

**DIMENSIONADO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO  
DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA EL ANÁLISIS  
CUANTITATIVO DEL IMPULSO DE FLUIDO EN LA UNIVERSIDAD DE  
LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE: INGENIERO EN ELECTROMECÁNICA**

**AUTOR: VALENCIA VITERI, GUILLERMO SEBASTIÁN**

**DIRECTOR: ING. JIMÉNEZ LEÓN, MARIO POLIBIO  
2019**



# *Planteamiento del Problema*

En la actualidad, la humanidad busca nuevas fuentes de energía que sean amigables con el medio ambiente y al mismo tiempo sustentables como son las energías renovables y una de estas es la energía solar fotovoltaica. Por razones como lo es el trabajar independientemente del sistema eléctrico y el de tener abastecimiento de agua en zonas aisladas o rurales es de gran importancia el implementar un sistema de bombeo solar.



# *Objetivo General*

Dimensionar e implementar un módulo didáctico de bombeo solar fotovoltaico para cuantificar el volumen de agua impulsada por medio de una bomba que funciona con energía solar en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.



100 años  
Ecuador

**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Objetivos Específicos

- Determinar las características de funcionamiento de un sistema de bombeo solar fotovoltaico y diseñar el sistema con dichas características.
- Dimensionar e implementar el sistema de bombeo solar fotovoltaico para el uso en pruebas en el laboratorio de Energías Renovables.
- Cuantificar el volumen de fluido generado por el impulso de la bomba solar mediante el aprovechamiento de la radiación solar diaria a una altura preestablecida en el sector en que se implementará el módulo didáctico.
- Calcular el rendimiento del sistema moto – bomba solar; que se da por la relación entre potencia de entrada sobre la potencia de salida.



# *Hipótesis*

Con el diseño e implementación de un módulo didáctico de bombeo solar fotovoltaico en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión, se podría cuantificar el volumen del fluido mediante el aprovechamiento de la radiación solar a una altura determinada.

## **Variables de Investigación**

**Variable Independiente:** Diseño e implementación de un módulo didáctico de bombeo solar fotovoltaico.

**Variable Dependiente:** Análisis cuantitativo del volumen de fluido impulsado.



# Introducción

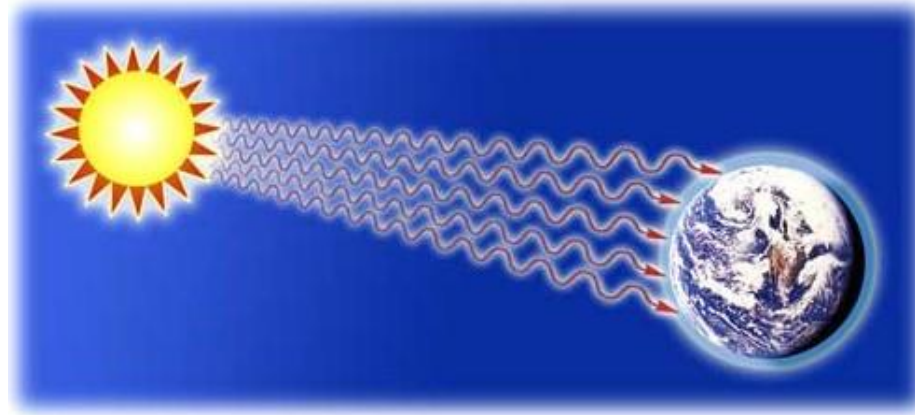
## Energías renovables

Son un tipo de energía que proviene de fuentes naturales inagotables a escala humana y amigables con el medio ambiente. Este tipo de energías son limpias y representan una alternativa al uso de energías convencionales, un tipo de energía renovable utilizado en el país es la producida por el agua (energía hidráulica); pero existen otros tipos más como la eólica, solar, biomasa, hidráulica, geotérmica y marina. El sol es el responsable directa o indirectamente de que existan la mayoría de energías renovables con excepción de las dos últimas.



# Introducción

## Radiación solar



La radiación solar es un flujo de energía emitida por el sol como ondas electromagnéticas que se encuentran a diferentes frecuencias. A este flujo de energía que llega a la Tierra se la conoce como irradiancia, y a la potencia se le denomina irradiación solar.



# *Introducción*

## **Radiación Solar**

Por otra parte; la radiación es energía que viaja a través del espacio, una parte de esta llega a la atmósfera y es absorbida, otra parte es absorbida por el suelo, y otra también se refleja directamente al espacio desde el suelo. Por esta razón es que llega a la superficie terrestre menos de la mitad de la radiación solar, a nuestro planeta la radiación solar llega de tres formas diferentes como radiación directa, difusa y reflejada



100 años  
Ecuador

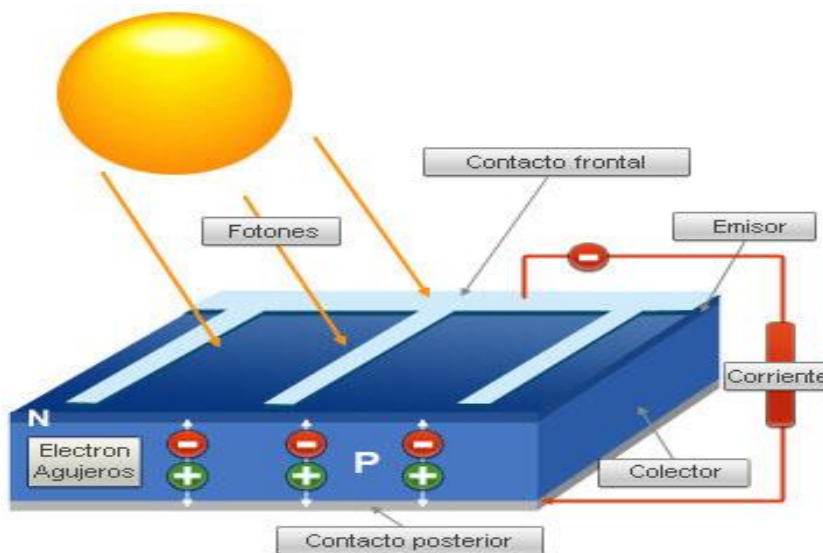
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# Introducción

## Energía solar fotovoltaica

Es un tipo de energía renovable que se la aprovecha al transformar de una manera directa los rayos del sol en energía eléctrica por medio de aparatos electromecánicos como un panel solar a través de celdas fotovoltaica.



# *Introducción*

## **Sistemas de bombeo solar fotovoltaico**

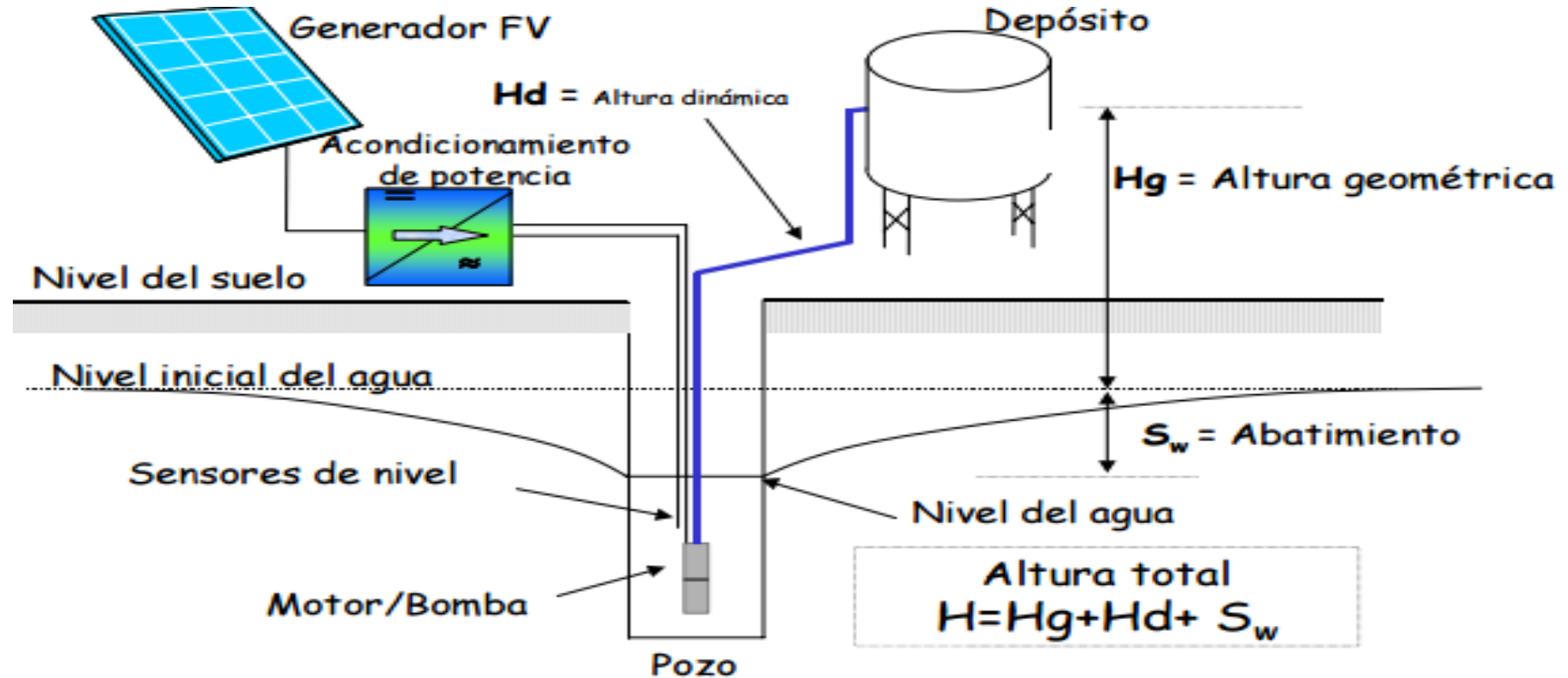
### **Definición:**

A un sistema de bombeo fotovoltaico se lo define como a un conjunto de elementos o subsistemas los cuales son mecanismos electrónicos, mecánicos y eléctricos, estos componentes son los que permiten captar la energía en forma de ondas provenientes del sol y transformarla en energía eléctrica continua y de esta forma poder accionar la bomba la cual permitirá sustraer el agua subterránea.



# Introducción

## Sistema de bombeo solar típico



## Configuraciones típicas

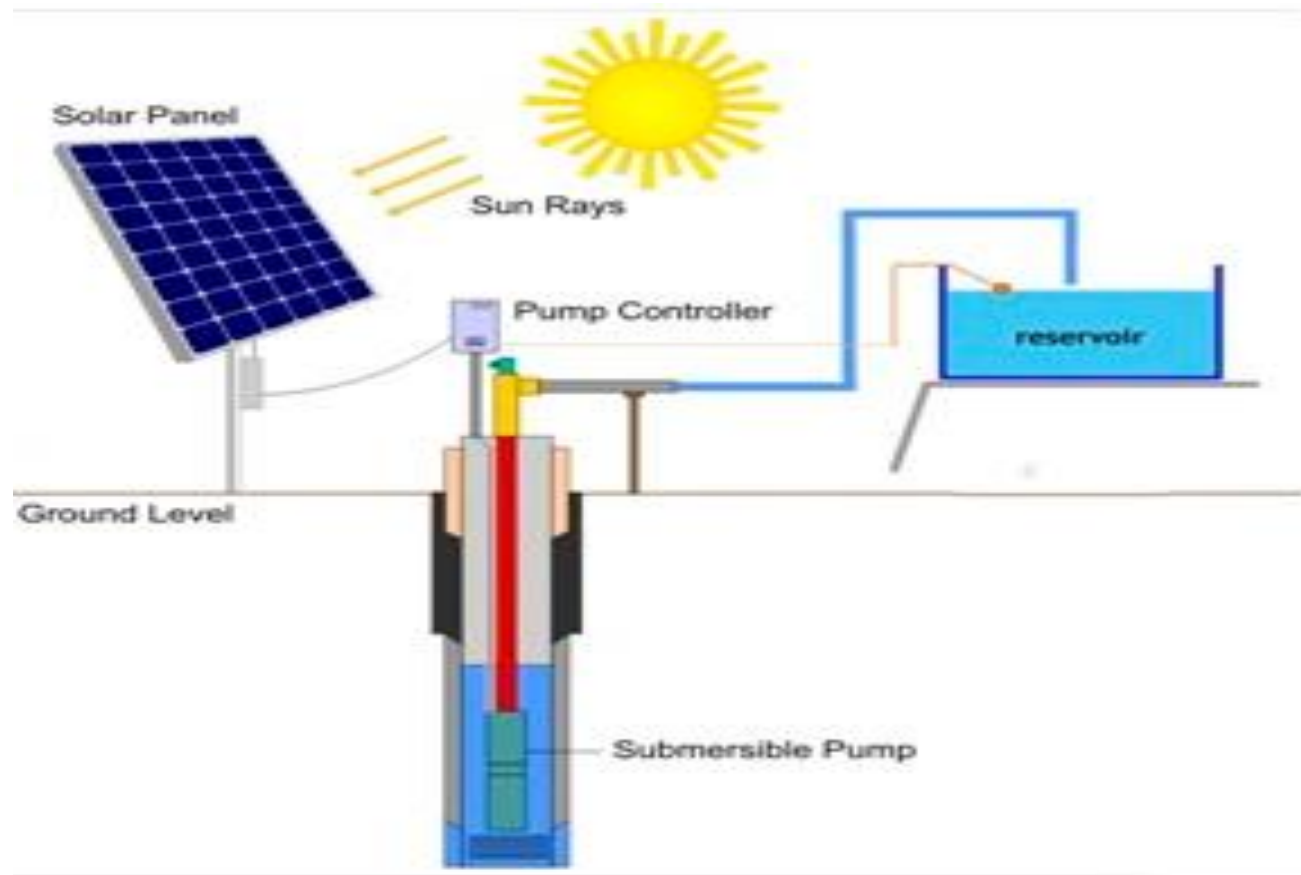
Las configuraciones de un sistema de bombeo solar fotovoltaico están determinadas por el tipo de generador de energía fotovoltaica, el tipo de moto - bomba así como también de la potencia instalada.

- Sistemas de bombeo según su potencia existen de baja, media y alta.
- Sistemas de bombeo según el motor que utilice la moto – bomba con motores de corriente continua y alterna.
- Sistemas de bombeo con convertidores de frecuencia.
- Sistemas de bombeo con baterías y
- Sistemas de bombeo con conexión directa.



# Introducción

## *Sistema de bombeo con conexión directa*



# *Resultados de la Investigación*

Antes de realizar el dimensionado e implementación del sistema de bombeo solar fotovoltaico más adecuado, es necesario conocer primeramente el lugar donde se ubicará el sistema didáctico, para después poder analizar los tipos de sistemas existentes con sus respectivas ventajas y desventajas, los subsistemas empleados, esto luego de haber realizado una investigación pertinente en libros, papers, artículos, etc



100120  
Ecuador

**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# *Resultados de la Investigación*

## **Análisis generador fotovoltaico**

El generador fotovoltaico tiene como función la de captar la energía del sol en forma de radiación y transformar esta energía en energía continua para accionar la bomba solar. La radiación es absorbida por uno o varios paneles solares que conforman el generador fotovoltaico, la selección dependerá de factores como la dimensión de la zona de trabajo y la potencia requerida por la aplicación. La potencia con la que deberá contar el generador fotovoltaico estará en función del volumen de agua que se requerirá bombear y la altura



100120  
ECUADOR

**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# *Resultados de la Investigación*

## **Análisis subsistema motor – bomba**

Deberá trabajar con energía alterna o continua de esto dependerá si el sistema de bombeo solar fotovoltaico disponga o no de un convertidor de corriente, como esta energía vendrá dada por el generador fotovoltaico la potencia de la bomba solar deberá por lo menos ser igual a la de los paneles solares. Entonces el motor deberá ser de corriente continua o alterna y la bomba deberá ser centrífuga o de desplazamiento positivo que son bombas generalmente fabricadas para este tipo de sistemas de bombeo solar de baja potencia y en conjunto este subsistema motor - bomba deberá ser de superficie o sumergible dependiendo de la aplicación



100120  
Ecuador

**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# *Resultados de la Investigación*

## **Análisis subsistema tanque de agua**

Primeramente, se establecerá la cantidad de tanques de agua necesarios en el sistema; para luego poder establecer la capacidad que dispondrán, entonces se deberá conocer la cantidad de agua empleada en la aplicación del módulo de bombeo solar, de antemano se sabe que el módulo será didáctico. Los tanques de agua generalmente están fabricados de polietileno, fibra de vidrio, latón, madera, etc., el material del tanque otra vez dependerá del volumen de agua y de las condiciones climáticas donde se deba situar, el material de fabricación del tanque más utilizado por su apariencia y durabilidad es el de polietileno o plástico.



100120  
Ecuador

**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## **Análisis subsistema de instrumentación**

- Instrumento que simule altura
- Un medidor de presión
- Un contador de volumen de agua
- Sensor de nivel de líquido
- Medidor de energía



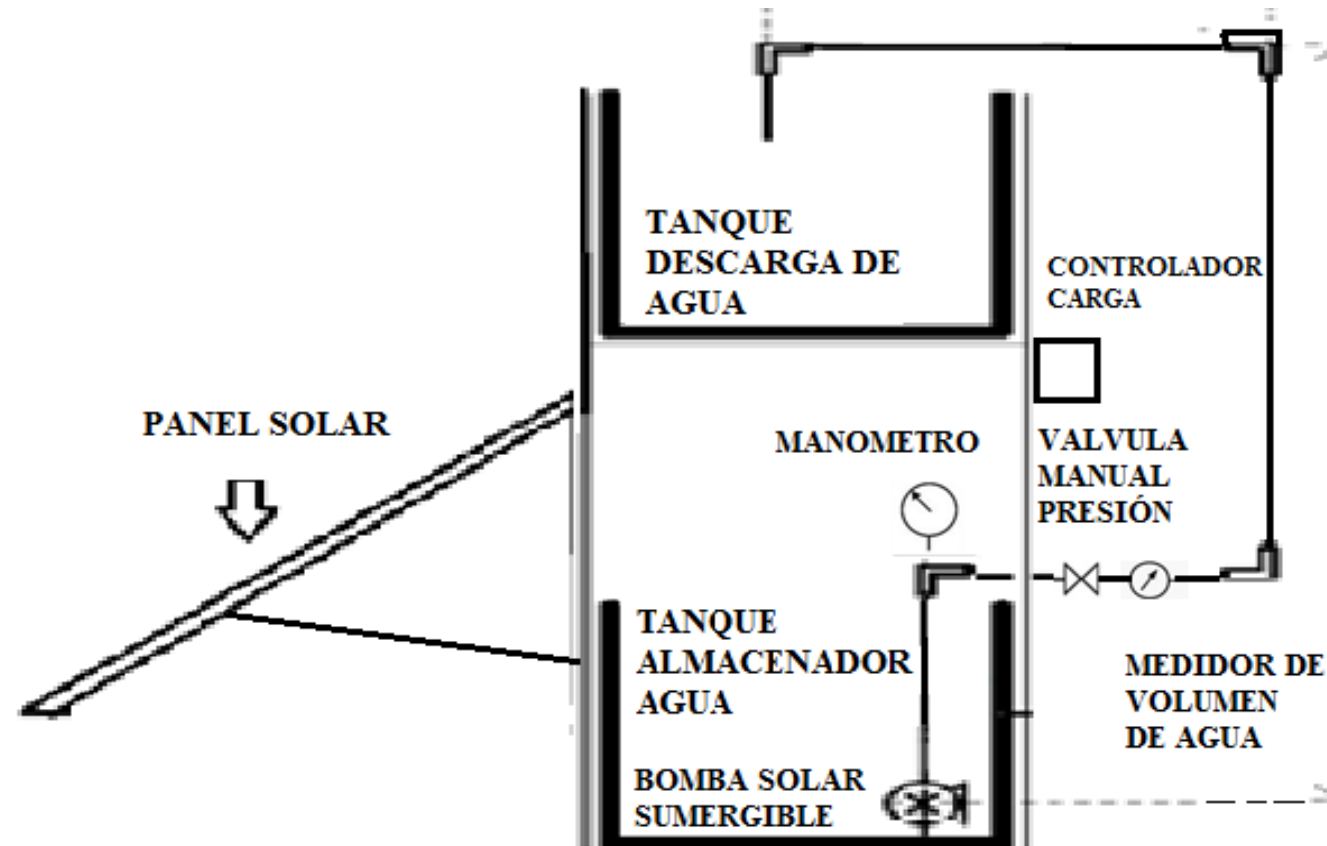
# PROPUESTA

Luego de haber realizado un análisis sobre las opciones de construcción y dimensionado del sistema de bombeo fotovoltaico se establece que: para que el módulo sea didáctico, eficiente y accesible económicamente, el diseño y construcción debe ser de un sistema de bombeo solar fotovoltaico con conexión directa. Dicho sistema posee principalmente el subsistema generador o paneles fotovoltaicos, el subsistema motor - bomba y los dispositivos de almacenamiento y descarga de agua, paralelamente para poder medir ciertas variables en el proyecto se utilizarán instrumentos como válvula manual reguladora de presión, manómetro, contador de volumen de agua, sensores de nivel de líquido, entre otros



# PROPUESTA

## Esquema del módulo didáctico de bombeo solar



# Diseño de la propuesta

1. Establecimiento de parámetros iniciales necesarios en el dimensionado
2. Análisis de la energía hidráulica
3. Análisis de la energía solar disponible
4. Dimensionado y selección de equipos fotovoltaicos
  - Dimensionado y selección del generador fotovoltaico
  - Mes de dimensionado para el generador fotovoltaico
  - Dimensionado y selección del motor – bomba solar
  - Dimensionado y selección de las instalaciones hidráulicas e instrumentación.
  - Dimensionado y selección de las protecciones eléctricas e hidráulicas



# Diseño de la propuesta

## Establecimiento de parámetros iniciales

Estos parámetros son el punto de partida del dimensionado del sistema de bombeo solar fotovoltaico directo, en general son dimensiones o especificaciones estimadas físicas, climáticas, geográficas, que nos permiten iniciar un adecuado cálculo o análisis del sistema, estos son:

- Altura geométrica de bombeo ( $h_g$ ): 2,2 metros
- Fluido de trabajo: agua
- Temperatura del fluido de trabajo: 25°C



# Diseño de la propuesta

## Determinación de la altura hidráulica de bombeo

Se establecerá una altura geométrica promedio de 2,2 metros, además se deberá simular altura regulando la presión con un regulador manual de presión.

La altura hidráulica de bombeo es la altura total o presión expresada en metros que debe vencer la bomba, para ello se debe calcular las pérdidas hidráulicas que existen en el sistema hidráulico. Con lo cual se necesitará establecer primeramente algunos parámetros:

- Volumen de agua  $V = 0,4 \text{ m}^3$
- Caudal del agua por día  $Q_d = 400 \text{ l/día}$
- Caudal en una hora de trabajo  $Q_h = 200 \text{ l/h} = 3,333 \text{ l/min} = 0,056 \text{ l/s} = 5,556 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 0,2 \text{ m}^3/\text{h}$
- Tiempo de operación: 2 horas/día (tiempo realización práctica de laboratorio)
- El fluido es agua a una temperatura ambiente  $T = 25^\circ\text{C}$
- La densidad del agua  $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$
- La viscosidad relativa del agua  $\mu = 0,891 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$



# Diseño de la propuesta

Para cálculos posteriores se calculará el diámetro de la tubería de agua del sistema de bombeo solar fotovoltaico directo manipulando la fórmula empírica de Breese siguiente:

$$D_T = 0,5873 \times N^{0,25} \times \sqrt{Q_h}$$

Donde:

$D_T$ : diámetro de la tubería en [m]

$N$ : número de horas de operación

$Q_h$ : caudal del fluido [ $m^3/s$ ]

$$D_T = (0,5873)(2^{0,25}) \left( \sqrt{0,00005556} \right)$$

$$D_T = 0,005 \text{ m} = 0,197 \text{ pulg} \approx \frac{1}{4} \text{ pulg}$$

Para un adecuado análisis matemático se sobredimensionará la tubería es decir se utilizará una tubería de  $1/2$  pulgada de material PVC existente en el mercado ecuatoriano.





# Diseño de la propuesta

Para el cálculo de las pérdidas hidráulicas en este sistema se requiere conocer parámetros físicos como la velocidad, en su mayoría las pérdidas se dan por fricción, entonces como primer paso se deberá calcular la velocidad del fluido en la tubería así:

$$v = Q / A \text{ [m/s]}$$

$$A = \pi \times (\phi_i / 2)^2 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A = \pi \times (0,0178\text{m} / 2)^2 = 2,488 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{5,556 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}}{2,488 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$v = 0,223 \text{ m/s}$$



# Diseño de la propuesta

Una vez obtenida la velocidad, se procede a calcular el número de Reynolds y rugosidad relativa

$$R_e = \frac{v\phi_i\rho}{\mu}$$

$$R_e = \frac{(0,223 \text{ m/s})(0,0178\text{m})(1000 \text{ Kg/m}^3)}{0,891 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}}$$
$$R_e = 4454,994 \approx 5000$$

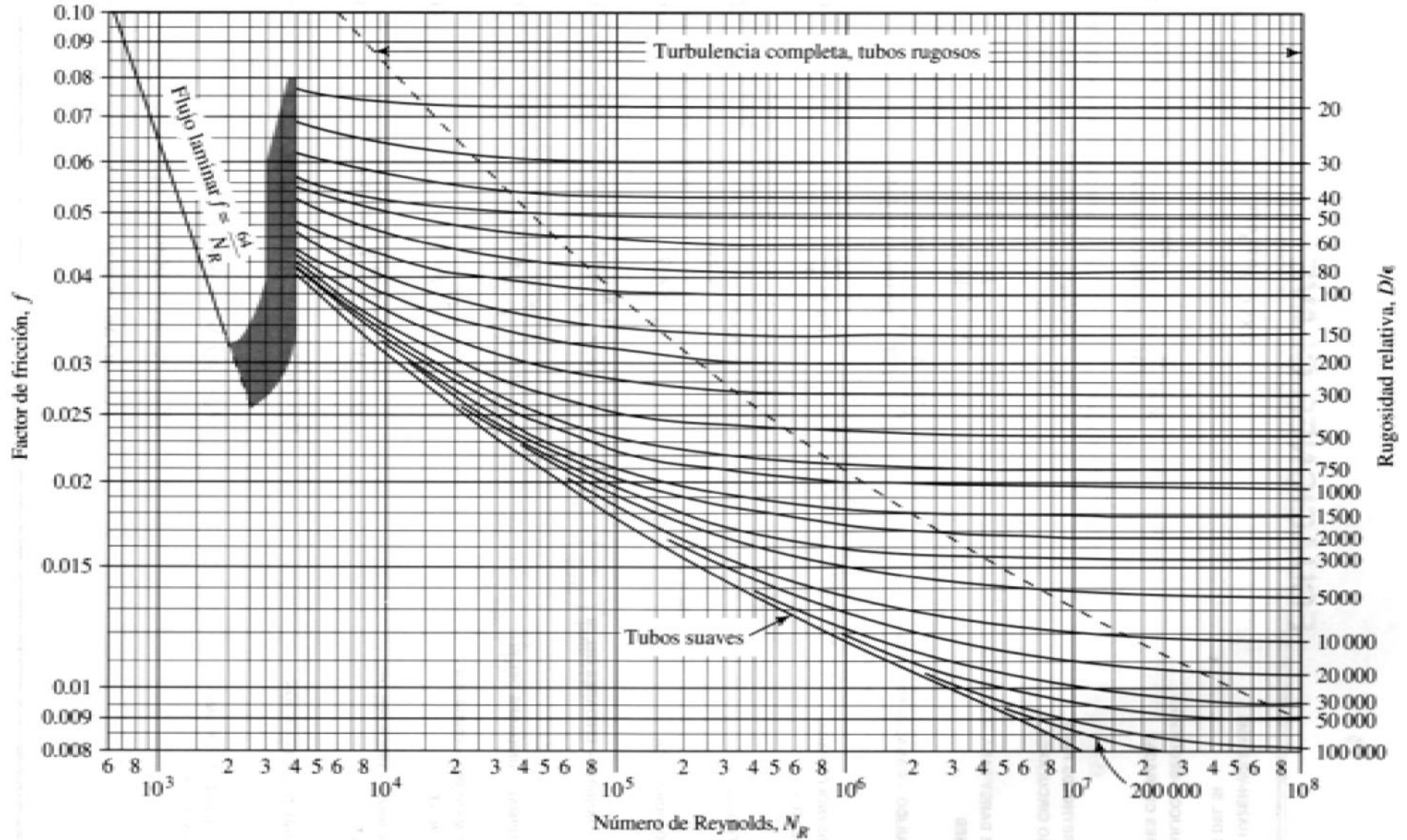
$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{\phi_i}{\epsilon}$$

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0,0178\text{m}}{1,5 \times 10^{-6}\text{m}}$$

$$\frac{D}{\epsilon} = 1186,667 \approx 10000$$



# Diagrama de Moody



# Diseño de la propuesta

## Pérdidas hidráulicas en la tubería

### Cálculo de pérdidas mayores

$$h_{L,mayor} = f \frac{L}{\phi_i} \frac{v^2}{2g}$$
$$h_{L,mayor} = \frac{(0,038)(3,2m)(0,223 \text{ m/s})^2}{(0,0178m)(2)(9,81 \text{ m/s}^2)}$$
$$h_{L,mayor} = 0,017 \text{ m}$$



# Diseño de la propuesta

## Cálculo de pérdidas menores en la tubería

$$h_{L,menor1,1} = K_1 \frac{v^2}{2g} [m]$$

$$h_{L,menor1,1} = 0,75 \frac{(0,223 \text{ m/s})^2}{(2)(9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{L,menor1,1} = 1,901 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$h_{L,menor1,2} = K_1 \frac{v^2}{2g} [m]$$

$$h_{L,menor1,2} = 1,75 \frac{(0,223 \text{ m/s})^2}{(2)(9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{L,menor1,2} = 4,436 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Coeficiente K para accesorios de tubería

Pérdidas de carga en accesorios		$H_d = K \frac{v^2}{2g}$
Accesorio		Coeficiente K
Unión de depósito a tubería. Conexión a ras de pared		0,5
Unión de depósito a tubería. Tubería rasante		1,0
Unión de depósito a tubería. Conexión abocinada		0,005
De tubería a depósito		1,0
Codo 45°		0,35 → 0,45
Codo 90°		0,50 → 0,75
Tés		1,50 → 2,00



# Diseño de la propuesta

## Sumatorio de pérdidas menores en la tubería

$$h_{L,menor1,1,total} = 3 \times h_{L,menor1} = 0,006 \text{ m}$$

$$h_{L,menor2,total} = 4 \times h_{L,menor2} = 0,018 \text{ m}$$

$$h_{L,menor,total} = h_{L,menor1,total} + h_{L,menor2,total} = 0,024 \text{ m}$$

## Altura total

$$h = h_{L,total} + h_g + h_r$$

$$h = 0,041 \text{ m} + 2,2 \text{ m} + 27,759 \text{ m}$$

$$h = 30 \text{ m}$$

## Pérdidas en la tubería total

$$h_{L,total} = h_{L,mayor} + h_{L,menor,total}$$

$$h_{L,total} = 0,017 \text{ m} + 0,024 \text{ m}$$

$$h_{L,total} = 0,041 \text{ m}$$



# Diseño de la propuesta

## Análisis de la energía hidráulica

Como primer paso en el dimensionado de los componentes de un sistema de bombeo fotovoltaico es importante conocer el volumen de agua diario que se va a necesitar. En este caso en particular el módulo fotovoltaico de prueba es de conexión directa, entonces para el dimensionamiento del sistema de bombeo se establecerá que el consumo de agua será de unos 400 litros en las de práctica.

Por lo general se realizarán 2 horas de práctica y el caudal total por día deberá dividirse para estas dos horas, es decir, el caudal de prueba para la investigación es de 200 litros/hora, entonces para el análisis en el sistema didáctico de bombeo solar directo, se establece que para el almacenamiento del agua se tendrá tanques de 400 litros mínimo de capacidad.

Para los respectivos cálculos se debe calcular el caudal necesario para la prueba en metros cúbicos por hora:

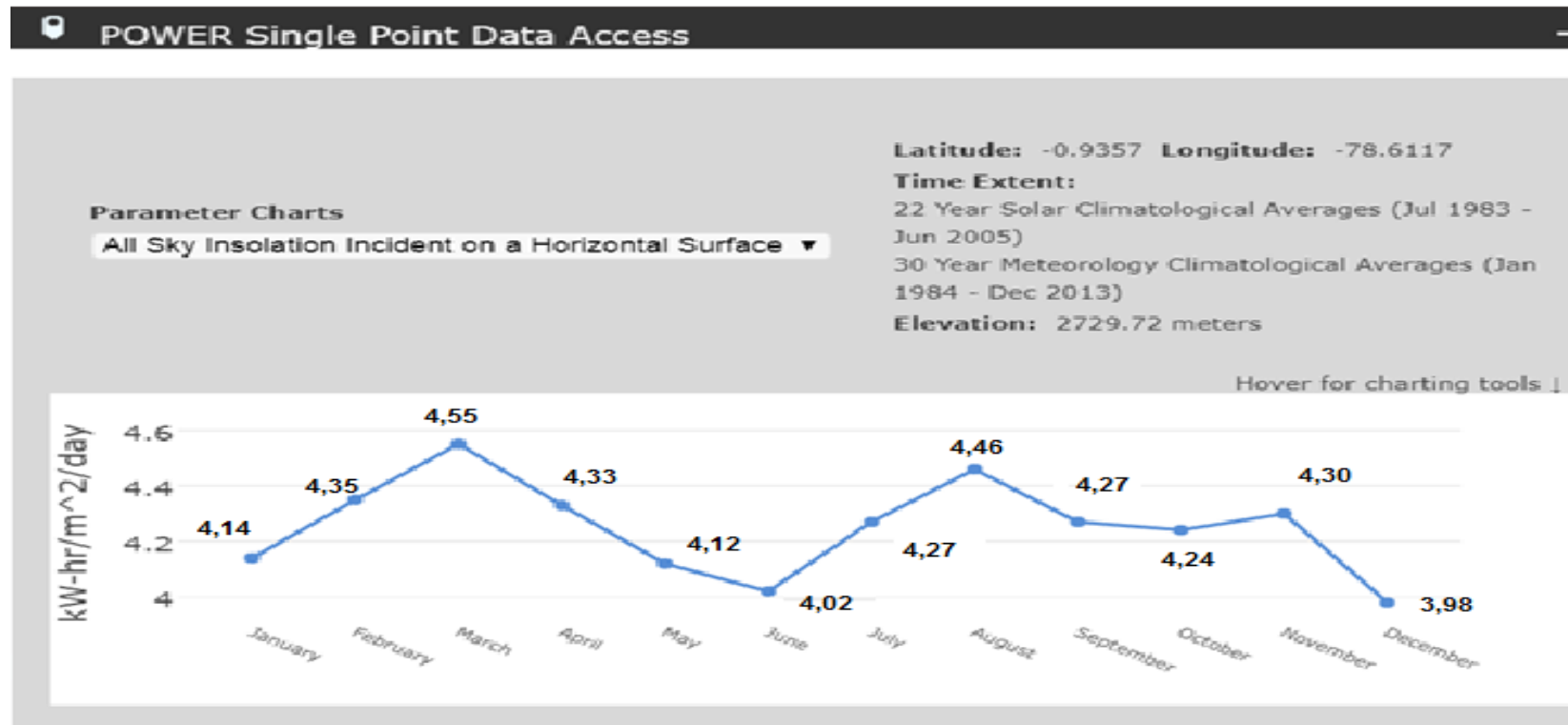
$$Q = 400 \frac{\text{ltrs}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{2 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ ltrs}} = 0,2 \text{ m}^3/\text{h}$$



# Diseño de la Propuesta

## Análisis de la energía solar disponible

Los valores de la irradiancia solar fueron tomados de base de datos como en este caso del centro de datos de la NASA





# Diseño de la Propuesta

## Dimensionado y selección de equipos fotovoltaicos

Primero se debe calcular la energía hidráulica:

$$E_h = \rho g V h \text{ [J]}$$
$$E_h = (1000 \text{ kg/m}^3)(9,81 \text{ m/s}^2)(0,4 \text{ m}^3)(30 \text{ m})$$
$$E_h = 117720 \text{ [J]}$$

$$E_h = 117720 \text{ J} \times \frac{1 \text{ Wh}}{3600 \text{ J}} = 32,7 \text{ Wh}$$



# Diseño de la Propuesta

## Dimensionado y selección del generador fotovoltaico

### Mes de dimensionado para el generador fotovoltaico

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Coeficiente Energético	$\frac{0,056}{4,14}$	$\frac{0,056}{4,35}$	$\frac{0,056}{4,55}$	$\frac{0,056}{4,33}$	$\frac{0,056}{4,12}$	$\frac{0,056}{4,02}$
	0,0135	0,0129	0,0123	0,0129	0,0136	0,0139

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Coeficiente Energético	$\frac{0,056}{4,27}$	$\frac{0,056}{4,46}$	$\frac{0,056}{4,27}$	$\frac{0,056}{4,24}$	$\frac{0,056}{4,30}$	$\frac{0,056}{3,98}$
	0,0131	0,0126	0,0131	0,0132	0,0130	0,0141



# Diseño de la Propuesta

## Potencia del generador fotovoltaico

Los datos necesarios y datos previamente analizados para el respectivo cálculo de la potencia del generador fotovoltaico son mostrados a continuación:

- Energía hidráulica necesaria diaria  $E_h = 32,7 \text{ Wh}$
- Irradiancia  $I = 3,98 \text{ KWh}/\text{m}^2.\text{día}$
- Aprovechamiento solar en práctica  $t = 2h$
- Irradiación  $G = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$
- Rendimiento medio de un subsistema motor – bomba tomado de estudios empíricos vistos anteriormente  $\eta_{mb} = 0,3$



## Potencia del generador fotovoltaico

$$P_e = \frac{E_e}{t} = \frac{0,109 \text{ KWh}}{2 \text{ h}} = 0,0545 \text{ KW}$$

$$P_e = P_p$$

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{m-b}} = \frac{32,7 \text{ Wh}}{0,3} = 109 \text{ Wh} = 0,109 \text{ kWh}$$



# Diseño de la Propuesta

## Panel solar policristalino SYNTHESIS POWER SP85P

Potencia nominal ( $P_{max}$ ): 85 [W]

$V_{mp}$ : 17.78 [V]

$V_{oc}$ : 21.33 [V]

$I_{sc}$ : 5.35 [A]

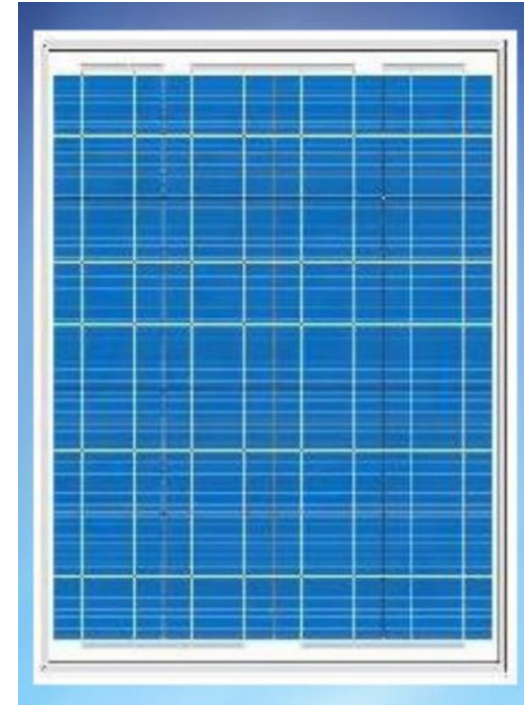
$I_{mp}$ : 4.78 [A]

Voltaje máximo del sistema: 1000 [V]

Longitud: 970 [mm]

Ancho: 685 [mm]

Peso: 7.3 [kg]



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Diseño de la Propuesta

## Dimensionado y selección motor – bomba solar

### Especificaciones bomba solar

- Rango de profundidad: 230 pies (70 metros)
- Rango de Flujo: 0,6-2 GPM (2.3 a 7.6 LPM) ó (138 a 256 l/h)
- Actual máximo de carga: 4,2 Amperios
- Carga máxima de energía: 126 Watts
- Descarga Tamaño: 1/2 "BT NPT o 15mm
- Diámetro Mínimo Bueno: 4 "(100 mm)
- CC Rango de voltaje: 30-Dec



# Diseño de la Propuesta

Con los datos del fabricante del panel y bomba solar seleccionados, se puede calcular el número de paneles que el módulo didáctico de bombeo solar necesitará y la potencia y caudal pico que proporcionará la moto – bomba

$$N = \frac{E_e}{P_p t}$$

$$N = \frac{109 \text{ Wh}}{(85\text{W})(2h)}$$

$$N = 0,64 \approx 1$$

$$P = \frac{gQh}{\eta_b} \quad [W]$$

$$P = \frac{(9,81 \text{ m/s}^2)(0,056)(70\text{m})}{0,56}$$

$$P = 68,67 \text{ W}$$

$$Q_p = \frac{P_p \eta_b}{gh} \quad [l/s]$$

$$Q_p = \frac{(68,67\text{W})(0,56)}{(9,81 \text{ m/s}^2)(70\text{m})}$$

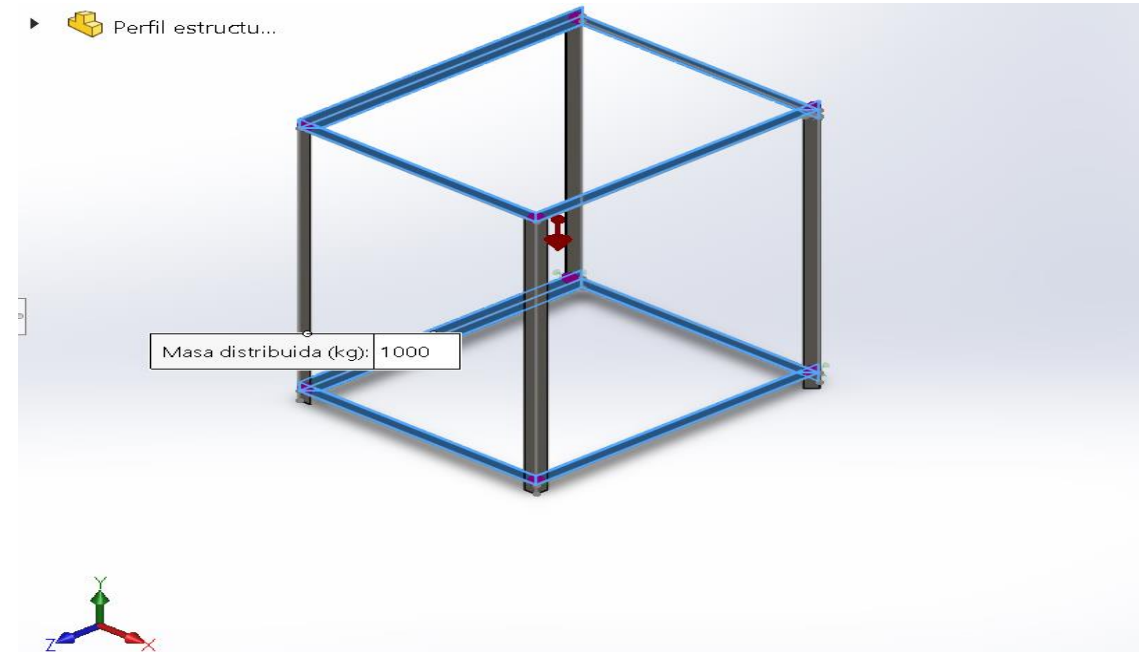
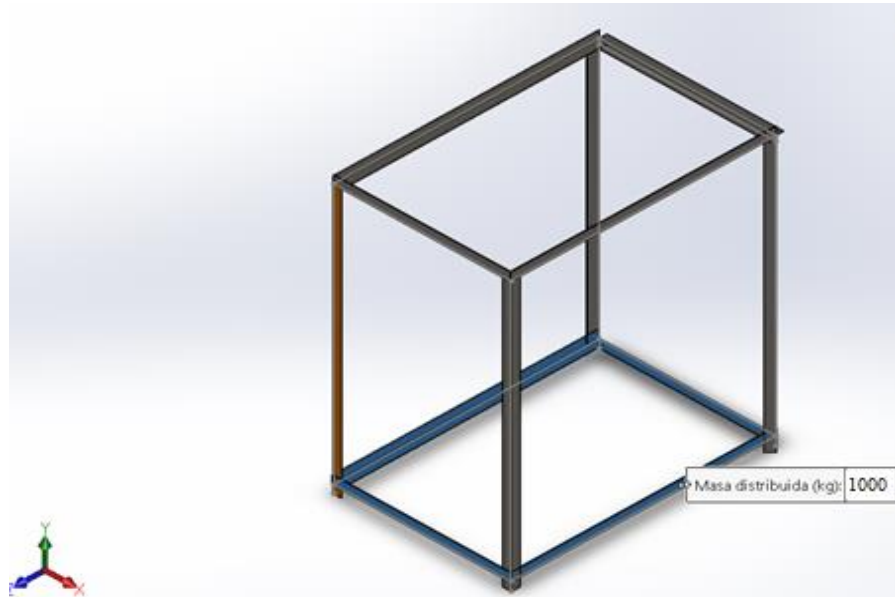
$$Q_p = 0,056 \text{ l/s} = 3,36 \text{ l/min} = 201,6 \text{ l/h}$$



# Diseño de la Propuesta

## Diseño mecánico de la estructura mecánica

Factor de seguridad: mayor a 1





# *Diseño de la Propuesta*

## Instalación del módulo didáctico

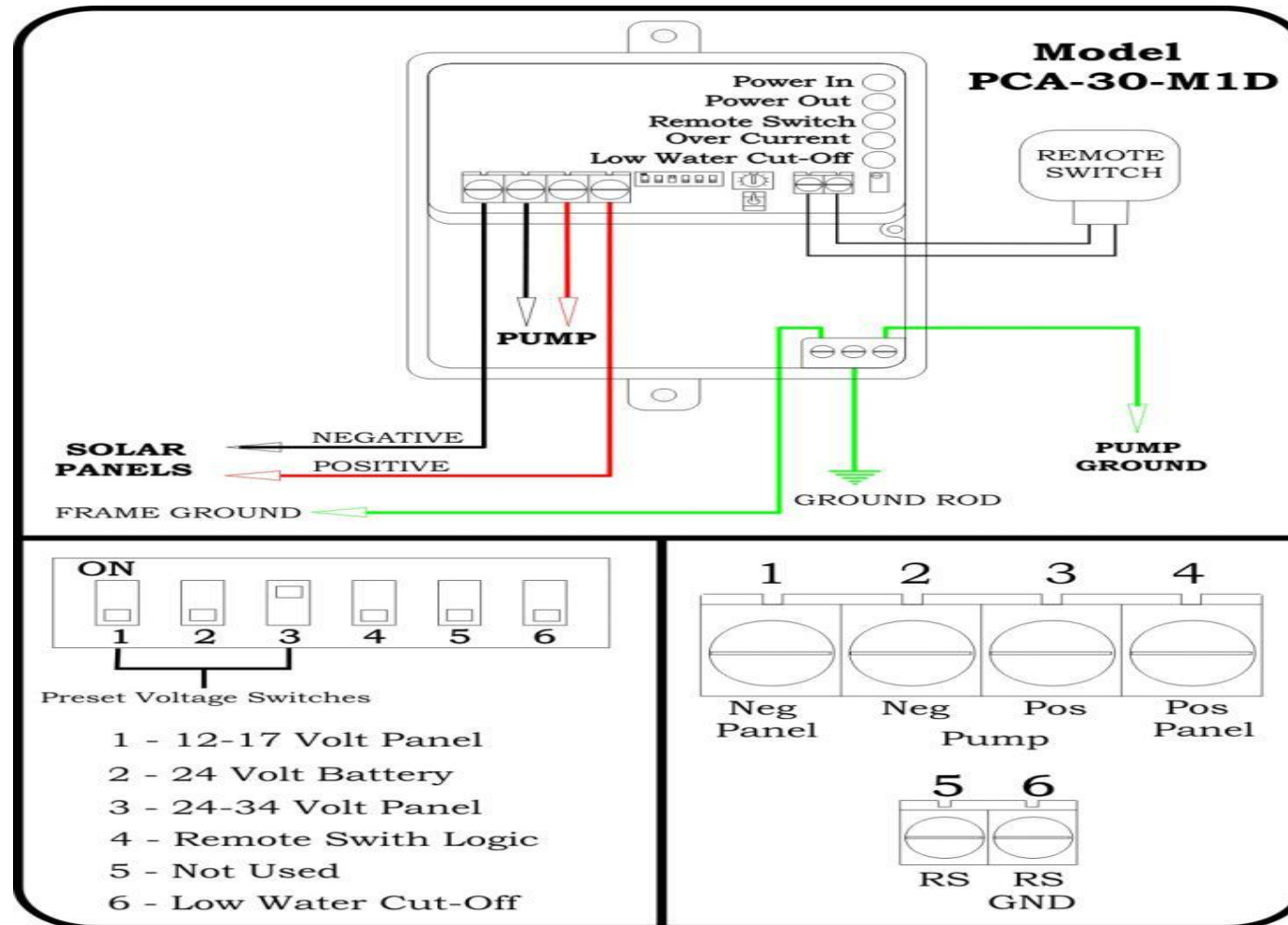


# Puesta a punto del equipo

De acuerdo a las instrucciones mostradas por el fabricante de la bomba solar que son mostrados en los Anexos E, se hace referencia que para operar con panel fotovoltaico de 12 a 17 voltios se debe activar el dip - switch 1 a la posición ON, así mismo como parte de las protecciones del controlador se debe activar el dip - switch 4 a la posición ON previo se deberá realizar la instalación de los sensores de nivel los mismos que son dos, el primero protege que la bomba no trabaje con bajo nivel de agua y el segundo en el tanque de descarga que no pase un nivel superior el líquido.

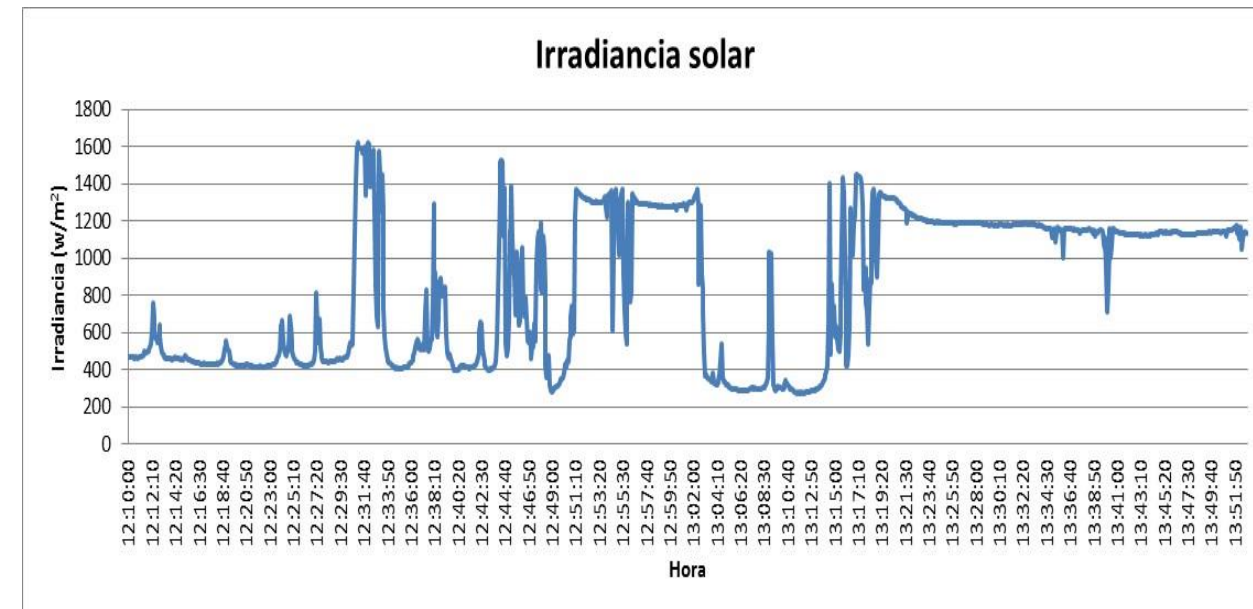
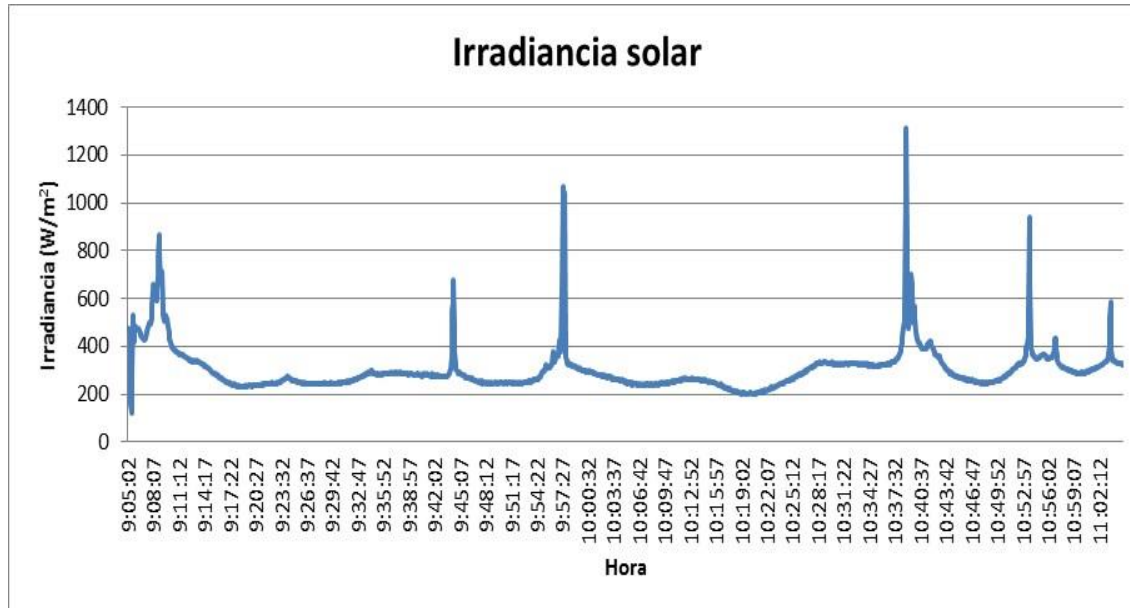


# Controlador Bomba Solar



# Pruebas y resultados

## Determinación del volumen de agua bombeado



# Pruebas y resultados

## Pruebas de bombeo en horas de la mañana

Magnitud	Valor	Unidad
<u>Irradianción solar</u>	605,53	Wh/m <sup>2</sup>
Área del panel solar	0,560	m <sup>2</sup>
Energía solar entrada panel	402,08	<u>Wh</u>
Energía entregada por el panel	42	<u>Wh</u>
Volumen bombeado	0,399	m <sup>3</sup>
Rendimiento panel	10,45	%
Energía hidráulica en Julios	9785,48	J
Energía hidráulica en <u>Wh</u>	2,72	<u>Wh</u>
Rendimiento motor - bomba	6,47	%

## Pruebas de bombeo en horas de la tarde

Magnitud	Valor	Unidad
<u>Irradianción solar</u>	1442,86	Wh/m <sup>2</sup>
Área del panel solar	0,560	m <sup>2</sup>
Energía solar entrada panel	808,00	<u>Wh</u>
Energía entregada por el panel	46	<u>Wh</u>
Volumen bombeado	0,422	m <sup>3</sup>
Rendimiento panel	5,69	%
Energía hidráulica en Julios	10349,55	J
Energía hidráulica en <u>Wh</u>	2,87	<u>Wh</u>
Rendimiento motor - bomba	6,25	%



# Pruebas y resultados

## Determinación del rendimiento del sistema

*Determinación rendimiento sistema de bombeo con  $G = 1000 \text{ W/m}^2$*

Presión (PSI)	h (m)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia eléctrica (W)	Caudal (LPM) (m <sup>3</sup> /s)	Potencia hidráulica (W)	Rendimiento (%)	
4	2,8	19,5	1,43	27,89	4,5	0,00007500	2,07	7,42
10	7,0	19,5	1,59	31,01	4,3	0,00007167	4,92	15,87
20	14,1	19,5	1,91	37,25	4,2	0,00007000	9,68	26,00
25	17,6	19,5	2,05	39,98	4,1	0,00006833	11,78	29,47
30	21,1	19,5	2,35	45,83	4,1	0,00006833	14,14	30,87

*Determinación rendimiento sistema de bombeo con  $G = 350 \text{ W/m}^2$*

Presión (PSI)	h (m)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia eléctrica (W)	Caudal (LPM) (m <sup>3</sup> /s)	Potencia hidráulica (W)	Rendimiento (%)	
3,5	2,5	15,5	1,35	20,93	3	0,0000 5000	1,21	5,77
10	7,0	15,5	1,46	22,63	2,5	0,0000 4167	2,86	12,64
15	14,1	15,5	1,59	24,65	2,3	0,0000 3833	5,30	21,51



# Pruebas y resultados

$$\eta = \frac{P_h}{P_e}$$

$$E_h = \delta ghV$$

$$\frac{E}{t} = P$$

$$\frac{E}{t} = \frac{\delta ghV}{t}$$

$$\frac{V}{t} = Q$$

$$P_h = \delta ghQ$$

$$P_h = (1000 \text{ Kg}/\text{m}^3)(9,81 \text{ m}/\text{s}^2)(21,1\text{m})(0,00006833 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$P_h = 14,14 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{14,14 \text{ W}}{45,83 \text{ W}} = -0,308 * 100\% = 30,8\%$$



# CONCLUSIONES

- Una característica principal para el funcionamiento de un sistema de bombeo solar fotovoltaico es la radiación solar captada por paneles fotovoltaicos. En la actualidad hay dos formas más comunes en la fabricación de paneles solares fotovoltaicos, con celdas monocristalinas y policristalinas, los paneles solares monocristalinos son más eficientes por ende mayor costo, los policristalinos son de mayor simplicidad en el proceso de fabricación, lo que deriva en que son paneles más baratos.
- La capacidad de generar electricidad en un panel solar es directamente proporcional al área de captación y la irradiancia. Para el presente proyecto de investigación se llegó a la conclusión de utilizar un solo panel solar policristalino de 85 watts que tiene un área de captación solar de  $0,560 \text{ m}^2$ .





## CONCLUSIONES

- La bomba seleccionada para el módulo es una bomba sumergible de desplazamiento positivo con conexión directa sin almacenamiento por batería; la misma que puede operar con un voltaje DC de 12-30 voltios.
- Todo el sistema dependerá de la cantidad de energía hidráulica que se necesita, que a su vez depende del volumen de agua y a la altura que requiere ser elevada.
- El volumen de agua bombeada por el sistema de bombeo solar, es directamente proporcional a la potencia que este dispone, y es inversamente proporcional a la altura a la que se necesita elevar el agua.



# CONCLUSIONES

- La cantidad de agua impulsada dependerá también de la eficiencia que disponga el sistema de bombeo solar fotovoltaico en conjunto, En condiciones de temperatura normal estas eficiencias son mayores que en condiciones normales de operación.
- La energía eléctrica que requiere el sistema para bombear 400 litros de agua a una altura geométrica de 2,2 metros fue de 42 Wh con una irradiación de  $605,53 \text{ Wh}/\text{m}^2$  en un período de tiempo de dos horas.
- Para una irradiancia solar de  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$  , una presión de trabajo de 30 PSI (21,1 metros de altura) y con un caudal 4,1 litros por minuto, la eficiencia del sistema moto - bomba fue del 30,8%.



# RECOMENDACIONES

- Al momento de instalar la bomba solar; ubicarla en posición vertical dejando un espacio recomendado por el fabricante, con el fin de que los sedimentos en el fondo no interfieran con su funcionamiento.
- Para las conexiones eléctricas de la bomba sumergible y demás subsistemas, realizarlas con empalmes adecuados protegiéndolos con cinta que se endurece con el agua o con cinta térmica.
- Para realizar las operaciones de mantenimiento se recomienda asegurarse de desenergizar el sistema completamente empleando el interruptor de mando del controlador y desconectando la alimentación hacia el medidor de energía instalado.
- Revisar antes de realizar una práctica que las válvulas de paso de fluido estén abiertas, para impedir que la bomba se sobrecargue y pueda trabajar con normalidad.
- Con la infraestructura implementada actualmente se puede realizar a futuro estudios con otros sistemas de bombeo como por ejemplo con moto - bombas que utilicen convertidores de frecuencia con o sin almacenamiento eléctrico.



**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA