

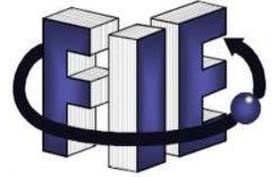


# U.M.S.N.H

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

---

---



**SISTEMA DE BOMBEO**  
**DE AGUA FOTOVOLTAICO**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

**P R E S E N T A**  
**MIGUEL ÁNGEL CORTÉZ ALCANTAR**

**A S E S O R**  
DR. EN INGENIERÍA ELÉCTRICA  
**GILBERTO GONZÁLEZ ÁVALOS**

**MORELIA, MICH.**  
**OCTUBRE 2018**

---

## **Agradecimientos**

A mis padres Maximiliano Cortéz Ambríz y Fidelia Alcantar Navarro por sus consejos, por haberme apoyado en todo momento, y por haber creído en mi capacidad para concluir esta etapa de mi vida.

A mis hermanos que siempre estuvieron motivándome para no rendirme y seguir adelante.

A mis amigos que, a su manera, no dejaban de apoyarme en este largo y difícil camino

A mi asesor que siempre estuvo dispuesto a resolver mis dudas y apoyarme en la realización de esta tesis.

## **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado principalmente a mis padres y hermanos por haber creído en mí para lograr terminar una carrera profesional, sin su apoyo nada hubiera sido posible. A los profesores que tuve el honor de conocer, y que contribuyeron con un poco de su conocimiento para lograr mi formación como ingeniero electrónico en esta facultad.

---

## Resumen

La finalidad de este trabajo es el diseño de un sistema de extracción de agua de pozo profundo para ser utilizada por la población, teniendo como objetivo primordial el consumo humano, pero no estando limitado a este fin ya que existen diferentes formas de aprovechar esta tecnología, además del objetivo ya mencionado. Se dará a conocer o en su caso complementar la información existente, de cómo se pueden aprovechar las energías alternativas, en este caso la proveniente del sol y del cómo es aprovechada mediante las celdas fotovoltaicas.

El bombeo fotovoltaico es una de las aplicaciones de la energía solar de mayor crecimiento en la actualidad. En muchos casos no se dispone de un sistema de alimentación de red eléctrica para los sistemas de riego, agua potable y, en general para el bombeo de agua. En estos casos, el bombeo solar es una solución ecológica, económica y perfectamente viable.

Las instalaciones de bombeo solar consisten básicamente en el reemplazo de la fuente tradicional de energía eléctrica (red eléctrica nacional), por un sistema de generación de energía eléctrica a través de paneles solares. Las bombas que se utilizan en estas instalaciones son especiales para el uso en sistemas de energía solar, ya que están diseñadas para aprovechar la energía generada por los paneles fotovoltaicos con gran eficiencia.

Las aplicaciones del bombeo solar no se limitan a instalaciones en zonas rurales, ranchos y explotaciones agrícolas o ganaderas, donde no hay acceso a la red eléctrica. También son una excelente solución para reducir el consumo de energía eléctrica en instalaciones domésticas para la alimentación de bombas en sistemas de almacenamiento de agua de aljibe a tinaco. En estos casos, el sistema solar es una opción alterna de alimentación de energía para no depender de la alimentación de la red eléctrica por completo, con lo que se reducen los costos de consumo de electricidad y se aumenta la confiabilidad de la instalación [1].

## Palabras clave

Sistema, diseño, bombeo, inversión, paneles

---

## **Abstract**

The purpose of this work is the design of a deep well water extraction system to be used by the population, having as its main objective human consumption, but not being limited to this purpose since there are different ways to take advantage of this technology, in addition to the aforementioned objective. It will be announced or, where appropriate, complement the existing information on how alternative energies can be harnessed, in this case that coming from the sun and how it is used through photovoltaic cells.

Photovoltaic pumping is one of the fastest growing applications of solar energy today. In many cases, there is no power grid system available for irrigation systems, drinking water and, in general, for pumping water. In these cases, solar pumping is an ecological, economical and perfectly viable solution.

The solar pumping facilities consist basically of the replacement of the traditional source of electric power (national electricity grid), by a system of electric power generation through solar panels. The pumps used in these installations are special for use in solar energy systems, as they are designed to take advantage of the energy generated by the photovoltaic panels with great efficiency.

The applications of solar pumping are not limited to installations in rural areas, ranches and agricultural or livestock farms, where there is no access to the electricity grid. They are also an excellent solution to reduce the consumption of electrical energy in domestic installations for the feeding of pumps in water storage systems from cistern to cistern. In these cases, the solar system is an alternative option of power supply so as not to depend on the power supply of the electric grid completely, which reduces the costs of electricity consumption and increases the reliability of the installation [1].

## **Keywords**

System, design, pumping, investment, panels

---

# Índice

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>III</b>
<b>PALABRAS CLAVE</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>KEYWORDS</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1.-LOS SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA .....	2
1.2.-OBJETIVO .....	3
1.3.-JUSTIFICACIÓN .....	3
1.4.-METODOLOGÍA .....	4
1.5.-CONTENIDO DE LA TESIS .....	4
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA</b> .....	<b>5</b>
2.1.-INTRODUCCIÓN .....	6
2.2.-FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES.....	6
2.2.1.- Energía mareomotriz .....	6
2.2.1.1 Energía mareomotriz dinámica .....	7
2.2.1.2 Presa de marea .....	8
2.2.2.-Energía hidráulica .....	8
2.2.3.-Energía eólica .....	10
2.2.4.-Energía geotérmica.....	12
2.2.5.-Energía de biomasa .....	14
2.2.6.-Energía solar.....	15
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA</b> .....	<b>18</b>
3.1.-INTRODUCCIÓN .....	19
3.2.-BOMBEO MANUAL .....	19
3.3.-SISTEMA DE BOMBEO POR COMBUSTIÓN INTERNA.....	21
3.4.-SISTEMA DE BOMBEO ELÉCTRICO.....	21
3.4.1.-Tipos de bombas .....	22

---

3.5.-SISTEMA DE BOMBEO SOLAR .....	24
3.5.1.-Introducción .....	24
3.5.2.-Aplicaciones de un sistema de bombeo fotovoltaico .....	25
3.5.3.-Descripción del sistema de bombeo fotovoltaico .....	27
3.5.4.-Descripción de los componentes del sistema de bombeo fotovoltaico.....	27
3.5.4.1.-Paneles fotovoltaicos .....	27
3.5.4.2 Bomba solar sumergible .....	31
3.5.4.3 Depósito .....	32
3.5.4.4 Cable de alimentación para bomba sumergible .....	32
3.5.4.5 Tubería .....	33
<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE PANELES FOTOVOLTAICOS .....</b>	<b>34</b>
4.1.-INTRODUCCIÓN .....	35
4.2.-CARGA ESTÁTICA .....	38
4.3.-CARGA DINÁMICA .....	38
4.4.-DISEÑO .....	39
4.5.-PRESUPUESTO DEL PROYECTO .....	41
4.6.-AHORRO ECONÓMICO Y DE ENERGÍA CON ESTE PROYECTO .....	42
<b>CAPÍTULO 5</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>45</b>
5.1.-CONCLUSIONES .....	45
5.2.-RECOMENDACIONES .....	46
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>47</b>

---

---

## Lista de figuras

Figura 1. 1 Sistemas de bombeo de agua .....	1
Figura 2. 1 Fuentes renovables de energía .....	5
Figura 2. 2 Generador de corriente de marea.....	7
Figura 2. 3 Turbina de energía dinámica.....	7
Figura 2. 4 Presa de marea .....	8
Figura 2. 5 Presa de embalse.....	9
Figura 2. 6 Turbina Kaplan (De casi 2000 KW de potencia) .....	9
Figura 2. 7 Turbina Francis (Hasta 8000 KW de potencia) .....	10
Figura 2. 8 Turbina Pelton (Potencia nominal de casi 5000 KW de potencia) .....	10
Figura 2. 9 Parque eólico.....	11
Figura 2.10 Esquema aerogenerador.....	11
Figura 2. 11 Ubicación de fuente geotérmica .....	13
Figura 2. 12 Productor de biomasa.....	14
Figura 2. 13 Proceso de la biomasa .....	15
Figura 2. 14 Sistema solar implementado en casa habitación .....	16
Figura 3. 1 Diferentes sistemas de bombeo de agua.....	18
Figura 3. 2 Bomba manual de émbolo .....	20
Figura 3. 3 Bomba manual de cuerda .....	20
Figura 3. 4 Bombeo con motobomba .....	21
Figura 3. 5 Bombeo eléctrico en pozo profundo.....	22
Figura 3. 6 Bomba eléctrica de uso moderado.....	22
Figura 3. 7 Bomba de chorro para pozos poco profundos.....	23
Figura 3. 8 Bomba de chorro para pozos profundos .....	23
Figura 3. 9 Bombeo fotovoltaico aplicado a riego.....	26
Figura 3. 10 Sistema de bombeo fotovoltaico aplicado a consumo humano .....	26
Figura 3. 11 Esquema de un sistema de bombeo fotovoltaico .....	27
Figura 3. 12 Panel solar conformado por 60 celdas .....	29
Figura 3. 13 Fococelda .....	30
Figura 3. 14 Efecto fotoeléctrico .....	31
Figura 3. 15 Bomba solar sumergible .....	31
Figura 3. 16 Depósito .....	32
Figura 3. 17 Cable para bomba sumergible.....	33

---

Figura 3. 18 Tubería .....	33
Figura 4. 1 Sistema de bombeo fotovoltaico .....	34
Figura 4. 2 Radiación solar en México .....	36
Figura 4. 3 Radiación mensual en zona de colocación del equipo .....	37
Figura 4. 4 Radiación anual promedio de la zona de colocación .....	37
Figura 4. 5 Bomba solar .....	40
Figura 4. 6 Gráfico de funcionamiento de la bomba .....	41
Figura 4. 7 Diagrama final del proyecto .....	44

---

## Lista de tablas

Tabla 3. 1 Comparación entre sistemas de bombeo .....	25
Tabla 4. 1 Presupuesto del proyecto .....	42
Tabla 4. 2 Ahorro con la implementación del proyecto .....	42
Tabla 4. 3 Comparación entre motobomba y bomba solar .....	43

---

# Capítulo 1

## Introducción



Figura 1. 1 Sistemas de bombeo de agua

---

## **1.1.-Los sistemas de bombeo de agua**

Un equipo de bombeo consiste de dos elementos, una bomba y su accionador el cual puede ser un motor eléctrico, motor de combustión interna, etc. El accionador entrega energía mecánica y la bomba la convierte en energía cinética que un fluido adquiere en forma de presión, de posición y de velocidad (Figura 1.1) [2].

En la actualidad siguen siendo utilizados diferentes métodos para la obtención del agua de los depósitos donde se encuentra que van desde la utilización de combustibles fósiles hasta la utilización de energías alternativas o simplemente la fuerza humana para la obtención del líquido. Un sistema muy utilizado en la actualidad en partes alejadas o simplemente para ahorrar en energía es el bombeo manual que básicamente utiliza la fuerza que es aplicada por las personas para hacer funcionar su mecanismo que puede ser un émbolo que funciona por medio de una palanca o una cuerda con pistones atados a cierta distancia uno de otro para hacer circular el agua hacia donde es requerida.

El bombeo eólico es otro de los sistemas que se utilizan en lugares alejados ricos en viento o que por lo menos se tiene el necesario para hacer funcionar las bombas para que proporcionen el agua a la población, este sistema es similar al anterior ya que su mecanismo de bombeo también es un émbolo pero a diferencia del anterior es accionado por la energía del aire, no de forma manual.

El bombeo por medio de combustibles fósiles es una herramienta muy necesaria y utilizada sobre todo en el campo ya que su precio no es tan elevado y gracias a esto son de más fácil acceso para la mayoría de las personas, además de que cumplen con la potencia que es requerida para mover grandes cantidades de líquido por largos periodos de tiempo, según sus especificaciones, aunque producen emisiones contaminantes y producen demasiado ruido al ponerlas en funcionamiento.

El bombeo eléctrico es un sistema muy utilizado para el bombeo de agua, ya que sus ventajas son muchas en comparación con los sistemas actuales, por ejemplo, tiene bastante potencia para mover grandes cantidades de agua dejando atrás los sistemas manuales pero con la ventaja de que el trabajo lo realiza con menos ruido en comparación con los de combustión interna, pero en muchos casos para producir la electricidad que consumen estos motores es necesario la utilización de materiales altamente contaminantes que han llevado a la búsqueda de nuevas alternativas para revertir poco a poco el daño que se le ha causado al medio ambiente, es así como las energías alternativas ganan cada vez más terreno y sus avances son cada vez mayores, el bombeo solar es un ejemplo de ello, ya que es utilizado en extracción de agua de pozo profundo para consumo humano, ganadería y riego agrícola.

---

## **1.2.-Objetivo**

El objetivo primordial de este trabajo es conocer el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos de bombeo con el fin de poder diseñar e implementar un proyecto de energía sustentable, logrando con esto reducir las emisiones de gases contaminantes y disminuir los costos que estos sistemas generan.

## **1.3.-Justificación**

Según Sergio Dondisch, especialista en materia de purificación y suministro de agua, en la actualidad hay más de 663 millones de personas que viven sin suministro de agua potable cerca de su hogar, lo que les obliga a pasar horas trasladándose a fuentes lejanas, así como a hacer frente a diversos problemas de salud [3].

Satisfacer las necesidades energéticas de pueblos o casas alejadas de la red eléctrica facilitándoles el trabajo de día con día tener que proveer este vital líquido a sus familias, la mayoría de veces esta acción es realizada por la mujeres para realizar las labores del hogar ya que los hombres de la familia tienen que salir diariamente a trabajar y conseguir el sustento para su familia. En algunos lugares se cuenta con pozos que sirven para abastecer las necesidades del pueblo pero el agua es extraída manualmente, por animales o con motobombas que posiblemente les solucione el problema pero a costa de gastar demasiada energía y teniendo un gasto económico considerable en combustible. Además, de contaminar el entorno en el que están viviendo.

Otro método que se está utilizando en las poblaciones alejadas es el de colocar sistemas captadores de lluvia en superficies elevadas y por medio de la gravedad distribuirla a las familias que conforman el pueblo, no cabe duda que este método es de gran utilidad para estas personas pero solamente para servicios, animales, riego y tal vez para consumo humano pero solamente teniendo la debida precaución de purificarla. Todos estos métodos son buenos pero no tiene comparación a un sistema de bombeo fotovoltaico, ya que es un sistema relativamente fácil de instalar y operar para tener agua con tan solo abrir la llave en el lugar donde la necesitamos, no importa que tan alejado se encuentre dejando de lado el esfuerzo físico y en algunos casos el gasto económico constante que los otros sistemas necesitan. Estas son solo algunas de las ventajas que se pueden obtener al instalar un sistema de bombeo solar en nuestras poblaciones o donde se tenga la necesidad de un sistema de este tipo.

Es de gran importancia mencionar que la utilización de energías alternativas es de gran ayuda para tratar de reducir el daño que se le ha ocasionado durante tantos años al medio ambiente mediante la utilización de combustibles fósiles. La energía solar es una de las más

---

importantes energías con las que se cuenta en nuestro país ya que en la mayoría del territorio nacional se cuenta con una cantidad suficiente de irradiación solar para que los sistemas de paneles fotovoltaicos funcionen correctamente donde sean instalados. Otra de las grandes ventajas de estos sistemas es su fácil mantenimiento que con el cuidado pertinente el mismo usuario puede realizarlo, obteniendo un ahorro significativo por este concepto ya que no tendría la necesidad de contratar un servicio externo para efectuar esta tarea.

## **1.4.-Metodología**

La investigación es una parte fundamental de todo proyecto, por tal motivo es necesaria la lectura de una amplia bibliografía referente a los sistemas fotovoltaicos aplicados a bombeo de agua para tener una noción más amplia de las características y el funcionamiento de dichos paneles. Cubiertos estos requisitos se procederá al diseño del sistema tomando en cuenta las necesidades a cubrir por este proyecto de bombeo.

## **1.5.-Contenido de la tesis**

En el capítulo 1.- se da una pequeña introducción de los sistemas de bombeo utilizados en la actualidad.

En el capítulo 2.- se describen las fuentes de energía renovable más utilizadas por la humanidad actualmente.

En el capítulo 3.- se habla más ampliamente de los sistemas de bombeo; combustión interna, eléctricos y los provenientes de paneles fotovoltaicos.

En el capítulo 4.- diseño del sistema de bombeo mediante paneles fotovoltaicos según las especificaciones requeridas.

En el capítulo 5.- se presentan las conclusiones a las que se llegaron al finalizar el proyecto y sus respectivas recomendaciones para que en consultas futuras no se tengan tantos problemas a la hora de realizar un proyecto similar.

---

# Capítulo 2

## Fuentes Renovables de Energía



Figura 2. 1 Fuentes renovables de energía

---

## 2.1.-Introducción

Las Fuentes de energía renovables (Figura 2.1) son aquellas que, tras ser utilizadas, se pueden regenerar de manera natural o artificial. Algunas de estas fuentes renovables están sometidas a ciclos que se mantienen de forma más o menos constante en la naturaleza [4].

En la actualidad estas alternativas están siendo aprovechadas para producir energía, pero no todas por igual, lamentablemente aún hace falta mucha infraestructura para poder gozar de la energía producida por la totalidad de estos métodos. Por el momento hay que aprovechar los avances que se han logrado, aunque la inversión inicial para implementar sistemas basados en estas tecnologías sea considerable. Estos ayudan a disminuir el consumo de energía eléctrica, disminución que se traduce en ahorro económico. Pero como la tecnología avanza a gran velocidad, no es de extrañar que en pocos años el consumo de energía de las personas sea en su mayoría de fuentes de este tipo.

## 2.2.-Fuentes de energía renovables

Existen varias fuentes de energía renovables, como son:

- Energía mareomotriz (mareas)
- Energía hidráulica (embalses)
- Energía eólica (viento)
- Energía geotérmica (calor del subsuelo)
- Energía de la biomasa (vegetación)
- Energía solar (Sol)

### 2.2.1.- Energía mareomotriz

El mar nos proporciona una cantidad enorme de energía, y la mayoría de ella es desaprovechada, ya que no existe el suficiente avance tecnológico para ser utilizada por la humanidad, sin embargo los avances logrados hasta el momento para generar energía limpia por medio del mar han sido aceptables, por ejemplo una de las más conocidas o utilizadas es la obtenida de mareas, este método se sirve de la atracción que ejerce el sol y la luna sobre los océanos, utilizando las corrientes que se generan con las diferencias de nivel para mover turbinas submarinas (Figura 2.2), este procedimiento es similar a lo que ocurre en los generadores eólicos pero evidentemente adaptado para el agua.



Figura 2. 2 Generador de corriente de marea

### 2.2.1.1 Energía mareomotriz dinámica

La energía mareomotriz dinámica es una tecnología de generación teórica que explota la interacción entre las energías cinética y potencial en las corrientes de marea por medio de turbinas de energía dinámica (Figura 2.3). Se propone que presas muy largas se construyan desde las costas hacia afuera en el mar o el océano, sin encerrar un área. Se introducen por la presa diferencias de fase de mareas, lo que lleva a un diferencial de nivel de agua importante en aguas marinas ribereñas poco profundas con corrientes de mareas que oscilan paralelas a la costa, como las que encontramos en el Reino Unido, China y Corea. Cada represa genera energía en una escala de 6 a 17 GW.



Figura 2. 3 Turbina de energía dinámica

---

---

### 2.2.1.2 Presa de marea

Las presas de marea (Figura 2.4) hacen uso de la energía potencial que existe por la diferencia de altura entre las mareas altas y bajas. Las presas son esencialmente los diques en todo el ancho de un estuario, y sufren los altos costes de la infraestructura civil, la escasez mundial de sitios viables y las cuestiones ambientales [5].

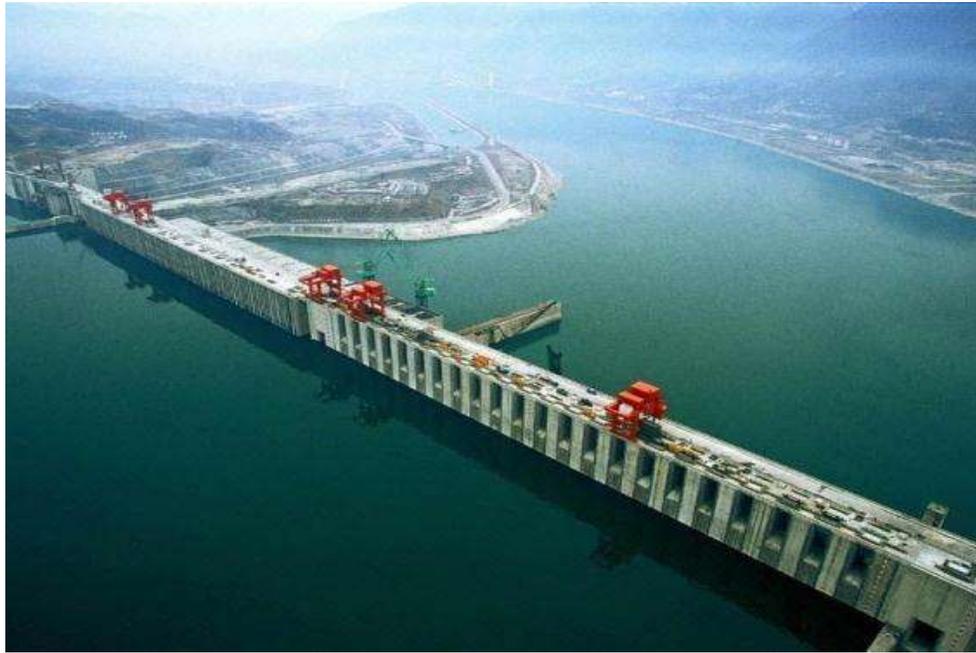


Figura 2. 4 Presa de marea

### 2.2.2.-Energía hidráulica

La denominada energía hidráulica utiliza muchos conceptos que son derivados del estudio de la Física, ya que está principalmente basada en el aprovechamiento de las energías potencial y cinética presente en las distintas corrientes de agua, en los saltos de agua, presas de embalse (Figura 2.5) o inclusive en las diferencias entre mareas.

La energía hidráulica funciona por medio de la gravedad y el ciclo cerrado del agua. Para ello se requieren turbinas que generan la fuerza para poder generar energía a través del agua.



Figura 2. 5 Presa de embalse

Existen diferentes tipos de turbinas que se usan en centrales hidroeléctricas y su uso depende de la medición del salto hidráulico (distancia vertical entre la presa superior y la turbina) en la planta y el caudal de agua que se desliza contra la turbina. Los más comunes son **Kaplan** (Figura 2.6), **Francis** (Figura 2.7) y **Pelton** (Figura 2.8) [6].

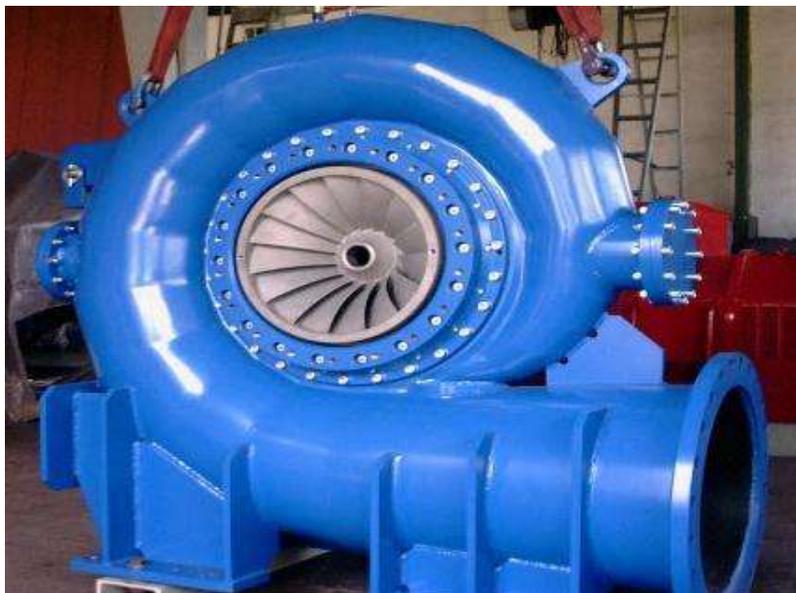


Figura 2. 6 Turbina Kaplan (De casi 2000 KW de potencia)



Figura 2. 7 Turbina Francis (Hasta 8000 KW de potencia)



Figura 2. 8 Turbina Pelton (Potencia nominal de casi 5000 KW de potencia)

### 2.2.3.-Energía eólica

La energía eólica es la forma de energía renovable que se obtiene al explotar la fuerza del viento. En concreto es la capacidad de un sistema para transformar la fuerza que tiene el viento en electricidad. Esta energía se explota a través de un equipo que se localiza comúnmente en parques eólicos (Figura 2.9), llamado aerogenerador, compuesto por una turbina eólica situada en la parte superior de una torre de soporte y un generador eléctrico, cuyo principio de funcionamiento es el mismo que el de los antiguos molinos de viento.



Figura 2. 9 Parque eólico

Su funcionamiento no es tan difícil de entender cómo se puede ver en la (Figura 2.10) Las palas están conectadas a este generador o rotor, a su vez conectado a un eje que envía la energía de rotación al generador eléctrico. Este generador utiliza algunos imanes y propiedades de inducción electromagnética para producir un voltaje eléctrico y, por lo tanto, energía eléctrica.

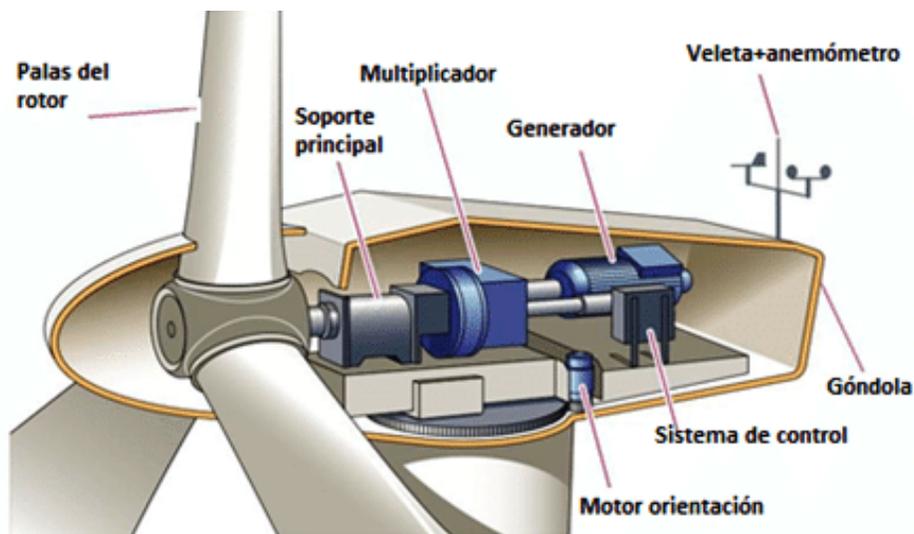


Figura 2.10 Esquema aerogenerador

---

Debido a la desaceleración que sufre el viento a través del aerogenerador, sólo el 59% de la energía cinética se puede convertir en energía mecánica.

La energía eólica suministra actualmente más del 3% del consumo mundial de electricidad y se espera que para el 2020 se supere el 5%. La potencia eólica instalada en el mundo al cierre del 2015 superó los 400,000 MW instalados, según estimaciones provisionales de la consultora Navigant\_BTM, que prevé que crecerá más del 40% hasta 2019, cuando sobrepasará los 600,000 MW.

Utilizar este recurso para la generación de energía sustentable trae muchos beneficios al medio ambiente pues al tratarse de una fuente de energía renovable no contribuye con el deterioro del planeta, gracias a que no emite gases tóxicos al momento de la generación de la electricidad.

Para la colocación de turbinas eólicas no es necesario contar con un espacio exageradamente grande en comparación con las celdas fotovoltaicas que si lo necesitan y una vez concluida la vida útil de las turbinas o si se decidiera retirar del lugar dichos aparatos el espacio que estaban ocupando no se degrada y puede volver a ser utilizado, ya que no pierde su propiedades [7].

#### **2.2.4.-Energía geotérmica**

Se define como la energía generada por fuentes geológicas de calor. Este tipo de energía se basa en los principios de la energía geotérmica, o en la explotación del calor natural de la tierra. Este calor es liberado naturalmente por los procesos de descomposición nuclear de los elementos radiactivos dentro del núcleo, el manto y la corteza terrestre, algunos de estos elementos son uranio, torio y potasio que están genuinamente contenidos en las áreas más internas de nuestro planeta.

En el interior de la tierra, el núcleo es una masa incandescente que irradia calor desde el interior hacia el exterior, motivo por el cual según profundicemos en la tierra la temperatura irá aumentando en una progresión de 2 a 4 °C de temperatura por cada 100 metros.

Pero el interior de la tierra está formado por distintas capas, alcanza la profundidad suficiente y el agua se calienta, ésta experimenta un cambio de estado pasando a vapor de agua que saldrá a fuerte presión hacia la superficie, bien en forma de chorro o fuentes termales (Figura 2.11).



Figura 2. 11 Ubicación de fuente geotérmica

El potencial de producción de energía geotérmica ( $60 \text{ mW/m}^2$ ) es bastante inferior a la del sol ( $340 \text{ W/m}^2$ , aproximadamente). Sin embargo, este potencial asciende, en algunos lugares, a  $200 \text{ mW/m}^2$  y crea una acumulación de calor en los acuíferos que puede ser explotado industrialmente. El ritmo explotación es siempre superior a la contribución del flujo de calor, y se debe tener cuidado de no densificar demasiado las zonas de explotación que llevarían decenas o centenas de años para recuperarse. El coste de la perforación está creciendo muy rápidamente con la profundidad.

La energía geotérmica a baja temperatura ( $50$  a  $100^\circ\text{C}$ ) se utiliza principalmente para calefacción, a través de redes de calor, y de manera más marginal para la calefacción de invernaderos o para la acuicultura. Ya en 1995, la capacidad instalada mundial fue de  $4,1 \text{ GW}$  de energía térmica. También puede referirse el uso de bombas de calor geotérmicas que, utilizando las napas subterráneas de pequeña profundidad o “*sondas geotérmicas*”, con perforaciones de  $50$  a  $100$  metros permiten recuperar las calorías del suelo suficientes para calefacción de una habitación. Con la crisis del petróleo, el interés por la energía geotérmica ha crecido en todo el mundo, y su aplicación para su uso como fuente de energía eléctrica crece en torno a un  $9\%$  cada año [8].

---

### 2.2.5.-Energía de biomasa

La energía a través de la biomasa es básicamente utilizar la materia orgánica como fuente energética. Esta materia orgánica, es heterogénea. Pueden ser desde desechos de agricultura (huesos de aceituna, cáscaras de frutos secos) a restos de madera, como corteza o aserrín (Figura 2.12).



Figura 2. 12 Productor de biomasa

Se trata de un tipo de producción de energía más barata, renovable y con menos emisiones por su forma de combustión (Figura 2.13). Además, ayuda a mantener limpios los bosques por lo que ayuda en la prevención de incendios. Se utilizan calderas donde el material se quema poco a poco, lo que genera también cenizas que pueden ser usadas posteriormente como abono.

Generalmente para generar calor, y a nivel industrial en ocasiones para electricidad, aunque es un proceso más laborioso. Se pueden instalar calderas de biomasa en las viviendas, para obtener calefacción (por suelo radiante) y calentar agua.



Figura 2. 13 Proceso de la biomasa

El empleo de la biomasa como fuente alternativa de energía limpia se ha visto considerablemente ayudado por una serie de factores:

- Incremento del precio del petróleo.
- Crecimiento de la producción agrícola.
- El cambio climático.
- Aumento de la preparación técnica y el conocimiento científico en la investigación de renovables.
- Escenario económico propicio para la explotación de plantas de biomasa.
- Trabas burocráticas a otro tipo de promoción de energías renovables.

Por estas razones, son muchos los países que optan por hacer uso de centrales de biomasa, siendo Europa el principal foco de actuación con las cinco centrales más grandes del mundo en Inglaterra, Polonia y tres en Finlandia [9].

### 2.2.6.-Energía solar

La energía solar es aquella que aprovecha la radiación de las partículas de luz de sol para producir energía. Se trata de una fuente de energía totalmente limpia, que no necesita del uso de reacciones químicas ni provoca ningún tipo de residuos. Además, se trata de una energía renovable, esto es, la energía del sol va a estar presente eternamente, o al menos,

---

durante todavía mucho miles de millones de años. En definitiva, se trata de una energía limpia, sostenible y renovable.



**Figura 2. 14 Sistema solar implementado en casa habitación**

La energía solar fotovoltaica se basa en el principio de que la energía contenida en las partículas de luz (los fotones) puede ser convertida en electricidad. Esto se logra a través del denominado proceso de conversión fotovoltaica (Figura 2.14).

La conversión directa de energía solar en electricidad se realiza a través de un material semiconductor (silicio, por ejemplo). No requiere partes móviles, combustible ni ruido. El elemento básico es la célula fotovoltaica: expuesta a la luz, absorbe la energía de los fotones de luz. Estos ponen en movimiento electrones que son atrapados por un campo eléctrico interno. Los electrones recogidos en la superficie de la celda generan una corriente eléctrica continua (CD).

El voltaje de salida de una célula fotovoltaica es bajo (0.6 V). Esta es la razón por la cual las células se colocan en series eléctricas, luego se encapsulan entre una placa de vidrio en la parte delantera y otro material a prueba de humedad en la parte posterior. Por lo tanto, forman un módulo fotovoltaico (producto que está disponible comercialmente). De acuerdo con las tecnologías y el tipo de uso que se hace de él, este módulo tiene un área de

---

superficie de 0.1 m<sup>2</sup> (10 W) a 1 m<sup>2</sup> (100 W), valores indicativos promedio, y proporciona voltajes de 12 V, 24 V o 48 V dependiendo de la aplicación.

A grandes rasgos podemos resumir que lo que ocurre es que, mediante la utilización de un dispositivo especialmente diseñado a tal efecto, se obtiene electricidad gracias al efecto fotoeléctrico de la luz solar. Generalmente, estos dispositivos consisten en una lámina metálica semiconductor que recibe el nombre de célula fotovoltaica [10].

---

# Capítulo 3

## Sistemas De Bombeo De Agua



Figura 3. 1 Diferentes sistemas de bombeo de agua

---

### **3.1.-Introducción**

Un sistema de bombeo (Figura 3.1) consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos. En un sistema típico, además de las tuberías que enlazan los puntos de origen y destino, son necesarios otros elementos. Algunos de ellos proporcionan la energía necesaria para el transporte: bombas, lugares de almacenamiento y depósitos. Otros son elementos de regulación y control: válvulas y equipos de medida.

La especificación básica que debe satisfacer un sistema de bombeo es el transporte de un caudal de un determinado fluido de un lugar a otro. Además, suele ser necesario que el fluido llegue al lugar de destino con una cierta presión, y que el sistema permita un rango de variación tanto del caudal como de la presión. El diseño de un sistema de bombeo consiste en el cálculo y/o selección de las tuberías, bombas, etc., que permitan cumplir las especificaciones de la forma más económica posible. De todas formas, aunque el dinero suele ser una parte muy importante al final de un diseño, para que esté correctamente realizado es necesario contemplar otros aspectos como la seguridad, fiabilidad, facilidad de mantenimiento, impacto ambiental y otros factores humanos, que en muchos casos quedan fuera del ámbito del presente estudio.

En cuanto a la operación de un sistema de bombeo, hay que tener en cuenta los sistemas de regulación y control que permitan obtener el caudal y la presión deseados, así como los problemas de cavitación, inestabilidades y transitorios que se puedan producir [11].

### **3.2.-Bombeo manual**

En este método no interviene ningún tipo de combustible o algo que produzca energía para mover el mecanismo de la bomba de émbolo (Figura 3.2), ya que su operación es manual y depende de la fuerza aplicada de las personas para su funcionamiento que es el siguiente: al subir la palanca, el émbolo baja, permitiendo la entrada del agua a través de los orificios. La arandela de cuero flexible se levanta por la presión que ejerce el agua. En el momento de bajar la palanca, la arandela de cuero también se baja sellando el paso del agua y permitiendo de esta forma acumular una columna de agua en el interior del tubo.

Al bajar y subir varias veces la palanca, el agua va subiendo poco a poco hasta alcanzar la salida. De esta forma se obtiene agua por bombeo [12].

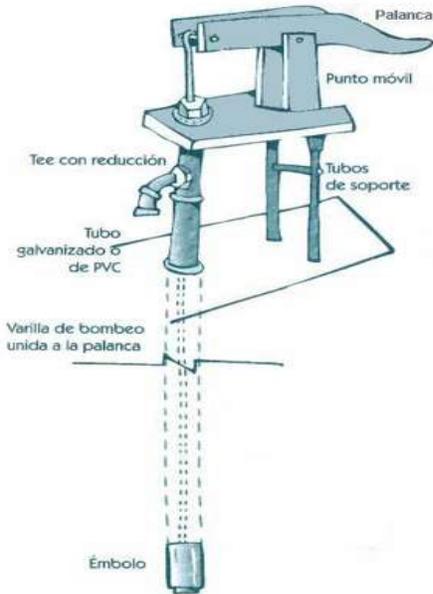


Figura 3. 2 Bomba manual de émbolo

Otro ejemplo es el bombeo por cuerda (Figura 3.3), se construye de una manera bastante simple. El usuario debe girar la manivela en una sola dirección para extraer agua. Este movimiento hará circular una cuerda la que lleva unos pistones atados, que servirán para empujar el agua mediante un tubo pvc hacia la superficie [13].

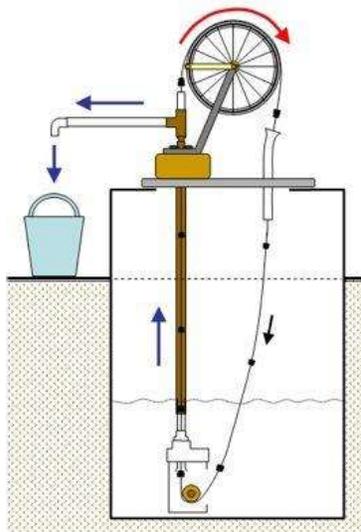


Figura 3. 3 Bomba manual de cuerda

---

### **3.3.-Sistema de bombeo por combustión interna**

En este tipo de bombeo es utilizada una bomba que debe su funcionamiento a combustibles fósiles como gasolina o diesel por mencionar algunos, a pesar de que es una fuente de contaminación para el medio ambiente, en la actualidad sigue siendo bastante utilizado, sobre todo para riego en agricultura. En estos sitios aún no es posible para sus usuarios migrar a otro sistema que sea más eficiente y amigable con el planeta, ya que con los que se cuenta en la actualidad son muy caros y no es posible adquirirlos con tanta facilidad como las motobombas (Figura 3.4) que cumplen con sus necesidades aunque sea a un costo mayor por la cantidad de combustible que requerirá a lo largo de su vida útil.



**Figura 3. 4 Bombeo con motobomba**

### **3.4.-Sistema de bombeo eléctrico**

Este tipo de bombeo consiste en la extracción de agua mediante la utilización de bombas eléctricas conectadas directamente a la red de alimentación local (Figura 3.2), este método es uno de los más utilizados en la actualidad para cubrir las necesidades de agua potable de la mayoría de la población que tiene acceso a este vital líquido. Otro uso importante a este tipo de equipos gracias a su trabajo silencioso, en comparación con las motobombas, es el de bombeo en casa habitación para la elevación del agua a los tinacos o para riego de jardines de los mismos hogares (Figura 3.5).



Figura 3. 5 Bombeo eléctrico en pozo profundo

### 3.4.1.-Tipos de bombas

Un **motor eléctrico** es una máquina eléctrica que **transforma energía eléctrica en energía mecánica** por medio de interacciones electromagnéticas.

Una **bomba** (Figura 3.6) es una máquina hidráulica generadora que transforma la energía mecánica con la que es accionada en energía hidráulica del fluido (agua) [14].

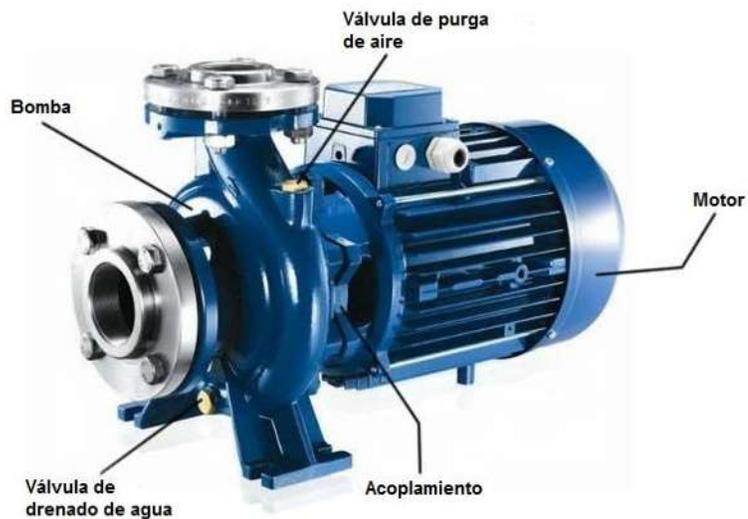


Figura 3. 6 Bomba eléctrica de uso moderado

Existen diferentes tipos de sistemas que pueden ser empleados para pozo profundo (Figura 3.7 Y Figura 3.8), para elegir el adecuado es necesario evaluar las necesidades que se desean cubrir con el sistema, esto para evitar problemas futuros de falta de abastecimiento de agua potable.

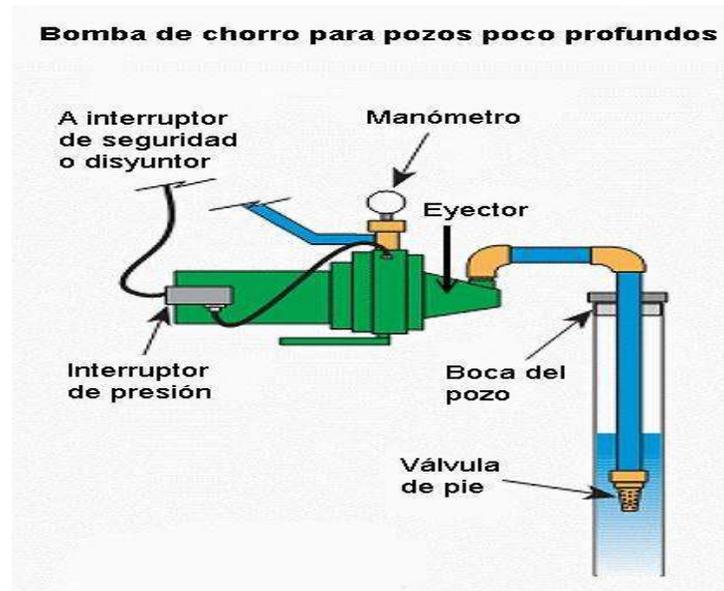


Figura 3.7 Bomba de chorro para pozos poco profundos

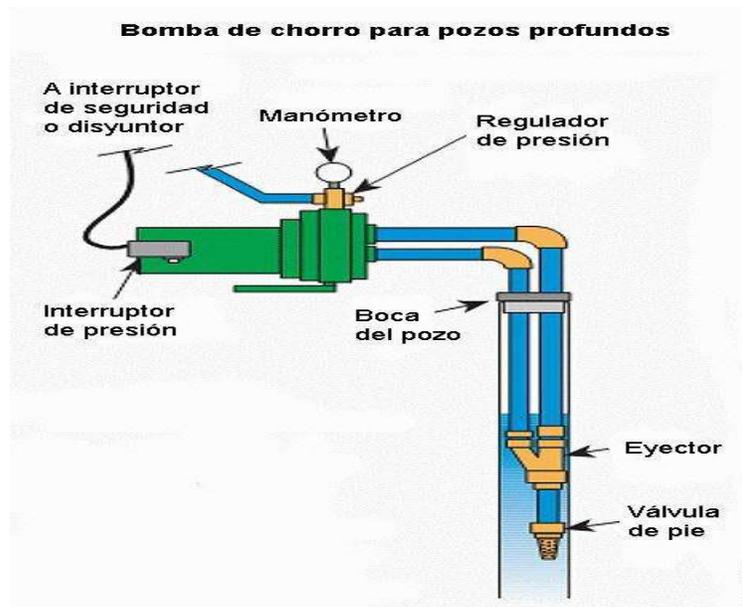


Figura 3.8 Bomba de chorro para pozos profundos

---

Se puede notar como estos dos tipos de bombas son similares, la diferencia es que, mientras en la que es especialmente para pozo profundo de lo que sería el cuerpo de la bomba salen dos tuberías que van conectadas al eyector que está colocado en la parte inferior antes de la válvula que va conectada al final de las mismas, en la de pozo poco profundo no es así, el eyector está unido al cuerpo de la bomba, de ahí sale solo una tubería que tiene como extremo final la válvula de pie, esta parte si colocada igual que la anterior.

## **3.5.-Sistema de bombeo solar**

### **3.5.1.-Introducción**

La obtención de agua del subsuelo ha sido la base de la supervivencia a lo largo de la historia de muchas sociedades instaladas en climas áridos y semiáridos alejados de ríos o lagos. Con el empleo de paneles solares fotovoltaicos para el bombeo de agua es posible hacerlo con una fuente de energía autóctona y renovable.

La extracción del agua subterránea requiere de una cantidad importante de energía. Es por ello por lo que hasta la revolución industrial, para el uso de volúmenes grandes de agua subterránea se emplearon sistemas mecánicos de impulso que empleaban fuentes de energía naturales (fuerza motriz de origen animal, molinos de viento etc...).

Con la aparición de la electricidad se dispuso de una fuente de energía abundante y de una serie de avances técnicos como son la bomba hidráulica eléctrica que hizo accesible el empleo del agua subterránea a muchas más personas.

Sin embargo actualmente urge la necesidad de reducir el consumo de electricidad proveniente de centrales que queman combustibles fósiles y de la fuerte dependencia que se crea en torno a ellos.

Con el empleo de paneles solares fotovoltaicos para el bombeo de agua subterránea se combinan los avances técnicos asociados a la electricidad (bombas eléctricas) junto con lo atractivo de contar con una fuente de energía autóctona y renovable.

El costo de la instalación es el único desembolso importante que se hará, ya que el mantenimiento que requiere este tipo de sistemas es mínimo y su funcionamiento, al emplear la energía del Sol, es gratuito. Es posible realizar instalaciones de cualquier tamaño. En la (Tabla 3.1) se hace mención de ventajas y desventajas entre diferentes sistemas de bombeo [15].

Tabla 3. 1 Comparación entre sistemas de bombeo

Comparación entre opciones de sistemas de bombeo		
Tipo de sistema	Ventajas	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.
Combustible	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.

### 3.5.2.-Aplicaciones de un sistema de bombeo fotovoltaico

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

- Aplicaciones de riego agrícola (Figura 3.9).
- Abastecimiento de agua en zonas rurales (figura 3.10).

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.



**Figura 3. 9 Bombeo fotovoltaico aplicado a riego**

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 Watt, suponiendo un periodo de utilización de 8 horas y una altura de elevación del agua de 20 metros [16].



**Figura 3. 10 Sistema de bombeo fotovoltaico aplicado a consumo humano**

### 3.5.3.-Descripción del sistema de bombeo fotovoltaico

Una instalación de bombeo fotovoltaico (Figura 3.11) está compuesta principalmente por un generador Fotovoltaico, 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 acoplo entre el generador Fotovoltaico 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 [16].

### 3.5.4.-Descripción de los componentes del sistema de bombeo fotovoltaico

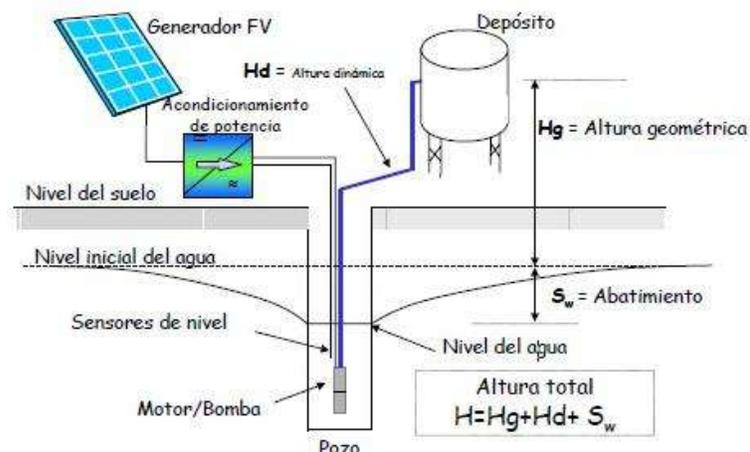


Figura 3. 11 Esquema de un sistema de bombeo fotovoltaico

#### 3.5.4.1.-Paneles fotovoltaicos

Un panel solar es un dispositivo para aprovechar la energía proveniente del sol. También se le puede llamar módulo solar.

Los paneles solares fotovoltaicos contienen un conjunto de células solares que convierten la luz en electricidad. Las células solares a veces se llaman células fotovoltaicas "luz-electricidad". Las células solares tienen el efecto fotovoltaico para absorber la energía del sol y hacer que la corriente eléctrica fluya entre dos capas cargadas en la dirección opuesta.

---

Se puede utilizar la denominación de panel solar tanto para la energía solar fotovoltaica como para la energía solar térmica. De este modo, distinguimos:

- Colectores solares. Utilizados en las instalaciones de energía solar térmica. Su función es elevar la temperatura de un fluido mediante la radiación solar.
- Paneles fotovoltaicos. Se trata de un conjunto de células fotovoltaicas cuya función es generar una corriente eléctrica.

Los colectores solares están diseñados para el aprovechamiento de la energía solar térmica. Su función es aprovechar la energía calorífica del sol para calentar un líquido.

Los colectores solares son un tipo de panel solar que se utiliza principalmente para calentar agua sanitaria o para calefacción, básicamente. Lo que se llama agua caliente sanitaria.

Los paneles solares se utilizan para las instalaciones fotovoltaicas en que se aprovecha la radiación del Sol para generar energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Se trata de paneles solares compuestos generalmente por silicio que aprovechan la energía de los fotones presentes en la luz para hacer saltar un electrón del silicio. Mediante la suma de varios de estos electrones se genera una corriente eléctrica.

Los paneles fotovoltaicos generan electricidad en forma de corriente continua. Si la instalación lo requiere, pueden ir acompañados de convertidores de corriente para obtener corriente alterna. El silicio cristalino y el arseniuro de galio son las elecciones típicas de materiales para las células solares. Los cristales de arseniuro de galio se crean especialmente para usos fotovoltaicos, pero los cristales de silicio también se producen para el consumo de la industria de la microelectrónica. El silicio policristalino tiene un menor porcentaje de conversión, pero a un costo reducido.

Los juegos de paneles solares pueden producir electricidad para lugares aislados que tienen buena iluminación. El cristal se corta en pequeños discos, se pule para eliminar el peligro de corte, los dopantes se insertan en los discos y los conectores metálicos se depositan en cada superficie: un pequeño conector en la superficie que mira al sol y un conector en el otro lado. Los paneles solares están contruidos con estas células cortadas en formas apropiadas, protegidas contra la radiación y otros daños al aplicar una capa de vidrio y cementadas sobre un sustrato (ya sea un panel rígido o flexible).

Las conexiones eléctricas se realizan en serie-paralelo para determinar el voltaje de salida total. La capa protectora debe ser un conductor térmico, para disipar el calor producido por la energía infrarroja del sol que no se convierte en energía eléctrica. Como el calentamiento

---

de la celda reduce la eficiencia operativa, es deseable reducir este calor. El resultado de esta construcción se llama panel solar [17].

Un panel solar es un conjunto de células fotovoltaicas (Figura 3.12). Aunque cada célula fotovoltaica proporciona una cantidad relativamente pequeña de energía, un conjunto de células solares diseminadas en un área grande puede generar suficiente energía para ser útil. Para recibir la mayor cantidad de energía, los paneles solares deben orientarse directamente al sol.

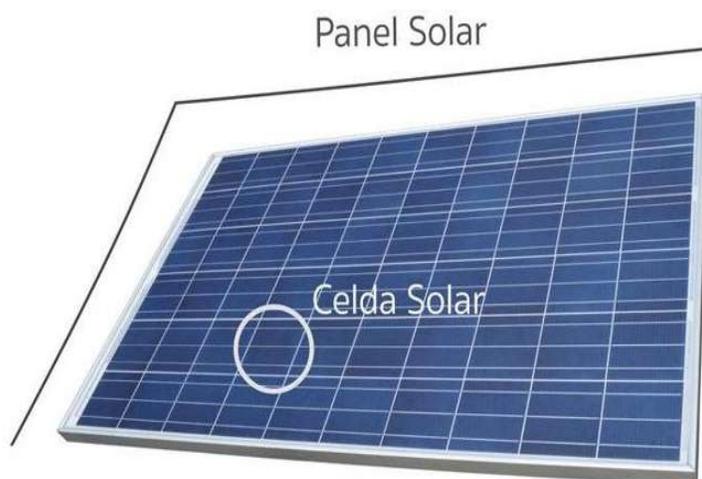


Figura 3. 12 Panel solar conformado por 60 celdas

Una celda fotovoltaica es un dispositivo electrónico que convierte la energía luminosa, la luz, en energía eléctrica (Figura 3.13). Es decir, absorbe los fotones de la luz para liberar electrones que puede usar en una corriente eléctrica. Los paneles solares no son más que varias celdas trabajando de forma conjunta para generar un mayor potencial eléctrico. Algunos paneles cuentan con 36 o más celdas.

Al menos 9 de cada 10 de los paneles fotovoltaicos que hay en el mercado están fabricados con células de silicio. Dentro de esta área se distinguen dos tipos fundamentales: los paneles con células monocristalinas o policristalinas. Aunque ambas partan del mismo elemento químico, los resultados de decantarse por un modelo o por otro no son los mismos.

Las células monocristalinas destacan por estar **fabricadas con silicio de muy alta pureza**. Por esta razón, este tipo de celdas de color negro son las más eficientes, también en términos de espacio, lo que se traduce en la práctica en instalaciones más pequeñas. Se distinguen por su color oscuro y sus bordes redondeados.

---

Con el mayor nivel de eficiencia del mercado, que puede alcanzar el 20%, las células monocristalinas son **las más adecuadas para su instalación en zonas donde la exposición a la luz solar no es muy alta** por su alto rendimiento en estas condiciones.

La larga vida útil de este tipo de células, con **garantías en muchos casos de 25 años** y capacidad para funcionar hasta 50, es otra de las ventajas de los paneles monocristalinos que, sin embargo, cuentan también con algunos contras respecto a otras alternativas.

Entre ellas destaca el **alto precio de las células monocristalinas**, que requieren de más silicio que las policristalinas y que, además, derivan en pérdidas de material durante el proceso de fabricación, dado el tipo de corte que se realiza.

Los paneles solares a base de células policristalinas cuentan con una larga trayectoria en la industria, puesto que su fabricación arrancó ya en la década de los ochenta. Su mayor ventaja respecto a las celdas monocristalinas parte de un **proceso de producción de menor coste, que tira a la baja el precio final** de estos sistemas.

Para este producto, el silicio se funde y se introduce en moldes con los que se da forma a las células. Con este proceso no solo se utiliza una cantidad mucho menor de este elemento, sino que se evitan las pérdidas en la fase de producción.

Aunque estas células son más asequibles, cuentan con algunas desventajas. La menor tolerancia al calor de estas celdas hace que cuenten con una **eficiencia inferior a la alternativa monocristalina**. En concreto, se estima que en los paneles que incluyen estas celdas el ratio de eficiencia es de un máximo del 16%, fundamentalmente por la menor cantidad de silicio que incorporan [18].



Figura 3. 13 Fotocelda

El trabajo de la celda es provocar que los electrones libres vayan de un material semiconductor a otro en busca de un “hueco” que llenar (Figura 3.14). Esto produce una diferencia de potencial y por tanto una corriente eléctrica, es decir, que se producirá un flujo de electricidad del punto de mayor potencial al de menor potencial hasta que en los dos puntos el potencial sea el mismo [19].

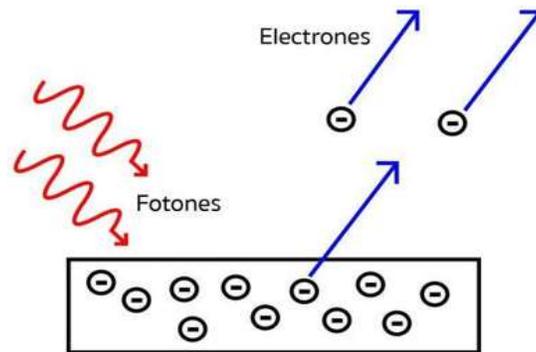


Figura 3. 14 Efecto fotoeléctrico

### 3.5.4.2 Bomba solar sumergible

Una bomba sumergible es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido (Figura 3.15).



Figura 3. 15 Bomba solar sumergible

---

Las bombas sumergibles encuentran muchas utilidades, las bombas de etapa simple se utilizan para el drenaje, el bombeo de aguas residuales, el bombeo industrial general y el bombeo de la mezcla. Las bombas sumergibles se colocan habitualmente en la parte inferior de los depósitos de combustible y también se utilizan para la extracción de agua de pozos de agua [20].

#### **3.5.4.3 Depósito**

Esta es la parte en donde se acumula el agua para su posterior distribución a las zonas donde será requerido este líquido (Figura 3.16), esto se logra mediante una red de tuberías que tienen su origen desde la bomba sumergible, o la que se tenga instalada, hasta el depósito y de ahí es aprovechada la caída natural por gravedad para enviarla a su consumidor final.



**Figura 3. 16 Depósito**

#### **3.5.4.4 Cable de alimentación para bomba sumergible**

El cable necesario para la correcta instalación de la bomba (Figura 3.17) se caracteriza por tener un recubrimiento especial que lo protege del agua y de daños considerables al momento de realizar la colocación del equipo. Este conductor es el encargado de suministrar la energía que le proporcionan los paneles solares a la bomba que se encuentra sumergida en el agua del pozo, así que no es de extrañar que cuente con más protección que los utilizados habitualmente en instalaciones eléctricas ya que a causa de la humedad se incrementa el riesgo de que ocurra algún accidente, por ejemplo, un corto circuito.



Figura 3. 17 Cable para bomba sumergible

#### 3.5.4.5 Tubería

Una **tubería** es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos (Figura 3.18). Se suele elaborar con materiales muy diversos. También sirven para transportar materiales que, si bien no son propiamente un fluido, se adecuan a este sistema: hormigón, cemento, cereales, documentos encapsulados, etcétera.

Los materiales más comunes con los que se fabrican tubos para la conducción de agua son: PRFV, cobre, PVC, polipropileno, polietileno (PEAD), acero y hierro dúctil.

Hasta la década de 1960-1970 eran muy utilizadas las tuberías de fibrocemento. Se dejaron de utilizar al hacerse cada vez más evidentes las propiedades cancerígenas del asbesto que se utilizaba en la fabricación del fibrocemento. Actualmente ya casi no se utiliza el fibrocemento, y las redes construidas con este material se han ido sustituyendo paulatinamente por otros materiales [21].



Figura 3. 18 Tubería

---

# Capítulo 4

## Diseño de un sistema de bombeo mediante paneles fotovoltaicos

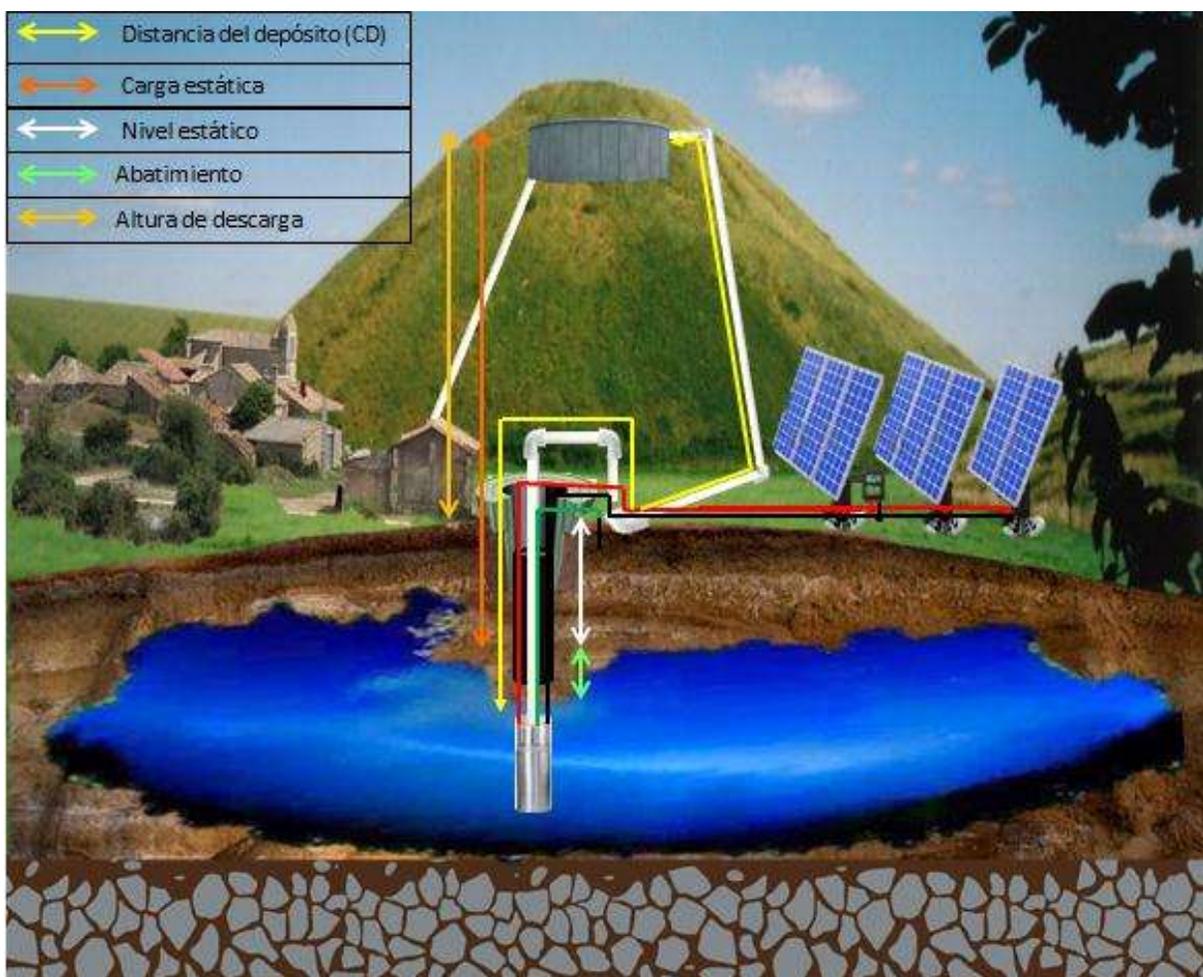


Figura 4. 1 Sistema de bombeo fotovoltaico

---

## 4.1.-Introducción

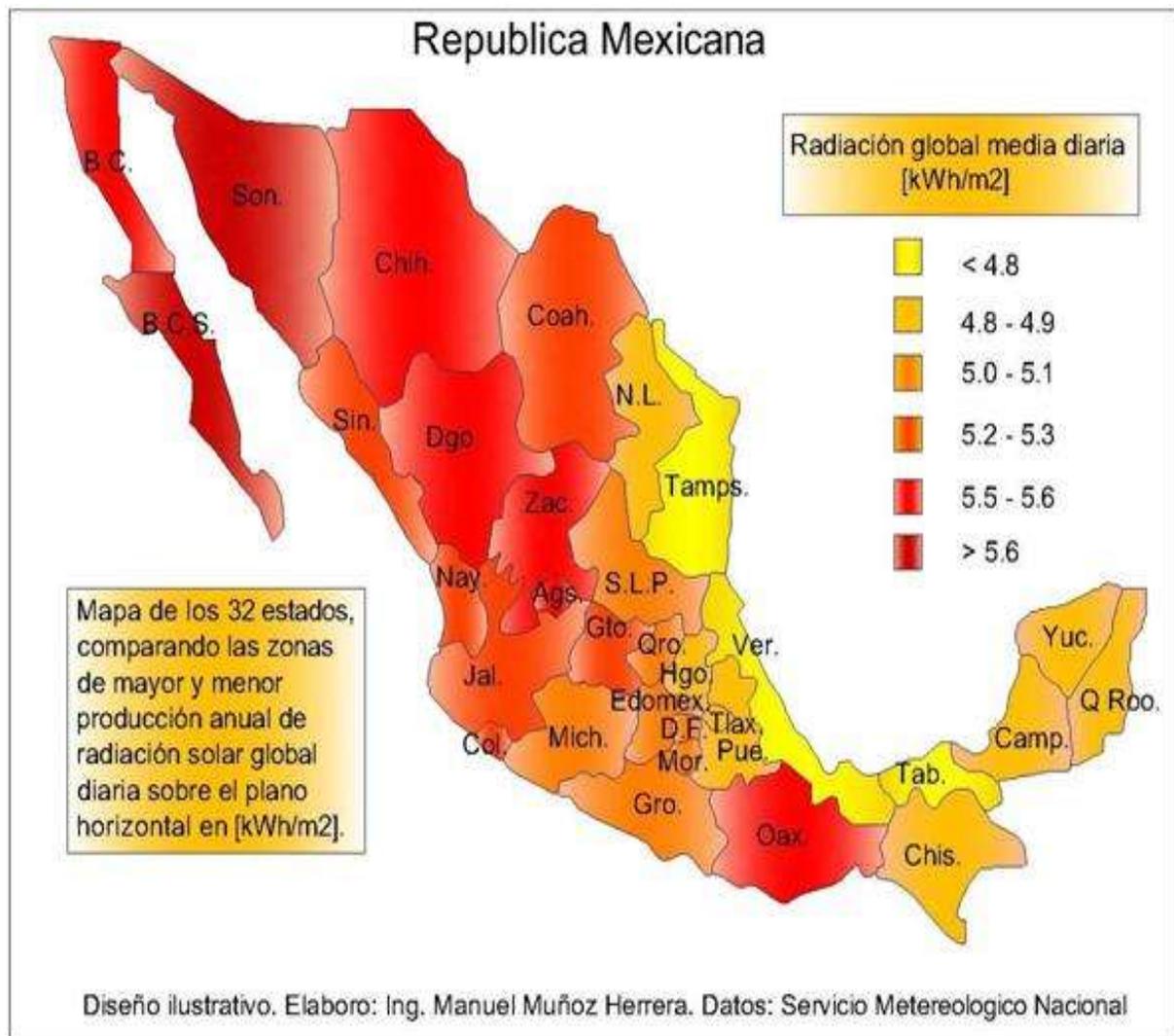
La base de un sistema de bombeo fotovoltaico (Figura 4.1) es el sol, que es la fuente de energía más grande que hasta ahora conoce la humanidad. Cubre a nuestro planeta con suficiente energía para abastecer las demandas energéticas de todo el mundo por un año entero en tan sólo unas horas. No emite emisiones de dióxido de carbono, es gratis y no se acabará (por lo menos en unos miles de años) y en México se cuenta con bastante de esta energía solo falta infraestructura para aprovecharla (Figura 4.2).

La luz del sol, (y toda la luz) contiene energía. Por lo general, cuando la luz golpea un objeto la energía se convierte en calor, al igual que el calor se siente al estar sentado en el sol. Pero cuando la luz incide en ciertos materiales, esa energía se convierte en una corriente eléctrica, la cual hemos aprendido a aprovechar con los paneles solares.

Los paneles solares están hechos de muchas celdas solares que están hechas de silicio que es el material semiconductor que ayuda a generar la energía eléctrica. No es necesario saber todos los detalles de cómo es que funcionan los paneles solares. Eso lo podemos dejar a los científicos, lo que a nosotros nos interesa es saber cómo los podemos aprovechar al máximo.

La energía solar aporta grandes beneficios en las zonas rurales donde no hay acceso a la electricidad. Actualmente viven 1500 millones de personas en todo el mundo sin ella, parece mentira que en pleno siglo 21, pero es la triste realidad de millones de personas.

La mayoría de estas personas viven muy alejadas de las ciudades y es muy costoso llevar toda la infraestructura hasta ellos, estas comunidades por supuesto no tienen el dinero que se necesita para la realización de este tipo de obras. La energía solar soluciona este problema en gran medida, los paneles solares son capaces de brindar electricidad desde el mismo día que se instalen en los hogares, además de que son una inversión y no solamente un gasto [22].



**Figura 4. 2 Radiación solar en México**

Para el diseño correspondiente a este proyecto es de vital importancia tomar en cuenta la radiación que se recibe en promedio mensual (Figura 4.3) y anualmente (Figura 4.4) en la zona donde será colocado el equipo para saber si es suficiente para el suministro que se requiere para su correcto funcionamiento. El lugar que fue elegido como ejemplo es un área que corresponde al municipio de Jiménez Michoacán, en donde se cuenta con suficiente radiación solar, aun cuando se encuentre en el mes de menor producción que es diciembre.

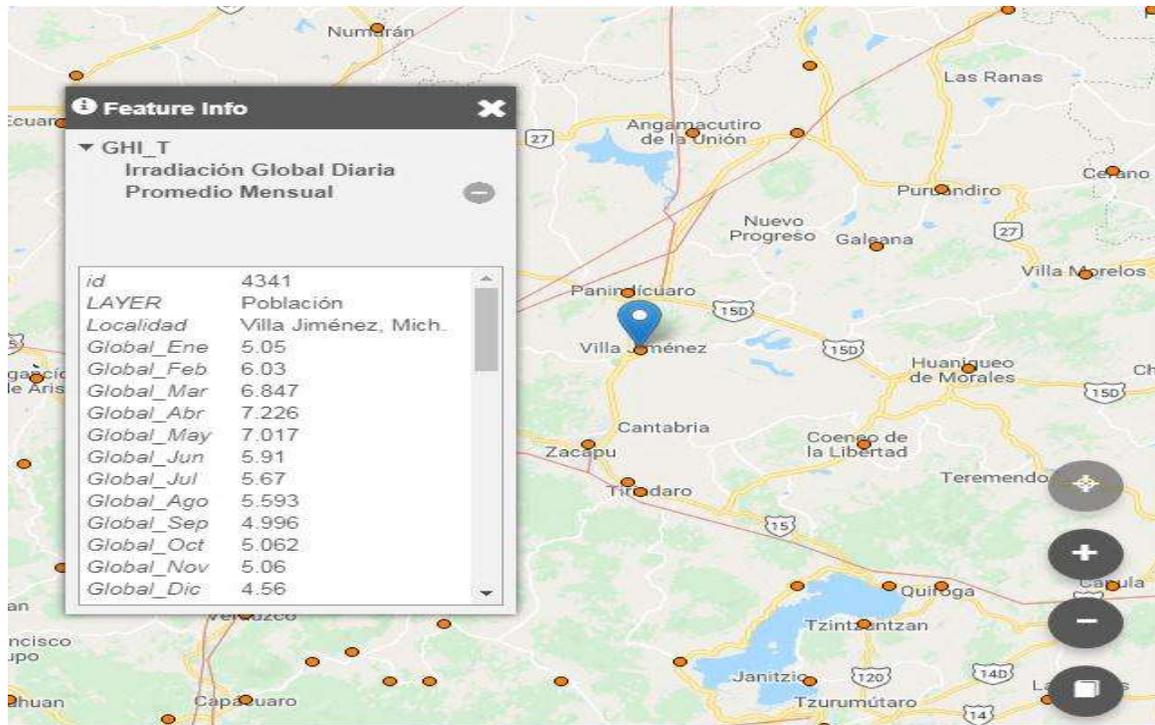


Figura 4. 3 Radiación mensual en zona de colocación del equipo

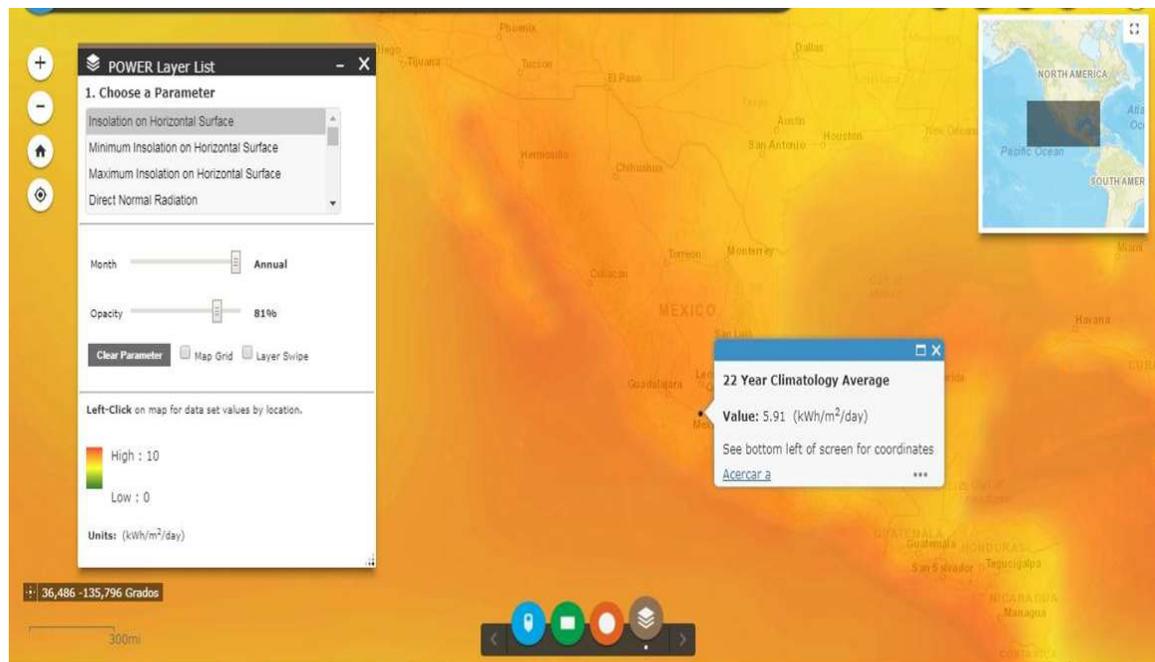


Figura 4. 4 Radiación anual promedio de la zona de colocación

---

## 4.2.-Carga estática

La primera parte, **la carga estática**, puede obtenerse con mediciones directas. Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel del espejo del agua antes del abatimiento del pozo hasta la altura en que se descarga el agua. La carga estática es entonces la suma del nivel estático y la altura de la descarga (Ecuación 4.1).

$$CE = NE + AD + A \quad (4.1)$$

Dónde:

CE = Carga estática

NE = Nivel estático

A = Abatimiento

AD = Altura de descarga

## 4.3.-Carga dinámica

Todos los pozos experimentan el fenómeno de **abatimiento** cuando se bombea agua. Es la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante extracción. **La carga dinámica**, es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo al agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas. Esta rugosidad depende del material usado en la fabricación de las tuberías.

$$CD = 2\%(NE + AD + DD + A) \quad (4.2)$$

$$CDT = CE + CD \quad (4.3)$$

Dónde:

CD = Carga dinámica

DD = Distancia del depósito

CDT = Carga dinámica total

---

## 4.4.-Diseño

La carga dinámica es aproximadamente el **2% de la distancia de recorrido** del agua o lo que es equivalente a la longitud total de la tubería. Por lo general, el resultado es una estimación conservadora si se asume que los sistemas de bombeo solar típicos tienen flujos de menos de 1 L/s y las bombas recomendadas se conectan a tuberías de diámetro amplio [22].

A continuación se presentan los requerimientos que se deben tomar en cuenta para el diseño del sistema de bombeo solar.

Nivel estático del agua = 20m

Abatimiento = 2m

Altura de descarga = 22m

Distancia del depósito = 54m

Requerimiento diario = 15,000 litros

### Método de omisión

Utilizando la ecuación (4.1) se calcula la carga estática.

$$CE = NE + AD + A$$

$$CE = 20 + 22 + 2 = 44m$$

El resultado de las operaciones da como resultado una carga estática de 44 metros, este resultado será utilizado a continuación para calcular el valor de la carga dinámica utilizando la ecuación (4.2).

$$CD = 2\%(NE + AD + DD + A)$$

$$CD = 0.02(20 + 22 + 54 + 2) = 1.96m$$

La carga dinámica total se obtiene sumando los resultados de la carga estática y carga dinámica utilizando la ecuación (4.3).

$$CDT = CE + CD$$

$$CDT = 44 + 1.96 = 45.96m$$

---

En base a los resultados obtenidos se puede elegir la bomba que cumpla con lo especificado anteriormente, específicamente que sea capaz de suministrar  $15\text{m}^3$  de agua a la población donde será instalado el sistema bombeándola a una altura total de 45.96 metros equivalente a la CDT.



**Figura 4. 5 Bomba solar**

La bomba solar sumergible (solar-power-125) mostrada en la (Figura 4.5) cumple los requisitos para el sistema, y lo mejor es que se puede ampliar su potencia si fuera necesario en el futuro, ya que aumentando la cantidad de paneles fotovoltaicos para suministrar 3000W es capaz de suministrar 125 litros por minuto a una altura máxima de 55 metros que sería su capacidad nominal de operación.

Tomando como referencia la gráfica de funcionamiento de la bomba solar (Figura 4.6), es posible comprobar que cumple con las especificaciones de bombeo requeridas por el proyecto.

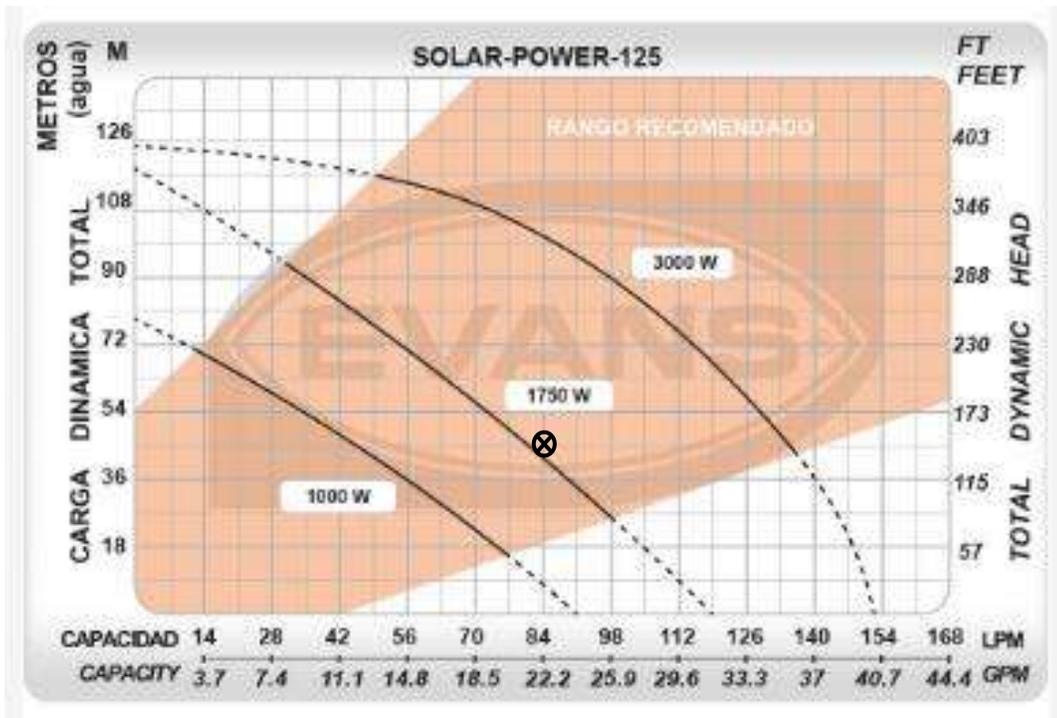


Figura 4. 6 Gráfico de funcionamiento de la bomba

Materiales necesarios en base al diseño anterior

#### Capacidad requerida de la bomba

-Bomba de 2000 W

-8 paneles de 250 W

-84 litros por minuto a 45.96m de altura trabajando 3 horas diarias

#### Capacidad nominal de la bomba

12 paneles de 250 W

Potencia = 3000W

(125 litros a 55m)

### 4.5.-Presupuesto del proyecto

En la Tabla 4.1 se muestra el presupuesto obtenido partir de los precios actuales de los materiales (26-10-18) y mano de obra necesarios para la instalación del sistema de bombeo solar.

Tabla 4. 1 Presupuesto del proyecto

<b>Presupuesto Proyecto De Bombeo Solar</b>				
	<b>Descripción</b>	<b>unidades</b>	<b>precio c/u</b>	<b>Total</b>
1	Bomba solar sumergible ( solar-power-125)	1	25,413	25,413
2	Paneles fotovoltaicos 250W-30V	8	3,207	25,656
3	Controlador	1	2,760	2,760
4	*Depósito de agua	0	62,060	0
5	Estructura metálica para los paneles	8	462	3,696
6	Tuvo pvc de 50mm, 5m	11	85.5	940.5
7	Codos y uniones	15	10	150
8	Pegamento	10	40	400
9	Cable sumergible (50m cal. 12)	1	2,100	2,100
10	Instalación	1	5,000	5,000
			<b>Total</b>	<b>66,115.5</b>

#### 4.6.-Ahorro económico y de energía con este proyecto

En la Tabla 4.2 se muestra la información de la energía que se podría ahorrar con la implementación del sistema, puede parecer poco pero a largo plazo se notaría la diferencia de no tener que pagar la cantidad equivalente a CFE, en lugar de eso se tomaría como recuperación de la inversión realizada.

Tabla 4. 2 Ahorro con la implementación del proyecto

<b>Ahorro económico-energético y recuperación de la inversión</b>				
<b>Tarifas por KW</b>	<b>Bimestral</b>		<b>Anual</b>	
	<b>KW</b>	<b>Costo</b>	<b>KW</b>	<b>Costo</b>
<b>Básico (hasta 75KW-0.1793)</b>	75	13.44	450	80.68
<b>Intermedio (65 después de 75-0.956)</b>	65	62.14	390	372.84
<b>Excedente (KW adicional después de los anteriores 2.802)</b>	220	616.44	1,320	3,698.64
<b>Total</b>	<b>360</b>	<b>692.02</b>	<b>2,160</b>	<b>4,152.16</b>
Inversión total en pesos	<b>66,115.5</b>	los datos contenidos en esta tabla fueron obtenidos en base a las tarifas actuales de Comisión Federal de Electricidad (CFE)		
Ahorro económico anual(pesos)	<b>4,152.16</b>			
Ahorro energético anual (KW)	<b>2,160</b>			
Tiempo aproximado para la recuperación de la inversión (años)	<b>15.9</b>			

Al ver la inversión inicial necesaria y el tiempo aproximado de recuperación de la misma que se necesita para un proyecto de este tipo algunas personas pueden llegar a pensar que no es viable invertir en este tipo de proyectos y sería mejor invertir en motobombas para solucionar dicho problema, a corto plazo tal vez sería la mejor solución, pero para personas que lo utilizarán de forma permanente no es comparable para nada un sistema con otro ya que la motobomba además de contaminar el ambiente a causa de los combustibles fósiles que utiliza para funcionar, el gasto económico que se generaría para suministrarlos de manera prolongada a la motobomba sería demasiado elevado, causando que la inversión realizada sea muy difícil de recuperar. En la Tabla 4.3 se muestra una tabla comparativa de la motobomba Honda WH-20X y la bomba solar sumergible Evans SOLAR-POWER-125.

Tabla 4. 3 Comparación entre motobomba y bomba solar

Tabla de Comparación entre motobomba y bomba solar		
Especificaciones	Motobomba honda de presión WH 20X	Bomba Evans SOLAR-POWER-125
Motor	GX160	Evans
Depósito de combustible	3.1 L	N/A
Autonomía	1.9 h	Depende de la energía solar
Aspiración	8 m	N/A
Elevación máxima	50 m	55 m
Caudal máximo	30,000 l/h	7,500 l/h
Diámetro de entrada	50 mm	50 mm
Diámetro de salida	50 mm	50 mm
Altura	40.5 cm	150 cm
Ancho	37.5 cm	11.20 cm
Longitud	42.5 cm	11.20 cm
Peso	23.5 kg	18.20 kg
Potencia	5.5 hp	3hp
Precio	20,866 pesos	25,413 pesos

Se puede observar que hay notables diferencias en cuanto a potencia, caudal y precio a favor de la motobomba, pero aumentándole el costo del combustible que necesita para funcionar durante un año el mismo tiempo que el sistema de bombeo solar las cosas son diferentes. En un año trabajando **28.98** minutos diarios se gastarían aproximadamente **5,692** pesos (litro de gasolina **19.79** pesos) y el costo del sistema de bombeo solar es **66,115.5** pesos (Tabla 4.2). Entonces analizando estos datos se puede decir que en un periodo de **11.6** años se gastaría en combustible el equivalente al valor del sistema de bombeo completo, es aquí donde se nota la diferencia ya que mientras una motobomba gasta

66,115.5 pesos en combustible, el sistema de bombeo solar reditúa 48,163.2 pesos por ahorro de electricidad en el mismo periodo.

Con la totalidad de datos recabados en el diseño, ya es posible realizar un esquema aproximado de cómo sería el resultado final al implementar el proyecto en la población elegida para el proyecto o en cualquier otra que cumpla con las especificaciones de diseño (Figura 4.7).

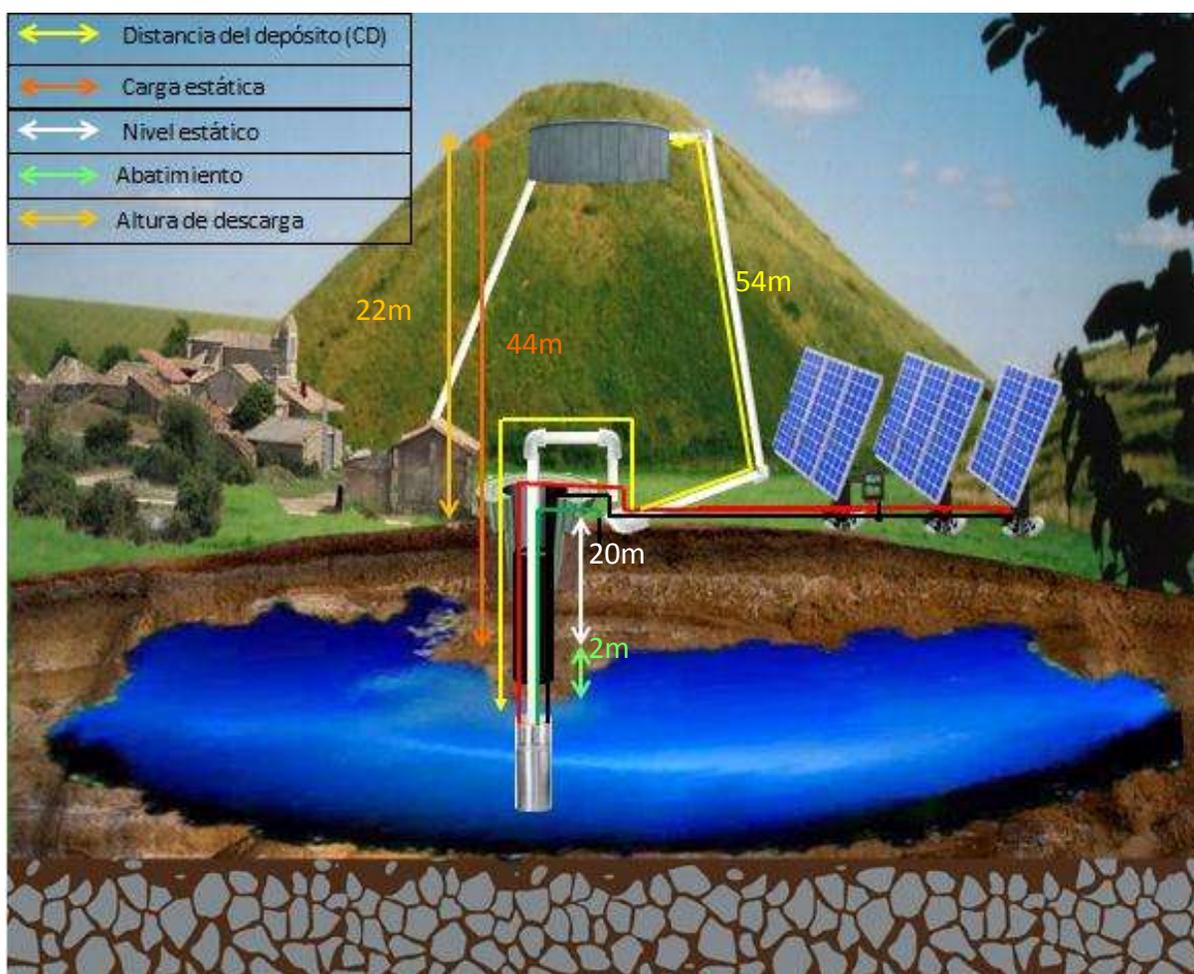


Figura 4. 7 Diagrama final del proyecto

---

# Capítulo 5

## Conclusiones y recomendaciones

### 5.1.-Conclusiones

La presente tesis tiene como finalidad primordial, el dar a conocer o ampliar la información que existe sobre el bombeo fotovoltaico, ya que muchas personas no están al tanto de este tipo de beneficios que pueden implementar en sus comunidades que posiblemente se encuentran alejadas de las líneas de distribución de electricidad y no les es posible obtener el vital líquido tan cómodamente como a cualquiera de nosotros, que con tan solo abrir la llave es posible tenerla en nuestros hogares sin tener que hacer grandes esfuerzos para conseguirla.

Para la realización del diseño se tienen que tomar en cuenta diferentes características para que el sistema no tenga problemas a la hora de ponerlo a trabajar y con el suministro a las viviendas de agua potable, tomando en cuenta lo antes mencionado se elige el depósito que sea capaz de cubrir la demanda diaria de los habitantes de dicho lugar, puede ser opcional pues se puede elegir entre adquirir uno o simplemente construirlo para tratar de economizar recursos. En base a la altura y distancia a la que se desea enviar el agua se eligió la bomba que cumplía con estas características y un poco más ya que este equipo soporta hasta 3KW de potencia de entrada y en este proyecto son necesarios solamente 2 KW, es importante mencionar que no es nada económica esta bomba pero lo favorable es que si la población del lugar donde se instale crece hasta aproximadamente un 30% mas solamente se le agregan más paneles, cuatro de 250W, para tenerla a su capacidad nominal de 3 KW de consumo. Al saber los datos de la bomba ya es posible darse cuenta de la potencia necesaria que debe ser suministrada por los paneles fotovoltaicos, en el diseño son suficientes 1.6KW aproximadamente pero se decidió dejarla un poco sobrada para no estar en el límite de lo requerido y con esto proteger lo más posible el funcionamiento de los paneles, el controlador no fue necesario calcularlo ya que se compra específicamente para esos paneles. Para la tubería son necesarios alrededor de 54 metros de longitud para llevar el agua desde el pozo hasta el depósito, aun faltaría la tubería de distribución pero ese material no se incluye en el diseño.

Es claro que el costo es alto pero si se toman en cuenta los beneficios que esto traerá a la población, no se tomará como un gasto, sino como una inversión que se verá reflejada en

---

ahorro de esfuerzo y la tranquilidad de no arriesgar su integridad en caminos o zonas peligrosas que tienen que frecuentar para obtener un poco de agua para su familia.

## **5.2.-Recomendaciones**

Este proyecto aún tiene muchas oportunidades, pero también tiene muchos beneficios para las personas, por este motivo se recomienda a futuros estudiantes o personas interesadas en seguir con él, que investiguen acerca de las opciones existentes para el aprovechamiento de la energía solar, ya que en este proyecto solamente se muestra una parte de lo que es la utilización de esta energía, mediante el bombeo con paneles solares, en la actualidad se le puede utilizar de diferente manera, un ejemplo de ello es este trabajo, en el que se le dio importancia solamente al bombeo de pozo profundo para consumo humano, pero también está el aplicado a riego o ganadería, estas son solo otras dos opciones del aprovechamiento de los sistemas de bombeo solar, que pueden ser utilizadas para ampliar la información de esta investigación, y así tenerla lo más completa posible para que futuras generaciones lo puedan tomar como base para implementarlo o simplemente lo utilicen de referencia para sus trabajos o diseños.

---

## Bibliografía

- [1] Energía solar. (2016, Sep.) Energiasolar.mx. [Online]. <http://www.energiasolar.mx/bombeo-solar/ventajas-diseno-sistemas-bombeo-solar-agua>
- [2] Dragon. (2017, May) Dragoit.com. [Online]. <https://dragoit.com/blog/sistemas-de-bombeo/>
- [3] El sol de mexico. (2018, Mar.) El sol de mexico. [Online]. <https://www.elsoldemexico.com.mx/finanzas/inegi-asegura-que-44-millones-de-mexicanos-se-encuentran-sin-agua-1371424.html>
- [4] INTEF. NEWTON. [Online]. [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/energia/renovables.htm?4&1](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/renovables.htm?4&1)
- [5] A.D CANTBASQUET SANTANDER. (2017, May) Energia maremotriz. [Online]. <https://energiamaremotrizblog.wordpress.com/>
- [6] ERENOVABLE. (2018, May) ERENOVABLE.com. [Online]. <https://erenovable.com/energia-hidraulica/>
- [7] MARIMAR. (2018, Apr.) ERENOBABLE.COM. [Online]. <https://erenovable.com/aerogeneradores-eolicos/energia-eolica/>
- [8] ERENOVABLE. (2018, Apr.) ERENOVABLE.com. [Online]. <https://erenovable.com/energia-geotermica/>
- [9] SOSTENIBILIDAD. SOSTENIBILIDAD.com. [Online]. <https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/que-es-y-como-funciona-la-biomasa/>
- [10] ERENOVABLE. (2018, Mar.) ERENOVABLE.com. [Online]. <https://erenovable.com/energia-solar-fotovoltaica/>
- [11] Sandra Velarde Suárez, Joaquín Fernández Francos Eduardo Blanco Marigorta, *Sistemas de bombeo*. Oviedo: Gijón, 1994.
- [12] world Health organization. Health library for disasters. [Online]. <http://helid.digicollection.org/en/d/Jwho91s/2.9.3.html#Jwho91s.2.9.3>
-

- 
- [13] CROCEX. Ideas y recursos CROCEX. [Online]. <https://rebasando.com/bricolaje/699-mecanismo-para-subir-agua>
- [14] Oscar Perpiñán Lamigueiro. (2018, Apr.) <http://oscarperpinan.github.io>. [Online]. <http://oscarperpinan.github.io>
- [15] Sitio solar. (2014, Mar.) Sitiosolar.com. [Online]. <http://www.sitiosolar.com/el-bombeo-solar-fotovoltaico/>
- [16] Faustino Chenlo Romero Miguel Alonso Abella, *Sistemas de bombeo fotovoltaico.*: CIEMAT, Feb. 2005. [Online]. <https://www.eoi.es/es/file/18718/download?token=36ZyZ5Nj>
- [17] Energía solar. (2017, Apr.) solar-energia.net. [Online]. <https://solar-energia.net/definiciones/panel-solar.html>
- [18] Redacción. ecoinventos.com. [Online]. <https://ecoinventos.com/diferencia-paneles-solares-monocristalinos-policristalinos/>
- [19] iluminet. (2016, Oct.) iluminet.com. [Online]. <http://www.iluminet.com/funcionamiento-paneles-fotovoltaicos-energia-solar/>
- [20] wikipedia. (2017, Aug.) wikipedia. [Online]. [https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_sumergible](https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_sumergible)
- [21] wikipedia. (2018, May) wikipedia. [Online]. <https://es.wikipedia.org/wiki/Tuber%C3%ADa>
- [22] CEMAER. (2016) cemaer.org. [Online]. <http://www.cemaer.org/energia-solar-en-mexico/>