal bombeado hasta que se requiera menor corriente. Sin embargo debido a que la característica par velocidad es relativamente plana, la bomba dejará de bombear cuando la corriente generada descienda de un nivel crítico. Para prevenir que esto ocurra en la mayor parte del día es necesario seleccionar una corriente crítica que esté muy por debajo de la corriente máxima generada por los paneles a lo largo del día. En consecuencia, es necesario sacrificar parte de la potencia del generador dando como resultado sistemas con bajos rendimientos totales.

Otro problema para el uso de estas bombas directamente conectadas al generador FV es el elevado par de arranque. Sin embargo, las bombas volumétricas presentan mayores rendimientos que las bombas centrífugas, son prácticamente insensibles a las variaciones de la altura y son auto aspirantes. Las bombas de membrana o diafragma desplazan el agua por medio de diafragmas formadas por un material flexible y resistente. Comúnmente los diafragmas se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos. En la actualidad, estos materiales son muy resistentes y pueden durar de dos a tres años de funcionamiento continuo antes de requerir reemplazo, dependiendo de la calidad del agua. Los fabricantes de estas bombas producen un juego de diafragmas para reemplazo que pueden adquirirse a un precio razonable.

Existen modelos sumergibles y no sumergibles. Las bombas de diafragma son económicas. Cuando se instala una bomba de este tipo siempre se debe considerar el gasto que representa la sustitución de los diafragmas una vez cada dos o tres años. Además muchas de estas bombas tienen un motor de corriente continua con escobillas. Las escobillas también deben cambiarse periódicamente. Los juegos sustitución incluyen los diafragmas, escobillas, empaques y sellos. La vida útil de este tipo de bomba es de aproximadamente 5 años.

Según la disposición de las bombas en la instalación, éstas se pueden clasificar como:

- Sumergibles
- Flotantes
- De superficie



*Fig. 13: Bombas sumergibles Lorentz Serie Ps con controlador. Observar la diferencia entre la bomba centrífuga (izq.) y la helicoidal (dcha.)*

Las bombas **sumergibles** suelen utilizarse en pozos profundos de pequeño diámetro y normalmente están directamente al motor, en la *Figura 13* podemos apreciar la forma externa de las bombas sumergibles. Ambos modelos permiten la conexión directa a paneles mediante un seguidor (tracker) del punto de máxima potencia.

Las bombas **flotantes** disponen de un flotador que permite su instalación en ríos, lagos o pozos de gran diámetros flotando en la superficie del agua. En

general, las bombas flotantes proporcionan mucho caudal pero a poca altura manométrica.

Las bombas de **superficie** se instalan a nivel del suelo facilitando su mantenimiento. No obstante la profundidad de succión no debe exceder de los 8 metros. Las bombas que utilizan agua como lubricante no deben operar en seco ya que se sobrecalientan y se queman.

### Subsistema de acondicionamiento de potencia

A una temperatura y nivel de irradiancia, un generador FV tiene una característica I-V. Para maximizar la transferencia de energía, la carga eléctrica debe ser tal que su propia característica I-V intercepte a la del generador FV tan cerca del punto de máxima potencia como sea posible. El papel del circuito de acondicionamiento de potencia es proporcionar al motor/bomba la combinación más adecuada tensión/corriente, a la vez que asegurar que el generador FV opera en su punto de máxima potencia.

Los dispositivos de acondicionamiento de potencia pueden ser:

- Dispositivos de acoplo de impedancia o convertidores DC/DC
- Inversores DC/AC
- Baterías

El empleo de dispositivos de acondicionamiento de potencia tiene la función de seguir el punto de máxima potencia para transferir la máxima energía posible al motor, se colocan entre el generador y la bomba y siempre son necesarios en el caso de bombas accionadas mediante motores AC (inversores). En general, la inclusión de estos equipos en el sistema implica pérdidas de potencia por autoconsumo y rendimiento del 4% al 7%, un coste adicional y una fuente potencial de fallos; por ello su uso solamente está justificado si el incremento en la energía hidráulica de salida es considerablemente mayor. El aumento del coste y la disminución de la fiabilidad se ven compensados por el aumento del rendimiento total del sistema. Los *convertidores DC/DC*, debido a que su propósito principal es mantener tanto al generador como a la carga en su respectivo punto de trabajo óptimo, suelen ser seguidores del punto de máxima potencia (MPPT) y efectúan un ajuste de potencia para incrementar el rendimiento del sistema de bombeo a largo del día.

Sus principales cometidos en el sistema son:

- a) Producir elevadas corrientes para que el motor pueda funcionar a bajos niveles de irradiancia (disminuyen los umbrales de irradiancia de bombeo).
- b) Maximizar la potencia entregada por el generador fotovoltaico.

La misión de los convertidores DC/DC es primordialmente convertir una potencia de entrada  $P_i$  en una potencia de salida  $P_o = V_o I_o$  con el mayor rendimiento posible  $\eta = P_o/P_i$ , ajustando los márgenes de tensión y corriente de

entrada. Los convertidores DC/DC pueden pertenecer a dos clases, los que elevan la tensión de salida respecto de la de entrada ( $V_o > V_i$ ) y los reductores de tensión ( $V_o < V_i$ ). Muchos de los convertidores DC/DC disponibles no disponen de seguimiento del punto de máxima potencia, si no que su función es la de fijar una tensión de operación del generador FV.

Los *inversores DC/AC* tienen la principal misión de transformar la corriente continua de salida del generador en corriente alterna, apta para su utilización por motores AC.

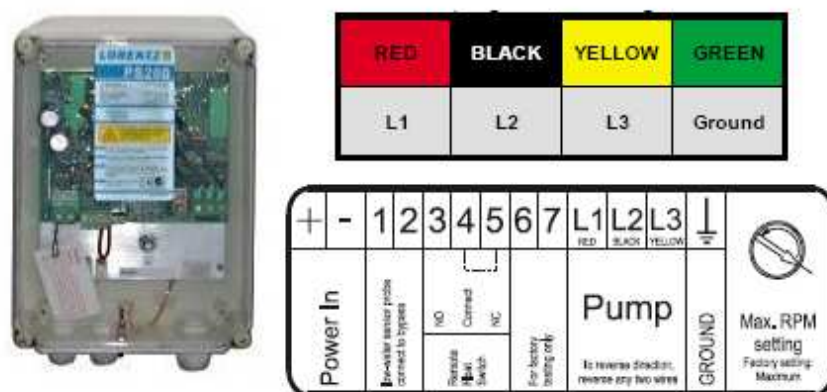


Figura 14. Inversor para bomba Lorentz PS200 con esquema de conexionado (dcha.)<sup>11</sup>

Los inversores de uso en bombeo fotovoltaico generan una salida mono o trifásica con voltaje y frecuencia variables ver *Figura 14*. La variación de la frecuencia de salida permite a los motores operar a velocidades distintas de la velocidad nominal correspondiente a la frecuencia nominal de 50/60 Hz y así disminuir el umbral de irradiancia solar para el arranque de la bomba. Normalmente estos inversores suelen incorporar un seguidor del punto de máxima potencia. Ambas características permiten aumentar el rendimiento del sistema de bombeo FV.

El uso de *baterías* en un sistema de bombeo FV, como sistema de acondicionamiento de potencia, permite fijar un voltaje de trabajo del generador fotovoltaico, lo que hace que el sistema pueda trabajar cerca del punto de máxima potencia e independientemente del nivel de irradiancia y suministrar la corriente necesaria al motor, así como la corriente de arranque. Por otro lado, las baterías permiten almacenar la energía sobrante durante las horas de sol para reutilizarla durante las horas nocturnas o en momentos de muy baja irradiancia. De otro modo una bomba alimentada por un generador fotovoltaico suministra agua únicamente durante aquellas horas de sol que superen un cierto valor de *irradiancia umbral*. La introducción de baterías en un sistema de bombeo puede disminuir su fiabilidad e incrementar las necesidades de mantenimiento regular, es necesario incluir un regulador de tensión para protegerla de sobrecargas o sobredescargas, tienen un tiempo de vida limitado, en general se necesitan diodos de bloqueo para prevenir que la batería se descargue a través del generador durante la noche, además de suponer un coste adicional de la instalación. En general sólo es justificable si el caudal bombeado durante las horas de sol resulta insuficiente para satisfacer la demanda de agua. En este tipo de aplicaciones resulta recomendable el

<sup>11</sup> <http://www.lorenz.de/offgrid/es/productos/ps/200>, ver el manual de instalación.

almacenamiento energético en forma de energía hidráulica mediante la utilización de un depósito de acumulación en lugar de utilizar baterías.

### **Acoplo generador-motor-bomba**

En el acoplo de cada uno de los componentes descritos anteriormente, esto es, generador, motor y bomba, se ha de cumplir que la potencia de entrada al motor sea igual a la potencia de salida del generador, lo mismo sucede con el voltaje y la corriente, en consecuencia el punto de operación o punto de trabajo resultante de la conexión de un generador fotovoltaico y un subsistema motor-bomba se obtiene buscando el punto de corte de las curvas características I-V de cada uno de ellos.

Uno de los factores que determinan el rendimiento diario de un sistema de bombeo, y que es necesario tener en cuenta en su diseño, son los cambios a lo largo del día de la radiación solar.

Estas variaciones están determinadas por el ciclo diario de salida y puesta del sol y por la climatología reinante. La variación de la temperatura de operación supone un desplazamiento hacia la izquierda (si la temperatura aumenta) o derecha (si disminuye) del punto de máxima potencia del generador y es un importante factor a tener en cuenta esencialmente en sistemas que operen a tensión de generador FV constante. Para maximizar la transferencia de potencia eléctrica del generador al motor, el grupo motorbomba y el generador fotovoltaico debe elegirse de tal modo que sus curvas I-V se intercepten lo más cerca posible del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico.

Dependiendo del tipo de motor y del tipo de bomba, algunos subsistemas se adaptan mejor al generador fotovoltaico que otros. Por ejemplo, las bombas centrífugas o los sistemas con baterías se aproximan bastante bien al punto de máxima potencia. Para aumentar el rendimiento global del sistema de bombeo se pueden utilizar dispositivos electrónicos que adaptan la impedancia de entrada del motor y permiten seguir el punto de máxima potencia del generador, especialmente en el caso de bombas de desplazamiento positivo.

El rendimiento del subsistema motor-bomba determina el tamaño del generador fotovoltaico que es necesario para unas determinadas necesidades de energía hidráulica.

Las bombas centrífugas se diseñan para una altura manométrica fija y el volumen de agua bombeada crece con el aumento de su velocidad de rotación y es por tanto directamente proporcional a la irradiancia incidente en el plano del generador fotovoltaico. Su rendimiento decrece cuando funcionan fuera de las condiciones de diseño. Por otro lado, las bombas volumétricas se caracterizan por bombear un caudal casi constante independiente de la altura, aunque directamente proporcional a la velocidad.

La presencia de nubes que ocultan el sol producen variaciones más o menos bruscas en la irradiancia (picos de irradiancia) incidente que se traducen en un descenso momentáneo de la potencia de salida del generador. Este tipo de variaciones pueden tener como consecuencia la aparición de transitorios en la alimentación de la bomba, que en unos casos pueden ser muy rápidos y en otros más lentos. Estos picos pueden ser también muy profundos y poco

profundos; muy frecuentes en el tiempo o aislados; dependiendo del número y tipo de nubes que cubran el sol a lo largo del día. Los subsistemas motor-bomba necesitan una potencia mínima de arranque para comenzar su funcionamiento, así en el caso de bombas de desplazamiento positivo ésta viene determinada por el pico de arranque de las mismas. En el caso de las bombas centrífugas, la bomba puede girar con muy bajos niveles de irradiancia, pero no bombeará agua hasta que la potencia sea tal que permita superar la altura manométrica del sistema, lo que conduce a la existencia de unos umbrales de irradiancia por debajo de los cuales no se bombea agua. Estos umbrales de irradiancia se sitúan normalmente en torno a los 200-400 W/m<sup>2</sup> y en aquellos momentos del día en los que la irradiancia no supere este umbral no se bombeará agua.

En días nublados o parcialmente nublados pueden producirse picos de variación de la radiación en los que se desciende hasta una irradiancia inferior al umbral de funcionamiento de la bomba y por tanto en esos momentos la bomba no es capaz de suministrar agua.

Mientras que en el caso de un día tipo completamente despejado una vez que se alcanza, por la mañana, el umbral de irradiancia se bombea agua hasta que de nuevo por la tarde se descienda por debajo del umbral. Esto influirá decisivamente en el rendimiento diario del sistema así como en la durabilidad de la bomba. Cuando la irradiancia disminuye, la corriente generada disminuye proporcionalmente mientras que el voltaje en el punto de máxima potencia permanece aproximadamente constante. Sin embargo, en el motor/bomba, cuando la corriente disminuye, el voltaje también disminuye. En consecuencia, sin un circuito de acondicionamiento de potencia, cuando disminuye la irradiancia solar, el sistema opera en un punto de trabajo cada vez más alejado del punto de máxima potencia.

En las bombas centrífugas, el par es proporcional a la velocidad al cuadrado, a la vez que el par producido por el motor está directamente relacionado con la corriente. Cuando la corriente del generador disminuye, disminuye el par, la velocidad y el voltaje necesario para el motor. En esta situación, para un motor DC, el dispositivo de acondicionamiento de potencia debe ser capaz de transformar el exceso de voltaje del generador en corriente para el motor.

Para bombas de desplazamiento positivo, el par necesario de bombeo, depende principalmente de la altura de bombeo y no de la velocidad. En esta situación el motor necesita un cierto umbral de corriente para proporcionar el par necesario para mantener en operación a la bomba. La velocidad de bombeo es pues determinada principalmente por el voltaje disponible. De este modo la línea de carga del motor/bomba aparece como una línea horizontal superpuesta a la característica I-V del generador FV. Esto es un desafortunado mecanismo de operación ya que si la corriente generada cae por debajo del mínimo requerido no se podrá bombear. En estos casos se necesita añadir un convertidor DC/DC. Además, los altos pares de arranque necesitan corrientes que en general no pueden ser suministrados por los módulos FV. Los convertidores DC/DC pueden utilizarse para producir elevadas corrientes de arranque transformando el exceso de voltaje en corriente. Otra alternativa usada normalmente para proporcionar estas corrientes elevadas de arranque es la utilización de condensadores que almacenan la carga necesaria para arrancar el motor/bomba. Los seguidores del punto de máxima potencia se

pueden incluir en cualquier sistema para aumentar el rendimiento. Sin embargo un sistema bien diseñado puede alcanzar automáticamente un punto de trabajo óptimo entre el generador FV y el subsistema para un amplio rango de niveles de irradiancia. En el acoplo generador FV - motor, las baterías también se pueden utilizar como dispositivos de acondicionamiento de potencia haciendo que el generador trabaje a un voltaje constante, que puede ser elegido de modo que se aproxime al punto de máxima potencia para un amplio rango de niveles de irradiancia. Además, el almacenamiento de energía permite al motor/bomba trabajar en condiciones óptimas. Sin embargo, cualquier sistema que utilice baterías debería incluir un circuito de regulación de tensión para prevenir procesos de sobrecarga o sobre descarga de la batería.

### ESTUDIO DE LAS BOMBAS SHURFLO 9300, LORENTZ PSC HR200 Y GRUNDFOS SQF 14A-3N

Cuando nos disponemos a dimensionar un sistema de bombeo fotovoltaico, necesitamos el caudal a bombear así como los datos relativos a la altura de bombeo. Es evidente que dependiendo de estos parámetros y de las condiciones de viabilidad, optaremos por una tecnología de bombeo u otra ver Figura 15<sup>12</sup>.

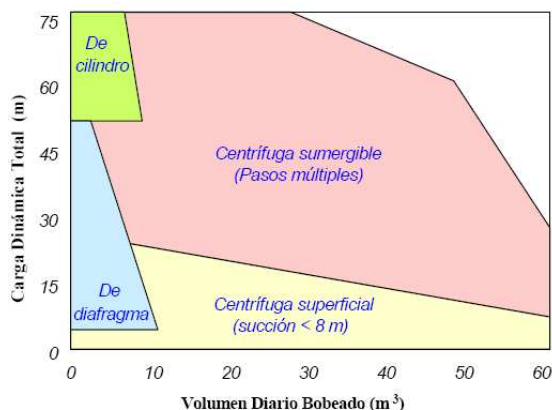


Figura 15: sistema de bombeo a utilizar en función del volumen de agua bombeada y la altura total.

Por lo tanto, dado que este estudio pretende ser lo más general posible, me situaré en las distintas condiciones que marca la Figura 15, y es por ello, que he seleccionado 3 modelos de bombas con distintas configuraciones que puedan ser representativas de cada una de estas regiones. En particular, una bomba de diafragma SHURFLO 9300 con configuraciones 12/24V, una de helicoidal de desplazamiento positivo LORENTZ PSC 200 HR 24/48V y por último una centrífuga sumergible marca GRUNDFOS modelo SQF 14A-3N. Para este último modelo no he utilizado una configuración multi-etapa que nos situaría en la región rosa de la Figura 15, sino que, he preferido, dada la similitud de los resultados y estudio de ambas regiones, estudiar este modelo

<sup>12</sup> ENERGÍA SOLAR PARA BOMBEO DE AGUA Experiencias Con Ranchos Sustentables En Baja California Sur.



que ofrece caudales bastante generosos, lo que la hace apta para una gran cantidad de aplicaciones. Además, es un modelo particularmente interesante porque permite la alimentación a partir de la cogeneración energética (eólica y fotovoltaica).

#### SHURFLO 9300 12v/24v (Figura 15)

Se trata de una bomba de aspiración por membrana (desplazamiento positivo) con tres cámaras, necesita de un pozo con un diámetro no inferior a los 10.2cm. Las limitaciones de elevación son de 70m a los cuales permite un bombeo de 136l/h para 12v y 310 l/h para 24v. Entre otras características destaco las siguientes:



*Figura 15: Fotografía de la bomba Shurflo.*

- motor magnético con protección térmica
- Fuerte construcción y poco peso 2.7Kg
- Fijaciones anticonexión
- Posibilidad de funcionamiento sin agua (no recomendable)
- Bypass interno para la protección de la bomba
- Tensión de funcionamiento 12/24v y 4A a 70m de elevación
- Subida máxima 70m inmersión máxima 30m
- Rosca de salida de 12.7mm
- La toma de agua es una malla de acero inoxidable
- Los materiales de construcción son plásticos de gran resistencia

La figura 17 ilustra la instalación de este tipo de bomba, como se puede observar tan sólo hay que conectar un cable que hay que aislar previamente y deslizar las tuercas roscadas de plástico hasta que el cable quede firme, además, hay otro cable de sujeción que se pasa por unos agujeros en la tapa de la bomba y una simple manguera que se ajusta con unas abrazaderas.



*Figura 17: instalación de la bomba Shurflo 9300<sup>13</sup>*

Esta bomba, dispone de forma opcional de un optimizador que permite la mejora del suministro hasta en un 30%, ya que realiza un seguimiento del punto de máxima potencia. Este controlador como ya se estudió en teoría es un controlador DC/DC que permite regular la velocidad de giro y el par máximo de funcionamiento, mediante la doble conversión intensidad/tensión de entrada. Existen dos tipos de optimizadores ver *Figura 18* , el LGB-75 y el LGB-GO<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> Ver el manual <http://ecosolar.netizen.com.ar/pdf/Shurflo%209300.pdf>

<sup>14</sup> [http://www.shurflo.com/pages/new\\_industrial/industrial/solar/subcategory/9300\\_controller.html](http://www.shurflo.com/pages/new_industrial/industrial/solar/subcategory/9300_controller.html) es el manual del fabricante.



Model	902-200
Max. Array Input Voltage (24V)	45V
Max. Array Input Voltage (12V)	N/A
Min. Startup Voltage (24V)	25V
Min. Startup Voltage (12V)	12.5V
Shutdown Voltage	28V
Max. Output Current	7 Amps



Model	902-100
Max. Array Input Voltage (24V)	45V
Max. Array Input Voltage (12V)	N/A
Min. Startup Voltage (24V)	25V
Min. Startup Voltage (12V)	N/A
Shutdown Voltage	28V
Max. Output Current	5 Amps

Figura 18: ilustración de optimizadores LCB-GO y LCB-G75

El montaje como se puede apreciar en la Figura 19, es bastante simple, tan sólo hay que conectar los paneles y la bomba al optimizador, que controla la corriente y tensión. Para proteger la instalación de posibles cortocircuitos también se debe conectar también un magnetotérmico.

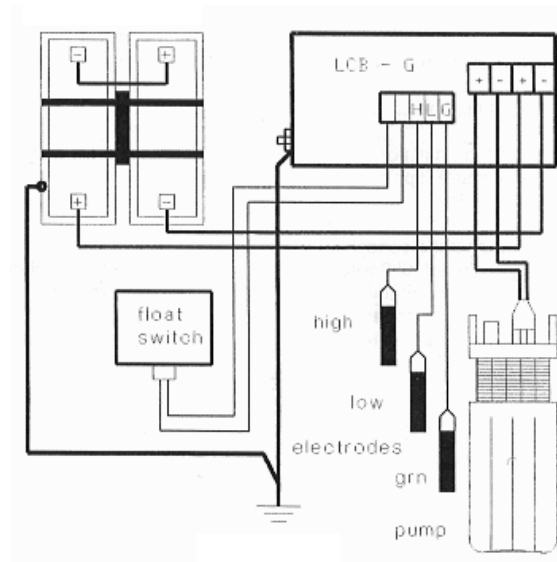


Figura 19: instalación eléctrica del optimizador LCB-GO

Las curvas características que necesitaremos para realizar nuestro estudio, las he sacado de las tablas **altura-caudal-potencia** que suministra el fabricante<sup>15</sup> y que muestro a continuación:

BOMBA SHURFLO 12v			
Altura total m	Flujo por hora(dm <sup>3</sup> )	Potencia generador (W)	Corriente (A)
6.1	212	22	1.2
12.2	204	28	1.5
18.3	197	33	1.8
24.4	189	37	2.0
30.5	186	40	2.1
36.6	178	45	2.4
42.7	174	51	2.7
48.8	166	56	3.0
64.9	163	56	3.3
61.0	155	64	3.4
70.1	136	72	3.9

BOMBA SHURFLO 24v			
Altura total m	Flujo por hora(dm <sup>3</sup> )	Potencia generador (W)	Corriente (A)
6.1	443	58	1.5
12.2	432	65	1.7

<sup>15</sup> <http://www.enalmex.com/docpdf/bombas/shurflo/Shurflo9300.pdf>

18.3	413	78	2.1
24.4	401	89	2.4
30.6	390	99	2.6
36.6	382	104	2.8
42.7	375	115	3.1
48.8	371	123	3.3
61,0	362	135	3.6
64.9	345	141	3.8
70.1	310	155	4.1

#### LORENTZ PSC HR200 24v (Figura 20)

A continuación estudiamos la bomba Lorentz PS 200 HR4 que es una bomba helicoidal sumergible, y como tal necesita de un controlador para el seguimiento del punto de máxima potencia de los paneles. Esta bomba es útil para producir caudales generosos pero a pequeñas alturas. Como se estudió en teoría, estas bombas tienen la ventaja de que pueden trabajar con aguas que contengan partículas en suspensión aunque hay que tomar precauciones no debiendo superar en ningún caso el 2% del volumen bombeado.

Sus características las podemos resumir:

- Control y vigilancia del sistema de bombeo con indicación de las condiciones de funcionamiento.
- Niveles o sondas para controlar el agua en estanque y pozo
- Motor de corriente continua sin escobillas.
- La carcasa es de acero inoxidable
- Bombeo de hasta 40m y 2.5m<sup>3</sup>/6 HSP
- Tensión de funcionamiento 24/36/48V

A continuación, muestro la tabla característica H-Q-P<sup>16</sup> a 24V:

**Radiación: 6,0 kWh/m<sup>2</sup>/día, superficie inclinada**

Altura de transporte		Tipo de bomba	Caudal máximo	Caudal para generador solar [m <sup>3</sup> /día]			secc. de cable [mm <sup>2</sup> ]
[m]	[ft]			80 Wp	120 Wp	150 Wp	
5	16	HR-04	7,2	3,5	3,8	4,0	2,5
		HR-07	13,0	4,0	6,0	7,0	
10	33	HR-04	6,5	3,3	3,6	4,0	2,5
		HR-07	13,0	3,9	5,2	5,4	
15	50	HR-04	6,0	2,9	3,5	4,0	2,5
		HR-07	12,0	3,5	5,0	5,2	
20	65	HR-04	5,8	2,5	3,3	3,9	2,5
		HR-07	12,0	2,4	3,8	4,9	
25	82	HR-04	5,7	2,2	3,0	3,5	2,5
30	100	HR-04	5,5	1,9	2,8	3,1	2,5
40	130	HR-04	5,1	X	2,0	2,5	4,0
50	165	HR-04	5,1	véase la tabla para 36-48 V			4,0



Figura 20: bomba Lorentz PS200 con controlador-inversor trifásico.

Para 48V la a característica es la siguiente:

**Radiación: 6,0 kWh/m<sup>2</sup>/día, superficie inclinada**

Altura de transporte		Tipo de bomba	Caudal máximo	Caudal para generador solar [m <sup>3</sup> /día]			Secc. de cable [mm <sup>2</sup> ]
[m]	[ft]			150 Wp	200 Wp	250 Wp	
5	16	HR-04	12,0	6,3	6,6	7,3	2,5
		HR-07	19,5	8,5	9,5	10,5	
		HR-14	36,0	11,0	15,0	18,0	
10	33	HR-04	11,8	6,0	6,5	7,0	2,5
		HR-07	19,0	8,0	9,0	10,0	
		HR-14	34,0	9,0	13,0	16,0	
15	50	HR-04	11,5	5,5	6,0	6,8	2,5
		HR-07	18,5	7,0	8,3	9,5	
		HR-14	33,0	8,0	11,0	14,0	
20	65	HR-04	11,5	5,5	6,2	6,6	2,5
		HR-07	18,0	6,0	7,5	9,0	
25	82	HR-04	11,3	5,0	5,6	6,2	2,5
		HR-07	17,5	5,0	6,5	8,0	
30	100	HR-04	11,0	4,3	4,9	5,8	2,5
40	130	HR-04	11,0	3,0	4,0	5,0	4,0
50	165	HR-04	10,5	2,0	3,0	4,2	4,0

Comentar que en estas tablas aparecen datos tomados bajo una irradiación de 6 Kwh/m<sup>2</sup>/día, sin embargo los cálculos que he realizado, los he hecho en condiciones estándar, lo que quiere decir, que el flujo de agua bombeado por este modelo de bomba, lo he dividido por 6.

Este modelo de bomba, lleva incorporado un optimizador y seguidor del punto de máxima potencia (ver fig. 20) cuyo esquema de conexionado indico en la figura 21, ver también la Figura 14

<sup>16</sup> <http://www.lorenz.de/offgrid/es/productos/ps/200>

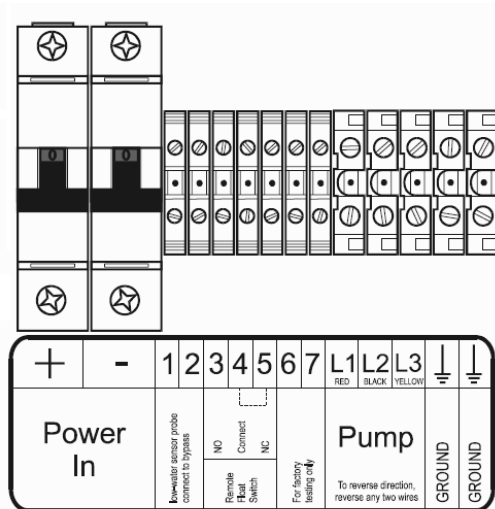


Figura 21: esquema conexionado de el optimizador de la bomba Lorentz PSC HR 200

### GRUNDFOS SQF 14A-3

Este sistema consiste en aunar varias energías renovables para dar una solución eficiente al bombeo de agua mediante la alimentación de motobombas. En particular, las energías de que se hace uso son la eólica y la fotovoltaica, pudiendo mediante un controlador oportuno, combinarlas. Estas bombas, especialmente construidas a tal fin, se denominan sistemas SQflex. Disponen además de un software llamado WinCaps que nos ayudará en el dimensionado del sistema. En caso de no disponer del mismo, en la página de Grundfos hay una base de datos llamada WebCaps, que facilita la selección que más se adecue a nuestras necesidades.

Existen 2 sistemas de bombeo SQflex, en primer lugar, las sumergibles de tipo centrífugo, que son bombas apropiadas para generar un gran caudal pero a pequeñas alturas de elevación aprox (9m-28m) y (68-272 l/m). Por otro lado, las bombas con rotor helicoidal son adecuadas para las cargas de 90 a 120 metros de altura pero produciendo caudales menores que las centrífugas aprox 8-42 l/min. Todas las carcasas de las bombas son de acero inoxidable. Los motores están contruidos con imán permanente, esto hace que la eficiencia sea superior respecto de otros modelos. El consumo de potencia máximo es de 900W y giran entre los 500 y las 3000 rpm. Las tensiones de entrada de estos sistemas varían entre 30 y 300 VDC y entre 90-240 AC, lo que permite la operación con diversas fuentes como pueden ser la energía solar, la eólica o simplemente un generador AC para asegurar el suministro cuando la energía colectada no sea suficiente.

Aunque pueden conectarse directamente a paneles, sin el uso de controladores, estos son útiles de cara a optimizar el rendimiento de la fuente DC. Comentaremos los distintos tipos<sup>17</sup>

### **IO100**

Realiza básicamente las funciones de un interruptor ON/OFF arranque-parada, para conectar y desconectar la tensión de alimentación del sistema. Los sistemas SQflex conectados a este controlador solo permiten el conexionado a paneles solares.

### **IO101**

Incluye la posibilidad de conectar y combinar un generador asegurando el suministro aún en los días de baja irradiancia.

### **IO102**

Es un controlador de frenado para conexión mixta panel y aerogenerador. Este controlador permite regular la velocidad del aerogenerador evitando que se produzca una avería para grandes velocidades de viento.

### **CU200**

Este controlador permite realizar labores de operación en seco, es decir, controla los niveles de agua tanto en el tanque como en el pozo de manera que resulta apropiado cuando existan depósitos sobre los que sea necesario conocer su nivel. Entre sus características, incluye una sonda colocada entre 0.3 y 0.5m por encima de la bomba. En el momento que el nivel de agua alcanza niveles de peligrosidad, desconecta automáticamente su uso. El rearme se produce a los 5 min. después de la baja.

El motor que incorporan estas bombas es MSF3 que como ya he dicho, es de imán permanente, y además soporta sobrecargas de arranque y también, sobre-temperaturas. En cualquier caso, el motor adecua su velocidad en el caso de que los requerimientos sean mayores y desconecta el motor cuando las velocidades sean muy bajas. El motor también puede desconectarse de forma automática cuando las temperaturas sean superiores a 85°C

Las distintas configuraciones de los sistemas Qflex, *Figura 22*, dependen de el tipo de generador y de los requerimientos de caudal. En este esquema se muestra los distintos componentes de una instalación típica

---

<sup>17</sup> Ver página del fabricante <http://www.grundfos.es/> o catálogo [http://www.grundfos.com/web/homemx.nsf/ad40134eb90502a6c1256ac400234192/c900e3112a2d589386256ce9007030f5/\\$FILE/SQFlex%20databooklet%20Spanish.pdf](http://www.grundfos.com/web/homemx.nsf/ad40134eb90502a6c1256ac400234192/c900e3112a2d589386256ce9007030f5/$FILE/SQFlex%20databooklet%20Spanish.pdf)






























Sistema ...	...consta de los siguientes componentes							
	Bomba	Panel solar *	Turbina eólica	Generador	Caja de interruptores	Caja de interruptores	Unidad de control	Interruptor de nivel
SQFlex Solar Ver página 11.								
SQFlex Solar - con unidad de control CU 200 e interruptor de nivel Ver página 12.								 (**)
SQFlex Solar - con generador como fuente de energía de reserva Ver página 13.								
SQFlex Wind (Eólico) Ver página 14.								
SQFlex Wind (Eólico) - con unidad de control CU 200 e interruptor de nivel Ver página 15.								 (**)
SQFlex Combi - combinación de energía solar y eólica Ver página 16.								
SQFlex Combi - con CU 200 e interruptor de nivel Ver página 17.								 (**)
Sistema SQFlex - con generador como fuente de energía Ver página 18.								

Figura 22: componentes de una instalación de bombeo Grundfos.

Como se puede comprobar y de acuerdo con lo dicho anteriormente, dependiendo del controlador se puede optar por una configuración u otra. En el caso de que la instalación incluya depósito, también es posible utilizar sondas mediante el controlador CU200. (Ver figura 23)

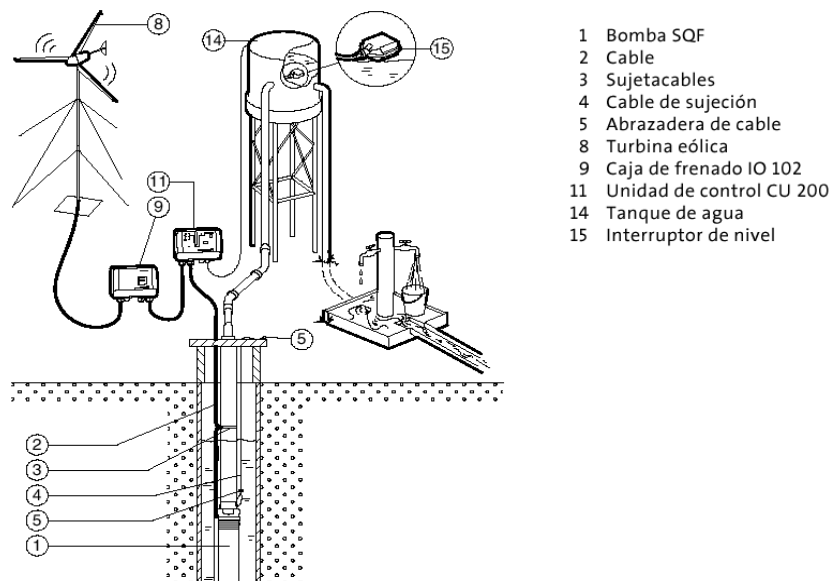


Figura 23: Esquema instalación de una bomba Grundfos con sondas de nivel.

Cada uno de estos sistemas tiene unas ventajas y unos inconvenientes, por ejemplo, si nos limitamos al estudio de un sistemas con suministro combinado eólico y fotovoltaico, necesitaremos usar un tipo de controlador específico CU200 que además admite sondas para el control del nivel, así pues aunque el mantenimiento del conjunto sea mayor, dispondremos de más horas de funcionamiento de la bomba.

Veamos las conexiones del controlador CU200 (Figura 24), posee 4 bornes de conexionado, uno para la bomba, el del sistema de generación, derivación a tierra y conexionado de las sondas.

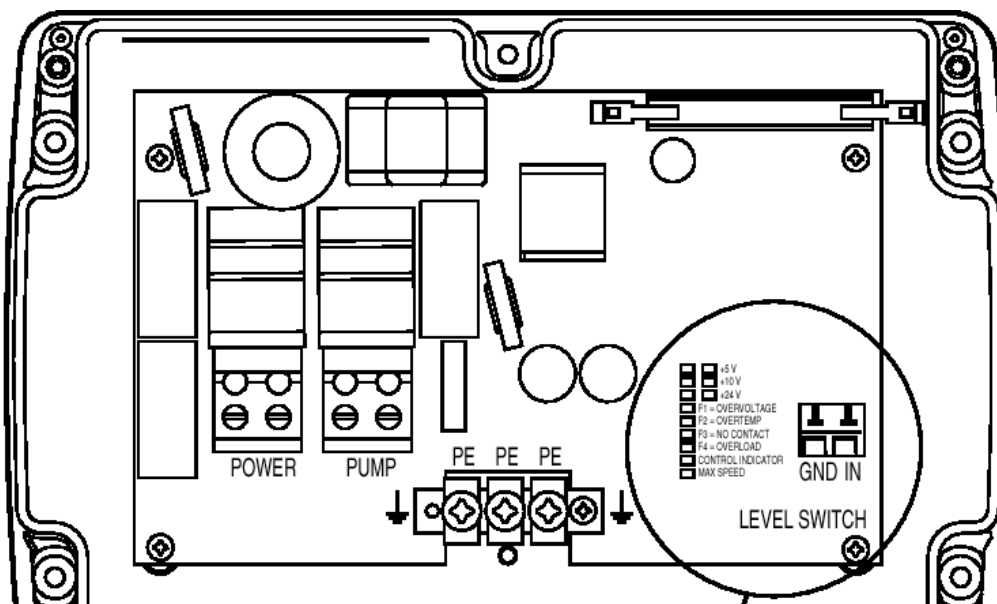


Figura 24: esquema del conexionado del controlador CU200 para bombas SQFLEX.

En la página web del fabricante, se dispone de una aplicación llamada WebCaps (ver Fig. 25), que nos permite familiarizarnos con las características técnicas de este sistema de bombeo, veámoslo para el modelo SQF 14A-3 que como sabemos, es un modelo centrífugo con gran capacidad de bombeo pero a alturas bajas.<sup>18</sup>

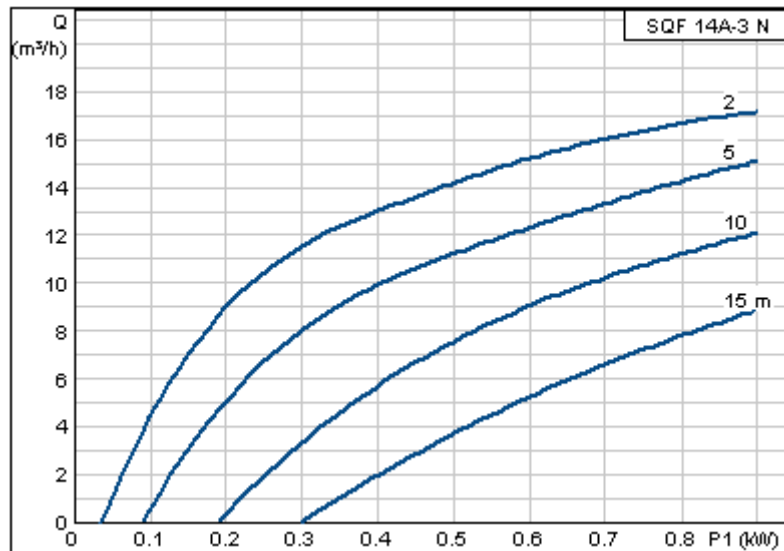


Figura 25: curvas características altura-caudal-potencia del modelo SQF 14A-3 N

<sup>18</sup> <http://www.grundfos.com/web/homees.nsf/Webopslag/3C26A8C2CFC8E09EC125700A0022DED0>

Con la finalidad de poder seguir la misma metodología en el estudio del ahorro de este modelo, he querido obtener una característica Caudal-Altura fijando la potencia a 0.9KW que corresponde a la potencia de mayor volumen de bombeo. Calculado esta, podré compararla con la de una motobomba de características similares, lo que me permitirá calcular el ahorro. A continuación, pongo la tabla característica de este modelo con P=0.9KW

SQF 14A-3 N	
Altura total m	Flujo por hora(m <sup>3</sup> )
15	8.9
14.8	8.39
14.1	9.4
13.2	10
12.3	10.6
11.7	11
10.9	11.5
10.2	12
9.19	12.6
8.31	13.2
7.32	13.7
6.37	14.2
5.53	14.7
4.72	15.3
3.99	15.8
3.26	16.3
2.52	16.8
2.14	17

Entre otros detalles de este modelo, podemos reseñar

- Protección contra la marcha en seco.
- Rotor de hélice.
- Alto rendimiento del motor de imán permanente.
- Protección sobrevoltaje y bajo voltaje.
- Protección contra sobrecarga.
- Máximo Punto de Rastreo de Potencia (MPPT).
- Amplia gama de voltaje.
- Temperatura máxima del líquido: 40 °C.
- Certificados en placa motor: CE.
- Acero inoxidable.
- Máxima presión ambiental: 15 bar
- Diámetro mínimo de la perforación: 102 mm.
- Tipo de motor: MSF3.
- Potencia de entrada - P1: 0.9 kW.
- Tensión nominal ac: 1 x 90-240 V.

- Tensión nominal dc: 30-300 V.
- Tipo de arranque: directo.
- Corriente nominal: 8.4 A.
- Factor de potencia: 1.
- Velocidad nominal: 500-3000 rpm.
- Grado de protección (IEC 34-5): IP68.
- Clase de aislamiento (IEC 85): F.
- Longitud de cable: 2 m.
- Peso neto: 10.9 kg.
- Peso bruto: 12.6 kg.
- Volumen: 0.016 m<sup>3</sup>

### [Calculo del coste de funcionamiento de una motobomba, del ahorro mediante energía solar y el tiempo de amortización.](#)

El coste de una instalación a bombeo solar, es mayor que el coste de instalación de una motobomba conectada a red o que consuma gasolina. Sin embargo frente a esta desventaja podemos decir, que una instalación fotovoltaica tiene muy poco mantenimiento además de que, se ha comprobado que el mayor gasto de las instalaciones típicas de bombeo, se debe al consumo prolongado de energía durante la vida útil de la instalación. Así podemos decir, que en una instalación ordinaria se gastaría un 5% para ponerla en funcionamiento, un 85% del coste total, en consumos (de electricidad o gasolina) y un 10 % del presupuesto se nos iría en el mantenimiento.<sup>19</sup> Es por esta razón, por la que todos los fabricantes trabajan incesantemente en “bajar” estos consumos, optimizando el funcionamiento y la fabricación de las motobombas. Esto se traduce, como veremos, en mejorar los rendimientos tanto del motor como de la bomba. En la mayoría de los modelos, estos rendimientos de motor se encuentran alrededor del 30%, aunque no sería extraño encontrar que en un punto determinado de funcionamiento, estos rendimientos, no sean superiores a un 10%, teniendo en cuenta que dependen en gran medida, entre otros factores, de la carga que el motor soporte.

No obstante, antes de decidirse a comprar cualquier modelo de motobomba que no este alimentada por energía solar, hay que ser muy escrupuloso y minucioso, para escoger un modelo que tenga unos rendimientos altos aún cuando su precio inicial sea superior a la media de la competencia, puesto que de ello dependerá, en gran medida (85%), el gasto final de lo que nos cueste bombear cada litro de agua.

Para calcular el ahorro mediante bombeo solar, he comparando nuestros modelos de bombas elegidos, con los modelos más eficientes de motobombas y por lo tanto, aquellos que son más modernos y de reconocidas marcas del sector (GRUNDFOS, HONDA, GEORENA). De todas formas, he procurado que cada uno de los modelos a comparar con las bombas solares, sean de características similares, pues es bien sabido que por ejemplo, los modelos de gran capacidad de bombeo, suelen ser más eficientes que los modelos más

---

<sup>19</sup> Ver catálogo Grundfos SP A, SP pagina 89

pequeños, puesto que entre otras cosas, se hacen con tecnología diferente o utilizan el mismo motor que los modelos pequeños, con mayor carga o más pasos de funcionamiento. (Ver por ejemplo la gama Grundfos SP, que monta el mismo motor MS402, pero con distintas condiciones de funcionamiento en bombas con caudales muy diferentes.)

Una vez hecha la instalación de nuestra bomba “solar”, se puede decir, que el sistema empieza a amortizarse inmediatamente, puesto que ya no habrá costes añadidos al funcionamiento, pues como he dicho tiene poco mantenimiento. El ahorro vendrá del consumo que tengan las bombas alternativas (KWh de electricidad o litros de gasolina).

Tengo que decir, que en este estudio, no hago mención en ningún caso del bombeo solar mediante baterías, porque aunque tiene sus ventajas (tensión constante, funcionamiento en el punto de máxima potencia de los paneles, funcionamiento durante las horas del día que queramos, autonomía y suministro continuado de agua), también es cierto de que las baterías encarecen el precio, además de que necesitan mantenimiento, y dependiendo de las condiciones de funcionamiento (tamaño de las descargas y ciclos de carga y descarga) incluso recambio en un periodo de 12 años, hechos que pueden soslayarse, simplemente, colocando un depósito de agua que supla las necesidades en los casos en que la irradiancia solar disminuyese por debajo de los mínimos admisibles. También es cierto, que la mayoría de los modelos de bombeo directo, incluyen sus propios controladores que mejoran el rendimiento final con lo que podemos prescindir del uso de las baterías.

El cálculo del coste por volumen bombeado de agua, mediante uso de una motobomba, como he dicho se realiza a partir del cálculo del consumo, una vez fijado el punto de funcionamiento de la motobomba. Para ello, en primer lugar, es necesario escoger una motobomba de características similares a las que por defecto incluyo en este estudio comparando la característica Q-H. A continuación, una vez seleccionada la altura y el caudal, se calculará la potencia que consume la bomba mediante la siguiente expresión

$$P_{bomb} = Cgh \quad (1)$$

donde C= caudal en l/s

$g=9.81\text{m/s}^2$  intensidad del campo gravitatorio terrestre.

h=la altura manométrica expresada en m (o altura total de bombeo)<sup>20</sup>.

En mi caso, la altura manométrica será exactamente la que indique la característica Q-H del fabricante. El cálculo pormenorizado de esta altura, para una instalación típica se haría considerando los diámetros de las tuberías entre otros factores.

Una vez calculada  $P_{bomb}$ , se calculará la potencia que hay que proporcionar a la bomba, ya que esta tiene un rendimiento que es menor que la unidad, es decir:

---

<sup>20</sup> h será la suma de la altura geométrica más la que se debe al rozamiento de las tuberías, lo que se denomina pérdida de carga. También tenemos que añadir la diferencia de presión entre la superficie del líquido en impulsión y aspiración

$$P_2 = \frac{P_{bomb}}{\eta_{bomb}} \quad (2)$$

Algunos fabricantes disponen de características en donde aparece calculada esta potencia de entrada de la bomba<sup>21</sup>  $P_2$ .

Para calcular la potencia a la entrada del motor, y por lo tanto la que tendremos que entregar al cuerpo de la motobomba, necesitaremos el rendimiento  $\eta_m$  del mismo, que debe de aparecer en los catálogos del fabricante.

Así pues, la potencia que es necesario suministrar a una motobomba para que bombee un caudal  $Q$ (m<sup>3</sup>/h) a una altura  $H$  será

$$P_1 = \frac{5 \times Q \times g \times H}{18 \times \eta_m \times \eta_{bomb}} = \frac{P_2}{\eta_m} \quad (3)$$

Donde el factor de multiplicación es el que corresponde de pasar el caudal de m<sup>3</sup>/h  $Q$  a l/s,  $C$ .

El coste total de bombeo será el producto de la energía consumida por el precio de la misma, es decir

$$c = \frac{P_1 \times t}{1000} \times \frac{\text{€}}{\text{KWh}} \quad (4)$$

$P_1$ = Potencia de entrada al conjunto motor-bomba en W

$t$ = Tiempo de funcionamiento del conjunto en horas.

€/KWh= precio del KWh de electricidad.

Para que un proyecto de bombeo fotovoltaico sea viable o factible, deben darse una serie de condiciones que ya he remarcado arriba y que se pueden resumir en la siguiente figura (*Fig. 26*)

---

<sup>21</sup> Catálogo Grundfos SP-A SP

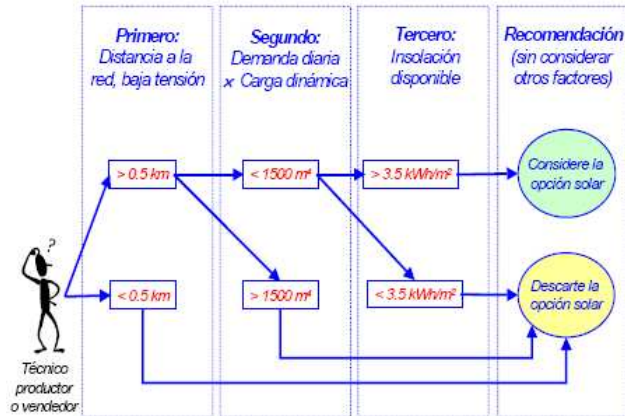


Figura 26: condiciones de viabilidad del bombeo solar fotovoltaico

Esto nos indica, que en la mayoría de las instalaciones fotovoltaicas por estar aisladas, hay que incluir los costes de la generación del suministro eléctrico, lo que se traduce en una mayor pérdida de eficiencia y por lo tanto en un aumento de los costes del bombeo con motobomba. Si suponemos que la energía en (4) sale directamente de un grupo electrógeno y que la eficiencia de este es

$$\eta_{gen} = \frac{E_1}{G} = \frac{P_{sal}}{P_{entr}} \quad (5)$$

donde

$E_1$  = KW producidos por el grupo electrógeno (ver manual del grupo)  
 $G$  = Gasto de gasolina en KW.

Teniendo en cuenta que 1l de gasolina equivale a unas 10000Kcal<sup>22</sup>=11.62 KWh<sup>23</sup> obtengo que

$$G = \phi \times 11.62 [\text{KWh/l}] = [\text{KW}] \quad (6)$$

$\phi$  = flujo en [l/h] (ver manual)

y utilizando (5) y (6) obtendría el rendimiento en función de la potencia que da el grupo electrógeno y el gasto de gasolina:

$$\eta_{gen} = \frac{E_1}{\phi \times 11.62} \quad (7)$$

y todos estos datos pueden extraerse del manual del fabricante del grupo electrógeno que seleccionemos.

Considerando que el grupo electrógeno no funciona necesariamente en régimen nominal, es decir, que estará funcionando a una potencia menor que la total que podría producir ( $E_1$ ), consumirá por lo tanto, menos gasolina por hora,

<sup>22</sup> <http://www.enersilva.org/biomasaenergetica.htm>

<sup>23</sup> 1kwh=1000(J/s)x3600(s/h)=3.6 millones de Julios; 1cal=4.18J



que la que consumiría a pleno funcionamiento  $\phi$ . Tomando la ecuación (4) y modificándola convenientemente, obtenemos que en el caso de intercalar un grupo electrógeno, el gasto en euros para hacer funcionar nuestra bomba sería

$$c = \frac{P_1}{E_1 \times 1000} \times \phi \times t \times \frac{\text{€}_{gasol}}{\text{litro}} \quad (8)$$

$P_1$ = la potencia necesaria para la bomba en W.

$E_1$ = potencia máxima que el grupo es capaz de producir (ver manual)

$\phi$ = consumo máximo o autonomía del grupo electrógeno en l/h (manual)

$t$ = tiempo de funcionamiento en h.

€/litro= coste de un litro de gasolina.

Donde de alguna forma, el rendimiento del grupo generador vendrá incluido en  $\phi$  por ser el gasto total de gasolina necesario para producir una potencia de salida  $E_1$ .

En cualquier caso, si acoplamos un grupo electrógeno a nuestra bomba, el encarecimiento es sustancioso, no sólo por la adquisición del mismo, sino por las pérdidas de eficiencia del grupo electrógeno, que son del 80%<sup>24</sup> del motor y de un 95% para el alternador e inversor, lo que acumula una pérdida total del 76% más de energía gastada.

En resumen, el calculo del coste en consumos de una motobomba dependerá del punto de funcionamiento en que trabaje y del tiempo que esté bombeando. Estos datos, los calcularemos de acuerdo a las curvas características de cada modelo, en función de las necesidades de agua que tengamos.

La amortización será el tiempo que debe de transcurrir para que, una instalación a bombeo solar cueste lo mismo que una instalación con motobomba teniendo en cuenta que la instalación con motobomba ordinaria, tiene gastos diarios de funcionamiento (coste KWh o litro de combustible) y de mantenimiento. En cualquier caso supondré que estos gastos de mantenimiento son despreciables frente al montante de la instalación y el del funcionamiento. Podemos calcular el tiempo de amortización como

$$T_A = \frac{C|_{solar} - C|_{motobomba}}{a} \quad (9)$$

en donde

$T_A$ = tiempo de amortización en días.

$C|_{solar}$  = coste de la instalación a bombeo solar

$C|_{motobomba}$  = coste de la instalación con motobomba

$a$ = ahorro diario.

<sup>24</sup> [http://www.hondaencasa.com/pdf/catalogos/pdf\\_03\\_pdf\\_722007101083950.pdf](http://www.hondaencasa.com/pdf/catalogos/pdf_03_pdf_722007101083950.pdf) Pagina fabricante HONDA

## Descripción del programa bombeo (Fig 27)

Para agilizar cálculos, y poder extrapolar a distintas condiciones y puntos de funcionamiento de cada bomba, he decidido implementar una aplicación en la que a partir, de unos valores iniciales de volumen de agua necesaria por día, altura y coste (del KWh o litro de gasolina), me de automáticamente, el tiempo de amortización de nuestra instalación con bombeo solar. Para ello, en primer lugar fijaremos el punto de trabajo de cada bomba/motobomba a partir de sus curvas características<sup>25</sup>. Necesitaremos por lo tanto, dos variables, la altura a la que esté funcionando y también el caudal de agua necesaria.

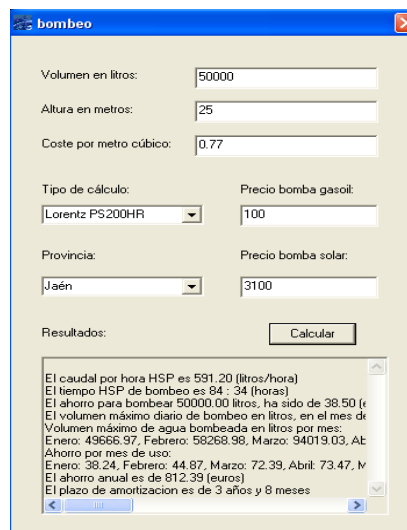


Figura 27: Cuadro de diálogo de la aplicación bombeo

Para el correcto dimensionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico he decidido trabajar con un caudal diario máximo expresado en litros. Este caudal máximo, que cada modelo puede bombear, lo he obtenido a partir del cálculo del valor medio diario de las horas de sol pico, HSP<sup>26</sup>, que inciden en un determinado lugar. Para ello, he sumado la contribución de cada mes y después la he dividido por doce (mes medio) y por 30 días que por término medio, tiene cada mes.

Es obvio, que los meses en que haga más calor, necesitaremos mayor cantidad de agua y por lo tanto la bomba pasará más horas de funcionamiento, ya que por término general, habrá más horas de sol pico, HSP, mientras que, en los meses invernales, al haber más precipitaciones, se necesitará menor cantidad de agua diaria, pero también habrá menos horas de sol Pico, por lo que, el sistema de bombeo dará menos litros diarios que el promedio calculado. Así pues, este criterio de selección y dimensionamiento del sistema es “conservador”, ya que aseguramos el agua durante todo el año en función de la estación climática en que nos encontremos. No obstante, se pueden variar criterios e incluso hacer un estudio más pormenorizado mes a mes.

De manera que, si necesito unos requerimientos mínimos de agua diarios, tendríamos que fijarnos en las horas de Sol disponibles en el “día medio”, que en España suele corresponder a un día del mes de Marzo. Si en este mes se cubren las necesidades, podemos decir, que la bomba elegida es la adecuada. En cualquier caso, si se sobrepasan los litros/día introducidos, el programa avisa de que hay que poner este dato nuevamente, o bien, pasar a un modelo de bomba superior.

Una vez que hemos seleccionado el sistema apropiado (he implementado cinco por defecto, que cubren una amplia gama de necesidades), el programa

<sup>25</sup> Ver apéndice para más información relativa a dichas curvas.

<sup>26</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Hora\\_solar\\_pico](http://es.wikipedia.org/wiki/Hora_solar_pico)

calcula el tiempo que el sistema de bombeo alternativo<sup>27</sup> (electricidad, gasolina) emplea en bombear dicha cantidad de agua,

Con este tiempo, ya estamos en disposición de obtener el coste y por lo tanto los ahorros diarios, mensuales y anuales si conocemos la energía que ha consumido el sistema alternativo.

Para conocer la energía, he calculado los polinomios característicos que me dan la potencia de cada modelo alternativo (Figura 28), en función de la altura a la que funcione. (Ver apéndice), en particular, a partir de una nube de puntos, he extraídos los polinomios usando programas de regresión e interpolación matemática, como por ejemplo el Regression Analyzer v 3.2 y el Rt-Plot v 2.8. En la mayoría de las ocasiones, estos polinomios de ajuste han sido de 5 orden (Ver Figura

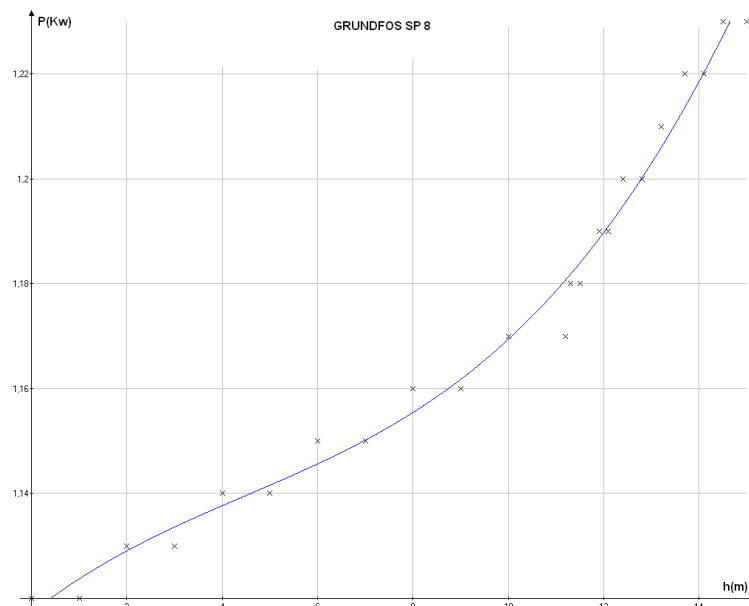


Figura 28: ejemplo de curva de características obtenida para la bomba GRUNDFOS SP 8A-1

Por último, para calcular el tiempo de amortización me he permitido estimar el coste de la instalación de bombeo y también la alternativa (eléctrica de red o gasolina en la que he incluido a su vez un grupo electrógeno), estos precios (según modelo que detallaré en los apéndices) y el programa los sugiere automáticamente. Los he obtenido de distintos catálogos y páginas web<sup>28</sup>, en los que he incluido, TODO el material necesario para realizar cada instalación véase, bombas, paneles, cableado, estructura soporte, cuadro de control con sus respectivos magnetos y la mano de obra.

<sup>27</sup> Decir que cada modelo alternativo, tiene una tecnología similar al modelo de bombeo solar, es decir, son de prestaciones similares

<sup>28</sup> [www.georena.com/catalogo\\_bombas%202007.pdf](http://www.georena.com/catalogo_bombas%202007.pdf); [catalogo techno\\_sun\\_07-08\\_lowres.pdf](http://catalogo techno_sun_07-08_lowres.pdf); [FOTOVOLTAICA catalogo.pdf](http://FOTOVOLTAICA catalogo.pdf) AENOR/ IQNET; <http://www.maquirenta.com/productos.asp?id=22>, [pdf\\_03\\_pdf\\_722007101083950.pdf](http://pdf_03_pdf_722007101083950.pdf) catálogo de HONDA; JHROERDEN; CONDUMEX ELECTRÓNICA; <http://www.apemsa.com/productos/honda.htm>.

Como he dicho, los cálculos se han hecho en base al volumen de agua bombeado por hora HSP medido en litros, de manera que, como este dato está fuertemente relacionado con la localización geográfica del sistema de bombeo, es necesario que obligatoriamente deba ser introducido mes a mes. Para ello se dispone de un fichero de texto txt que será leído automáticamente por el programa. Este fichero debe ser configurado de la siguiente forma

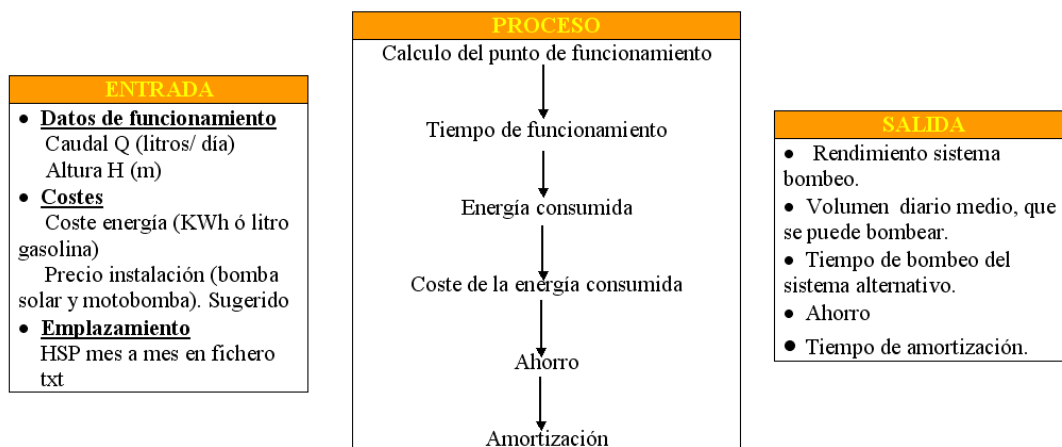
```
número_de_provincias
provincia1 dato1 dato2 ... dato12
provincia2 dato1 dato2 ... dato12
```

Ejemplo:

```
2
Jaén 84.01 98.56 159.03 161.4 187.86 191.7 204.29 190.34 173.4 145.7 107.7 80.6
Málaga 89.59 108.64 165.85 170.4 200.26 205.8 215.76 200.57 171 136.09 112.5 80.6
```

En donde los números decimales se deben escribir con punto "." y no coma", ". En principio, se ha limitado a las 8 provincias andaluzas, no obstante, puede aumentarse los datos de forma rápida utilizando la base Meteonorm [www.meteotest.ch/en/mn\\_home](http://www.meteotest.ch/en/mn_home) donde se puede descargar una completa base de datos en versión demo y de 10 días de prueba.

Es importante decir que una fuente de errores en el uso del programa, se deriva de introducir datos de entrada (en particular alturas de bombeo) QUE NO ESTÉN DENTRO DEL INTERVALO de las alturas que soportan los modelos implementados, ya que el programa, se limita a operar con el polinomio característico sin ninguna limitación, pudiendo dar (si sobrepasamos los valores máximos de cada modelo) resultados "absurdos". En cualquier caso las características de los modelos "alternativos" aparecen en el apéndice.



## Conclusiones y resultados:

La implementación del programa ha permitido estudiar en que grado, los sistemas de bombeo solar de pequeña potencia son altamente rentables si se les compara con los de gasto de energía derivada del petróleo (a día de hoy el coste m<sup>3</sup> es de unos 0.77 €). Veamos algunas conclusiones:

- Ninguno de los sistemas estudiados, puede competir con el bombeo bajo energía eléctrica suministrada por la red. Así, por ejemplo, encuentro que el plazo de amortización de una instalación de bombeo fotovoltaica, frente a una motobomba funcionando bajo red eléctrica, es superior a 100 años, o dicho de otra forma, nunca llega a amortizarse si consideramos el precio actual de la energía eléctrica en España 0,1 €/KWh. Este resultado está de acuerdo con el obtenido por Fedrizzi en 1995.
- Para que la amortización llegue a producirse deben darse dos condiciones:
  1. Que el sistema alternativo, esté alimentado con energía derivada de los combustibles fósiles. Ya que entonces, se pierde gran cantidad de rendimiento al convertir dicha energía fósil en electricidad.
  2. Que el dimensionamiento del sistema sea correcto y ajustado, ya que debe funcionar lo más próximo a su capacidad máxima de bombeo para una altura determinada y durante el mayor número de horas de sol posible.
- Bajo las anteriores condiciones, los sistemas fotovoltaicos, son **rentables, cuando transcurren una media de 4 años**, aún a pesar del desembolso inicial que suele ser de un 500% superior al sistema convencional de gasolina. A su favor, hablamos sin embargo, de que no necesitan mantenimiento y por supuesto, que no emite ruidos ni contaminantes a la atmósfera.

Por último decir, que a lo largo del proyecto se ha intentado dar una visión global del estado de la tecnología con numerosas ejemplificaciones que nos ha permitido guiar y colocar en su justo grado de desarrollo y uso, las aplicaciones que hoy se derivan del uso de la energía fotovoltaica y en particular el bombeo de agua. El panorama por lo tanto no puede ser más alentador, en cuanto que se prevé una mejora tanto en eficiencia como en abaratamiento de costes.

## Bibliografía

- Módulo de sistemas fotovoltaicos para el bombeo del agua. Miguel Alonso Bella.
- Energía solar para bombeo de agua. Experiencias Con Ranchos Sustentables En Baja California. Jaime Rocín Garcés.
- Modelo de Planta eléctrica solar para bombeo SAECA.
- Desarrollo de una herramienta informática para el diseño de sistemas de bombeo alimentados por energía solar fotovoltaica. Univ. Almería.
- Acoplamiento directo de generadores fotovoltaicos y bombas de agua. Vera, Luis H. Steigleder, Marco A. y otros.
- Catálogo de productos Sunex y lista de precios de distintos módulos y bombas.
- Energía Solar en la gestión del agua. Emilio Gudemos.
- Rentabilidad en las instalaciones fotovoltaicas domésticas. Joaquin P. Mas Belso. Agencia Valenciana de la Energía.
- Energía solar fotovoltaica para la agricultura y el desarrollo rural sostenible. B. van Campen; D. Guidi. Fao Roma 2000.
- Catálogos de funcionamiento para bombas Shurflo y Lorentz.

## ANEXO 1. Características de los sistemas de bombeo alternativos

# SERIE 4SR

### ELECTROBOMBAS SUMERGIBLES 4" RODETES FLOTANTES (Mayor resistencia a la arena)

#### PRESTACIONES

Altura máxima hasta **495 m**.  
Caudal hasta **375 l/m. (22,5 m<sup>3</sup>/h.)**

#### LÍMITES DE UTILIZACIÓN

Temperatura del líquido hasta **+30° C**  
Arranques por hora: **máx. 20 h.**  
Contenido máximo de arena: **150 g/m.<sup>3</sup>**

#### CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO E INSTALACIÓN

Electrobombas sumergibles, multicelulares, para **bombes de aguas limpias** no agresivas, diseñadas para aplicaciones domésticas, industriales o agrícolas tales como bombes a depósitos, equipos de presión, riegos por aspersión, etc. Los motores deberán **protegerse con un guardamotor adecuado**. La bomba deberá separarse convenientemente del fondo del pozo. Se aconseja instalar una **válvula de retención** próxima a la bomba.

#### CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN

CUERPOS DE IMPULSIÓN Y ASPIRACIÓN: En **aleación de latón OT.58** (Los modelos de presiones superiores a 25 bars, y los mod. 4SR10/26-4SR10/35, 4SR12/29 y 4SR15/24, con cuerpos en acero Inox AISI 304).

RODETES: En **tecnopolimero Lexan**

DIFUSORES: En **tecnopolimero Noryl GFN2**.

CUERPO DIFUSOR, CAMISA EXTERIOR, EJE Y FILTRO: En **acero Inox AISI 304**.

CASQUILLO ACOPLAMIENTO: De **acero Inox sinterizado AISI 316**.

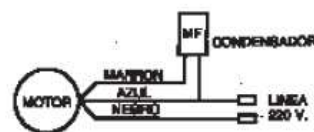
MOTOR ELÉCTRICO: **Franklin** en baño de agua IP58, bajo normas NEMA. Monofásico a 230 V. Trifásico a 230 o 400 V.

EJECUCIÓN Y NORMAS DE SEGURIDAD: En **conformidad con EN60335-1 (IEC335-1, CEI61-150) IEC34**.

CONEXIONES: **4SR1 - 4SR1,5 - 4SR2 - 4SR4 1<sup>1/4</sup>" / 4SR6 - 4SR8 - 4SR10 - 4SR12 - 4SR15 2"**



ESQUEMA DE CONEXIÓN



MODELO	Potencia		Qm <sup>3</sup> /h l/min.	0,3	0,6	1,2	1,8	2,1	2,4	2,7	5,4	6
	kW	CV		5	10	20	30	35	40	45	90	100
4SR1/13	0,37	0,5	H mts	73	67	51	26					
4SR1/18	0,55	0,75		101	93	71	36					
4SR1/25	0,75	1		140	129	98	50					
4SR1/35	1,1	1,5		197	182	136	70					
4SR1/45	1,5	2		254	234	176	90					
4SR1/64	2,2	3		362	332	250	128					
4SR1,5/8	0,37	0,5		48	46	40	32	26	20	14		
4SR1,5/13	0,55	0,75		78	75	66	52	43	33	23		
4SR1,5/17	0,75	1		102	98	86	68	56	43	30		
4SR1,5/25	1,1	1,5		151	144	127	100	83	64	45		
4SR1,5/32	1,5	2		193	184	162	128	106	82	58		
4SR1,5/46	2,2	3		277	265	233	184	153	117	83		
4SR1,5/60	3	4		362	346	304	241	199	153	108		

# MOTORES SUMERGIBLES FRANKLIN 4” (Encapsulados)

MOTORES SUMERGIBLES  
Calidad bajo el agua

Motores blindados Franklin Electric de 4”, de dos cables, fabricados según la norma ISO 9001 para el servicio con condensadores de servicio y protección contra sobrecarga, y para el servicio a la red de 3 fases. Usted obtiene un acondicionamiento exento de mantenimiento y de larga vida útil que es insensible en caso de baja tensión y que ofrece un alto par en amplios campos de la tensión de alimentación.



## OTRAS VENTAJAS

- Estator herméticamente estanco, con resina especial ignífuga.
- Diseño eléctrico de alto rendimiento (bajas temperaturas en los bobinados se traduce en larga vida para el motor).
- Cable de alimentación con conector extraíble Water Bloc™.
- Los materiales del cable cumplen normas KTW para agua potable.
- Cojinetes radiales y axial hidrodinámicos lubricados por agua.
- Todos los motores vienen llenos con líquido y probados al 100%.
- Líquido interno no contaminante.

4” 1 ~ PSC / 220-230 V / 50 Hz

P <sub>N</sub> [kW]	Charge Ax. [N]	U <sub>N</sub> [V]	N <sub>N</sub> [mln-1]	I <sub>N</sub> [A]	I <sub>A</sub> [A]	η [%]	cos φ	C450V
								[μF]
0,25	1500	220	2860	2,3	7,0	54	0,94	12,5
		230	2860	2,2	8,4	50	0,95	
0,37	1500	220	2850	3,2	10,7	56	0,97	16
		230	2860	3,0	11,2	53	0,95	
0,55	1500	220	2840	4,2	15,4	64	0,97	20
		230	2830	4,1	16,1	63	0,98	
0,75	1500	220	2840	5,8	20,2	61	0,99	30
		230	2835	5,4	21,1	60	0,99	
1,10	3000	220	2840	8,4	30,1	64	0,97	40
		230	2830	8,0	31,5	62	0,98	
1,50	3000	220	2805	10,6	33,9	67	0,99	50
		230	2810	10,3	35,4	66	0,99	
2,20	4000	220	2810	16	54,2	65	0,99	70
		230	2815	15,5	56,7	66	0,99	

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

### Motor standard

- Brida: NEMA de 4”
- Sentido de rotación antihorario
- Tipo de protección: IP 68
- Aislamiento: Clase B
- Temp. ambiental: 30° C
- Velocidad del líquido refrigerante: mínimo 8 cm/s.
- Arranques por hora: máx. 20
- Posición de montaje: vertical/horizontal
- Tolerancia de tensión: +6% / -10% U<sub>N</sub>
- Protección motor: Seleccionar relé térmico según EN60947-4-1.
- Tiempo de disparo < 10s a 5 x I<sub>N</sub>

4” 3 ~ / 400 V / 50 Hz

P <sub>A</sub> [kW]	Charge Ax. [N]	η <sub>N</sub> [mln <sup>-1</sup> ]	I <sub>N</sub> [A]	I <sub>A</sub> [A]	η [%]	cos φ
0,37	1500	2865	1,1	4,7	66	0,70
0,55	1500	2855	1,6	6,4	67	0,75
0,75	1500	2870	2,1	9,3	69	0,75
1,1	3000	2840	3,0	14,5	73	0,76
1,5	3000	2855	4,0	19,2	73	0,76
2,2*	4000	2840	5,9	28,9	75	0,75
	6500	2840	5,9	28,9	75	0,75
3,0*	4000	2850	7,8	41,6	76	0,75
	6500	2850	7,8	41,6	76	0,75
3,7*	6500	2850	9,1	49	77	0,79
4,0*	6500	2855	10,0	58	78	0,78
5,5*	6500	2850	13,7	76	76	0,79
7,5*	6500	2820	18,8	102	74	0,79



## EU 10

Referència: 22006500

### Modelo

Motor	GXH 50
Cilindrada	50 c.c.
Potencia (kw/cv)	1/2
Arranque	Manual
Depósito de carburante	2,3 l
Autonomía	4 h

### Generador

Salida constante monofásica	900 VA
Salida máxima monofásica	1000 VA
Corriente continua	12,0/8,0 V/A
Regulación de voltaje	Inverter
Nivel sonoro (Lwa)	87
Ruedas de transporte	-

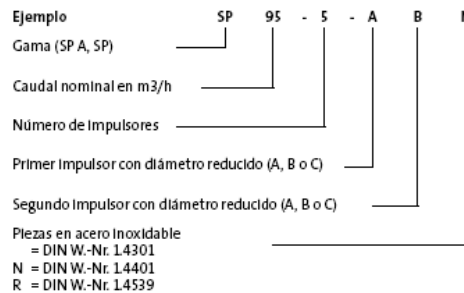


## Aplicaciones

Las bombas SPA y SP son adecuadas para las siguientes aplicaciones:

- suministro de agua bruta
- sistemas de riego
- descenso del nivel freático
- aumento de presión y
- aplicaciones industriales

## Nomenclatura



## Líquidos bombeados

Líquidos limpios, ligeros, no agresivos y sin partículas sólidas o fibras.

Existen versiones especiales SPA-N y SP-N, fabricadas en acero inoxidable según DIN W.-Nr. 1.4401 y versiones SP A-R y SP-R, fabricadas en acero inoxidable según DIN W.-Nr. 1.4539 para aplicaciones con líquidos agresivos.

## Condiciones de funcionamiento

Caudal, Q: 0.1-280 m<sup>3</sup>/h.

Altura, H: Máx. 660 m.

Temperatura máxima del líquido:

Motor	Instalación		
	Velocidad del líquido alrededor del motor	Vertical	Horizontal
Grundfos MS 4" y 6"	Convección libre 0 m/s	20°C	Se recomienda camisa de refrigeración
Grundfos MS 4" y 6"	0.15 m/s	40°C	40°C
Grundfos MS versiones Industriales 4" y 6"	0.15 m/s	60°C	60°C
Grundfos MMS 6" a 12" rebobinable	Convección libre 0 m/s	20°C	20°C
	0.15 m/s	25°C	25°C
	0.50 m/s	30°C	30°C

**Nota:** Para MMS 6000, 37 kW, MMS 8000, 110 kW y MMS 10000, 170 kW la temperatura máxima del líquido es 5°C inferior a los valores indicados en la tabla anterior. Para MMS 10000, 190 kW la temperatura es 10°C. inferior.

## Presión de funcionamiento:

Motor	Presión máxima de trabajo
Grundfos MS 4" y 6"	6 MPa (60 bar)
Grundfos MMS 6" a 12" rebobinable	2.5 MPa (25 bar)

## Condiciones de las curvas

Las siguientes condiciones se refieren a las curvas de las páginas 14 - 70.

### General

- Tolerancias de las curvas según ISO 9906, Anexo A.
- Las curvas características muestran la actuación de la bomba a la velocidad real según la gama de motores estándar.

La velocidad de los motores es aprox.:

motores de 4": n = 2870 min<sup>-1</sup>

motores de 6": n = 2870 min<sup>-1</sup>

motores de 8" a 12": n = 2900 min<sup>-1</sup>

- Las mediciones están hechas con agua sin aire a una temperatura de 20°C. Las curvas se refieren a una viscosidad cinemática de 1 mm<sup>2</sup>/s (1 cSt). Al bombear líquidos con una densidad superior a la del agua, deben utilizarse motores de mayor potencia.

- Las curvas en **negrilla** indican la gama de trabajo recomendada.

- Las curvas características incluyen posibles pérdidas, tales como pérdidas en la válvula de retención.

### Curvas SPA

- **Q/H:** Las curvas incluyen pérdidas en válvula y aspiración a la velocidad actual.
- **Curva de potencia:** P<sub>2</sub> muestra la potencia absorbida de la bomba a la velocidad actual para cada tamaño de bomba.
- **Curva de rendimiento:** Eta muestra el rendimiento por etapa de la bomba.

### Curvas SP

- **Q/H:** Las curvas incluyen pérdidas en válvula y aspiración a la velocidad actual. El funcionamiento sin válvula de retención aumentará la altura a funcionamiento nominal en 0,5 a 1,0 m.
- **NPSH:** La curva incluye el interconector de aspiración y muestra la presión de aspiración necesaria.
- **Curva de potencia:** P<sub>2</sub> muestra la potencia absorbida de la bomba a la velocidad actual para cada tamaño de bomba.
- **Curva de rendimiento:** Eta muestra el rendimiento de la bomba por etapa.

## Características y ventajas

### Una amplia gama de bombas

Grundfos ofrece bombas sumergibles con puntos de trabajo energéticamente eficaces, que van de 1 a 280 m<sup>3</sup>/h. La gama de bombas está formada por varios tamaños, y cada tamaño está disponible con un número de etapas opcional para cubrir cualquier punto de trabajo.

### Alto rendimiento de la bomba

A menudo el rendimiento de la bomba es un factor que no se tiene en cuenta al mirar el precio. No obstante, el usuario observador notará que las variaciones de precio carecen de importancia en el aspecto económico del suministro de agua, comparado con la importancia de los rendimientos de la bomba y motor.

### Ejemplo:

Al bombear 200 m<sup>3</sup>/h con una altura de 100 m durante un periodo de 10 años se ahorrarán 60.000 Euros si se elige una bomba/motor con un rendimiento 10 % mayor y el precio es de 0,10 Euro/kWh.

### Material y líquidos bombeados

Grundfos ofrece una gama completa de bombas y motores que, como estándar, están fabricados completamente en acero inoxidable según DIN W.-Nr. 1.4301 (AISI 304). Esto proporciona una buena resistencia al desgaste y un reducido riesgo de corrosión al bombear agua fría normal con poco contenido de cloruros.

Una gama de bombas en acero inoxidable de superior calidad está disponible para líquidos más agresivos:

SP N: DIN W.-Nr. 1.4401 (AISI 316)

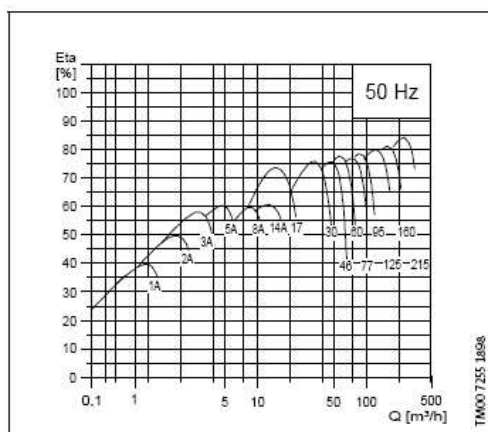
SP R: DIN W.-Nr. 1.4539 (AISI 904L)

Como alternativa existe una gama completa de ánodos de zinc para protección catódica, ver página 86. Esto puede ser aconsejable, por ejemplo, para aplicaciones con agua de mar.

Para líquidos ligeramente contaminados que contengan p.ej. aceite, Grundfos ofrece una gama completa (SP NE) en acero inoxidable según DIN W.-Nr. 1.4401 (AISI 316) con todas las piezas de goma fabricadas en FKM.

### Bajos costes de instalación

Acero inoxidable significa bajo peso, lo que facilita el manejo de las bombas, dando como resultado unos bajos costes de equipo y reducción del tiempo de instalación y mantenimiento. Además, las bombas estarán como nuevas después del funcionamiento debido a la alta resistencia al desgaste del acero inoxidable.



TM00725 1898



07300 1196

## Especificación de materiales

Pos.	Componentes	Materiales	Estándar		Versión N	
1	Alojamiento de válvula	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
1d	Junta tórica	NBR				
2	Tapa de válvula	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
3	Asiento de válvula	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
3a	Tope inferior del asiento de válvula	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4408	316
3b	Tope superior del asiento de válvula	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
4	Cámara superior	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
6	Cojinete superior	Acero Inoxidable/ NBR	1.4401	304	1.4401	316
7	Anillo de cierre	NBR/PPS				
8	Cojinete	NBR				
8a	Arandela para anillo tope	Carbono/grafito HY22 en PTFE				
8b	Anillo tope	Acero Inoxidable	1.4401	316	1.4401	316
9	Cámara	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
11	Tuerca casquillo cónico	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
11c	Tuerca para anillo tope	Acero Inoxidable	1.4401	316	1.4401	316
12	Casquillo cónico	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
13	Impulsor	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
14	Interconector aspiración	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4408	316
15	Filtro	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
16	Eje completo	Acero Inoxidable	1.4057	431	1.4460	329
17	Tirante	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
18	Protector cable	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
19	Tuerca para tirante	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
39	Muelle para tapa válvula	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
70	Guía válvula	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316
71	Arandela	Acero Inoxidable	1.4401	316	1.4401	316
72	Anillo desgaste	Acero Inoxidable	1.4301	304	1.4401	316

## Características y ventajas

### Una gama completa de motores

Grundfos ofrece una gama completa de motores sumergibles en diferentes tensiones:

Motores sumergibles, MS:

- Motores de 4", monofásicos hasta 2,2 kW:
  - de 2 hilos
  - de 3 hilos
  - PSC (condensador permanente)
- Motores de 4", trifásicos hasta 7,5 kW
- Motores de 6", trifásicos desde 5,5 kW hasta 30 kW

Motores sumergibles rebobinables, MMS:

- Motores de 6", trifásicos desde 3,7 kW hasta 37 kW
- Motores de 8", trifásicos desde 22 kW hasta 110 kW
- Motores de 10", trifásicos desde 75 kW hasta 190 kW
- Motores de 12", trifásicos desde 147 kW hasta 250 kW

### Alto rendimiento del motor

Dentro del campo de motores de alto rendimiento, Grundfos es uno de los líderes del mercado. Esto se debe a un concepto de motores recientemente desarrollado que se ha lanzado con los motores MS 4000 y MS 6000.

## Motores MS



## Motores rebobinables

Los motores sumergibles Grundfos MMS de dos polos son fáciles de rebobinar. Los bobinados del estator están hechos de un hilo hermético especial de cobre electrolítico puro, enfundado en un material termoplástico no hidrofóbico especial. Las características de gran resistencia dieléctrica de este material permiten el contacto directo entre los bobinados y el líquido para que se consiga una refrigeración eficaz de los bobinados.

## Motores industriales

Para aplicaciones de servicio pesado Grundfos ofrece una gama completa de motores industriales con un rendimiento de hasta un 5 % superior al de los motores estándar Grundfos. Los motores industriales están disponibles desde 2,2 kW hasta 22 kW. La refrigeración del motor es muy eficaz gracias a su gran superficie. Permite aumentar la temperatura del líquido hasta 60°C a un caudal de mínimo 0,15 m/s alrededor del motor. Los motores industriales son para clientes que valoran unos costos de funcionamiento bajos y una larga vida más que el precio.

Los motores industriales Grundfos están desarrollados para condiciones de funcionamiento difíciles. Estos motores soportarán una carga térmica superior a la de los motores estándar, por lo que tienen una vida más larga cuando se someten a altas cargas. Esto es aplicable si éstas están originadas por un suministro eléctrico deficiente, agua caliente, condiciones de refrigeración deficientes, sobrecarga de la bomba, etc.

## Motores MMS



## Protección contra sobretemperatura

Existen accesorios que protegen los motores sumergibles Grundfos MS y MMS contra sobretemperatura. Cuando la temperatura sube demasiado, el dispositivo de protección se dispara y se evitarán daños a la bomba y motor.

El arranque del motor después de la desconexión puede conseguirse de dos modos:

- arranque manual, o
- arranque automático

El arranque automático significa que el CU 3 intenta arrancar el motor pasados 15 minutos. Si el primer intento no surte efecto, intentará el arranque a intervalos de 30 minutos.

### MS:

Los motores sumergibles Grundfos MS están disponibles con un sensor de temperatura Tempcon incorporado para proteger contra sobretemperatura. Mediante el sensor es posible leer y/o controlar la temperatura del motor mediante un MTP 75 o una unidad de control CU 3.

Puede montarse un Pt100 en los motores sumergibles Grundfos MS 6000. Se monta en el motor y se conecta mediante un relé (EDM 35 o PR 2202) que se conecta al control CU 3.

### MMS:

Para proteger los motores sumergibles Grundfos MMS contra sobretemperatura, Grundfos ofrece el sensor de temperatura Pt 100 como un extra opcional.

El Pt100 se monta en el motor y se conecta mediante un relé (EDM 35 o PR 2202), que puede conectarse al control CU 3.

## Protección contra empuje axial

Si existe una muy pequeña contrapresión en el arranque existe el riesgo de que todo el cuerpo de la bomba pueda desplazarse hacia arriba. Esto se llama empuje axial. Puede dañar tanto la bomba como el motor. Por lo tanto, las bombas así como los motores Grundfos, están como norma protegidos contra este efecto, evitando que ocurra en la fase crítica de arranque. La protección consta de un anillo de tope incorporado o un equilibrio hidráulico.

## Cámaras de refrigeración incorporadas

En todos los motores sumergibles Grundfos MS está asegurada una eficaz refrigeración mediante cámaras de refrigeración en la parte superior e inferior del motor, así como por la circulación interna del líquido del motor. Ver el dibujo a la derecha. Mientras se mantenga la velocidad necesaria del fluido alrededor del motor (ver "Condiciones de funcionamiento" página 4) la refrigeración del motor será eficaz.

## Protección contra rayos

Los motores sumergibles Grundfos más pequeños, es decir del tipo MS 402, están todos aislados para minimizar el riesgo de que se quemara el motor por la caída de un rayo.

## Riesgo reducido de cortocircuito

El bobinado interno del estator de los motores sumergibles Grundfos MS está herméticamente cerrado en acero inoxidable. El resultado es una alta estabilidad mecánica y una óptima refrigeración. Esto elimina también el riesgo de cortocircuito de los bobinados originado por la condensación del agua.

## Cierre

### MS 402

El cierre es del tipo labial, caracterizado por una escasa fricción contra el eje del rotor.

La elección de goma ofrece una buena resistencia al desgaste, buena elasticidad y resistencia a las partículas. El material de goma está homologado para utilización en agua potable.

### MS 4000, MS 6000

El material elegido es cerámica/carburo de tungsteno que proporciona un sellado seguro, una óptima resistencia al desgaste y una larga vida.

El cierre de muelle está diseñado con una gran superficie y un protector de arena. El resultado es un intercambio mínimo entre el líquido bombeado y el líquido del motor, sin penetración de partículas.

## Motores MMS rebobinables

El cierre estándar es del tipo labial y puede sustituirse.

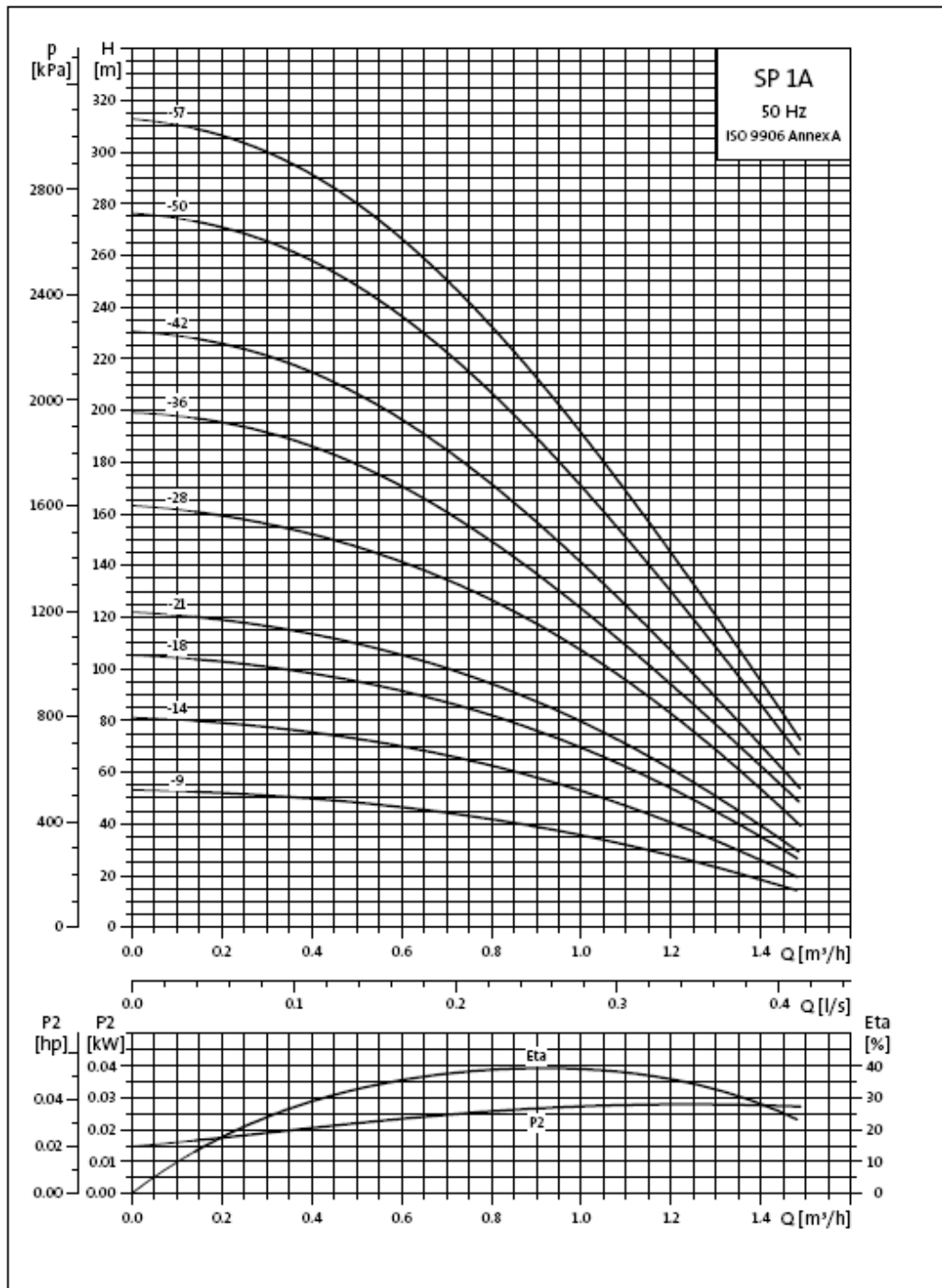
El material proporciona una buena resistencia al desgaste y a las partículas.

Junto con el alojamiento del cierre, el protector de arena forma un sellado en forma de laberinto que bajo condiciones de funcionamiento normales evita la penetración de partículas de arena en el cierre.

Los motores pueden, bajo pedido, suministrarse con un cierre SiC/SiC, según DIN 24960.

# Curvas características

Bombas sumergibles  
SP 1A

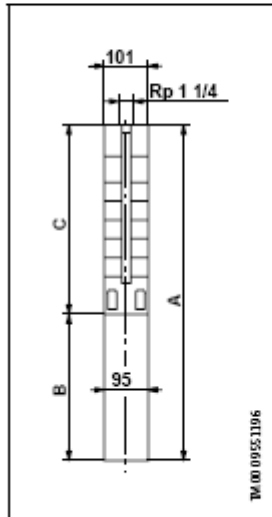


# Datos técnicos

Bombas sumergibles  
SP 1A



## Dimensiones y pesos



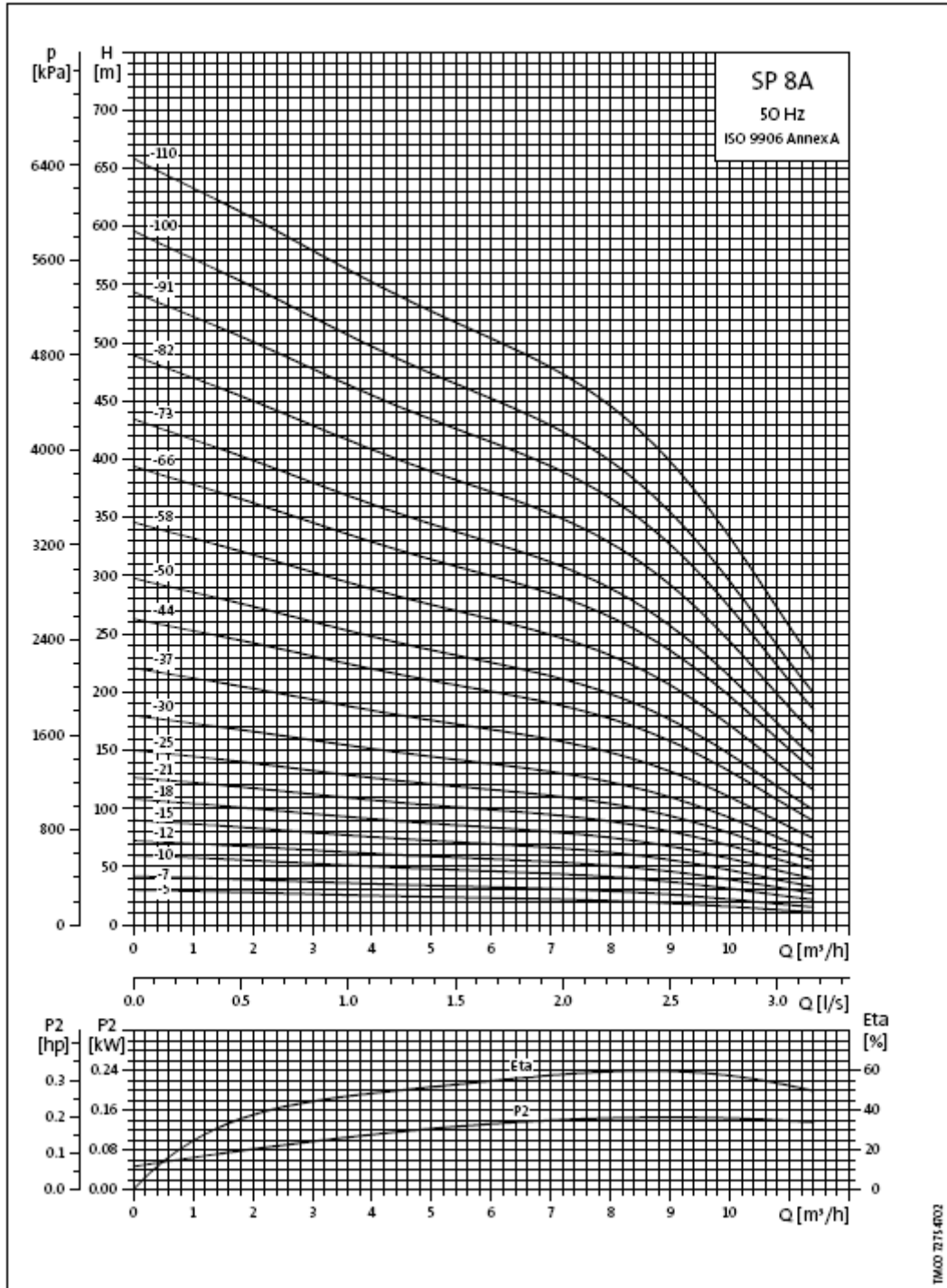
101 mm = Diámetro máximo de la bomba incl. protector de cable y motor.

Tipo de bomba	Motor		Dimensiones [mm]				Peso neto [kg]		
	Tipo	Potencia [kW]	C	B		A		1x230V	3x230V 3x400V
				1x230V	3x230V 3x400V	1x230V	3x230V 3x400V		
SP 1A-9	M5402	0.37	344	256	226	600	570	11	9
SP 1A-14	M5402	0.37	449	256	226	705	675	12	10
SP 1A-18	M5402	0.55	533	291	241	824	774	14	12
SP 1A-21	M5402	0.55	596	291	241	887	837	14	12
SP 1A-28	M5402	0.75	743	306	276	1049	1019	16	15
SP 1A-36	M5402	1.1	956	346	306	1302	1262	25	23
SP 1A-42	M5402	1.1	1082	346	306	1428	1388	27	25
SP 1A-50	M5402	1.5	1250	346	346	1596	1596	30	29
SP 1A-57	M5402	1.5	1397	346	346	1743	1743	32	32

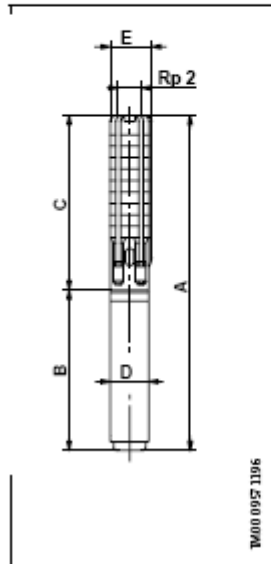


# Curvas características

Bombas sumergibles  
SP 8A



## Dimensiones y pesos



SP 8A-56(N) a SP 8A-110(N) están enca-  
mizadas para conexión R.2.

Tipo de bomba	Motor		Dimensiones [mm]							Peso neto [kg]	
	Tipo	Po- tencia [kW]	C	B		A		D	E	Peso neto [kg]	
				1x230V	3x230V 3x400V	1x230V	3x230V 3x400V			1x230V	3x230V 3x400V
SP 8A-5	MS 402	0.75	409	306	276	715	685	95	101	15	13
SP 8A-5N (R)	MS 4000R	2.2	409	573		982		95	101	27	
SP 8A-5N (R)	MS 4000R	0.75	409		398		807	95	101		19
SP 8A-7	MS 402	1.1	493	346	306	839	799	95	101	17	16
SP 8A-7N (R)	MS 4000R	2.2	493	573		1066		95	101	28	
SP 8A-7N (R)	MS 4000R	1.1	493		413		906	95	101		21
SP 8A-10	MS 402	1.5	619	346	346	965	965	95	101	19	19
SP 8A-10N (R)	MS 4000R	2.2	619	573		1192		95	101	30	
SP 8A-10N (R)	MS 4000R	1.5	619		413		1032	95	101		23
SP 8A-12	MS 4000	2.2	703	573		1276		95	101	30	
SP 8A-12	MS 402	2.2	703		346		1049	95	101		21
SP 8A-12N (R)	MS 4000R	2.2	703	573	453	1276	1156	95	101	30	25
SP 8A-15	MS 4000	2.2	829	573		1402		95	101	32	
SP 8A-15	MS 402	2.2	829		346		1175	95	101		23
SP 8A-15N (R)	MS 4000R	2.2	829	573	453	1402	1282	95	101	32	27
SP 8A-18	MS 4000	3.0	955		493		1448	95	101		29
SP 8A-18N (R)	MS 4000R	3.0	955		493		1448	95	101		29
SP 8A-21	MS 4000	4.0	1081		573		1654	95	101		35
SP 8A-21N (R)	MS 4000R	4.0	1081		573		1654	95	101		35
SP 8A-25	MS 4000	4.0	1249		573		1822	95	101		37
SP 8A-25N (R)	MS 4000R	4.0	1249		573		1822	95	101		37
SP 8A-30	MS 4000	5.5	1459		673		2132	95	101		45
SP 8A-30N (R)	MS 4000R	5.5	1459		673		2132	95	101		45
SP 8A-37	MS 4000	5.5	1753		673		2426	95	101		49
SP 8A-37N (R)	MS 4000R	5.5	1753		673		2426	95	101		49
SP 8A-30	MS 6000	5.5	1521		541		2062	138	138		56
SP 8A-30N	MS 6000R	5.5	1521		541		2062	138	138		56
SP 8A-37	MS 6000	5.5	1815		541		2356	138	138		60
SP 8A-37N	MS 6000R	5.5	1815		541		2356	138	138		60
SP 8A-44	MS 4000	7.5	2051		773		2824	95	101		60
SP 8A-44N	MS 4000	7.5	2051		773		2824	95	101		60
SP 8A-44	MS 6000	7.5	2109		571		2680	138	138		66
SP 8A-44N	MS 6000R	7.5	2109		571		2680	138	138		66
SP 8A-50	MS 4000	7.5	2303		773		3076	95	101		64
SP 8A-50N	MS 4000	7.5	2303		773		3076	95	101		64
SP 8A-50	MS 6000	7.5	2361		571		2932	138	138		70
SP 8A-50N	MS 6000R	7.5	2361		571		2932	138	138		70
SP 8A-58	MS 6000	9.2	3013		601		3614	138	140		104
SP 8A-58N	MS 6000R	9.2	3013		601		3614	138	140		104
SP 8A-66	MS 6000	11.0	3349		631		3980	138	140		114
SP 8A-66N	MS 6000R	11.0	3349		631		3980	138	140		114
SP 8A-73	MS 6000	11.0	3643		631		4274	138	140		120
SP 8A-73N	MS 6000R	11.0	3643		631		4274	138	140		120
SP 8A-82	MS 6000	13.0	4021		661		4682	138	140		131
SP 8A-82N	MS 6000R	13.0	4021		661		4682	138	140		131
SP 8A-91	MS 6000	15.0	4399		696		5095	138	140		143
SP 8A-91N	MS 6000R	15.0	4399		696		5095	138	140		143
SP 8A-100	MS 6000	15.0	4777		696		5473	138	140		150
SP 8A-100N	MS 6000R	15.0	4777		696		5473	138	140		150
SP 8A-110	MS 6000	18.5	5197		751		5948	138	140		164
SP 8A-110N	MS 6000R	18.5	5197		751		5948	138	140		164

E = Diámetro máximo de la bomba incl. protector de cable y motor.



## EU 20

Referencia: 22006550

### Modelo

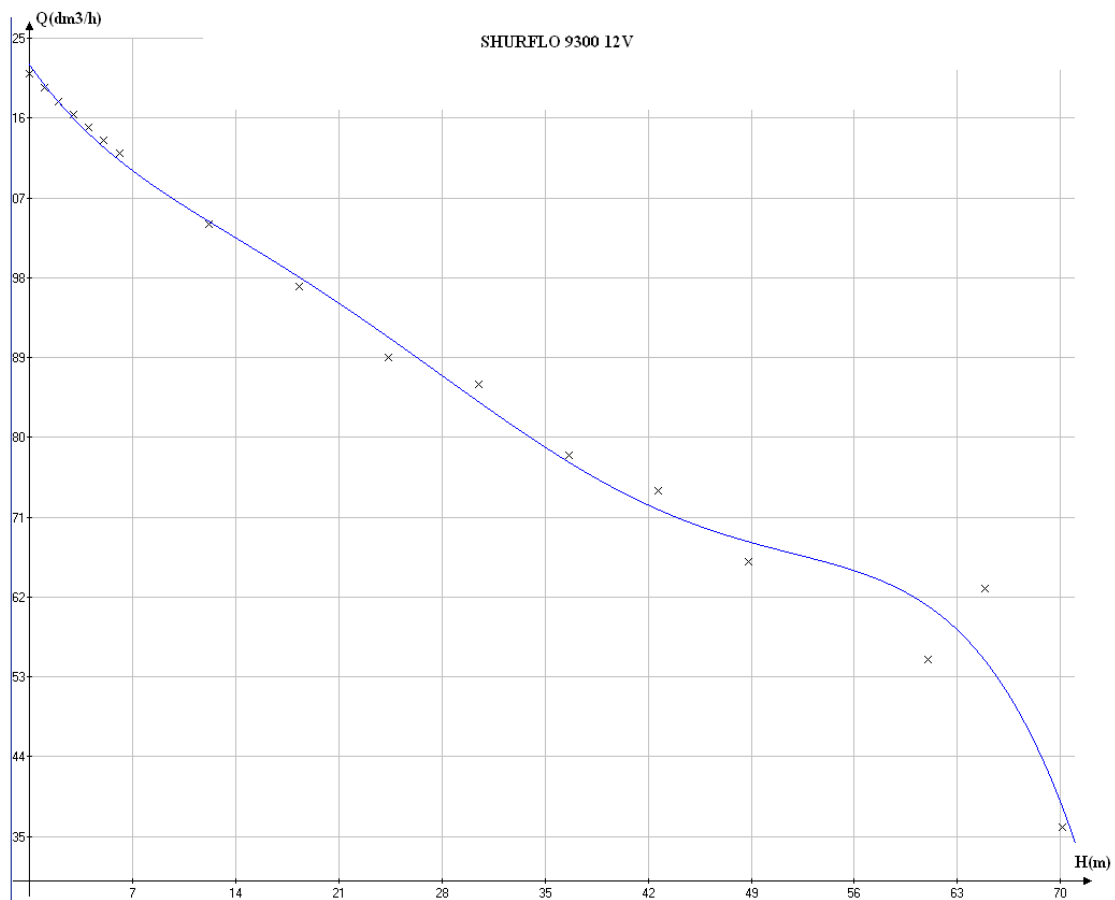
Motor	GX100
Cilindrada	98,5 c.c.
Potencia (kw/cv)	3/4
Arranque	Manual
Depósito de carburante	4,3 l
Autonomía	4 h



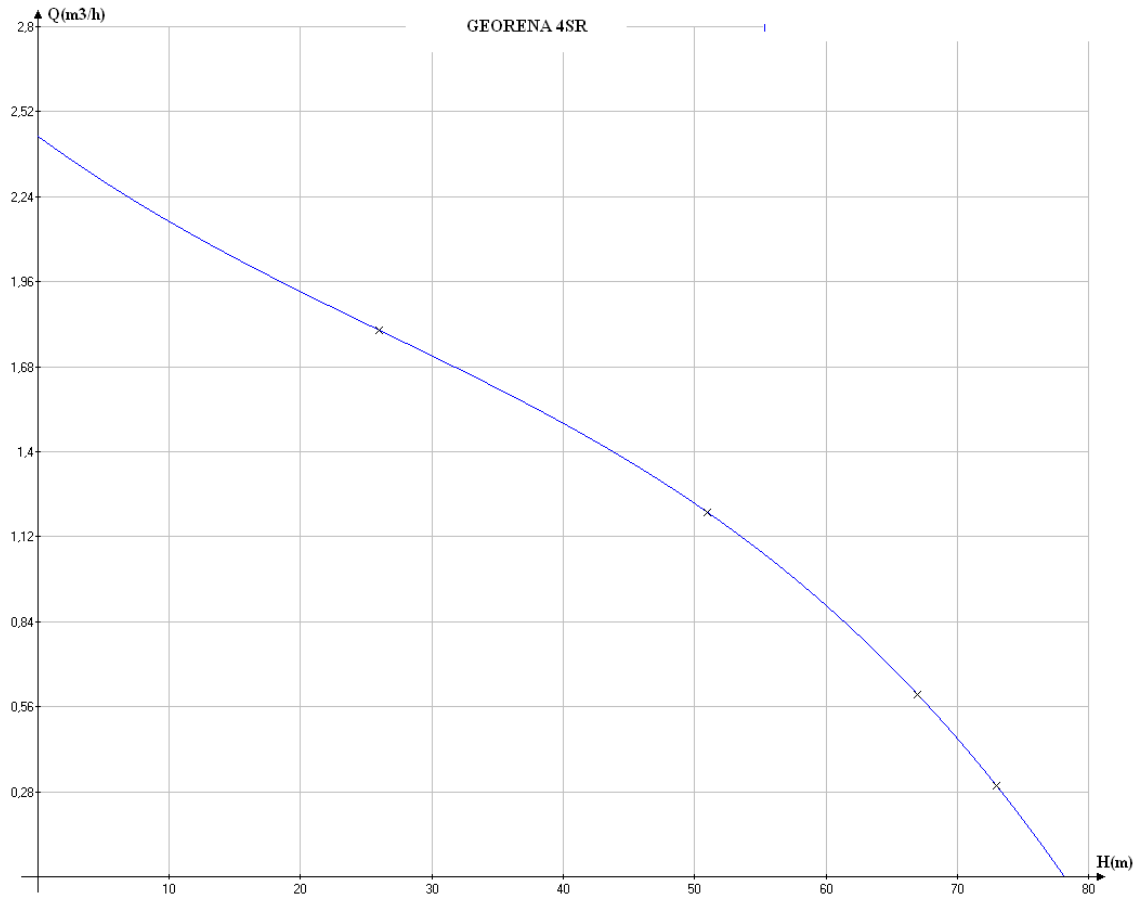
### Generador

Salida constante monofásica	1600 VA
Salida máxima monofásica	2000 VA
Corriente continua	12,0/8,0 V/A
Regulación de voltaje	Inverter
Nivel sonoro (Lwa)	90
Ruedas de transporte	-

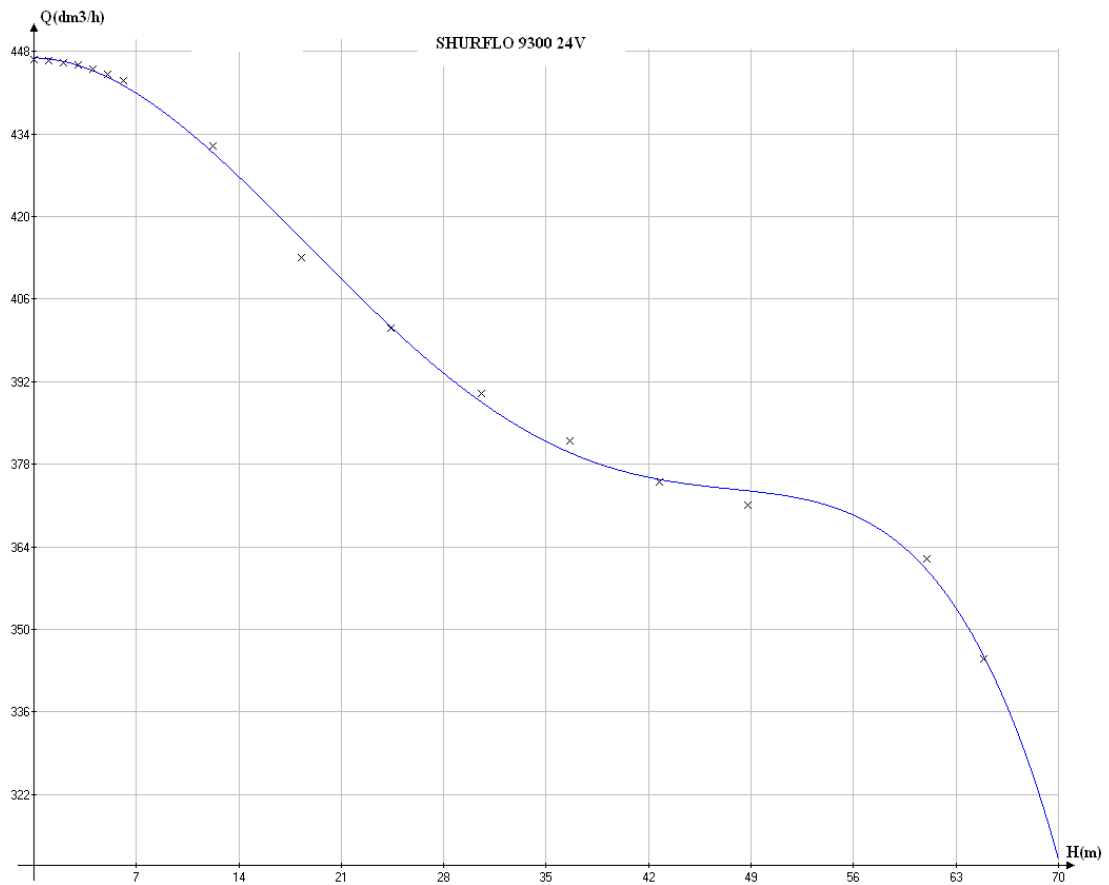
## ANEXO 2: Curvas características de los distintos modelos de bombas estudiadas



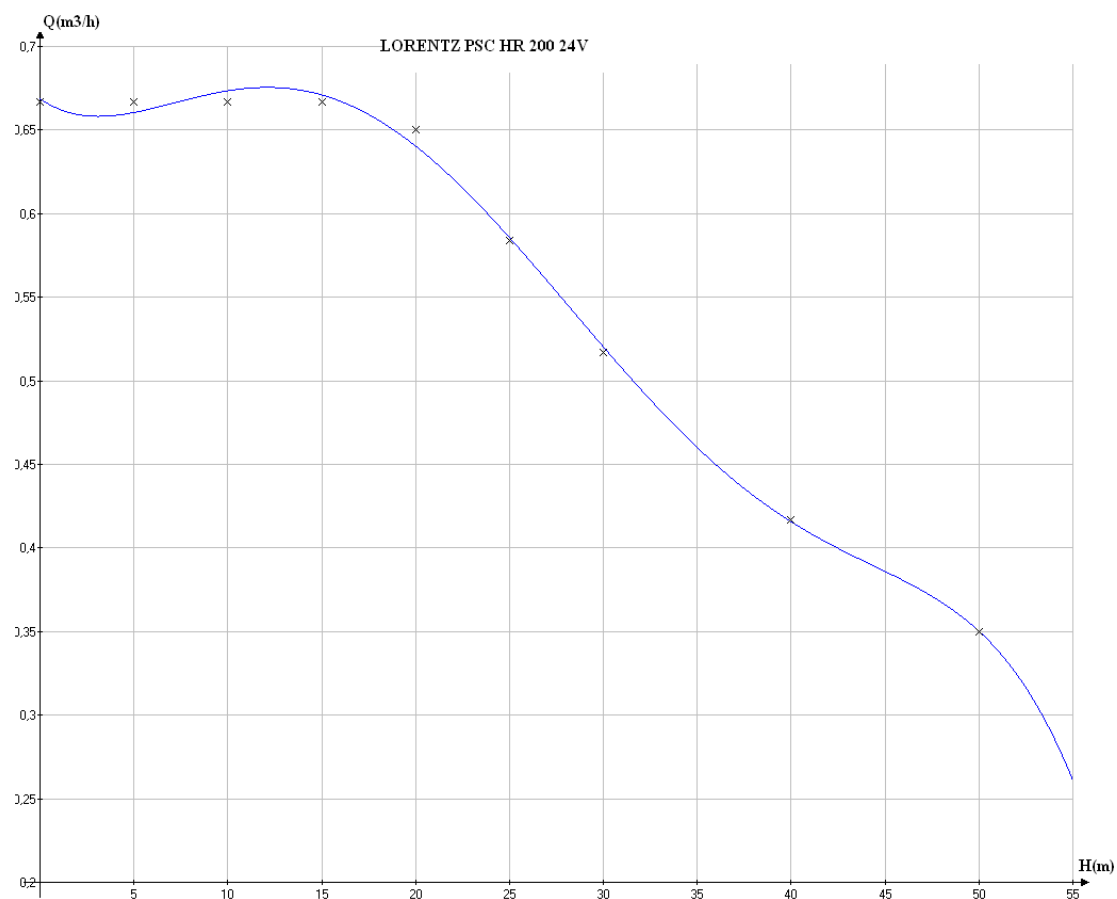
$$Q(\text{dm}^3 / \text{h}) = 222 - 2,38x + 0,128x^2 - 545 \cdot 10^{-5} x^3 + 1 \cdot 10^{-4} x^4 - 6,42 \cdot 10^{-7} x^5$$



$$Q(m^3 / h) = 2,44 - 3,16 \cdot 10^{-3} x + 403 \cdot 10^{-6} x^2 - 5,08 \cdot 10^{-6} x^3$$

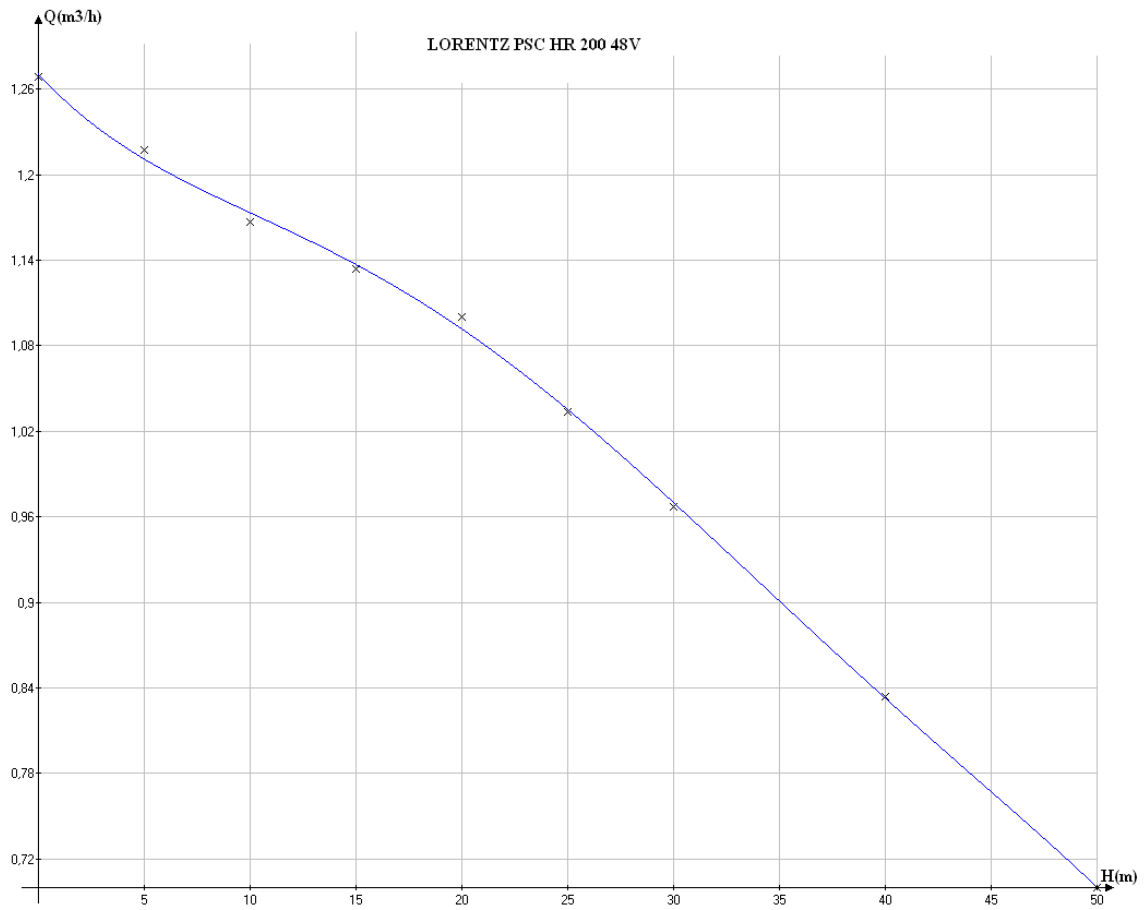


$$Q(\text{dm}^3 / \text{h}) = 447 - 4,86 \cdot 10^{-2} x - 0,131 x^2 + 2,1 \cdot 10^{-3} x^3 + 1,87 \cdot 10^{-5} x^4 - 3,92 \cdot 10^{-7} x^5$$

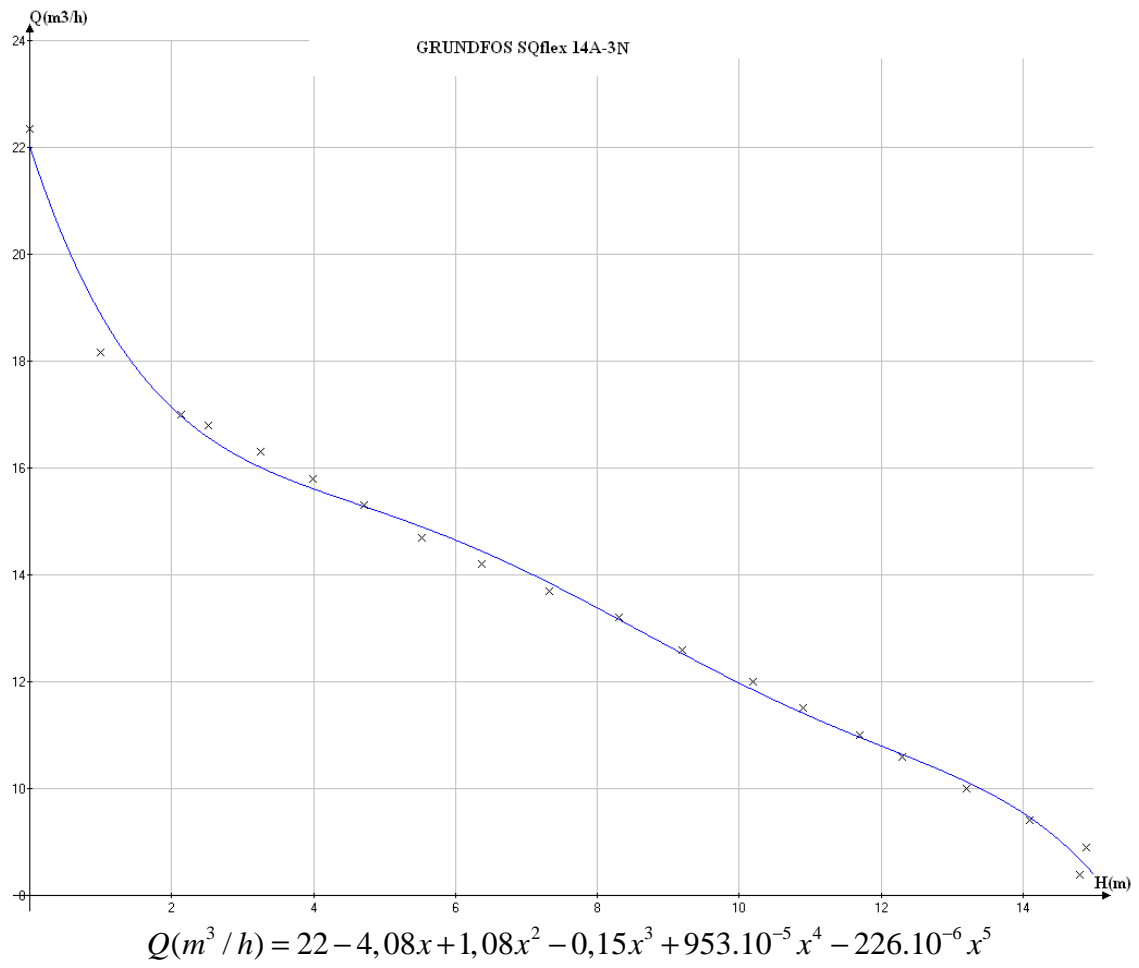


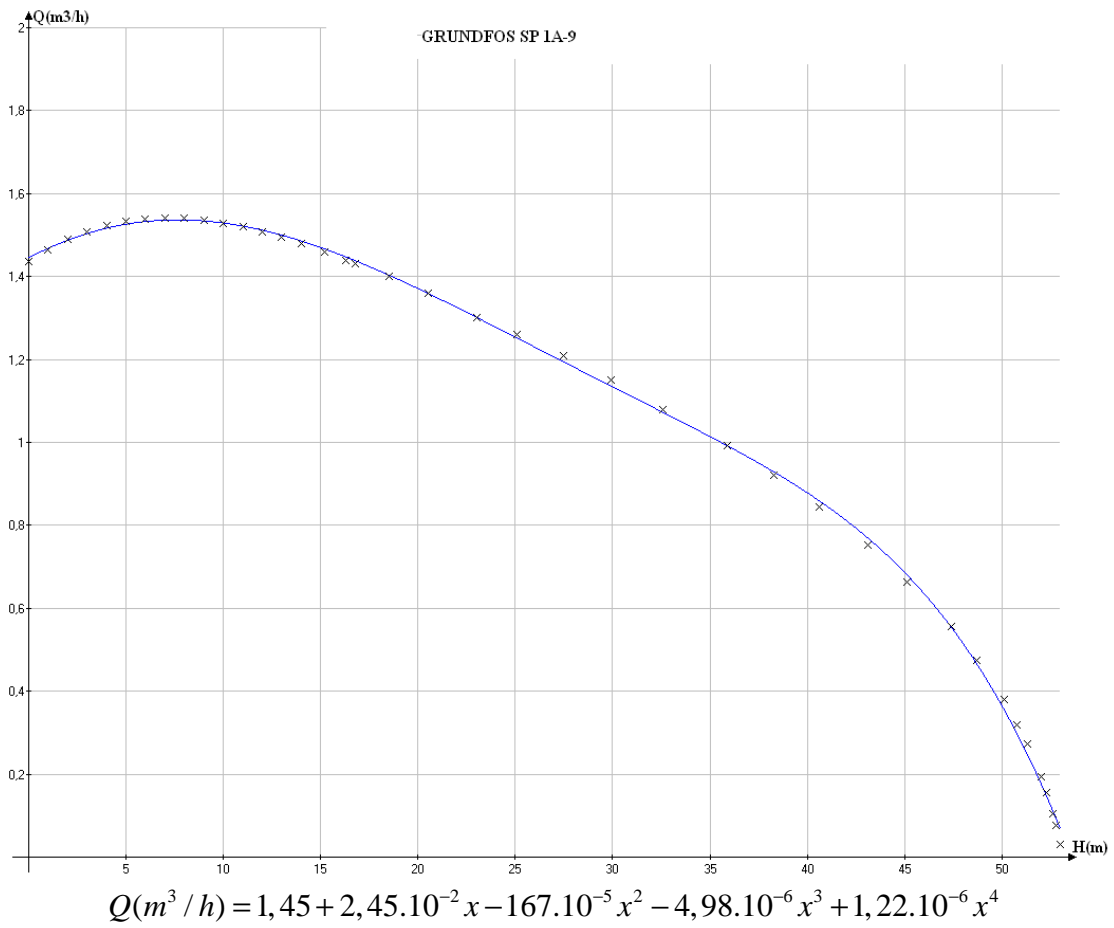
$$Q(m^3 / h) = 0,669 - 7,67 \cdot 10^{-3} x + 1,71 \cdot 10^{-3} x^2 - 113 \cdot 10^{-6} x^3 + 2,55 \cdot 10^{-6} x^4 - 1,92 \cdot 10^{-8} x^5$$

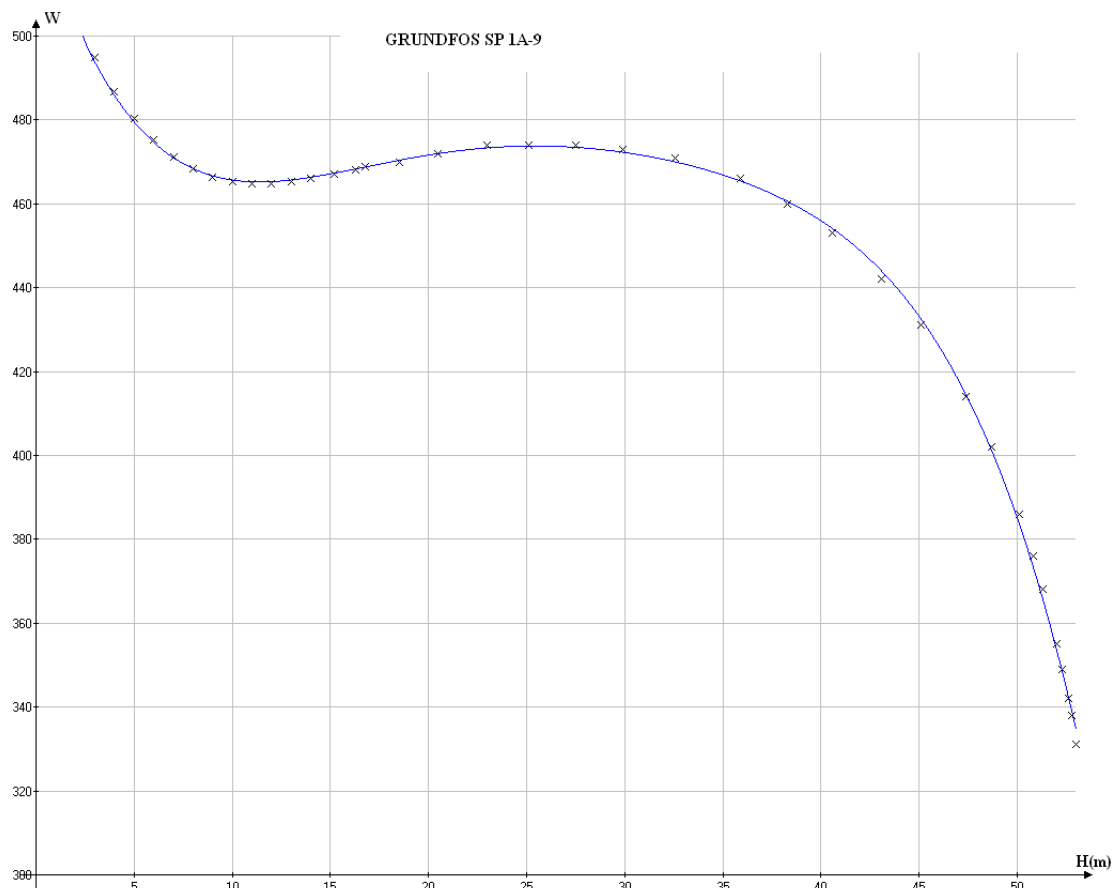




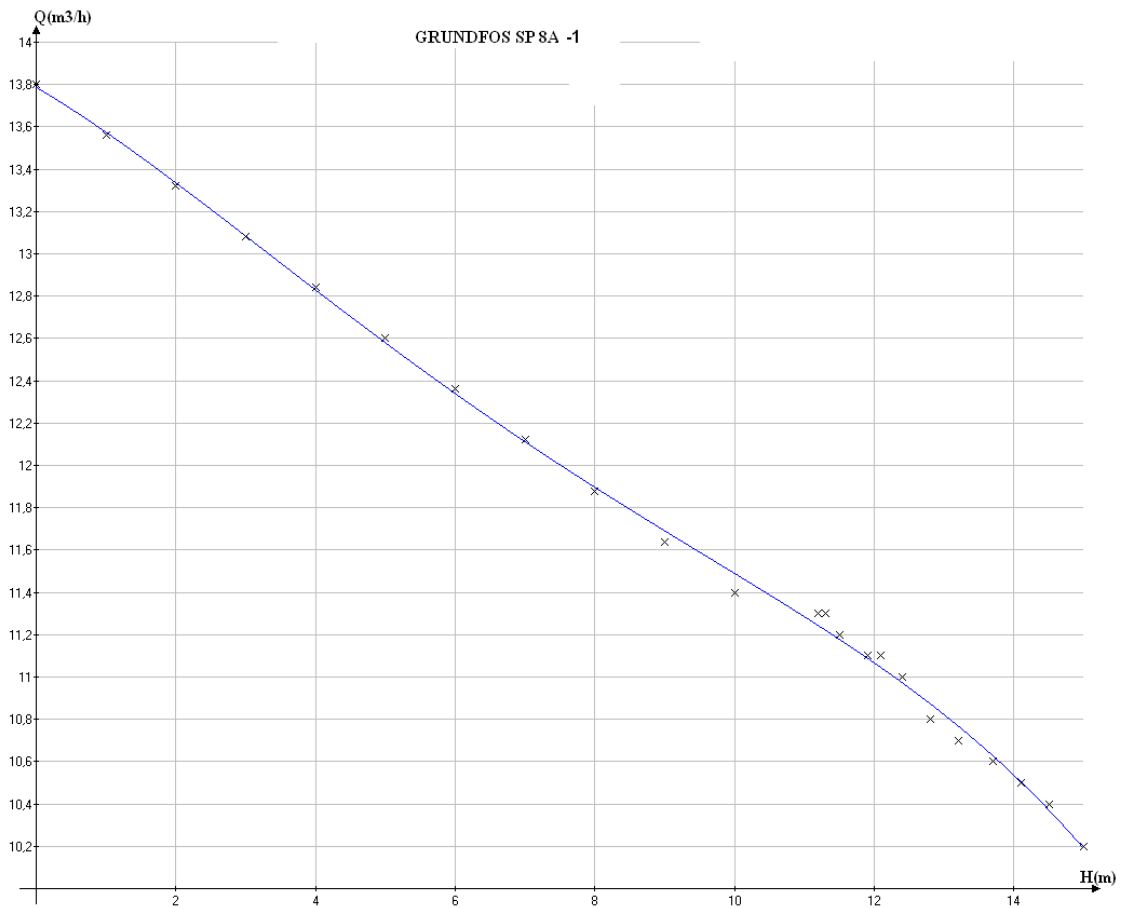
$$Q(m^3/h) = 1,27 - 0,0161x + 109 \cdot 10^{-5} x^2 - 5,46 \cdot 10^{-5} x^3 + 1,05 \cdot 10^{-6} x^4 - 7,15 \cdot 10^{-9} x^5$$



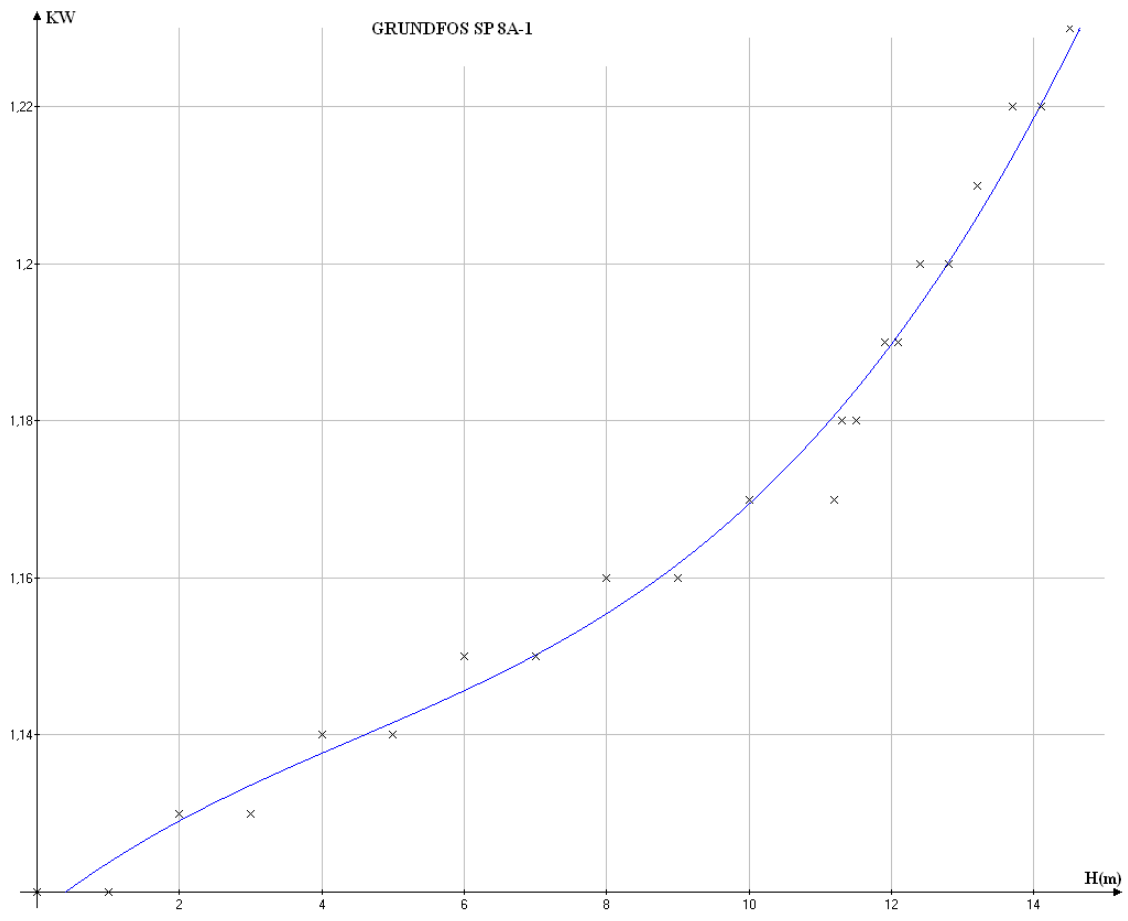




$$P(W) = 531 - 16x + 1,41x^2 - 555 \cdot 10^{-4} x^3 + 103^{-5} x^4 - 7,58 \cdot 10^{-6} x^5$$



$$Q(m^3 / h) = 13,8 - 0,195x - 2,04 \cdot 10^{-2} x^2 + 276 \cdot 10^{-5} x^3 - 107 \cdot 10^{-6} x^4$$



$$P(KW) = 1,12 + 716 \cdot 10^{-5} x - 737 \cdot 10^{-6} x^2 + 5,75 \cdot 10^{-5} x^3 - 3,19 \cdot 10^{-7} x^4$$

DAVID CRUZ BALDÁN