

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA Y  
ELÉCTRICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR PARA EL  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LAS COMUNIDADES  
NATIVAS: ANCON COLONIA, POBRE ALEGRE Y PUERTO RICO  
DE BARRANQUILLA, DISTRITO DE PEBAS - LORETO”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER  
OCHICUA QUIQUINLLA, LUIS ALFREDO**

**Villa El Salvador**

**2019**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado para todos los niños de nuestra amazonia peruana que no cuentan con el servicio de agua potable restringidos por la economía de sus comunidades, esperando que sea de mucha ayuda para el desarrollo de proyectos semejantes como este en el futuro.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y mis padres por haberme inspirado a mantenerme siempre firme y levantarme siempre durante este gran esfuerzo que consistió mi carrera como Ingeniero Mecánico Electricista.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1 Descripción de la Realidad Problemática .....	3
1.2 Justificación del Problema .....	4
1.3 Delimitación del Proyecto .....	5
1.3.1.-Teórica.....	5
1.3.2.-Temporal.....	5
1.3.3.-Espacial .....	5
1.4 Formulación del Problema .....	6
1.4.1 Problema General .....	6
1.4.2.-Problemas específicos .....	6
1.5 Objetivos .....	6
1.5.1 Objetivo General .....	6
1.5.2 Objetivos Específicos .....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	7
2.1 Antecedentes .....	7
2.2 Bases Teóricas .....	9
2.2.1 Factibilidad de operación del sistema.....	9
2.2.2 Energía fotovoltaica.....	13
2.2.3 Hidráulica del sistema de bombeo.....	20
2.2.4 Bombeo fotovoltaico.....	21
2.2.5 Dimensionamiento de la demanda energética.....	25
2.2.6 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico para bombeo de agua .....	26
2.2.7 Conexión de puesta a tierra .....	30
2.3 Definición de términos básicos.....	32
2.3.1 Abatimiento .....	32
2.3.2 Altura de descarga .....	32
2.3.3 Carga estática .....	32
2.3.4 Carga dinámica total .....	32
2.3.5 Carga eléctrica .....	32
2.3.6 Diseño.....	32
2.3.7 Eficiencia de la bomba .....	32

2.3.8 Energía solar.....	33
2.3.9 Factor de rendimiento del conductor .....	33
2.3.10 Insolación.....	33
2.3.11 Sistema de bombeo .....	33
<b>CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL .....</b>	<b>34</b>
3.1 Modelo de solución propuesta .....	34
3.1.1 Análisis.....	34
3.1.2 Calculo de la demanda energética .....	37
3.1.3 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico para el bombeo de agua.....	38
3.2 Resultados .....	45
3.3 Tabla final de resultados .....	46
3.4 Costos y presupuestos.....	47
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>52</b>

## INTRODUCCIÓN

El uso de energías renovables es una tendencia creciente en todo el mundo por múltiples factores que componen beneficios concretos, tales como el cuidado ambiental y el bajo costo de operación y mantenimiento.

La expansión de las energías renovables está llevando a cabo una profunda transformación del sistema energético global. En 2017, las renovables aportaron el 70% de la nueva capacidad eléctrica neta añadida global. La energía fotovoltaica desempeña un papel central en esta transición: tan solo en 2017 se añadió más capacidad de generación fotovoltaica que el total de nueva capacidad añadida de carbón, gas y nuclear combinados. Gran parte de esta transformación se debe a la continua caída de los costos de generación, así como a la reducción de los costos de los paneles solares: entre 2010 y 2017, los costos de la electricidad generada mediante paneles fotovoltaicos se redujeron casi un 70% mientras que los costos de los módulos fotovoltaicos cayeron un 80% desde el 2009.

En el Perú en 2018 se instalaron más de 80 mil paneles solares en zonas rurales de todo el rincón del país con el objetivo de reducir la brecha que contamos en el ámbito de electrificación rural. El Ministerio de Energía y Minas (MEM) viene impulsando varios proyectos eléctricos con energía renovables en áreas desconectadas a la red, a mediados del 2019 se habrá instalado unos 200 mil paneles solares, esto beneficiará a la población con un servicio de electrificación y garantizados por 15 años. Este proyecto comprende la instalación de equipos fotovoltaicos de mucha más capacidad en más de 4 mil centros educativos y postas médicas, sostuvo el Viceministro de electricidad Raúl García en San Borja el 21 de septiembre del 2018. Aun con este dato es necesario intervenir en la ejecución de nuevos proyectos añadiendo este tipo de tecnología en los Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable (SAAP).

En el distrito de Pebas existen 64 comunidades rurales donde se viene planificando proyectos de electrificación con sistemas fotovoltaicos para uso doméstico, tales como Alan García, Pobre Alegre, Atahualpa cuentan ya con este servicio al nivel de viviendas quedando aun con una gran brecha por cerrar. Las comunidades priorizadas para este trabajo de suficiencia son Ancón Colonia, Pobre Alegre, Puerto Rico de Barranquilla del distrito de Pebas, Provincia Mariscal Ramón Castilla, Departamento de Loreto, que cuentan con sistemas no convencionales de abastecimiento de agua potable inoperativo.

Es por eso que este trabajo mediante el cambio de matriz energética del sistema de abastecimiento por instalaciones fotovoltaicas busca beneficiar todas las familias de estas 3 comunidades, reduciendo los gastos de operación y mantenimiento.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la Realidad Problemática**

La importancia de diseñar una instalación fotovoltaica para el suministro de energía eléctrica a los SAAP en comunidades nativas, radica en que además de ser una tecnología amigable con la naturaleza, que viene aplicándose en la generación de energía limpia en los últimos años al nivel mundial, es una tecnología que genera bajos costos de operación y mantenimiento a la hora de brindar el servicio a los pobladores.

El beneficio que se obtendrá a la hora de diseñar una instalación fotovoltaica a estos sistemas va más allá de que cada familia de la comunidad cuente con un servicio de agua potable constante y barata, sino que se reducirá la mortalidad y morbilidad de la población causados por las enfermedades de origen hídrico tales como las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs), Desnutrición Crónica Infantil (DCI). Sin dejar de mencionar el gran apoyo que se genera estas instalaciones en beneficio de nuestro planeta en el tema de contaminación.

Es necesario diseñar una instalación fotovoltaica para el suministro de energía a los SAAP en las comunidades nativas porque es urgente brindar el servicio a los habitantes de las comunidades, teniendo en cuenta que en la actualidad se abastecen de agua de río cercanos poniendo en riesgo la salud y el desarrollo neuronal de los niños, y sobre todo con esta acción se evitara cualquier tipo de epidemia de origen hídrico.

El diseño de las instalaciones fotovoltaicas será aplicado en los SAAP de las comunidades nativas Ancón Colonia, Pobre Alegre y Puerto Rico de Barranquilla, del distrito de Pebas, Provincia Ramón Castilla, departamento de Loreto.

Tras un diagnóstico que se realizó meses anteriores se obtuvo la información de que las comunidades mencionadas anteriormente cuentan con SAAP inoperativos. El suministro de energía de estos sistemas es con motores generadores que se encuentran inoperativos por falta de combustible y en algunos casos por la mala operación y mantenimiento que recibían.

A razón de la problemática encontrada se ve la necesidad de diseñar una instalación fotovoltaica para el suministro de energía a los SAAP de las comunidades nativas mencionadas para mejorar el servicio y la calidad de agua que se brinda a los pobladores y con esto evitar y reducir la mortalidad y morbilidad de la población causados por las enfermedades de origen hídrico.

## **1.2 Justificación del Problema**

El bajo desarrollo económico y ubicación geográfica de las comunidades nativas con SAAP, hace difícil obtener combustible para poner en marcha los motores generadores de energía eléctrica que alimentan a las bombas sumergibles, y resulta de especial interés diseñar una instalación fotovoltaica para el suministro de energía para estos sistemas de abastecimiento que podrá brindar un nuevo servicio de agua potable constante y barato, además de contar con bajos costos de operación y mantenimiento.

El presente trabajo surge por la necesidad de diseñar una instalación fotovoltaica para poder suministrar energía a los SAAP en las comunidades nativas ya mencionadas con anterioridad. Se iniciará con la factibilidad, cálculos y dimensionamientos de cada componente de estos sistemas.

El trabajo busca obtener sistemas de abastecimiento de agua operativos que brinden el servicio constante y barato, con efectos positivos en la salud de cada familia en las comunidades nativas.

## 1.3 Delimitación del Proyecto

### 1.3.1.-Teórica

El siguiente trabajo se limita a ser un diseño de instalaciones fotovoltaicas para el suministro de energía eléctrica a los SAAP en las comunidades nativas mencionadas.

### 1.3.2.-Temporal

El tiempo del trabajo tuvo una duración de 02 meses, desde octubre a noviembre del 2019.

### 1.3.3.-Espacial

El presente trabajo se realizó en las comunidades Nativas Ancón Colonia, Pobre Alegre, Puerto Rico de Barranquilla, del distrito de Pebas, Provincia Mariscal Ramón Castilla. Las comunidades se encuentran a un tiempo de 6, 2 y 1 horas respectivamente de la capital del distrito de Pebas utilizando la vía fluvial del Río Amazonas y Río Yahuasyacu en motonave.



**Figura 1:** Ubicación del distrito de Pebas

Fuente: Internet

## **1.4 Formulación del Problema**

### **1.4.1 Problema General**

¿Cómo diseñar un sistema de bombeo solar para el suministro de energía a los SAAP en las comunidades nativas de Ancón Colonia, Pobre Alegre y Puerto Rico de Barranquilla?

### **1.4.2.-Problemas específicos**

- ¿Será factible cambiar la matriz energética de motores de combustión interna a energía fotovoltaica en los SAAP?
- ¿Cómo calcular y dimensionar los paneles fotovoltaicos, baterías, controladores y conductores para los SAAP?
- ¿Cómo instalar los paneles fotovoltaicos, baterías, controladores y conductores en los SAAP?

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de bombeo solar para el suministro de energía de los SAAP en las comunidades de Ancón Colonia, Pobre Alegre, Puerto Rico de Barranquilla.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Cambiar la matriz energética de motores de combustión interna a energía fotovoltaica en los SAAP.
- Calcular y dimensionar los paneles fotovoltaicos, baterías, controladores y conductores para los SAAP.
- Instalar los paneles fotovoltaicos, baterías, controladores y conductores en los SAAP.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

#### **Contexto internacional**

**David Antonio Salmerón Rodríguez y Jimmy Alexander Blandón Rivas (2014)** en su tesis titulado “Estudio de pre inversión de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua en la comunidad de san Antonio del municipio de Jinotepe”, llevado a cabo en la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua, tuvieron como objetivo desarrollar un proyecto de bombeo fotovoltaico que dé solución a la situación de escasas de agua en su comunidad. Su conclusión fue, que existen beneficios con la implementación de los sistemas de bombeo fotovoltaicos, como el tiempo que se ahorra al momento de la operación y mantenimiento. Por ejemplo, los sistemas fotovoltaicos operan de manera automática en el encendiendo del equipo cuando sale y se puesta el sol.

**Leno Enmanuel Gonzales Dávila y Ángel Rubén Lanuza Centeno (2018)** en su tesis titulado “Propuesta de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para riego por goteo en la finca Concepción comarca Alto Viejo San Nicolás - Estelí , durante el periodo de julio a noviembre del 2017”, realizado en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, nos expresan que a través del estudio de impacto ambiental se reduce 9.55 toneladas de CO<sub>2</sub> al año en comparación con un sistema suministrado con motores de combustión. Cabe rescatar que al utilizar energías renovables reducimos los niveles de carbono en el planeta.

## **Contexto nacional**

**Elver Demetrio Sosa Cutipa (2017)** en su tesis titulado “Diseño del sistema de bomba solar utilizando bomba sumergible híbrido con variador de velocidad para la comunidad Quenafajja del Distrito de Acora provincia de Puno”, realizado en la Universidad Nacional del Antiplano de Puno, nos expresa que con la implementación de controladores al sistema de bombeo, ayudan a llevar a cabo un control más eficiente disminuyendo la pérdida en fuga de agua en el almacenamiento, además evitan los daños a las bombas en la operación en vacío, permite una exitosa sincronización en el arranque.

**Javier Dávalos Pongo (2019)** en su tesis titulado “Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba distrito de Bellavista, Jaén-Cajamarca” llevado a cabo en la Universidad Nacional de Jaén, nos expresa que aplicando el criterio del mes menos favorable para el diseño del sistema, seleccionó el mes que dispone de un promedio de 3,71 Wh/m<sup>2</sup>/día teniendo en conclusión un buen rendimiento de las motobombas.

**Gabriel Alexander Sánchez Montenegro (2019)** en su tesis titulado “Propuesta de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua subterránea en la provincia de Celendín - Cajamarca”, elaborado en la Universidad Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, nos expresa que para su tesis compiló información de NASTEC SOLAR CALCULATOR y datos de radiación solar del atlas solar de nuestro país, teniendo información positiva para los cálculos del sistema de bombeo fotovoltaico para cada mes. Además, fueron positivos los resultados de la evaluación económica ya que los parámetros son bastante aceptables.

## 2.2 Bases Teóricas

### 2.2.1 Factibilidad de operación del sistema

Los sistemas fotovoltaicos son una solución para muchas comunidades que se encuentran lejanos a las redes de distribución eléctrica. Para la aplicación de estos sistemas se debe considerar lo siguiente:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No consume combustible.	Inversión inicial relativamente alta.
Larga vida útil (de 10 a 20 años)	Acceso a servicio técnico limitado
Bajo impacto ambiental	Producción de agua variable
Bajos costos de operación y mantenimiento	dependiendo de condiciones meteorológicas.

Tabla 1: ventajas y desventajas para el uso de sistemas fotovoltaicos

Fuente: Elaboración propia

Según Sandia National Laboratories (2001) asegura que:

Para que un proyecto sea exitoso se debe tener conocimiento de la realidad del sitio, preguntas como ¿Qué hace que un sitio sea el ideal para aplicar este tipo de sistemas por bombeo solar? ¿Cuáles son las diferencias del sitio de estudios con otros? ¿Cuánto costará el proyecto? son preguntas que se deben responder. (pag.2)

En resumen, el autor manifiesta que debemos de contar de información de la realidad y aproximar los presupuestos necesarios según los recursos que contamos.

Para el diseño, se considerara lo siguiente:

- **Identificar la existencia de otras fuentes de energía**

Lo primero a realizarse es identificar si hay cerca alguna otra fuente de energía eléctrica. Reconocer si la distancia de alguna red de distribución eléctrica o motores de combustión interna existe, porque podría ser más ventajoso económicamente. Normalmente se tomara esta la opción de sistemas fotovoltaicos en los proyectos siempre en cuando la red de distribución eléctrica este más de 0.5 kilómetros.

- **Aplicaciones y uso del agua**

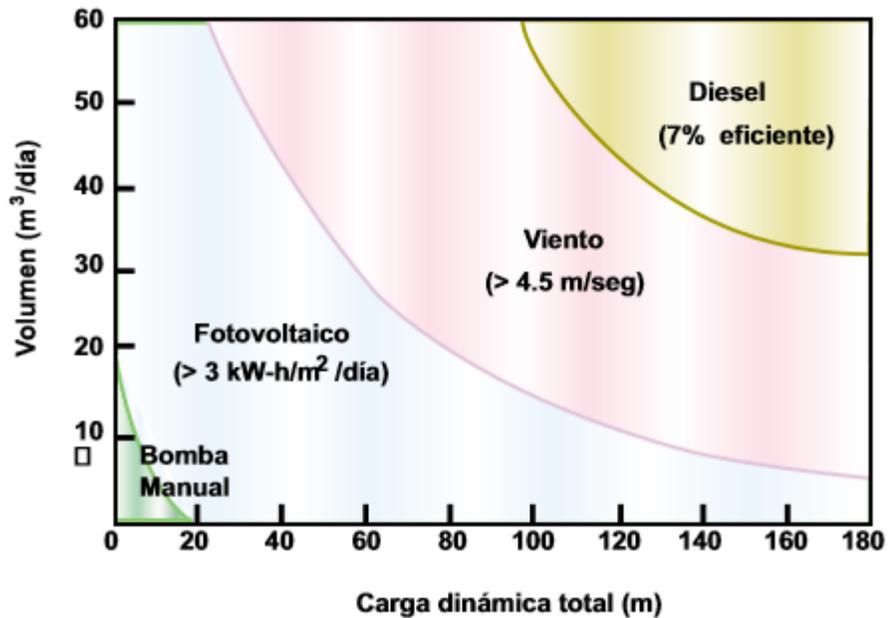
Según Sandia National Laboratorios (2001), las aplicaciones que se optan por la eficiencia son en sistemas para abrevaderos de ganados y consumo humano, sin embargo, si consideramos esta opción en los sembríos generalmente no son rentables, ya que se invierte más en la obtención del agua que adquirir ganancias en las cosechas. (pág.3)

- **Características del bombeo**

Para calcular el tamaño y costo del sistema fotovoltaicos de bombeo se debe conocer la carga dinámica total (CDT) o Altura Total Equivalente.

Según Sandia National Laboratorios (2001). El ciclo hidráulico es el indicador importante para dimensionar los costos y el tamaño del sistema, se define como el producto de la CDT en (m) y el volumen diario en ( $m^3$ ). En proyectos anteriores nos muestran que es viable en la parte económica cuando el ciclo hidráulico no sobrepasa los  $1,500 m^4$ . (pág.3)

La Figura 2 Indica la tecnología apropiada a partir del volumen diario y la CDT



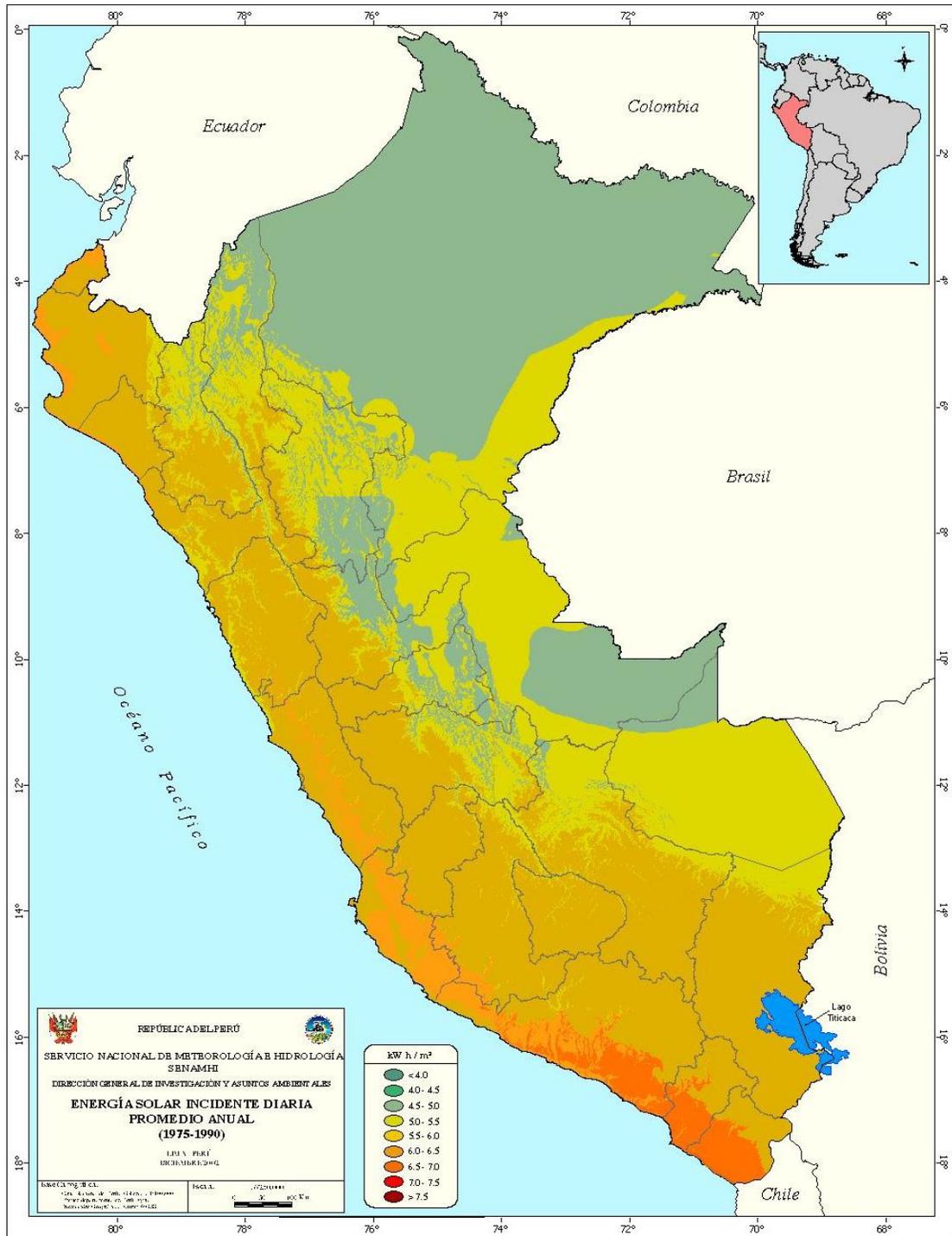
**Figura 2:** Selección de tecnología de bombeo de acuerdo al ciclo hidráulico

**Fuente:** (Laboratories, Sandia National, 2001)

### • Disponibilidad del recurso solar

La energía que proviene del sol se le llama insolación y su unidad es kWh/m<sup>2</sup>. Es recomendable que las zonas donde se ejecutaran estos tipos de proyectos cuenten con al menos 3 kWh/m<sup>2</sup> para justificar y seguir avanzando con lo que procede.

Existen tablas y mapas de insolación promedio anual y mensual para diferentes zonas del país como se muestra en la siguiente figura.

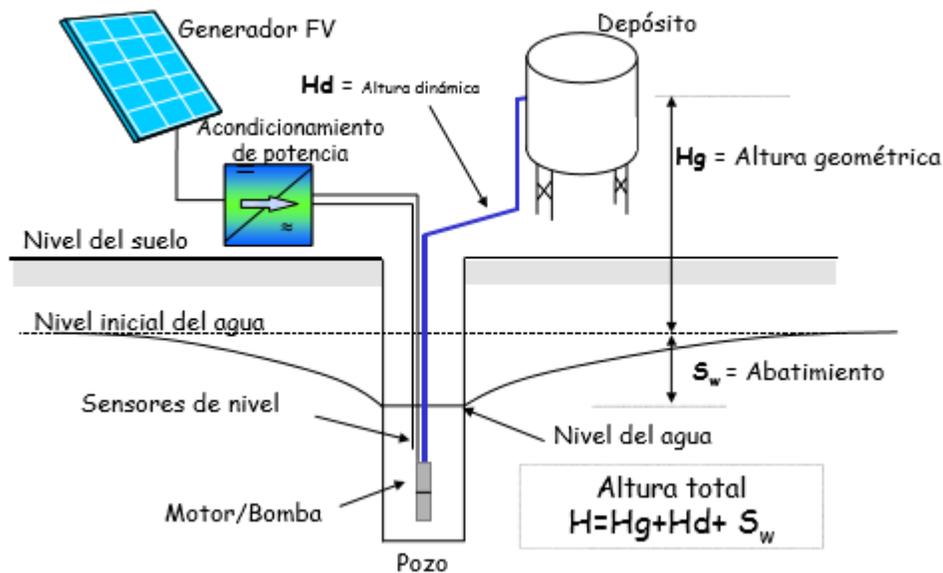


**Figura 3:** Insolación diaria promedio anual

**Fuente:** (solar, 2019)

## 2.2.2 Energía fotovoltaica

Una instalación de bombeo fotovoltaico está conformado por paneles solares, bomba, tubos y un reservorio. El sistema debe contar con una buena instalación y protección, donde se utilice sensores de niveles en el pozo y el depósito para evitar pérdidas de agua y la operación en vacío.



**Figura 4:** Esquema típico de un sistema de bombeo fotovoltaico

**Fuente:** (Abella, 2000)

### El recurso solar

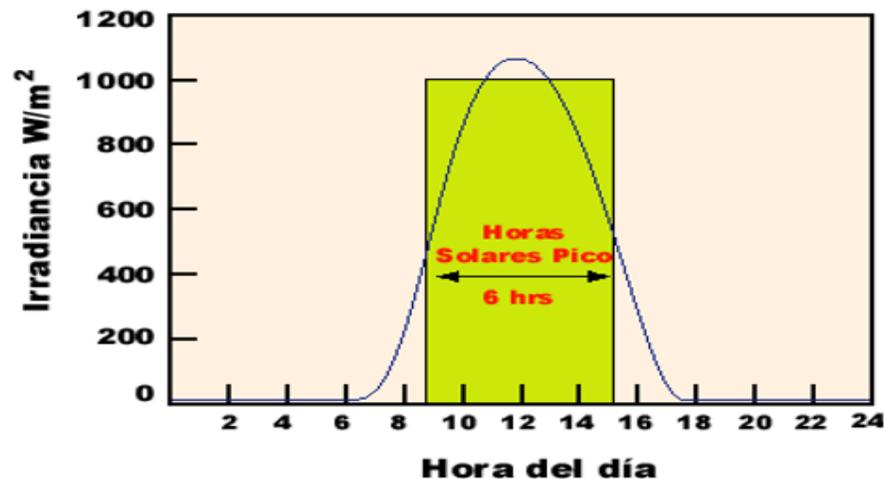
El sol es una fuente de energía inagotable, por su gran masa se puede asegurar que su tiempo de vida es infinito. Mayor parte de esta energía llega a nuestra superficie en forma de radiación electromagnética llamada energía solar, y está formada básicamente por luz y calor.

La potencia de la radiación solar que se da en un tiempo y lugar determinado se le conoce como irradiación y se mide en  $W/m^2$ .

La radiación terrestre se clasifica en directa y difusa. Se define radiación directa cuando llega a la tierra sin haber sufrido ningún proceso en el transcurso. La radiación difusa es la obtenida después de un proceso que ocurre en la atmósfera, procesos como refracción y reflexión.

## Insolación

Sandia National Laboratories (2001), define que la insolación es el valor acumulado de la irradiación en un tiempo determinado, con su unidad de  $Wh/m^2$ , se expresa también en horas solares pico.

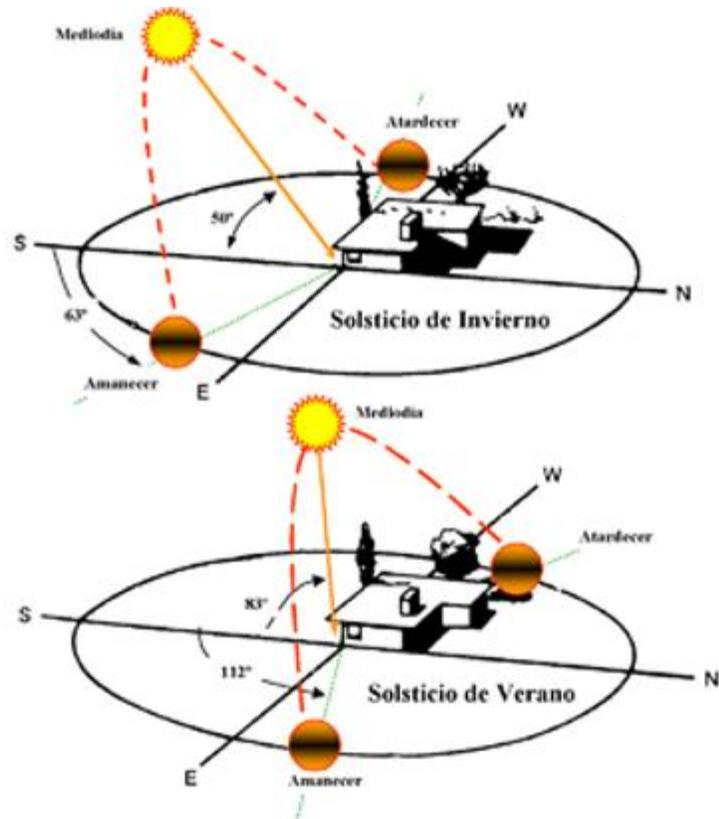


*Figura 5:* Irradiación y horas solares pico (insolación)

Fuente: (Blasco, 2013)

## La trayectoria solar

Sandia National Laboratories (2001), define que el movimiento aparente es un parámetro que afecta a la incidencia de la radiación sobre un captador solar. Nuestro planeta cuenta con dos tipos de movimientos: movimiento traslacional y rotacional, donde se crea los estados del año. (pag.9)

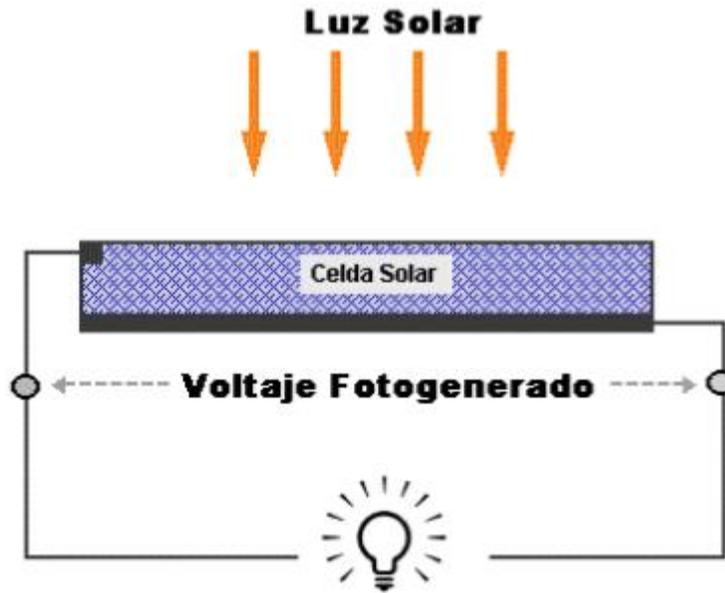


**Figura 6:** Movimiento aparente del sol.

**Fuente:** (Laboratories, Sandia National, 2001)

### Efecto fotovoltaico

Según Sandia National Laboratories (2001), el efecto fotovoltaico se lleva a cabo cuando en un equipo o dispositivo se genera una diferencia de voltajes causado por la absorción de la luz solar. Y al conectarlo a una carga se origina una corriente que tendrá la capacidad de realizar un determinado trabajo. Este efecto se genera en la celda solar. (Pag.11)



**Figura 7:** Representación física del efecto fotovoltaico en una celda solar.

**Fuente:** (Laboratories, Sandia National, 2001)

### **Materiales de fabricación**

Sandia National Laboratories (2001). Nos menciona que los materiales que se fabrican para poder generar este efecto fotovoltaico son en sólidos, líquidos y gaseosos. Donde utilizando materiales sólidos se ha encontrado una aceptable eficiencia de conversión de energía. El semiconductor que se utiliza en gran parte de las industrias es el silicio. (pag.12)

### **Silicio Mono cristalino:**

Estas celdas son fabricadas de un único cristal de silicio de alta pureza, teniendo una eficiencia de 17%. Los paneles con este tipo de material son los más requeridos en el mercado, las cuales se brinda con una alta confiabilidad y garantía.

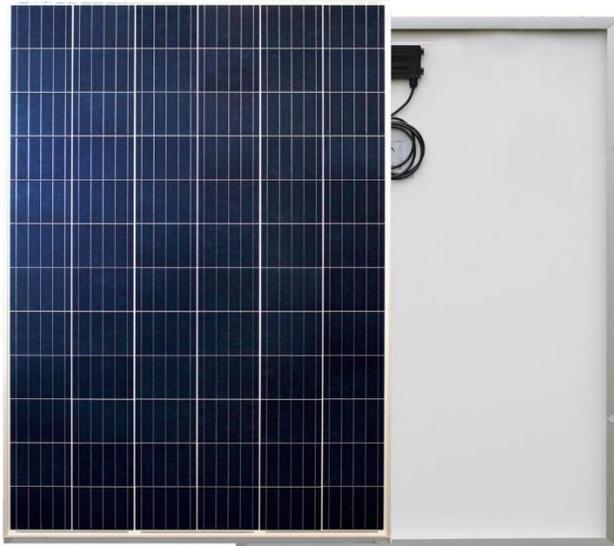


**Figura 8:** Aspecto de una red de células del silicio mono cristalino

**Fuente:** (Solarmat, s.f.)

### **Silicio Poli cristalino:**

Estas celdas están fabricadas de varios cristales de silicio, la eficiencia de conversión no supera a las mono cristalinas pero desarrolla una baja en los costos de fabricación.



**Figura 9:** Células Poli cristalinos

**Fuente:** (renovables, s.f.)

### **Silicio Amorfo:**

Este tipo de celda está incrementando su rango de eficiencia de conversión, en la actualidad cuenta con una eficiencia de 5 a 10%.



**Figura 10:** Célula de capa delgada montada sobre un sustrato flexible

**Fuente:** (AMAZON, s.f.)

### **Conceptos Básicos de electricidad**

Sandia National Laboratories (2001), nos menciona que los conceptos eléctricos que se deben conocer cuando hablamos de sistemas fotovoltaicos son la corriente (I), voltaje (V), potencia (P) y energía eléctrica. La corriente eléctrica se define como el número de electrones que circulan en un material y tiene como unidad el ampere. El voltaje es el esfuerzo que debe realizar una fuerza externa sobre los electrones del material para generar corriente, su unidad es el volts. La potencia eléctrica es la que se genera o se consume en un tiempo determinado, se calcula de la siguiente manera:

$$P = V \times I$$

La unidad de potencia eléctrica es Watt. Y en cuanto a la energía eléctrica, E, es la potencia generada o consumida en un periodo de tiempo t y se define como:

$$E = P \times t;$$

Si el tiempo de consumo está dado en horas, entonces las unidades para la energía producida serán: Watt-hora. (pag.14)

## **La celda solar de silicio cristalino**

Según Sandia National Laboratories (2001), los términos importantes que debemos de tener en cuenta de los paneles solares son:

### **Corriente a corto circuito (I<sub>cc</sub>):**

Según Sandia National Laboratories (2001), es la máxima corriente generada por los paneles solares. El valor para el corto circuito en paneles solares de silicio cristalino comerciales bajo condiciones estándares de medición es del orden de 40 mA/cm<sup>2</sup>.(pag.16)

### **Voltaje a circuito abierto (V<sub>ca</sub>):**

Según Sandia National Laboratories (2001), es el voltaje máximo que genera la celda solar. Este voltaje se mide cuando no existe un circuito externo conectado a la celda. (pag.16)

### **Máxima potencia generada (P<sub>m</sub>):**

Según Sandia National Laboratories (2001), Es el valor máximo se halla multiplicando los I<sub>m</sub> y V<sub>m</sub>. La eficiencia de conversión de la celda,  $\eta$ , se define como el cociente entre el valor de la máxima potencia generada, P<sub>m</sub>, y la potencia de la radiación luminosa o irradiación. (pag.16)

## **Conexiones Fotovoltaicas**

Según Sandia National Laboratories (2001), Son un conjunto de paneles solares conectados entre si, los valores eléctricos de este arreglo serán diferentes a los paneles individuales, como la corriente, voltaje y potencia dependiendo al número de paneles si están conectados en serie y en paralelo.

### **Incrementando el voltaje:**

Para obtener voltajes de salida grandes conectaremos en serie los módulos solares, este voltaje de salida, V<sub>s</sub>, es la suma de voltajes de cada módulo.

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

### Incrementando la corriente:

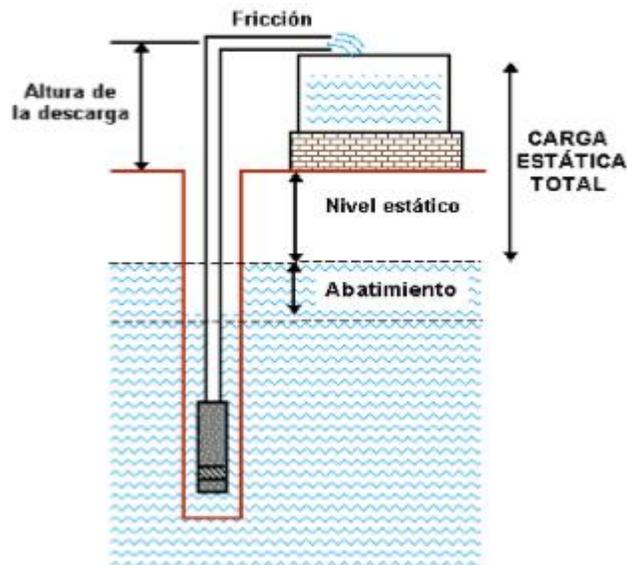
Para obtener corrientes más grandes se conectan en paralelo todos los módulos con la que se cuenta, la corriente de salida,  $I_s$ , es la suma de cada módulo conectada en paralelo.  $I_s = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$  (pag.20)

### 2.2.3 Hidráulica del sistema de bombeo

Conociendo la CDT y el Volumen necesario se podrá dimensionar el sistema de bombeo. La CDT es la suma de la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD)

#### Carga estática

Según Sandia National Laboratories (2001), es la distancia donde se desplaza el agua desde el nivel antes del abatimiento hasta la altura de descarga. La carga estática es la suma del nivel estático y la altura de la descarga. (pag.27)



**Figura 11:** Principales componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua

**Fuente:** (Laboratories, Sandia National, 2001)

### Carga dinámica (Fricción)

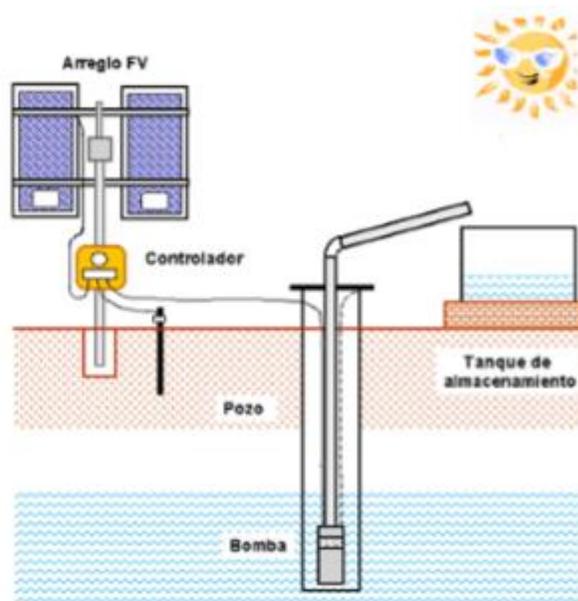
Según Sandia National Laboratories (2001), es la presión que se genera por la resistencia al flujo de agua debido a la rugosidad de las tuberías y accesorios de conducción. La rugosidad dependerá del material de la tubería, pudiendo ser acero o PVC; así también aumentara la rugosidad si el diámetro de las tuberías es mayor. (pag.28)

### 2.2.4 Bombeo fotovoltaico

Los sistemas de bombeo fotovoltaico satisfacen en la actualidad a varias necesidades como abrevaderos de ganados, regadíos, abastecimiento de agua para consumo humano. Estos son confiables, sencillos, necesitan poco mantenimiento y sobre todo no requiere combustible.

Los principales componentes que forman un sistema de bombeo fotovoltaico son: paneles solares, una bomba, controlador y baterías.

Los componentes principales que lo constituyen son: módulos fotovoltaicos, un controlador, un motor y una bomba.



**Figura 12:** Esquema de una instalación típica de un sistema FV de bombeo de agua

**Fuente:** (Laboratories, Sandia National, 2001)

A continuación, se describirá brevemente los componentes de un sistema de bombeo fotovoltaico.

### **Almacenamiento de energía**

Según Sandia National Laboratories (2001), es mucho más barato almacenar agua en los tanques que almacenar energía en las baterías. Es más convenientes usar las baterías cuando el rendimiento del pozo es bajo durante de día o cuando se quiera bombear agua de noche. Al usar las baterías estaríamos reduciendo la confiabilidad e incrementando los gastos de mantenimiento. Concluimos recomendando no usar baterías en estos sistemas.(pag.34)

### **Bombas compatibles para sistemas fotovoltaicos**

La potencia que generan los paneles fotovoltaicos depende de la radiación solar que disponen ya que durante el día el sol varía su posición y en consecuencia la potencia entregada a las bombas. Existen bombas diseñadas especialmente para electricidad fotovoltaica, estos se dividen en centrífugas y volumétricas. Para este trabajo solo nos concentraremos en las bombas centrífugas.

### **Bombas centrífugas**

Sandia National Laboratories (2001), detalla que estas bombas tienen un impulsor que a través de la fuerza centrífuga arrastran agua por su eje y la expulsan radialmente. Existen bombas de superficie y sumergibles, estas bombas pueden bombear el agua a 60 metros de CDT. (pag.34)

Las bombas centrífugas superficiales son instaladas al nivel del suelo con ventajas de ser observable y brindarle un servicio con facilidad. Pero con la desventaja de que no tiene un buen desempeño si la profundidad de succión sobrepasa los 8 metros.



**Figura 13:** Bomba centrífuga superficial

**Fuente:** (Laboratories, Sandia National, 2001)

Las bombas sumergibles tienen el motor acoplado a los impulsores y se sumerge en su totalidad. Por lo general las bombas sumergibles tienen varios impulsores, por eso se les conoce como bombas de paso múltiple.

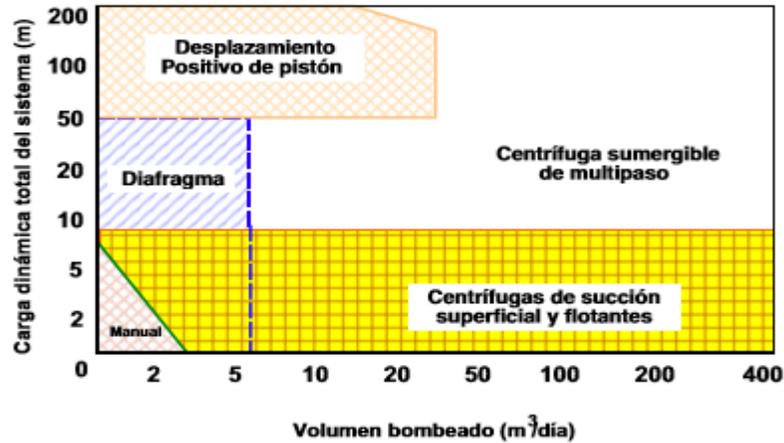


**Figura 14:** Bombas centrífugas sumergibles

**Fuente:** (industry, s.f.)

### **Selección de bomba**

La selección de la bomba es muy importante para todo proyecto, se debe considerar que bomba es la apropiada para que su uso de energía sea eficiente. En la Figura 15 indica el tipo de bomba adecuada que se sugiere dependiendo la CDT del sistema y el volumen bombeado.



**Figura 15:** Diagrama para selección del tipo de bomba.

**Fuente:** (Laboratories, Sandia National, 2001)

### Controladores

Si se logra diseñar buenos controles electrónicos podrían mejorar el rendimiento del sistema de un 10 a un 15 %, los más utilizados son los sensores de niveles de agua. El consumo de estos controladores es de 4 a 7% de la energía generada.



**Figura 16:** Controlador de un sistema fotovoltaico de bombeo

**Fuente:** (Laboratories, Sandia National, 2001)

## 2.2.5 Dimensionamiento de la demanda energética

### Cálculo de la energía hidráulica

Según IDAE (2009), la Energía hidráulica ( $E_H$ ) se calcula de la siguiente manera:

$$E_H = 2.725 * H_{TE} * Q$$

Donde:

$E_H$  es la energía hidráulica (Wh/día)

$H_{TE}$  es la altura total equivalente (m)

$Q$  es el caudal ( $m^3/día$ )

Al dividir la energía hidráulica entre las horas diarias de funcionamiento de la Motobomba obtenemos la Potencia Hidráulica:

$$P_H = \frac{E_H}{t}$$

Donde:

$P_H$  es la Potencia hidráulica (W)

$T$  es las horas diarias de funcionamiento. (H/día)

### Calculo de potencia eléctrica de la motobomba

La potencia eléctrica se calcula de la siguiente manera:

$$P_{MB} = \frac{P_H}{\eta_{MB}}$$

Donde:

$P_{MB}$  es la Potencia eléctrica de la bomba (W)

$\eta_{MB}$  es el rendimiento

### Calculo de la energía necesaria para el generador

Para calcular cual será la potencia máxima diaria que nos brindara los paneles veremos la siguiente ecuación:

$$E_{MB} = E_{Pot.Max.Diaria} = \frac{E_H}{\eta_{MB}}$$

Donde:

$E_{Pot.Max.Diaria}$  es la energía potencial máxima (Wh/día)

$E_H$  es la energía hidráulica

$\eta_{MB}$  es la eficiencia de la motobomba

### 2.2.6 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico para bombeo de agua

#### Calculo de la potencia del generador

Para calcularlo veremos la siguiente ecuación:

$$P_g = f.s * \frac{E_{Pot.Max.diaria}}{0.9 * HPS * KT}$$

Donde:

$P_g$  es la potencia del generador (W)

$E_{Pot.Max.Diaria}$  es la energía potencial máxima (Wh/día)

HPS es la hora sol pico

KT es el factor por utilizar inversor o inversor más baterías

f.s es el factor de seguridad

El factor de seguridad será 20% por sobrecalentamiento. Según IDEA, en sistemas de bombeo de agua se utiliza el  $KT = 1$  por ser alimentado por corriente continua.

Los valores referenciales para la tensión del sistema en función a la potencia se obtendrán de la siguiente tabla:

Potencia	Tensión Nominal
$P \leq 800W_p$	12 V
$800 < P \leq 1600W_p$	24 V
$1600 < P \leq 3200W_p$	48 V
$P > 3200W_p$	96, 120 ó 300 V

**Tabla 3:** Valores referenciales para la tensión del sistema  
**Fuente:** Mejía (2018)

### Calculo del caudal pico de la bomba

Se obtiene reemplazando la siguiente ecuación, considerando un 65% de rendimiento pico:

$$Q_p = \frac{P_g * \eta_{MB}}{g * H_{TE}}$$

Donde:

$Q_p$  es el caudal pico (l/s)

$P_g$  es la potencia del generador (W)

$\eta_{MB}$  es el rendimiento de la bomba

$g$  es la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$H_{TE}$  es la altura total equivalente (m)

### Calculo de la cantidad de paneles

Para calcular en número de paneles veremos la siguiente ecuación:

$$NP = \frac{P_g}{P_{pfv}}$$

Donde:

$P_g$  es la potencia del generador

$P_{pfv}$  es la potencia pico del módulo fotovoltaico

Para determinar el número de paneles en serie, veremos la ecuación:

$$N_{p.serie} = \frac{V_{n.sgen}}{V_{n.p}}$$

Donde:

$N_{p.serie}$  es el número de paneles en serie

$V_{n.sgen}$  es el voltaje nominal del sistema de generación

$V_{n.p}$  es el voltaje nominal del panel

Para determinar el número de paneles en paralelo, veremos la siguiente ecuación:

$$N_{p.paralelo} = \frac{NP}{N_{p.series}}$$

Donde:

$N_{p.paralelo}$  es el número de paneles en paralelo

NP es el número de paneles totales

$N_{p.series}$  es el número de paneles den serie

### Calculo de banco de baterías

Para determinar la capacidad nominal del banco de baterías, primeramente calcularemos la corriente del proyecto, mediante la siguiente ecuación:

$$E = 1,1 * \frac{E_{Pot.Max.Diaria}}{V_n}$$

Donde:

E es la corriente del proyecto (Ah/día)

$E_{Pot.Max.Diaria}$  es la energía potencia diaria (Wh/día)

$V_n$  es la tensión nominal del sistema (V)

Luego calcularemos la capacidad nominal del banco de baterías, mediante la siguiente ecuación.

$$C_{B.baterias} = \frac{E * N_{d.aut}}{(FP_{maxDB.d}) * F_{CT}}$$

Donde:

$C_{B.baterias}$  es la capacidad nominal del banco de baterías (Ah)

$N_{d.aut}$  es el número de días de autonomía del banco de baterías

$FP_{maxdb.d}$  es el factor de profundidad de descarga máxima diaria

$F_{CT}$  es el factor de corrección por temperatura

El  $FP_{maxdb.d}$  es igual de 80% y un  $F_{CT}$  de 0.9

### **Calculo de corrientes del controlador**

Primero se tiene que calcular el valor de la corriente máxima de entrada y de salida que debe de soportar el controlador.

En la siguiente ecuación se calcula la corriente de operación del generador fotovoltaico:

$$I_{oper,G} = I_{oper.panel} \times N_{p.paralelo}$$

Donde:

$I_{oper,G}$  es la corriente de operación del generador fotovoltaico

$I_{oper.panel}$  es la corriente de operación del panel

$N_{p.paralelo}$  es el número de paneles en paralelo

Para calcular la corriente máxima del sistema fotovoltaico, se considerara la corriente de corto circuito del panel y el número de paneles en paralelo.

$$I_{max.G} = I_{SC.G} = I_{SC.panel} \times N_{p.paralelo}$$

Donde:

$I_{max.G}$  es la corriente máxima del sistema fotovoltaico

$I_{SC.G}$  es la corriente de corto circuito de todo el sistema fotovoltaico

$I_{SC.panel}$  es la corriente de corto circuito del panel

$N_{p.paralelo}$  es el número de paneles en paralelo

Para seleccionar el controlador debemos considerar que la corriente debe ser mayor a la corriente de entrada o corriente máxima del generador multiplicado por un factor:

$$I_{regulador} > I_{entrada}$$
$$I_{regulador} > F_{SC} \times I_{max.G}$$

Donde:

$I_{regulador}$  es la corriente del controlador

$F_{SC}$  es el factor de seguridad por corto circuito

$I_{max.G}$  es la corriente máxima del sistema fotovoltaico

### **Calculo la sección del conductor eléctrico**

Para calcular la sección del conductor que alimentará la motobomba desde el controlador, se tendrá en cuenta la siguiente ecuación:

$$s = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\sigma \cdot \Delta V}$$

Donde:

S es la sección del conductor (mm<sup>2</sup>)

L es la longitud (m)

I es la Intensidad (A)

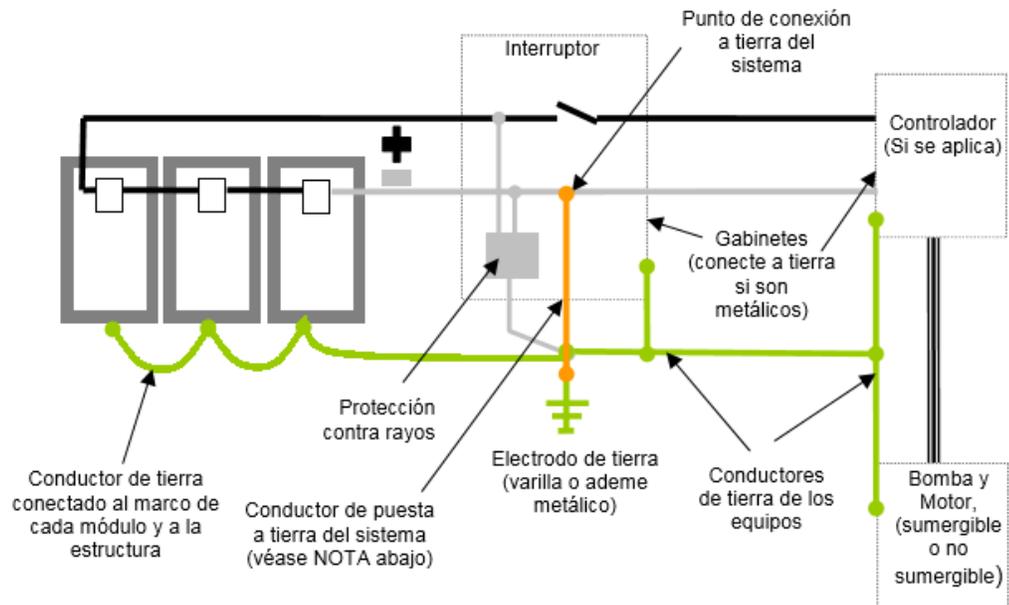
$\Delta V$  es la caída de tensión (V)

$\sigma$  es la conductividad del conductor ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )

### **2.2.7 Conexión de puesta a tierra**

Para mejorar el rendimiento y la seguridad del personal se necesita de un sistema de puesta a tierra en la instalación fotovoltaica. Todas las partes metálicas expuestas del sistema deben estar conectadas al electrodo de tierra, incluyendo la bomba, estructura metálica, los marcos de los paneles. La puesta a tierra debe estar lo más cercano al sistema de bombeo solar.

En la siguiente figura se muestra un diagrama eléctrico de un sistema de bombeo conectado a una puesta a tierra.



**Figura 17:** Diagrama eléctrico de un sistema de bombeo conectado a una puesta a tierra.

**Fuente:** (Laboratories S. N., 2001)

## **2.3 Definición de términos básicos**

### **2.3.1 Abatimiento**

La distancia vertical medida desde el nivel estático al nivel del agua cuando opera una bomba.

### **2.3.2 Altura de descarga**

Distancia vertical medida desde el nivel del suelo hasta el punto donde el agua es descargada.

### **2.3.3 Carga estática**

Distancia vertical del recorrido del agua desde el nivel más bajo hasta la altura de descarga.

### **2.3.4 Carga dinámica total**

Es la resultante de la profundidad de bombeo más la altura de descarga más la carga de fricción en la longitud total de la tubería.

### **2.3.5 Carga eléctrica**

Propiedad física intrínseca de algunas partículas subatómicas que se manifiesta mediante fuerzas de atracción y repulsión entre ellas a través de campos electromagnéticos.

### **2.3.6 Diseño**

Se define como el proceso previo de configuración mental, “prefiguración en la búsqueda de una solución en cualquier campo.

### **2.3.7 Eficiencia de la bomba**

Es la proporción de energía eléctrica transformada a energía hidráulica.

### **2.3.8 Energía solar**

La energía solar es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol.

### **2.3.9 Factor de rendimiento del conductor**

Los conductores eléctricos tienen una eficiencia aproximada de 95% en los sistemas de bombeo solar. (IDAE, 2009)

### **2.3.10 Insolación**

Es la cantidad de energía que llega a un lugar y fecha determinado.

### **2.3.11 Sistema de bombeo**

Sistema de bombeo son estructuras destinadas a elevar un fluido desde un nivel energético inicial a un nivel energético mayor.

## **CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

### **3.1 Modelo de solución propuesta**

En vista de la problemática que existe en las 3 comunidades, no se está logrando suministrar energía eléctrica a los SNCAAP en todas las épocas del año, ya que se debería comprar combustible y a causa de la distancia y el bajo desarrollo económico de las comunidades es difícil obtenerlo.

Tomando los criterios de diseño para un sistema de bombeo fotovoltaico se obtuvo la siguiente información:

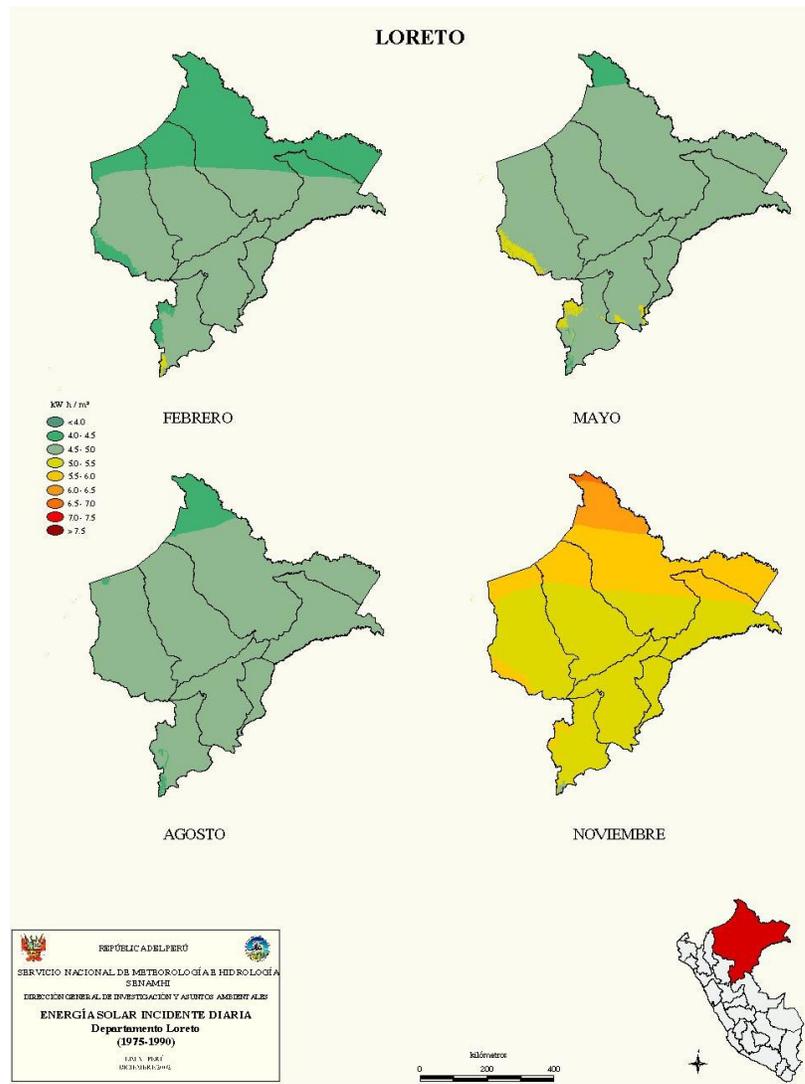
Las comunidades se encuentran muy lejanas a la red de distribución de energía eléctrica y el uso de estos sistemas es para bombear agua para consumo humano. Entonces es necesario instalar un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a la bomba, y con esto poder abastecer de agua para las tres comunidades individualmente.

#### **3.1.1 Análisis**

El presente trabajo se dio en las comunidades Ancón Colonia, Pobre Alegre, Puerto Rico de Barranquilla, provincia de Mariscal Ramón Castilla, Departamento de Loreto.

#### **La Irradiación solar en la zona del trabajo**

Para tener los datos de irradiación en el departamento de Loreto tomamos como fuente al ATLAS SOLAR del Perú. Según esta fuente la irradiación solar para la zona de trabajo está entre 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día a 6 kWh/m<sup>2</sup>/día durante todas las épocas del año como se muestra en la figura 18. La irradiación en Loreto supera los 3 kWh/m<sup>2</sup>/día quiere decir que si es posible considerar los trabajos con sistemas fotovoltaicos.



**Figura 18:** Insolación diaria promedio anual

**Fuente:** (solar, 2019)

### **Factibilidad del sistema fotovoltaico**

Para conocer si es factible implementar un sistema por bombeo fotovoltaico, debemos calcular la CDT y el Volumen Diario, con estos datos iremos a la Figura 2 para ver si es conveniente emplear el tipo de tecnología con sistemas fotovoltaicos.

### **Calculo del volumen de agua**

Estos sistemas cuentan actualmente con reservorios de 6 m<sup>3</sup> con la cual abastecen a cada comunidad, este dato nos ayudara mucho para los siguientes cálculos. Se tendrá que abastecer de 6m<sup>3</sup> diarios de agua a la comunidad.

### **Calculo de la Carga Dinámica Total o Altura Total Equivalente**

Las características de los 3 sistemas de abastecimiento son iguales ya que se elaboraron en un mismo expediente, donde la altura del nivel estático es de 27 metros, una altura de descarga de 3 metros, un abatimiento de 1.5 metro y una fricción menor del 2% de la longitud de tubería de todo el sistema, la longitud es de 35 m. esto daría una fricción de 0.6 m.

$$CDT = CE + CD = [27 + 3 + 1.5 + 0.6]$$

$$CDT = 32.1 \text{ m}$$

La carga dinámica total o Altura Total Equivalente es de 32.1 m

Al llevar estos dos datos a la figura 2 vemos que si es factible emplear sistemas fotovoltaicos en la ubicación de las comunidades y con una demanda de 6 m<sup>3</sup> de agua.

Teniendo estos resultados para la implementación del sistema fotovoltaicos continuaremos con los demás cálculos.

### 3.1.2 Calculo de la demanda energética

#### Calculo la energía hidráulica

Reemplazando los valores en la siguiente ecuación obtendremos el valor de la Energía Hidráulica:

$$E_H = 2.725 * H_{TE} * Q$$
$$E_H = 2.725 * 32.1(m) * 6(m^3/dia)$$
$$E_H = 524.8 (Wh/dia)$$

Según los datos que tenemos con un  $H_{TE}$  de 32.1 m y un Q de 6 m<sup>3</sup>/día, obtenemos una Energía Hidráulica de 524.8 Wh/día.

Para calcular la potencia hidráulica ( $P_H$ ) se dividirá la energía hidráulica ( $E_H$ ) entre las horas diarias de funcionamiento de la bomba. Las horas diarias serán las horas solar pico que es igual a 4.5 horas diarias.

Lo calcularemos con la siguiente ecuación:

$$P_H = \frac{E_H}{t}$$
$$P_H = \frac{524.8 Wh/dia}{4.5 h/dia}$$
$$P_H = 116.63 W$$

#### Calculo la potencia eléctrica de la motobomba

La potencia eléctrica se calcula de la siguiente manera:

Considerando que en los datos técnicos para bombas menores a 300 W el rendimiento máximo es de  $\eta_{MB} = 0.61$

$$P_{MB} = \frac{P_H}{\eta_{MB}}$$
$$P_{MB} = \frac{116.62 W}{0.61}$$
$$P_{MB} = 191.19 W$$

### Calculo la Energía necesaria para el generador

Conociendo la energía hidráulica del sistema y el rendimiento de la bomba reemplazamos en la ecuación:

$$E_{MB} = E_{Pot.Max.Diaria} = \frac{E_H}{\eta_{MB}}$$

$$E_{MB} = \frac{524.8 (Wh/dia)}{0.61}$$

$$E_{MB} = 860.32 Wh/dia$$

### 3.1.3 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico para el bombeo de agua

#### Calculo la potencia del generador

Considerando los indicadores por el IDEA, el  $K_T$  es igual a 1, por ser un sistema de corriente continua, y el factor de seguridad un 20% por sobrecalentamiento.

$$P_g = f.s * \frac{E_{Pot.Max.diaria}}{0.9 * HPS * K_T}$$

$$P_g = 1.2 * \frac{860.32 Wh/dia}{0.9 * 4.5 h/dia * 1}$$

$$P_g = 254.9 W$$

Para determinar la tensión nominal, según la Tabla 3. (Valores referenciales para la tensión del sistema) para potencias menores o iguales a 800 Wp vemos que la tensión nominal del sistema debe de ser de 12 V.

#### Calculo el caudal pico de la bomba

Se obtiene reemplazando la siguiente ecuación, considerando un 61% de rendimiento pico:

$$Q_p = \frac{P_g * \eta_{MB}}{g * H_{TE}}$$

$$Q_p = \frac{254.9 * 0.61}{9.81 * 32.1}$$

$$Q_p = 0.49 \text{ l/s}$$

Entonces la bomba debe soportar un caudal pico de 0.41 l/s que equivale también a 1.76 m<sup>3</sup>/h.

Teniendo los datos de los valores de la potencia de generación, caudal pico, altura máxima se seleccionó una bomba sumergible de modelo PS200 HR07 /C a corriente continua, voltaje nominal de 24 V.

### Calculo la cantidad de paneles

Para el diseño del sistema se ha seleccionado paneles fotovoltaicos mono cristalinos de 100 Wp, voltaje nominal 12 V, intensidad de operación 5.35 A, voltaje de operación 18.7 V, y corriente de corto circuito de 5.72 A.

Reemplazamos los datos requeridos en la siguiente ecuación:

$$NP = \frac{P_g}{P_{pfv}}$$

$$NP = \frac{254.9 \text{ W}}{100 \text{ W}}$$

$$NP = 2.55$$

Se obtuvo como resultado 2.55 paneles equivalentes a 3 paneles.

Para determinar el número de paneles en serie, reemplazamos la ecuación:

$$N_{p.serie} = \frac{V_{n.sgen}}{V_{n.p}}$$

$$N_{p.serie} = \frac{12}{12}$$

$$N_{p.serie} = 1$$

Entonces tenemos que 1 panel será instalado en serie.

Para determinar el número de paneles en paralelo, reemplazaremos en la siguiente ecuación:

$$N_{p.paralelo} = \frac{NP}{N_{p.series}}$$

$$N_{p.paralelo} = \frac{3}{1}$$

$$N_{p.paralelo} = 3$$

Obteniendo 3 paneles fotovoltaicos en paralelo.

Entonces el arreglo de los paneles fotovoltaicos es de 3 en paralelo, consideremos también la estructura metálica de las siguientes dimensiones: 1500 mm de altura, 1200 mm de ancho y 1660 mm de largo.

### Calculo de banco de baterías

Para determinar la capacidad nominal del banco de baterías, primeramente calcularemos la corriente del proyecto, mediante la siguiente ecuación:

$$E = 1,1 * \frac{E_{Pot.Max.Diaria}}{V_n}$$

$$E = 1,1 * \frac{860.32 Wh/dia}{12 V}$$

$$E = 78.86 Ah/dia$$

Luego calcularemos la capacidad nominal del banco de baterías, mediante la siguiente ecuación, considerando que los días de autonomía será de 1 días, un factor de profundidad de descarga máxima diaria de 80% y un factor de corrección de temperatura de 0.9:

$$C_{B.baterias} = \frac{E * N_{d.aut}}{(FP_{maxDB.d}) * F_{CT}}$$

$$C_{B.baterias} = \frac{78.86 * 1}{(0.8) * 0.9}$$

$$C_{B.baterias} = 109.52 Ah/dia$$

Se seleccionó baterías marca Lithpower, modelo LP-4S120E, tipo Li-on de 120 Ah, con un voltaje nominal de 24 V CD y de ciclo profundo.

Batería LiFePO4 con diseño compacto verde libre de mantenimiento, proporcionando el doble de tiempo de funcionamiento a aproximadamente la mitad del peso de una batería de plomo de tamaño comparativo, una excelente vida útil de flotación y ciclo superior a 2000 veces que dará como resultado un bajo coste operativo con altos rendimientos de inversión.

### **Calculo la corriente del subsistema de regulación**

Primero se tiene que calcular el valor de la corriente máxima de entrada y de salida que debe de soportar el regulador.

En la siguiente ecuación se calcula la corriente de operación del generador fotovoltaico, considerando que la corriente de operación de un panel seleccionado es de 5.35 A y 2 paneles en paralelo:

$$\begin{aligned}I_{oper,G} &= I_{oper.panel} \times N_{p.paralelo} \\I_{oper,G} &= 5.35 \times 2 \\I_{oper,G} &= 10.7 \text{ A}\end{aligned}$$

Para calcular la corriente máxima del sistema fotovoltaico, se considerara la corriente de corto circuito del panel seleccionado que es 5.72 A y el número de paneles en paralelo que 2.

$$\begin{aligned}I_{max.G} &= I_{SC.G} = I_{SC.panel} \times N_{p.paralelo} \\I_{max.G} &= I_{SC.G} = 5.72 \times 2 \\I_{max.G} &= I_{SC.G} = 11.44 \text{ A}\end{aligned}$$

Para seleccionar el regulador de carga debemos considerar que la corriente del controlador debe ser mayor a la corriente de entrada o corriente máxima del generador multiplicado que es 11.44 A por un factor de corto circuito de 1.2:

$$I_{regulador} > I_{entrada}$$

$$I_{regulador} > F_{SC} \times I_{max.G}$$

$$I_{regulador} > 1.2 \times 11.44 \text{ A}$$

$$I_{regulador} > 13.72 \text{ A}$$

Se ha seleccionado un controlador PS 200, MPPT integrado, corriente motor 11 A, potencia máxima de 300W, eficiencia 98%.

### Calculo la sección del conductor eléctrico

Para calcular el dimensionamiento del conductor se realizó bajo la Norma Técnica Peruana. Se tendrá en cuenta la siguiente ecuación, considerando que la potencia a transmitir es de 0.3 Kw y la tensión de operación es de 24 V, la corriente de diseño es 7.3 A, la longitud de diseño es 34 m, un máxima caída de tensión según el fabricante que es de un 5% y una conductividad de 56  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ :

$$s = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\sigma \cdot \Delta V}$$

$$s = \frac{2 \times 33 \times 13.72}{56 \times 5}$$

$$s = 3.23 \text{ mm}^2$$

Obtuvimos un valor de 3.23  $\text{mm}^2$  para la sección del conductor.

Para seleccionar el tipo de conductor que se instalara en el sistema, tendremos en cuenta el uso y aplicación en que trabajara.

Se seleccionara el conductor FREETOX NH-80 MARCA INDECO, ya que es ideal para aplicaciones en ambientes poco ventilados, ideal para pozos subterráneo.

El cuadro de datos técnicos se muestra en la siguiente tabla:

## TABLA DE DATOS TECNICOS NH - 80

CALIBRE CONDUCTOR	Nº HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
1.5	7	0.52	1.50	0.7	2.9	20	18	14
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	31	30	24
4	7	0.84	2.44	0.8	4.0	46	35	31
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	65	50	39
10	7	1.33	3.99	1.0	6.0	110	74	51
16	7	1.69	4.67	1.0	6.7	167	99	68
25	7	2.13	5.88	1.2	8.3	262	132	88
35	7	2.51	6.92	1.2	9.3	356	165	110
50	19	1.77	8.15	1.4	11.0	480	204	138
70	19	2.13	9.78	1.4	12.6	678	253	165
95	19	2.51	11.55	1.6	14.8	942	303	198
120	37	2.02	13.00	1.6	16.2	1174	352	231
150	37	2.24	14.41	1.8	18.0	1443	413	264
185	37	2.51	16.16	2.0	20.2	1809	473	303
240	37	2.87	18.51	2.2	22.9	2368	528	352
300	37	3.22	20.73	2.4	25.5	2963	633	391

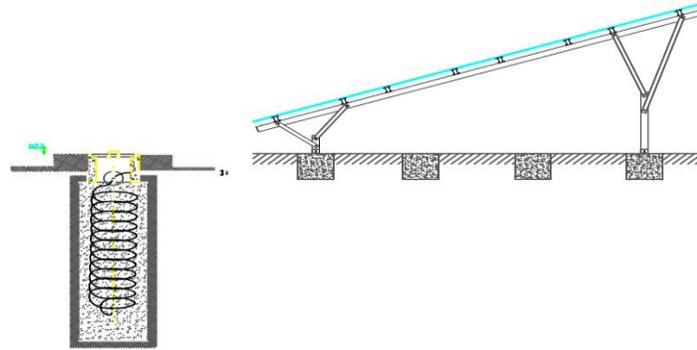
**Tabla 4:** Datos técnicos de conductor NH-80

**Fuente:** Indeco

Entonces seleccionamos un conductor FREETOX NH-80 triple de 4 mm<sup>2</sup>.

### **Conexión puesta a tierra**

La instalación de la puesta a tierra en el sistema fotovoltaico será instalada lo más cerca posible de la instalación fotovoltaica por recomendaciones técnicas, en el caso de los sistemas a instalar éstas serán depositadas en estructuras elevadas la cual el sistema de puesta a tierra estará a un metro del pie de esta estructura. En la siguiente figura se muestra la ubicación referencial de la puesta a tierra.



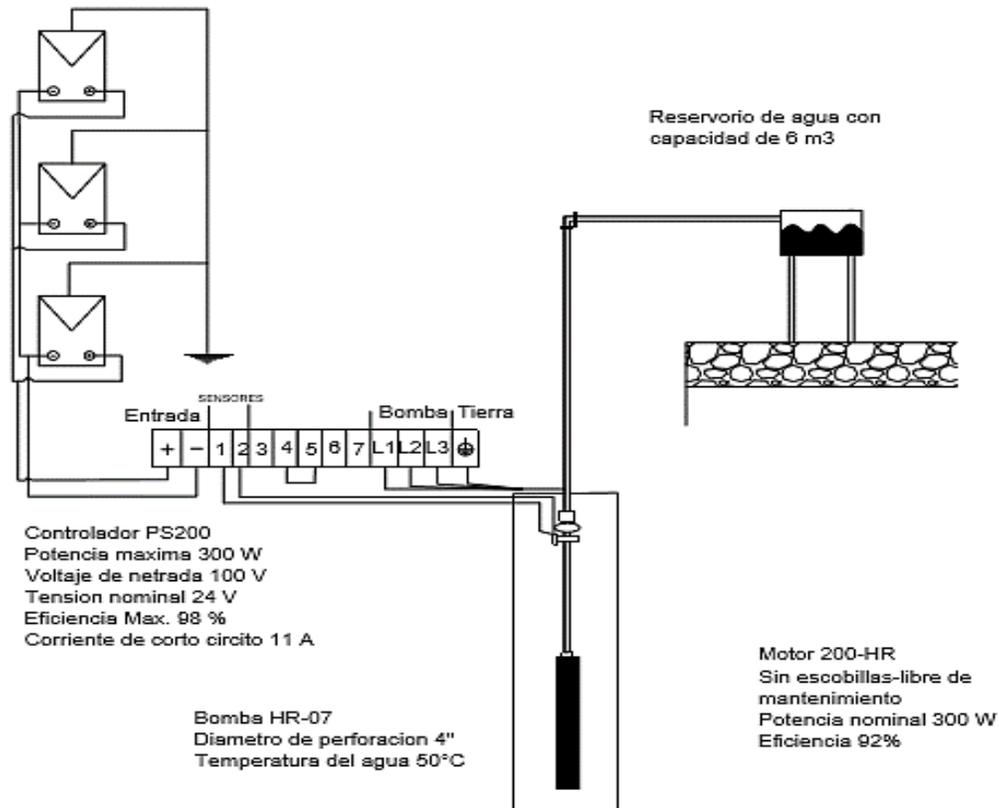
**Figura 19:** Ubicación referencial de la puesta a tierra

**Fuente:** Elaboración propia.

### Diagrama del sistema fotovoltaico

En la Figura 20 se muestra el diagrama del diseño de la instalación fotovoltaica.

Panel fotovoltaico de 100 WP  
 Voltaje nominal de operación 12 V  
 Corriente de operación 5.35 A  
 Voltaje punto de operación 18.7 V  
 Corriente de corto circuito 5.72 A



**Figura 20:** Diagrama del diseño de la instalación fotovoltaica

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2 Resultados

Los resultados del diseño propuesto del sistema fotovoltaico se resumen en las siguientes tablas:

En la siguiente Tabla 4. Se muestra los valores del diseño propuesto de la bomba sumergible Lorentz.

Características técnicas de diseño	Carga Dinámica Total(m)	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /h)	Voltaje Nominal (V)
Bomba solar sumergible Lorentz, modelo PS200 HR07 /C, potencia máxima 300 W, eficiencia 92%	32.1	1.48	24

**Tabla 4:** Características técnicas de la bomba sumergible.

**Fuente:** Elaboración propia

En la siguiente Tabla 5. Se muestra las características técnicas de los paneles solares Lorentz.

Características técnicas	Voltaje nominal del sistema fotovoltaico (V)	Numero de paneles fotovoltaicos
Panel fotovoltaico mono cristalino Lorentz LC 100-M36, de 100 Wp, voltaje nominal de operación 12V, corriente de operación 5.35 A voltaje de operación 18.7 V, y corriente de corto circuito 5.72 A.	12	3

**Tabla 5:** Características técnicas de los paneles fotovoltaicos.

**Referencia:** Elaboración propia

En la siguiente Tabla 6. Se muestra las características del Controlador.

Características técnicas	Corriente motor (A)	Cantidad
Controlador PS 200, MPPT integrado, voltaje de entrada máxima de 300 W, voltaje nominal 24 V, eficiencia de 98%	11	1

**Tabla 6:** Características técnicas del controlador.

**Fuente:** Elaboración propia

En la siguiente Tabla 7. Se muestra las características de las Baterías.

Características técnicas	Voltaje nominal (V)	Cantidad
Baterías Lithpower, modelo LP-4S120E, tipo Li-on de 120 Ah, ciclo profundo	24	1

**Tabla 7:** Características técnicas de las baterías.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3 Tabla final de resultados

Las características técnicas como marca, tensión nominal, corriente nominal, eficiencia estarán descritos en la siguiente tabla general de resultados.

Ítem	Equipos	Marca	Modelo	Und	Voltaje Nominal (v)	Corriente de Operación (A)	Potencia Máxima (w)	Eficiencia (%)	Corriente de Cortocircuito (A)
1	Bomba Sumergible	Lorentz	PS200-HR07	1	100	11	300	92	-
2	Paneles Solares	Lorentz	LC100-M36	3	24	5.35	100	61	5.72
3	Controlador	Lorentz	PS200-MPPT	1	24	11	300	93	-
4	Baterías	Lithpower	LP-4S120E	1	24	-	-	90	-

**Tabla 8:** Tabla final de resultados.

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4 Costos y presupuestos

Los costos necesarios para la instalación de un sistema fotovoltaico se describen en la siguiente tabla de metrados.

ITEM	RECURSOS	UND	APORTE DE LOS USUARIOS			COSTO TOTAL S/
			CANT.	COSTO UNIT. S/	COSTO PARCIAL S/	
<b>1.00</b>	<b>Sistema de bombeo fotovoltaico</b>					<b>3427.00</b>
1.01	Bomba solar sumergible Lorentz, modelo PS200 HR07	Und.	1.00	880.00	880.00	880.00
1.02	Panel fotovoltaico mono cristalino Lorentz LC 100-M36	Und.	3.00	260.00	780.00	780.00
1.03	Controlador PS 200, MPPT integrado	Und.	1.00	250.00	250.00	250.00
1.04	Baterías Lithpower, modelo LP-4S120E	Und.	1.00	860.00	860.00	860.00
1.05	Estructura metálica elevada	Glb.	1.00	600.00	600.00	600.00
1.06	Manguera polietileno 2"	Und.	30.00	8.00	240.00	24.00
1.07	Acoplamiento	Und.	1.00	33.00	33.00	33.00
<b>2.00</b>	<b>Sistema eléctrico</b>					<b>777.00</b>
2.01	Cable NH-80 de 4 mm2	m	34.00	14.00	476.00	476.00
2.02	Cable TW	m	34.00	6.00	204.00	204.00
2.03	Tubo PVC SAP	Und.	4.00	17.00	68.00	68.00
2.04	Codos PVC SAP	Und.	4.00	6.00	24.00	24.00
2.05	Cinta aislante	Und.	1.00	5.00	5.00	5.00
<b>3.00</b>	<b>Sistema puesta a tierra</b>					<b>153.80</b>
3.01	Electrodo de acero recubierto con cobre de 16mm, x 2.40m	Und.	1.00	55.50	55.50	55.50
3.02	Caja de registro de concreto para inspección de P.T	Und.	1.00	42.00	42.00	42.00
3.03	Conector de cobre tipo AB	Und.	1.00	6.80	6.80	6.80
3.04	Tubo PVC 20 mm x 3.20 m	Und.	2.00	7.50	15.00	15.00
3.05	Bentonita	Bls.	1.00	34.5	34.5	34.5
<b>4.00</b>	<b>Montaje electromecánico</b>					<b>1130.00</b>
4.01	Montaje del sistema de bombeo fotovoltaico	Und.	1.00	630.00	630.00	630.00
4.02	Montaje del sistema eléctrico	Und.	1.00	50.00	50.00	50.00
4.03	Montaje del sistema de puesta a tierra	Und.	1.00	450.00	450.00	450.00
<b>MONTO TOTAL S/</b>						<b>5487.80</b>

Resumen general de costos y presupuestos:

Ítem	Costo en soles (S/)
1.0 Recursos	5487.80
2.0 Transporte	300.00
3.0 Costo directo	5787.80
4.0 Gastos generales	578.80
5.0 Utilidades	289.40
6.0 Costo subtotal	6656.00
7.0 I.G.V (18)	1198.00
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>7854.00</b>

**Tabla 9.** Resumen general de costos y presupuesto.

**Referencia:** Elaboración propia

Se resume que los gastos para cada instalación fotovoltaica en los sistemas de abastecimiento de agua potable es de 7854.00 nuevos soles.

## CONCLUSIONES

De acuerdo al trabajo realizado se ha llegado a las siguientes conclusiones.

- En las zonas donde se realizó el estudio el nivel de radiación entre los meses de enero a diciembre oscila en 4.5 Wh/m<sup>2</sup>/día a 6 Wh/m<sup>2</sup>/día. Se seleccionó 4.5Wh/m<sup>2</sup>/día considerando el criterio de la radiación en el mes menos favorable.
- Es factible implementar una instalación fotovoltaica con los datos que tenemos del volumen total de agua y la carga dinámica total.
- La demanda energética estimada es de 524.8 Wh/día, y una potencia hidráulica de 116.63 W. Con un rendimiento de la motobomba de 61%, la potencia eléctrica de la motobomba resulto 191.19 W.
- El sistema fotovoltaico de bombeo de agua requiere 3 paneles de 100 Wp conectarlos 1 en serie y 3 en paralelo; 1 controlador de carga de 11 A y 24 V CD; 1 motobomba solar de carga dinámica total 32 m, caudal máximo 1.76 m<sup>3</sup>/h y un reservorio de 6 000 litros para un día de autonomía.
- La instalación fotovoltaica tiene una inversión total de 7854.00 nuevos soles.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar estos tipos de proyectos de mejora en el abastecimiento de agua para consumo humano, favoreciendo a las familias de las comunidades en la reducción de los altos índices de EDAs y parasitosis. Es recomendable ejecutar el diseño del presente trabajo en las comunidades de estudio.
- Se recomienda seguir un plan de mantenimiento para el sistema fotovoltaico diseñado para evitar que se disminuya la eficiencia y vida útil de los paneles, se recomienda evitar que se acumule suciedad en la superficie de los paneles fotovoltaicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abella, M. A. (2000). *Sistema de Bombeo Fotovoltaico*. España.
- AMAZON. (s.f.). Obtenido de CATALOGO: <https://www.amazon.es/Conrad-Panel-amorfo-tensi%C3%B3n-nominal/dp/B00CS31G32>
- Blasco. (11 de 04 de 2013). *Calulation Solar*. Obtenido de <http://calculationsolar.com/blog/?cat=3>
- Cutipa, E. D. (2017). *Diseño del sistema de bomba solar utilizando bomba sumergible hibrido con variador de velocidad para la comunidad Quefajja del distrito de Acora provincia de Puno*. Puno,Peru .
- David Antonio Salmeron Rodriguez, J. A. (2014). *Estudio de preinversion de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua en la comunidad de san antonio del municipio de jinotepe*. Managua, Nicaragua.
- IDAE. (2009). *Instalaciones de energia solar fotovoltaica. Pliego de condiciones Tecnia de Instalaciones Aislada de Red*. Madrid.
- industry, D. (s.f.). Obtenido de <https://www.directindustry.es/prod/bombas-ideal/product-40807-610944.html>
- Laboratories, S. N. (2001). *Guia para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energia fotovoltaica*. Mexico.
- Leno Enmanuel gonzales Davila, A. R. (2018). *propuesta de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para riego por goteo en la finca Concepcion comarca Alto viejo San Nicolas- Esteli, durante el periodo de julio a noviembre del 2017*. Esteli.
- Mejia, E. J. (2018). *Diseño de un sistemma fotovoltaico autonomo para el suministro de energia electrica al laboratotio de ingenieria mecanica de la universidad politecnica amazonica*. Bagua Grande,Peru.
- Montenegro, G. A. (2019). *propuesta de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua subterranea en la provincia de Celendin-Cajamarca*. Lambayeque.
- Pongo, J. D. (2019). *diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agricola en el caserio La Guayaba, distrito de bellavista,Jaen-Cajamarca*. Jaen , Cajamarca.
- renovables, M. e. (s.f.). *Catalogo*. Obtenido de <https://www.merkasol.com/Panel-Solar-Policristalino-330W-24V-Amerisolar>
- solar, A. (19 de 10 de 2019). *delta volt*. Obtenido de <https://deltavolt.pe/atlas/atlassolar/radiacion-mes>
- Solarmat. (s.f.). *Solarmat*. Obtenido de <http://solarmat.es/es/paneles-monocristalinos/panel-solar-eoply-ep125m-72-190w-35v-monocristalino.html>

## ANEXOS

### Anexo 01. Ficha técnica de la bomba solar seleccionado

# PS200 HR-07



## Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

### Gama de sistemas

Altura	max. 40 m
Flujo	max. 1,3 m <sup>3</sup> /h

### Datos técnicos

#### Controlador PS200

- Entradas de control para protección contra operación en seco, control remoto, etc.
- Protegido contra polaridad reversa, sobre carga y temperatura excesiva
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) integrada
- Funcionamiento con batería; protección integrada contra descarga total

Potencia	max. 0,30 kW
Voltaje de entrada	max. 100 V
Óptimo Vmp*	> 34 V
Nominal voltage (battery operation)	24 V & 48 V***
Corriente motor	max. 11 A
Eficiencia	max. 98 %
Temp. del ambiente	-30...50 °C
Modo de protección	IP54

#### Motor ECDRIVE 200-HR

- Motor CD sin escobillas - libre de mantenimiento
- Llenada de agua
- Materiales Premium, acero inoxidable: AISI 304/316
- Sin elementos electrónicos en el motor

Potencia nominal	0,30 kW
Eficiencia	max. 92 %
Revoluciones motor	750...3.300 rpm
Clase de aislamiento	F
Modo de protección	IP68
Inmersión	max. 250 m

#### Cabeza de bomba PE HR-07\*\*

- Válvula no retorno
- Materiales Premium, acero inoxidable: AISI 304/316

#### Undidad de bomba PU HR-07 (Motor, Cabeza de bomba)

Diámetro de perforación	min. 4,0 in
Temperatura del agua	max. 50 °C

### Normas



2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC



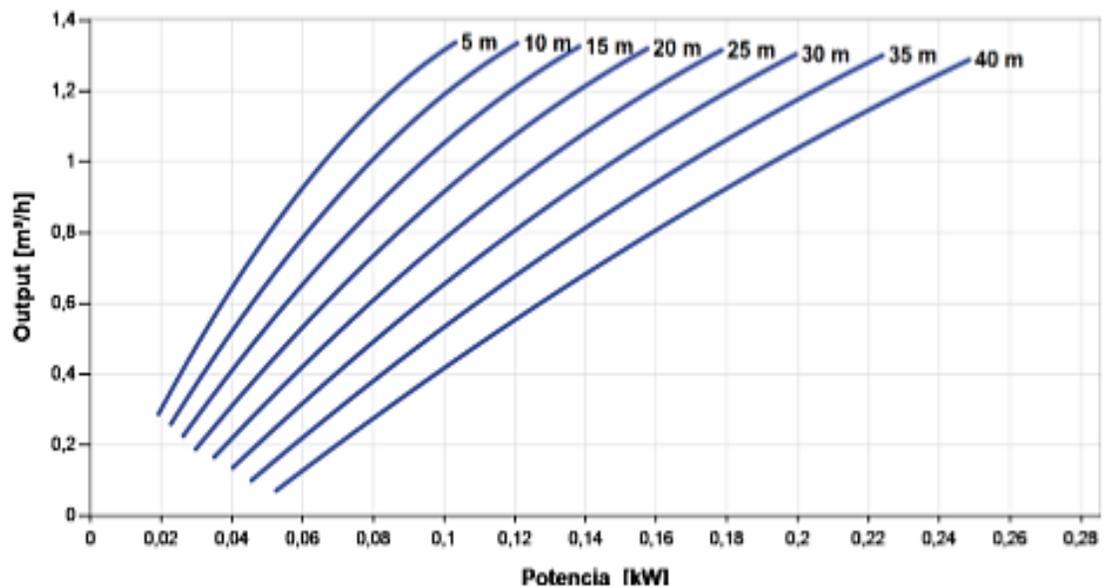
# PS200 HR-07



Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

## Plantilla de datos de la bomba

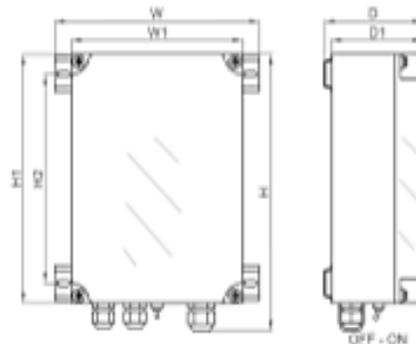
Vmp\* > 34 V



## Dimensiones y pesos

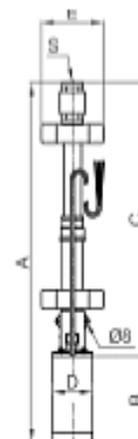
### Controlador

H = 276 mm  
H1 = 248 mm  
H2 = 208 mm  
W = 225 mm  
W1 = 188 mm  
D = 108 mm  
D1 = 100 mm



### Undidad de bomba\*\*\*

A = 771 mm  
B = 185 mm  
C = 586 mm  
D = 96 mm  
E = 147 mm  
S = 1,25 in



## Anexo 02. Ficha técnica de los paneles fotovoltaicos seleccionado



# LC100-M36

## High-efficiency PV Module

### Features

- high energy yields ensured by high conversion efficiency
- sturdy, clear-anodized aluminum frame with pre-drilled holes for quick installation
- advanced EVA encapsulation with triple-layer backsheet, meets the most stringent safety requirements for high-voltage operation
- pre-wired junction box equipped with connectors "plug'n'play"
- reliable bypass diodes to prevent overheating (hot spot effect) and to minimise power loss by shading
- manufactured in ISO 9001:2000-certified factory



photo may differ from actual product

### Warranty

- Warranty: 2 years
  - Performance guarantee:  
up to 10 years (90% power output)  
up to 20 years (80% power output)
- Details according to warranty issued by LORENTZ

### Standards

LC100-M36 is certified according to IEC 61215 and 61730 by TÜV Rheinland and meets the requirements for CE.



- Qualified, IEC 61215
- Safety tested, IEC 61730
- Periodic inspection



### Specifications

#### Electrical Data

Peak power	P <sub>max</sub>	[Wp]	100
Tolerance		[%]	+ 5/0
Max. power current	I <sub>mp</sub>	[A]	5.35
Max. power voltage	V <sub>mp</sub>	[V]	18.7
Short circuit current	I <sub>sc</sub>	[A]	5.72
Open circuit voltage	V <sub>oc</sub>	[V]	23.0
Temperature co-efficient for P <sub>max</sub>		[%/°C]	-0.4
Temperature co-efficient for V <sub>oc</sub>		[%/°C]	-0.33
Temperature co-efficient for I <sub>sc</sub>		[%/°C]	0.05
Max. system voltage		[VDC]	1,000
Module efficiency		[%]	15.13
Practical module efficiency		[%]	17.94

All technical data at standard test condition:

AM = 1.5, E = 1,000W/m<sup>2</sup>, cell temperature: 25 °C

#### Cells

Number of cells in series	36
Number of cells in parallel	1
Cell technology	monocrystalline
Cell shape	rectangular

To find out more visit [www.lorentz.de](http://www.lorentz.de)

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG

Siebertsuecken 24, 24558 Herstedt-Liitzburg, Germany, Tel. +49 (0) 41 99 8806 - 700

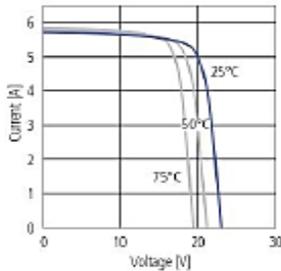
Errors excepted and possible alterations without prior notice. Pictures may differ from actual products depending on local market requirements and regulations. A pump system consists of a controller, motor and pump-end. Multiple pumps/pump ends are shown to represent the wide range of pumps (over 70) that LORENTZ has.

**Sun. Water. Life.**

## Electrical Performance

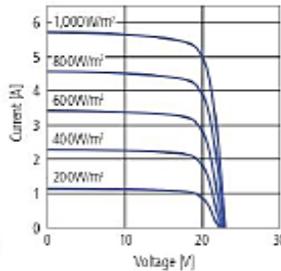
### Electrical Performance

for different temperatures, at  $AM=1.5$ ,  $I=1,000\text{W/m}^2$



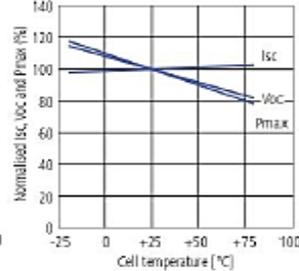
### Electrical Performance

for different irradiation, at 25 °C



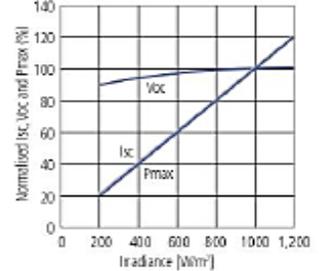
### Temperature Dependence

of  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  and  $P_{max}$

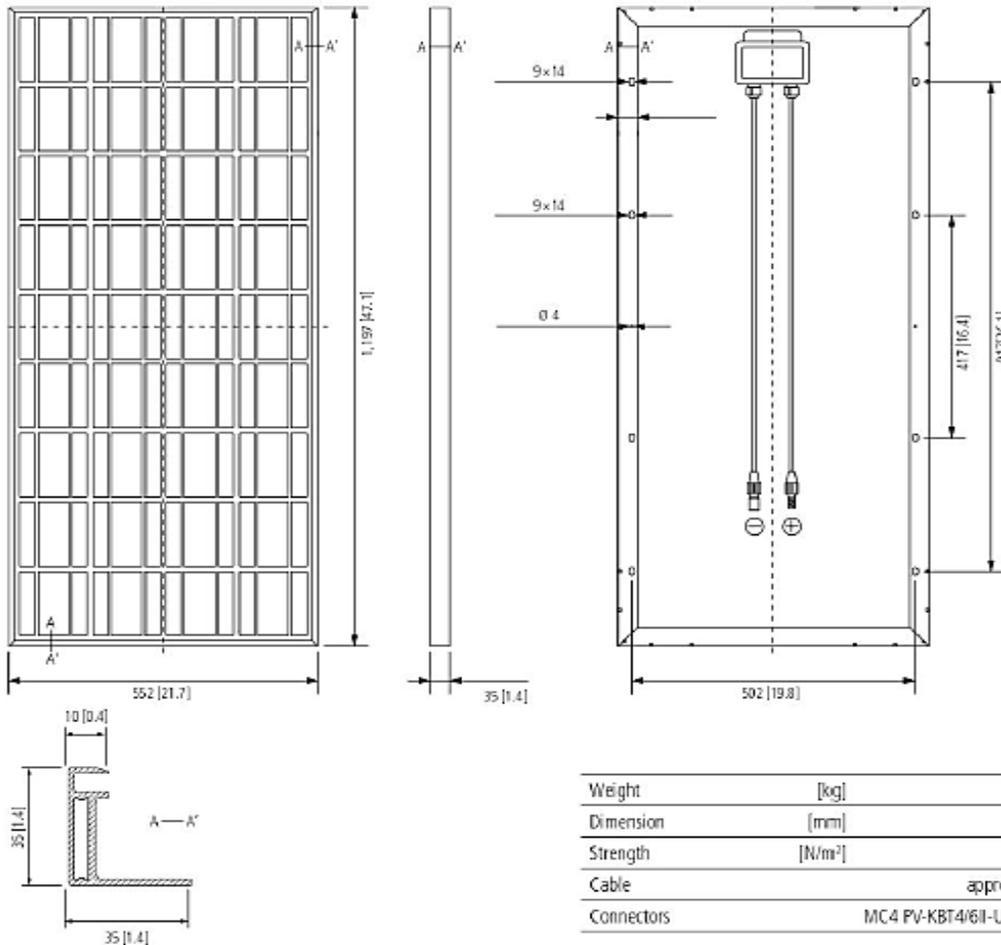


### Irradiation Dependence

of  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  and  $P_{max}$  at 25 °C



## Physical Specifications mm



Weight	[kg]	8.1
Dimension	[mm]	1,197 × 552 × 35
Strength	[N/m²]	2,400
Cable		approx. 900mm, 4mm²
Connectors		MC4 PV-KBT4/6II-UR / PV-KST4/6II-UR

To find out more visit [www.lorenz.de](http://www.lorenz.de)

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG

Siebertstrucken 24, 24558 Herstedt-Utzburg, Germany, Tel. +49(0)141 93 8806- 700

Errors excepted and possible alterations without prior notice. Pictures may differ from actual products depending on local market requirements and regulations. A pump system consists of a controller, motor and pump end. Multiple pumps/pump ends are shown to represent the wide range of pumps (over 70) that LORENTZ has.

**Sun. Water. Life.**

## Anexo 03. Ficha técnica del conductor seleccionado



### FREETOX NH-80

#### Usos

Aplicación especial en aquellos ambientes poco ventilados en los cuales ante un incendio, las emisiones de gases tóxicos, corrosivos y la emisión de humos oscuros, pone en peligro la vida y destruye equipos eléctricos y electrónicos, como, por ejemplo, edificios residenciales, oficinas, plantas industriales, cines, discotecas, teatros, hospitales, aeropuertos, estaciones subterráneas, etc.

En caso de incendio aumenta la posibilidad de sobrevivencia de las posibles víctimas al no respirar gases tóxicos y tener una buena visibilidad para el salvamento y escape del lugar. Generalmente se instalan en tubos conduit.

#### Descripción

Conductor de cobre electrolítico recocido, sólido o cableado. Aislamiento de compuesto termoplástico no halogenado HFFR.

#### Características

Es retardante a la llama, baja emisión de humos tóxicos y libre de halógenos.

#### Marca

INDECO S.A. FREETOX NH-80 450/750 V <Sección> <Año> <Metrado Secuencial>

#### Calibres

1.5 mm<sup>2</sup> - 300 mm<sup>2</sup>

#### Embalaje

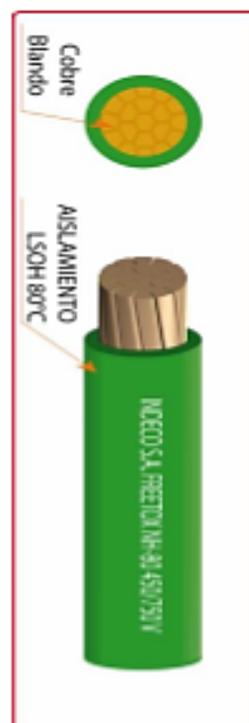
De 1.5 a 10 mm<sup>2</sup>, en rollos estándar de 100 metros.

De 16 a 300 mm<sup>2</sup>, en carretes de madera.

#### Colores

De 1.5 a 10 mm<sup>2</sup>: blanco, negro, rojo, azul, amarillo, verde y verde / amarillo.

Mayores de 10 mm<sup>2</sup> sólo en color negro (\*).



**Norma(s) de Fabricación**  
NTP 370.262  
**Tensión de servicio**  
450/750 V  
**Temperatura de operación**  
80°C

**TABLA DE DATOS TECNICOS NH - 80**

CALIBRE CONDUCTOR	N° HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
1.5	7	0.52	1.50	0.7	2.9	20	18	14
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	31	30	24
4	7	0.84	2.44	0.8	4.0	46	35	31
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	65	50	39
10	7	1.33	3.99	1.0	6.0	110	74	51
16	7	1.69	4.67	1.0	6.7	167	99	68
25	7	2.13	5.88	1.2	8.3	262	132	88
35	7	2.51	6.92	1.2	9.3	356	165	110
50	19	1.77	8.15	1.4	11.0	480	204	138
70	19	2.13	9.78	1.4	12.6	678	253	165
95	19	2.51	11.55	1.6	14.8	942	303	198
120	37	2.02	13.00	1.6	16.2	1174	352	231
150	37	2.24	14.41	1.8	18.0	1443	413	264
185	37	2.51	16.16	2.0	20.2	1809	473	303
240	37	2.87	18.51	2.2	22.9	2368	528	352
300	37	3.22	20.73	2.4	25.5	2963	633	391