



This project is co-funded by the European Union



## PLATAFORMA PRODUCCIÓN BAJO RIEGO



# Manual de Capacitación

---

# Equipo Móvil de Bombeo Solar



**PLATAFORMA PRODUCCIÓN BAJO RIEGO**

Manual de Capacitación

---

# **Equipo Móvil de Bombeo Solar**

Programa NEXO Bolivia

Programa Diálogo Regional NEXO

## Manual de Capacitación Equipo Móvil de Bombeo Solar

Publicado por el Programa de Diálogos Nexo



c/o Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Oficinas registradas: Bonn and Eschborn, Germany

### Elaboración y redacción:

Eduardo Barea- Asesor técnico Programa NEXO - Bolivia

### Revisión:

Ignacio Benavides – Asesor Técnico Programa NEXO - Bolivia

Melina Balderrama – Coordinadora Nacional de Proyectos Especiales de la Universidad Católica Boliviana “San Pablo”

Ministerio de Medio Ambiente y Agua

### Edición, diseño y diagramación:

Unidad de Comunicación Programa NEXO - Bolivia

Primera edición: 2018

### Global Nexus Secretariat (GNS)

Sector Programme Sustainable Water Policy

Division Climate Change, Environment & Infrastructure (G310)

Department Sector and Global Programmes

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5

65760 Eschborn

Deutschland

T +49 6196 79-7540

nexus@giz.de

[www.nexus-dialogue-programme.eu](http://www.nexus-dialogue-programme.eu)

[www.water-energy-food.org](http://www.water-energy-food.org)

@NEXUSPlatform #Nexusplatform

[www.facebook.com/nexusresourceplatform/](http://www.facebook.com/nexusresourceplatform/)

### Programme

The Nexus Regional Dialogue Programme (NRD) is a programme funded by the European Union and the German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ).

**GIZ is responsible for the content of this publication.**



## Contenido

<b>Presentación</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Objetivo</b> .....	<b>11</b>
<b>3. Caja de Herramientas de Sistemas de Riego - SPIS (Solar Powered Irrigation Systems)</b> .....	<b>11</b>
<b>PARTE I:</b> .....	<b>13</b>
<b>Especificaciones técnicas del Equipo Móvil de Bombeo Solar para irrigación y otros usos</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1. Componentes del Equipo Móvil de Bombeo Solar según sus diferentes configuraciones</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1.1 Arreglo sumergible</b> .....	<b>14</b>
• Panel fotovoltaico .....	14
• Controlador .....	15
• Bombas hidráulicas a energía solar .....	15
• Bomba sumergible.....	16
• Estructura móvil .....	16
<b>1.1.2 Arreglo superficial</b> .....	<b>17</b>
• Panel fotovoltaico .....	17
• Controlador .....	18
• Bomba superficial .....	18
<b>1.1.3 Módulos de riego</b> .....	<b>19</b>
• Tanque .....	19
• Cabezal de riego .....	19
• Módulo demostrativo .....	20

• Módulo para Hortalizas.....	21
• Módulo para Frutales.....	22
<b>1.1.4 Herramientas.....</b>	<b>22</b>
• Montaje.....	22
• Monitoreo.....	22
<b>PARTE II: Ejercicios de capacitación .....</b>	<b>23</b>
<b>Ejercicio 1: Conociendo el Equipo Móvil de Bombeo Solar.....</b>	<b>23</b>
<b>Ejercicio 2: El montaje del componente fotovoltaico (superficial y sumergible).....</b>	<b>24</b>
<b>Ejercicio 3: Diseño hidráulico para riego tecnificado.....</b>	<b>25</b>
<b>Ejercicio 4: Cálculo de la altura de bombeo .....</b>	<b>26</b>
<b>Ejercicio 5: Pruebas de aceptación .....</b>	<b>27</b>
<b>Ejercicio 6: Mantenimiento .....</b>	<b>28</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>29</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>29</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>30</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>31</b>
<b>Anexo 1.....</b>	<b>31</b>
Altura de Carga.....	31
<b>Anexo 2.....</b>	<b>32</b>
Aforo con Valde.....	32
<b>Anexo 3.....</b>	<b>33</b>
Cantidad de agua para el riego de una hectarea.....	33
<b>Anexo 4.....</b>	<b>35</b>
Prueba de aceptación .....	35



## Presentación

En el marco de las actividades de la Plataforma Producción Bajo Riego, siendo éste un espacio de análisis y reflexión sobre temas de producción bajo riego entre el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, así como el Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, se han desarrollado unos eventos a nivel nacional sobre “Sistemas de Bombeo Solar para Irrigación y otros usos”, con el apoyo de la Cooperación Alemana a través de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y el Programa NEXO (Agua, Energía y Seguridad Alimentaria) y la Universidad Católica Boliviana “San Pablo”

Como resultado de las mismas, tenemos el agrado de poner a disposición de técnicos y productores el “Manual de Capacitación del Equipo Móvil de Bombeo Solar”.





## 1. Introducción

El crecimiento poblacional del mundo y los cambios climáticos pone sobre la mesa desafíos tan importantes como la necesidad de producir alimentos con la mayor eficiencia posible y con la menor afectación al medio ambiente. Según estudios de la FAO (Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas), para el año 2050, la agricultura tendrá que producir un 60% más de alimentos a nivel mundial y un 100% más en los países en vías de desarrollo.

Conocedores acerca que la agricultura es la actividad económica productiva que consume mayor cantidad de agua a nivel mundial, alrededor del 70% de las extracciones de agua se destinan a este sector. En este sentido, se hace cada vez más imperiosa la necesidad del uso eficiente del agua para riego, en sistemas más optimizados, sustentables y que reduzcan la actual huella ecológica.

El riego aumenta la productividad agrícola al permitir más cosechas al año y que sean diversificadas. En el mundo tan sólo el 20% de las tierras agrícolas se riegan (y estas contribuyen al 40% de producción del alimento, pese a que no todos los sistemas de riego son eficientes o tecnificados), mientras que un porcentaje superior al 42% se abastece de agua de lluvia sin ninguna aplicación de sistemas o intervención del hombre.

Por otra parte, los países en desarrollo que requerirán duplicar su capacidad de producción agrícola de alimentos tienen una importante cantidad de tierras aptas para el cultivo sin acceso a la energía eléctrica de red, por lo que un riego tecnificado, cuyos sistemas eléctricos sean alimentados por energías renovables (solar fotovoltaica, por ejemplo) son una verdadera oportunidad de desarrollo. Sin embargo, no podemos dejar de reconocer que gran parte de los países que cuentan con programas y políticas gubernamentales para promover el riego carecen de regulaciones específicas que limiten la extracción de agua subterránea con este fin. Son pocas las personas conscientes del potencial, pero también de los riesgos asociados al riego solar.

Por lo explicado anteriormente, el agua puede suponer un serio desafío para el desarrollo sostenible pero, gestionada de manera eficiente y equitativa, el agua puede jugar un papel facilitador clave en el fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas sociales, económicos y ambientales a la luz de unos cambios rápidos e imprevisibles (Naciones Unidas, 2014).

En este sentido, el Programa NEXO Bolivia, ha desarrollado un Equipo Móvil de Bombeo Solar, con el objetivo que sea un medio didáctico para la capacitación teórica-práctica de formadores y/o de usuarios finales de sistemas de riego. El presente documento es un Manual que facilitará el proceso de transferencia de conocimiento y fortalecerá la adquisición de competencias técnicas al personal técnico del sector público y privado, así como para familias campesinas.

El Equipo Móvil de Bombeo Solar complementa a la caja de herramientas para el diseño de sistemas de riego solares planteada por el SPIS (Solar Powered Irrigation Systems). El SPIS ha sido desarrollado por PAEGC (Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development, Energización Rural: Un gran desafío energético para el desarrollo) implementado por la GIZ, el Ministerio de Cooperación Internacional y Desarrollo (BMZ) y la Unión Europea. Este esfuerzo de las anteriores instituciones busca promover el uso de energías renovables para actividades productivas en comunidades rurales, bajo un enfoque de interrelación de los sectores de agua, energía y alimentos.

La energía solar puede ayudar a proporcionar acceso a un suministro de energía segura para el bombeo de agua para riego y otros usos. A comparación del bombeo tradicional mediante gasolina o diesel, que es común en zonas con baja cobertura de red eléctrica y posee desventajas económicas y medioambientales, requiere de un mantenimiento continuo y un suministro regular de combustible, además de la presencia física de personal para su operación. Por tanto, el sistema de bombeo solar que se presenta en este manual es considerado como una innovación para un uso más eficiente de los recursos hídricos y el aprovechamiento de energías renovables, donde la producción de alimentos bajo riego es posible. El Equipo Móvil de Bombeo Solar será útil para reforzar mediante ejercicios prácticos y demostraciones el uso de la tecnología. El diseño del equipo ha considerado la oferta actual de los proveedores existentes, con el fin de configurar una propuesta accesible, que sea funcional, rápida, móvil, flexible y fácil de usar. El Equipo Móvil de Bombeo Solar tiene los siguientes componentes:

- 1) Arreglo de bombeo solar superficial. Estructura de soporte metálica, panel solar, panel de control, convertidor trifásico, bomba superficial y manguera.
- 2) Arreglo de bombeo solar sumergible. Estructura de soporte metálica, panel solar, panel de control, politubo, cuerdas de sujeción y bomba sumergible.
- 3) Módulos de riego. Para hortalizas y frutales; así como materiales demostrativos (muestrario, manguera, cintas de goteo, acoples y terminales de línea), tanque y cabezal de riego.
- 4) Herramientas. De medición y control (manómetros, balde, cronómetro y caudalímetro) y de montaje (perforadora para manguera, tarrajas, cierra mecánica, llave stilson y brocas).

Con la ayuda de este Manual se promoverá la tecnología de bombeo solar y se capacitará al personal técnico, profesionales y agricultores a hacer un uso adecuado de la tecnología, para lo que se consideraron seis ejercicios prácticos enunciados a continuación:

- Ejercicio 1: Conociendo el Equipo Móvil de Bombeo Solar
- Ejercicio 2: El montaje del componente fotovoltaico (superficial y sumergible)
- Ejercicio 3: Diseño hidráulico para riego tecnificado
- Ejercicio 4: Cálculo de la altura de bombeo
- Ejercicio 5: Pruebas de aceptación
- Ejercicio 6: Mantenimiento



## 2. Objetivo

Desarrollar y fortalecer capacidades de asesoramiento técnico y formulación de proyectos de agua, energía solar y producción de alimentos, en personal técnico del sector público y privado, así como en familias campesinas mediante su formación práctica utilizando un Equipo Móvil de Bombeo Solar demostrativo



## 3. Caja de Herramientas de Sistemas de Riego - SPIS (*Solar Powered Irrigation Systems*)

Tal como se mencionó en la Introducción de este documento, el Manual del Equipo Móvil de Bombeo Solar es un material didáctico que se complementa a la Caja de Herramientas de Sistemas de Riego SPIS, en un contexto local de Bolivia, de tal forma que propone un sistema que ha considerado componentes que están disponibles en el mercado, siendo accesible su diseño, operación y mantenimiento.

La publicación<sup>1</sup> de la Caja de herramientas de sistemas de riego solar ha sido posible gracias al apoyo brindado por la iniciativa mundial PAEGC. En 2012, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (SIDA), el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania, la empresa de energía Duke Energy Corporation y la Corporación de Inversiones Privadas en el Extranjero (OPIC) juntaron recursos para crear la iniciativa PAEGC.

El objetivo de PAEGC es fomentar nuevos enfoques sostenibles, con el fin de acelerar el desarrollo y asegurar el establecimiento de energías limpias que incrementen la productividad y/o el valor de la agricultura en países en desarrollo y regiones emergentes sin acceso a fuentes de energía confiables y asequibles.

---

<sup>1</sup> [https://energypedia.info/wiki/Toolbox\\_on\\_SPIS](https://energypedia.info/wiki/Toolbox_on_SPIS)

Figura 1: Caja de Herramientas para Sistemas de Riego Solar (SPIS)

**ADVISING WITH THE TOOLBOX ON SOLAR POWERED IRRIGATION SYSTEMS**

### 1. PRECONDITIONS

**SOLAR RADIATION**  
The power (W/m²) area (m²) received from the sun measured in the plane of the solar collector is called solar radiation. It is the energy that is available to the solar collector. The amount of solar radiation received depends on the location of the solar collector, the time of day, the time of year, and the weather conditions.

**WATER QUALITY**  
Influence the system design and maintenance requirements.  
- High salinity water can cause corrosion and scaling in the system.  
- High iron content can cause iron precipitation when exposed to air, as well as clogging of filters and pipes.  
- High quantities of organic matter, water can cause iron and manganese precipitation and clogging of filters and pipes.  
- High concentrations of sulfur, chlorine, and other minerals can cause scaling and clogging of filters and pipes.

**WATER RESOURCE**  
The water resource is the source of water for the system. It can be a well, a river, a stream, or a reservoir. The water resource should be sufficient to meet the system requirements. The water resource should be available throughout the year. The water resource should be of good quality. The water resource should be accessible to the system. The water resource should be protected from contamination.

**WATER REQUIREMENTS**  
The water requirements are the amount of water needed by the crops. The water requirements depend on the crop type, the growth stage, and the weather conditions. The water requirements should be determined before the system is designed. The water requirements should be measured regularly. The water requirements should be recorded. The water requirements should be used to determine the system capacity.

**LAND REQUIREMENTS**  
The land requirements are the area of land needed for the system. The land requirements depend on the crop type, the growth stage, and the weather conditions. The land requirements should be determined before the system is designed. The land requirements should be measured regularly. The land requirements should be recorded. The land requirements should be used to determine the system capacity.

**ENERGY REQUIREMENTS**  
The energy requirements are the amount of energy needed to power the system. The energy requirements depend on the system capacity, the system efficiency, and the weather conditions. The energy requirements should be determined before the system is designed. The energy requirements should be measured regularly. The energy requirements should be recorded. The energy requirements should be used to determine the system capacity.

### 2. PLANNING

**How to start planning a Solar Powered Irrigation System?**  
- Determine the system capacity.  
- Determine the system efficiency.  
- Determine the system cost.  
- Determine the system payback period.  
- Determine the system risk.

**PUMP POWER DEMAND**  
The pump power demand is the amount of power needed to operate the pump. The pump power demand depends on the pump type, the pump size, and the system requirements. The pump power demand should be determined before the system is designed. The pump power demand should be measured regularly. The pump power demand should be recorded. The pump power demand should be used to determine the system capacity.

**SYSTEM SIZING**  
The system sizing is the process of determining the system capacity, the system efficiency, and the system cost. The system sizing should be done before the system is designed. The system sizing should be done by a professional engineer. The system sizing should be done using the following steps:  
1. Determine the system capacity.  
2. Determine the system efficiency.  
3. Determine the system cost.  
4. Determine the system payback period.  
5. Determine the system risk.

### 3. ECONOMICS

**What does it cost? Is it affordable?**  
The cost of a solar powered irrigation system depends on the system capacity, the system efficiency, and the system cost. The cost of a solar powered irrigation system should be compared to the cost of a conventional irrigation system. The cost of a solar powered irrigation system should be compared to the cost of a conventional irrigation system. The cost of a solar powered irrigation system should be compared to the cost of a conventional irrigation system.

**FARM INCOME STATEMENT (SAMPLE FARM)**  
This statement shows the farm's income and expenses. It is used to determine the farm's profitability. The farm's income is calculated by adding the farm's revenue and subtracting the farm's expenses. The farm's profit is calculated by subtracting the farm's expenses from the farm's revenue. The farm's profit should be positive. The farm's profit should be used to determine the farm's sustainability.

**COST COMPARISON OF PUMPING OPTIONS (SOLAR, DIESEL, AND GRID)**  
This comparison shows the cost of different pumping options. The cost of a solar powered irrigation system is compared to the cost of a diesel powered irrigation system and the cost of a grid powered irrigation system. The cost of a solar powered irrigation system is generally lower than the cost of a diesel powered irrigation system and the cost of a grid powered irrigation system. The cost of a solar powered irrigation system is generally lower than the cost of a diesel powered irrigation system and the cost of a grid powered irrigation system.

### 4. COMPONENTS

**So many components! What are they for?**  
The components of a solar powered irrigation system are the solar panels, the solar controller, the pump, the water storage tank, and the irrigation system. Each component has a specific function. The solar panels convert solar radiation into electricity. The solar controller regulates the electricity flow. The pump moves water from the water source to the water storage tank. The water storage tank stores water for the irrigation system. The irrigation system delivers water to the crops.

**SOLAR TRACKING**  
Solar tracking is the process of following the sun's path across the sky to maximize the amount of solar radiation received by the solar panels. Solar tracking can increase the system efficiency. Solar tracking can be done manually or automatically. Solar tracking can be done using a solar tracker. The solar tracker should be installed on the solar panels. The solar tracker should be adjusted regularly. The solar tracker should be used to determine the system efficiency.

**WATER STORAGE TANK**  
The water storage tank is used to store water for the irrigation system. The water storage tank should be made of a durable material. The water storage tank should be protected from contamination. The water storage tank should be cleaned regularly. The water storage tank should be used to determine the system capacity.

**ORIENTATION**  
The orientation of the solar panels is important for maximizing the amount of solar radiation received. The solar panels should be oriented towards the sun. The solar panels should be tilted at an angle. The solar panels should be oriented towards the sun. The solar panels should be tilted at an angle. The solar panels should be oriented towards the sun. The solar panels should be tilted at an angle.

**TILT ANGLE**  
The tilt angle of the solar panels is the angle between the solar panels and the horizontal plane. The tilt angle should be determined before the system is designed. The tilt angle should be measured regularly. The tilt angle should be recorded. The tilt angle should be used to determine the system efficiency.

**SOLAR GENERATOR**  
The solar generator is the device that converts solar radiation into electricity. The solar generator should be made of high quality materials. The solar generator should be protected from contamination. The solar generator should be cleaned regularly. The solar generator should be used to determine the system efficiency.

**PUMP CONTROLLER**  
The pump controller is the device that regulates the electricity flow to the pump. The pump controller should be made of high quality materials. The pump controller should be protected from contamination. The pump controller should be cleaned regularly. The pump controller should be used to determine the system efficiency.

**FILTERS**  
Filters are used to remove debris and sediment from the water. Filters should be installed before the pump. Filters should be cleaned regularly. Filters should be used to determine the system efficiency.

**IRRIGATION SYSTEM**  
The irrigation system is the device that delivers water to the crops. The irrigation system should be made of high quality materials. The irrigation system should be protected from contamination. The irrigation system should be cleaned regularly. The irrigation system should be used to determine the system efficiency.

### 5. MANAGEMENT

**How to take care of it?**  
The management of a solar powered irrigation system is important for maximizing the system efficiency. The management should be done regularly. The management should be done by a professional engineer. The management should be done using the following steps:  
1. Determine the system capacity.  
2. Determine the system efficiency.  
3. Determine the system cost.  
4. Determine the system payback period.  
5. Determine the system risk.

**INSTALLATION QUALITY**  
The installation quality is the quality of the system installation. The installation quality should be determined before the system is designed. The installation quality should be measured regularly. The installation quality should be recorded. The installation quality should be used to determine the system efficiency.

**MAINTENANCE**  
Maintenance is the process of keeping the system in good working order. Maintenance should be done regularly. Maintenance should be done by a professional engineer. Maintenance should be done using the following steps:  
1. Determine the system capacity.  
2. Determine the system efficiency.  
3. Determine the system cost.  
4. Determine the system payback period.  
5. Determine the system risk.

**THEFT PREVENTION**  
Theft prevention is the process of preventing theft of the system components. Theft prevention should be done regularly. Theft prevention should be done by a professional engineer. Theft prevention should be done using the following steps:  
1. Determine the system capacity.  
2. Determine the system efficiency.  
3. Determine the system cost.  
4. Determine the system payback period.  
5. Determine the system risk.

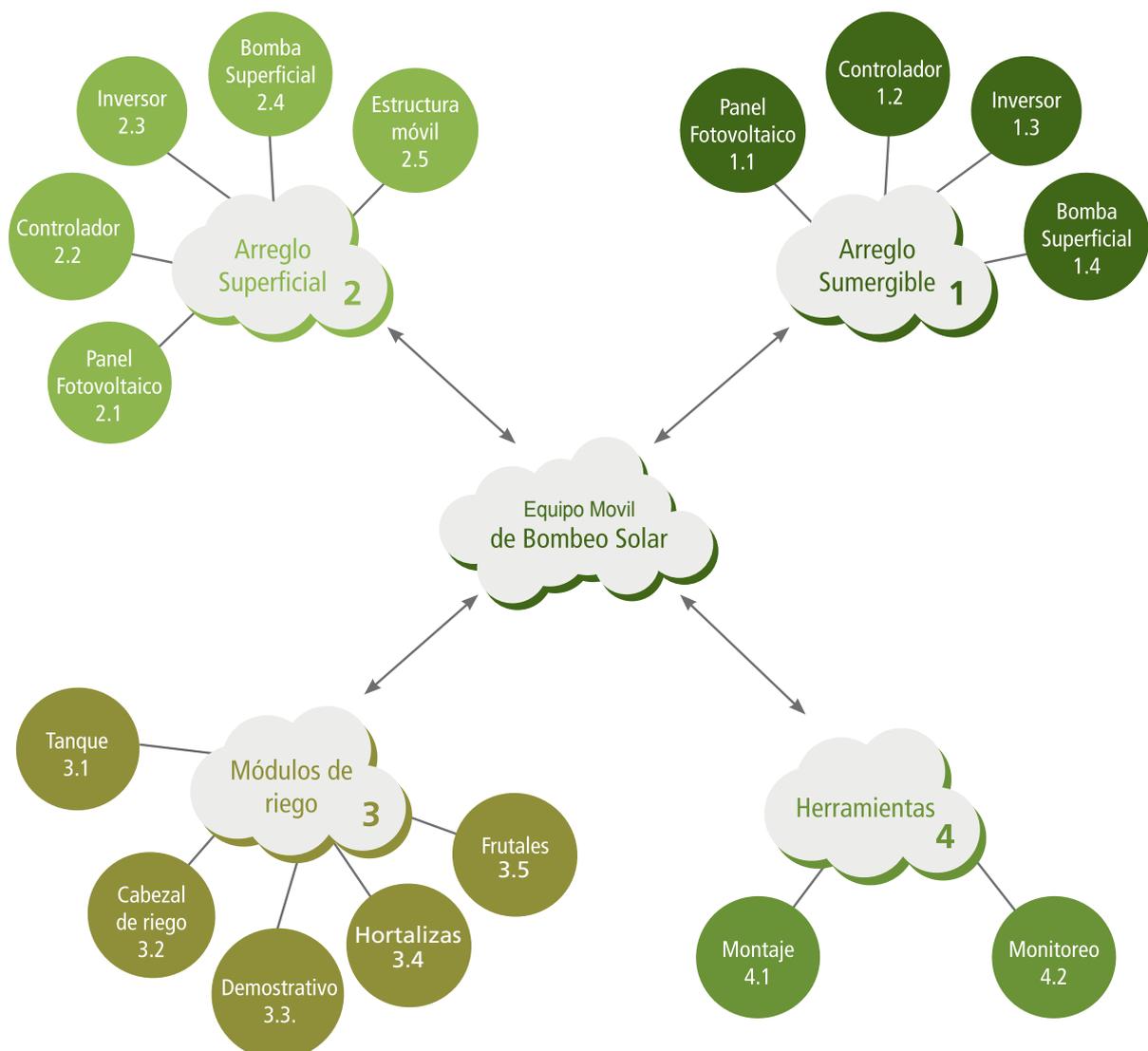
## PARTE I: Especificaciones técnicas del Equipo Móvil de Bombeo Solar para irrigación y otros usos

A continuación, se describirá todos los componentes que conforman el Equipo Móvil de Bombeo Solar.

El equipo conforma 4 componentes (como se muestra en la Figura 2):

1. Arreglo Sumergible (que a su vez tiene diferentes elementos a describirse más abajo)
2. Arreglo Superficial (que a su vez tiene diferentes elementos a describirse más abajo)
3. Módulos de riego (para diferentes tipos de cultivos y modalidades)
4. Herramientas (de montaje y monitoreo)

Figura 2. Descripción del Equipo Móvil de Bombeo Solar





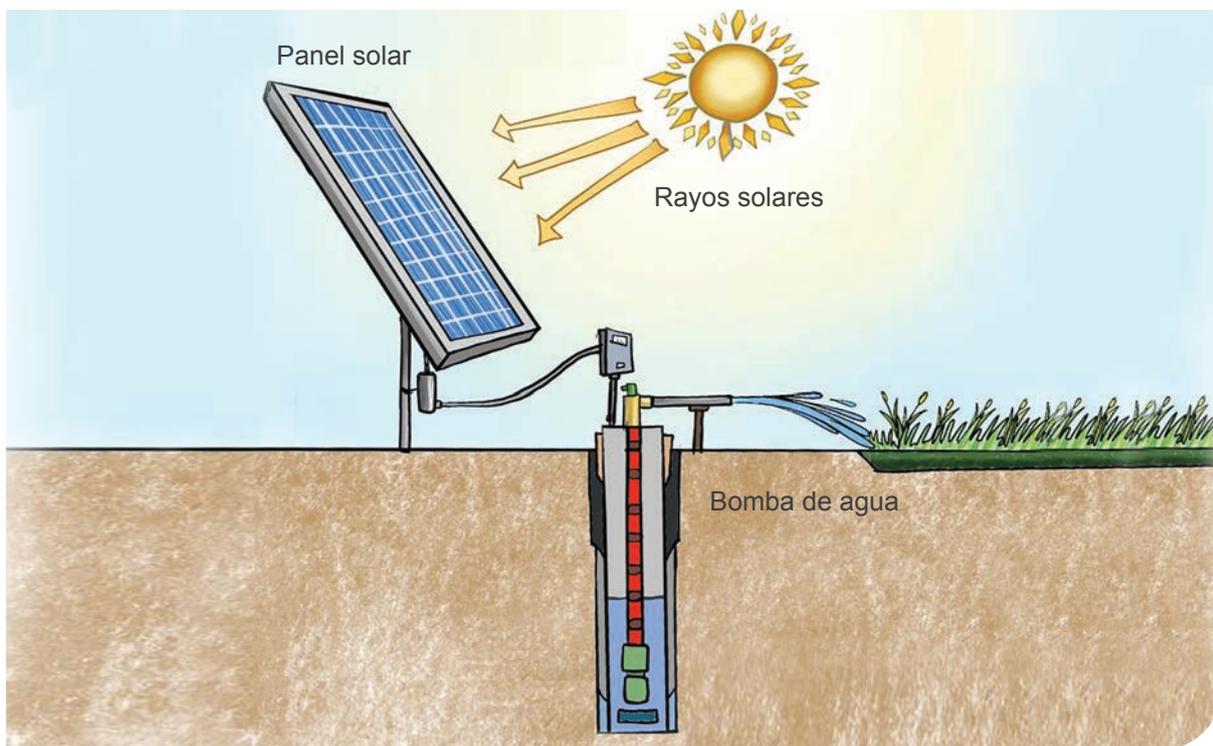
## 1.1. Componentes del Equipo Móvil de Bombeo Solar según sus diferentes configuraciones

A continuación, se describirá los dos tipos de configuraciones y sus respectivos componentes.

### 1.1.1 Arreglo sumergible

El arreglo de bombeo solar es una configuración de sistema de un solo panel (Ver Figura 3), es independiente y puede operar en cualquier lugar que tenga una fuente de agua subterránea o tanque con una capacidad dinámica con recarga suficiente para operar sistemas de riego y otros usos, como consumo humano o bebederos para ganadería. Consta de un panel solar, la estructura metálica, una bomba, un controlador, las válvulas y las mangueras de riego.

Figura 3. Arreglo sumergible



Fuente: <https://www.tiendasolar.mx/productos/bombas-solares.html>

#### • Panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico es un dispositivo de generación conformado por un conjunto de celdas fotovoltaicas<sup>2</sup> que de forma conjunta generan energía eléctrica. El tipo de corriente generada es continua y sirve para alimentar una bomba.

En la Tabla 1 se muestran las especificaciones del panel fotovoltaico.

<sup>2</sup> Las células fotovoltaicas son las responsables de la conversión de la radiación solar en una corriente de electrones. Están formadas por una delgada placa de un material semiconductor tratado previamente. Suelen ser de silicio. Este tratamiento previo consta de varios procesos químicos en los que se "dopan", insertando en su estructura impurezas (átomos de boro y fósforo) para generar un campo eléctrico y, posteriormente, poniendo a disposición las cargas necesarias para la formación de la corriente eléctrica.

Tabla 1: Especificaciones técnicas del panel

Tipo de módulo (panel)	JKM270PP
	STC NOCT
Potencia nominal (p <sub>máx</sub> )	270 Wp 202Wp
Tensión en el punto P <sub>máx</sub> -VMPP(V)	31.7V 29.0V
Corriente en el punto P <sub>máx</sub> -IMPP (A)	8.52A 6.97A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	38.8V 35.6A
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	9.09A 7.35A
Eficiencia del módulo (%)	16.5%

Fuente: elaboración propia

## • Controlador

El controlador es un dispositivo actuador que brinda protección contra el calor del sol. Se denomina actuador porque frente a un calentamiento excesivo, sus sensores emiten una señal para que éste se desconecte y así brinde una protección térmica. Asimismo, se desconecta cuando detecte operaciones en seco (es decir, cuando no hay agua que bombear). Esta medida es particularmente importante en emplazamientos calurosos.

## • Bombas hidráulicas a energía solar

Son bombas que funcionan con energía solar pues se conectan a los paneles solares. Mientras mayor radiación solar reciben proporcionan más agua, lo que es interesante en las instalaciones de riego. Asimismo, es una opción muy atractiva para conseguir agua en lugares remotos en los que no se tiene acceso a la red eléctrica. Algunas personas utilizan para la irrigación por goteo. A pesar de ser un sistema que lleva muchos años en el mercado, recientemente se ha comenzado a utilizar de manera notable, porque la gente se concientizó sobre los beneficios de su utilización, pues generan un ahorro considerable.

Las bombas de energía solar tienen una gran ventaja sobre las bombas de agua tradicionales, ya que utilizan la energía de manera gratuita. Pese a ello, cuentan con una gran desventaja: la energía solar sólo está disponible durante el día, aunque es cierto que la energía obtenida puede almacenarse en una batería para su posterior utilización. Las bombas solares suelen agruparse en dos categorías:

- 1. Bombas de superficie:** se usan generalmente para mover el agua de un lugar a otro. Algunas están diseñadas para lograr grandes presiones, mientras que otras tienen como principal objetivo mover grandes volúmenes de agua a baja presión. Existen personas que utilizan estas bombas para conseguir mayor presión en el sistema de agua de sus casas.
- 2. Bombas sumergibles:** se usan para sacar agua de los pozos más profundos, ya que pueden bajar o subir, dependiendo de la profundidad del mismo.

Estas bombas de energía solar también generan un ahorro considerable, tanto económica como energética. Existen bombas de diferentes tamaños, esto depende de la capacidad de almacenamiento que se quiera conseguir.

A continuación, se describirá solo las principales características de las bombas sumergibles que aplican a este tipo de configuración, más adelante, en el arreglo superficial se describirán las características de las bombas superficiales.

### • Bomba sumergible

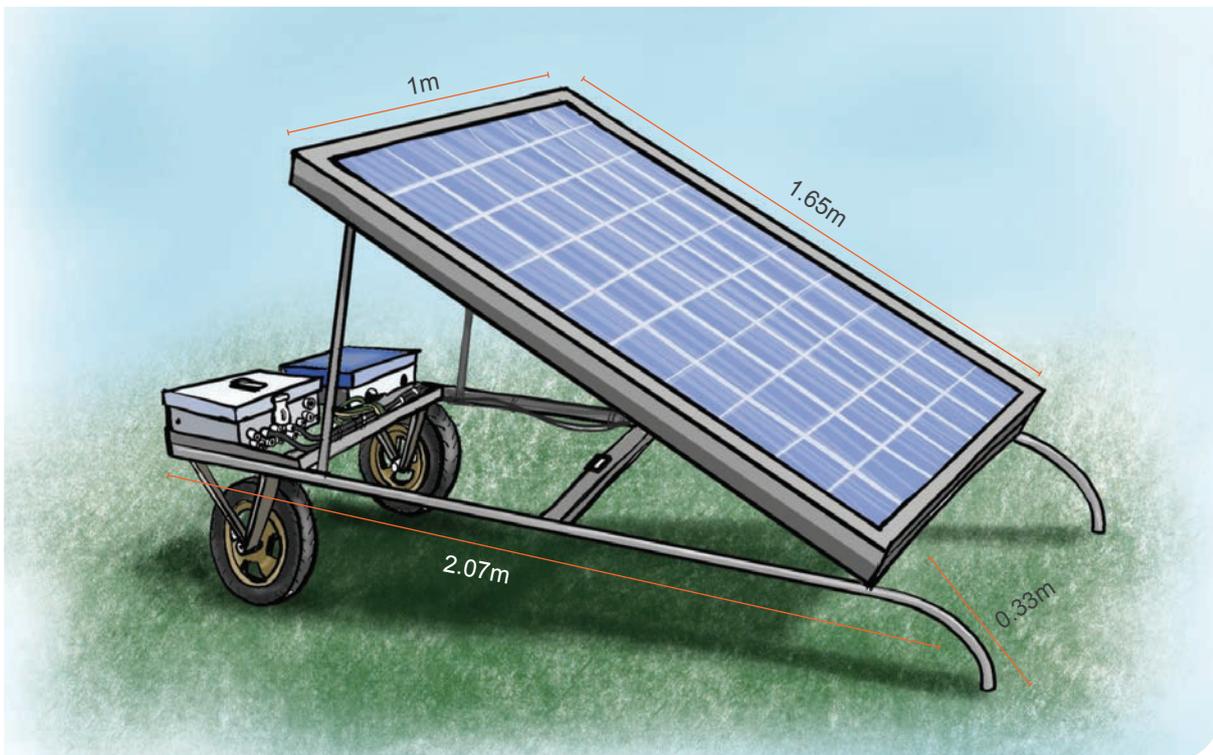
- Motor CD sin escobillas – libre de mantenimiento
- Llenada de agua
- Materiales premium, acero inoxidable: AISI 304/316
- Sin elementos electrónicos en el motor

<b>Potencia nominal</b>	0.4 HP
<b>Eficiencia</b>	Máx 92 %
<b>Revoluciones motor</b>	900...3300 rpm
<b>Clase de aislamiento</b>	F
<b>Modo de protección</b>	IP68
<b>Inmersión</b>	Máx

### • Estructura móvil

La estructura metálica es construida de tubería metálica galvanizada de ½" a medida, según las dimensiones del panel fotovoltaico donde se coloca el controlador y la caja de conexiones (ver Figura 4).

Figura 4. Estructura metálica móvil

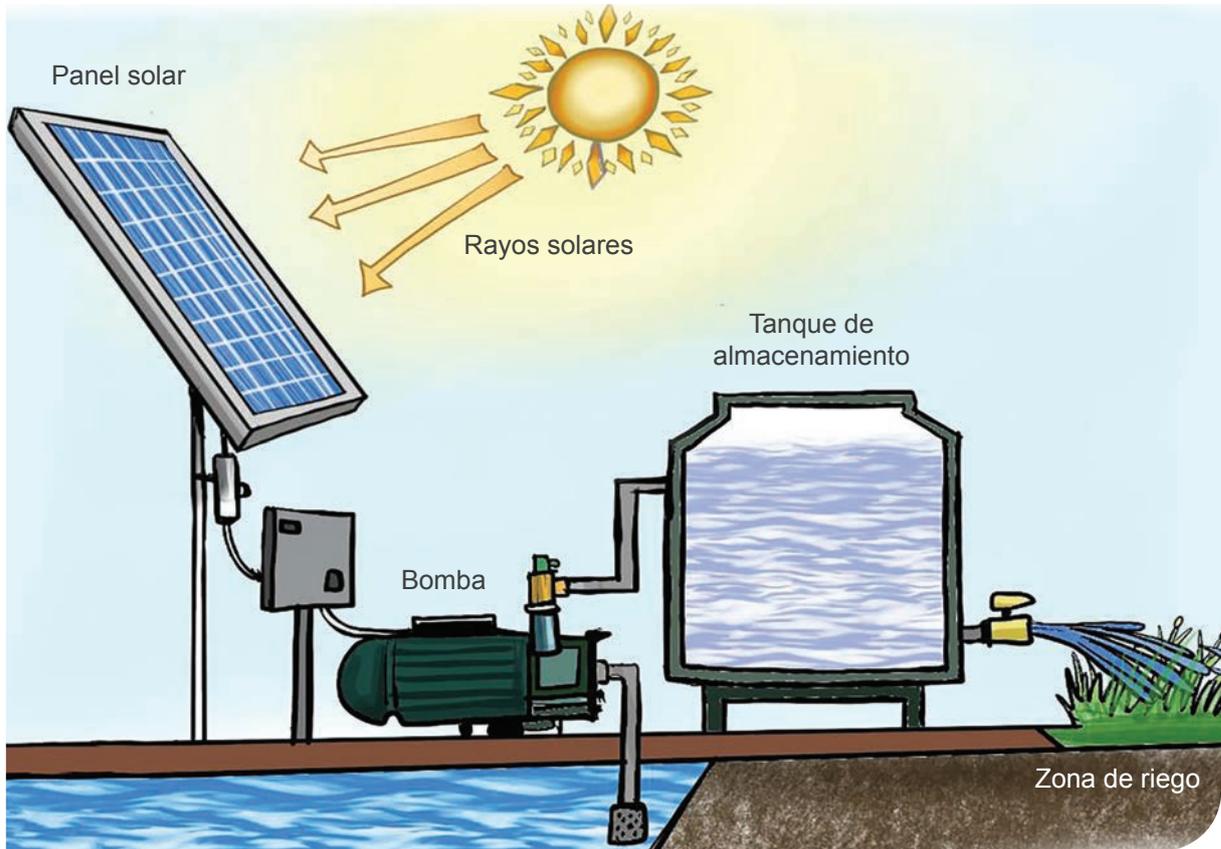


Fuente: GIZ-NEXO ( equipo fotovoltaico para la bomba sumergible)

## 1.1.2 Arreglo superficial

El arreglo superficial es una configuración (ver Figura 4) que consta de 2 paneles de 100W cada uno, una caja de conexiones, un controlador, una bomba superficial Lorentz PS150 Boost, un armazón metálico móvil, una manguera de 3 metros con su chupador y una manguera de 35 metros para llevar el agua hasta un tanque.

Figura 5. Arreglo superficial



Fuente: <https://www.tiendasolar.mx/productos/bombas-solares.html>

### • Panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico es un dispositivo de generación conformado por un conjunto de celdas fotovoltaicas<sup>3</sup> que de forma conjunta generan energía eléctrica. El tipo de corriente generada es continua y sirve para alimentar una bomba.

En la Tabla 2 se muestran las características de los paneles fotovoltaicos para este tipo de configuración.

<sup>3</sup> Las células fotovoltaicas son las responsables de la conversión de la radiación solar en una corriente de electrones. Están formadas por una delgada placa de un material semiconductor tratado previamente. Suelen ser de silicio. Este tratamiento previo consta de varios procesos químicos en los que se "dopan", insertando en su estructura impurezas (átomos de boro y fósforo) para generar un campo eléctrico y, posteriormente, poniendo a disposición las cargas necesarias para la formación de la corriente eléctrica.

Tabla 2: Características de los paneles

Tensión carga para baterías:	12 voltios
<b>Datos Eléctricos/Físicos:</b>	
Potencia Nominal de la placa:	100 Wattios
Eficiencia de la placa solar:	15.29%
Tensión máxima potencia Vmpp:	18,4 Volts (Para cargar baterías de 12V)
Corriente máxima potencia Impp:	5,43 Amperios
Tensión circuito abierto Voc:	22.95 Volts
Corriente cortocircuito Isc:	5,85 Amperios
Dimensiones y peso de la placa:	1.200 x 540 x 30 mm – 7.8kg

Fuente: elaboración propia

## • Controlador

El controlador es un dispositivo actuador que brinda protección contra el calor del sol. Se denomina actuador porque frente a un calentamiento excesivo, sus sensores emiten una señal para que éste se desconecte y así brinde una protección térmica. Asimismo, se desconectará cuando detecte operaciones en seco (es decir, cuando no hay agua que bombear). Esta medida es particularmente importante en emplazamientos calurosos.

Para este tipo de configuración, el controlador deberá tener las siguientes características:

- Controlador PS2-150
- 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) integrado
- Funcionamiento con batería: protección integrada contra descarga total

Tabla 3: Características técnicas del controlador

<b>Potencia</b>	Máx 0.3 kW
<b>Voltaje de entrada</b>	Máx 50 V
<b>Óptimo Vmp</b>	>17 V
<b>Corriente motor</b>	Máx 22 A
<b>Eficiencia</b>	Máx 98%
<b>Temp. Del ambiente</b>	-40...50 °C
<b>Modo de protección</b>	IP68

Fuente: elaboración propia

## • Bomba superficial

A continuación, se describen las principales características de las bombas superficiales para el tipo de configuración de estudio:

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

Tabla 4. Características técnicas de las bombas superficiales

<b>Potencia nominal</b>	0.4 HP
<b>Eficiencia</b>	Máx 92 %
<b>Revoluciones motor</b>	900...3300 rpm
<b>Clase de aislamiento</b>	F
<b>Modo de protección</b>	IP68
<b>Inmersión</b>	Máx

Fuente: elaboración propia

### 1.1.3 Módulos de riego

Otro componente del Equipo Móvil de Bombeo Solar es el módulo de riego, el cual que se compone de los siguientes ítems: Tanque, cabezal de riego, módulo demostrativo, módulo de hortalizas, módulo de frutales.

#### • Tanque

Se trata de un reservorio destinado al almacenamiento del agua y responde a las siguientes características:

- Diseño estructural que ofrece gran resistencia, fabricación con materia prima 100% virgen.
- Capa externa negra, con protección UV, que impide el desarrollo de microorganismos.
- Capa interna celeste que impide la proliferación de bacterias, hongos y esporas.
- Tapa roscada que asegura un cierre perfecto.
- Material insípido, atóxico e higiénico.
- Garantía certificada de 10 años.

Tabla 5: Sugerencias de dimensiones de tanques

#### Tanques pequeños y medianos

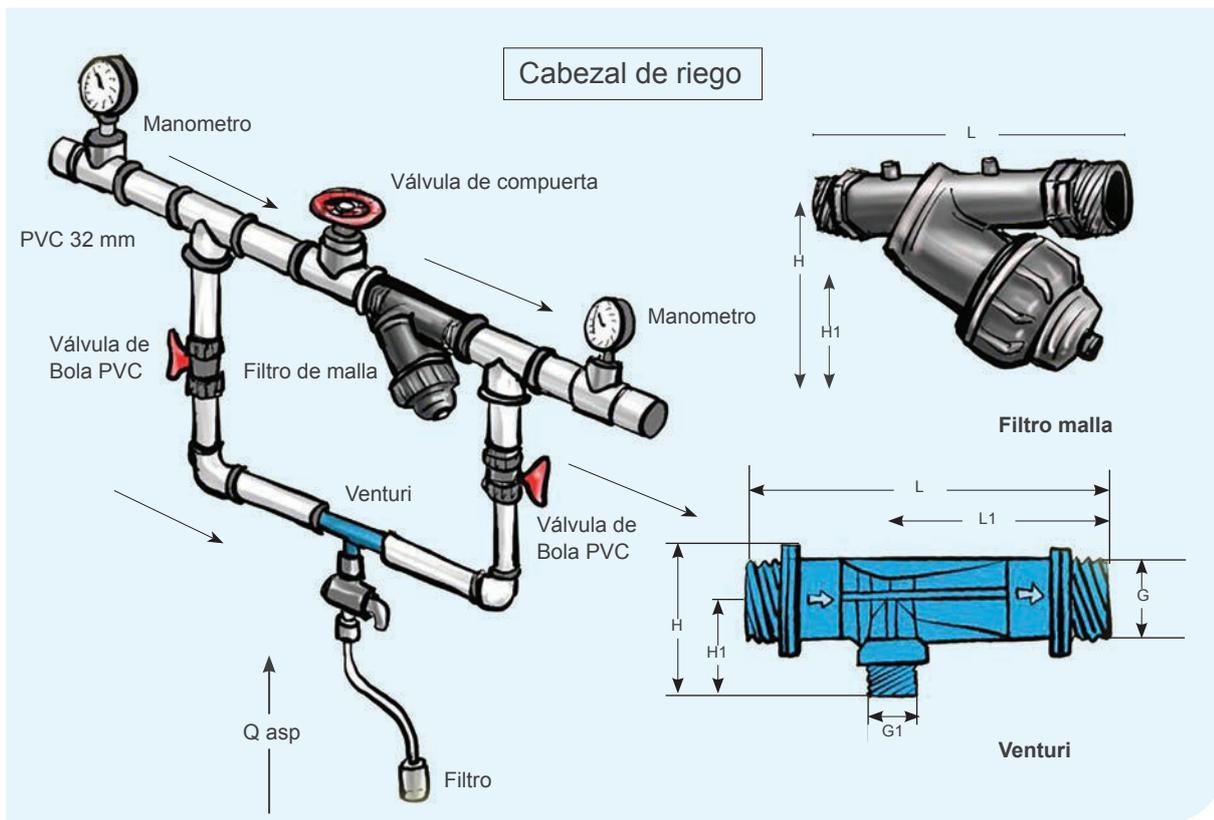
<b>Capacidad (L)*</b>	<b>300</b>	<b>450</b>	<b>650</b>	<b>900</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>
Diámetro (mm)	850	850	930	1040	1000	1400	1400
Altura (mm)	730	930	1210	1200	1290	1530	1935
Diámetro de tapa (mm)	550	550	550	550	550	550	550

Fuente: elaboración propia

#### • Cabezal de riego

El cabezal de riego es la parte del sistema de irrigación en que se gestionan la cantidad, la calidad y la presión del agua (Ver Figura 5). Es indispensable en los sistemas que funcionan bajo presión, como los de riego por aspersión y goteo.

Figura 5: Cabeza de riego



Fuente: <http://www.chileagropecuario.cl>

El cabezal de riego está compuesto por un filtro de discos o de malla de 2" de 120 mesh, dos manómetros, una válvula de compuerta de control de 2", 2 válvulas de bola de 3/4" un Venturímetro y una manguera de aspiración para la fertiirrigación.

#### • Módulo demostrativo

La parcela demostrativa es para 30 m<sup>2</sup> donde se puede ver las cintas de goteo, tubos ciegos y goteros de distintos tipos.

El material que se requiere para un módulo demostrativo es el siguiente:

Sistema riego demostrativo		
CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL
10	Metro	Manguera de salida 2" sf-10 usa blue(azul) 4.0 Bar
1	Pza	Tee 2" rxr pvc
2	Pza	Acople de pvc - pp 2" tipo "d"
1	Pza	Acople de aluminio 2" tipo "f" - m
2	Pza	Acople de aluminio 3" tipo "e" - m
2	Pza	Acople de aluminio 2" tipo "c" - m
1	Pza	Acople de aluminio 2" tipo "dp" - m
1	Pza	Acople de aluminio 2" tipo "dc" - m
4	Pza	Abrazadera reforzada 2" sf rebolt-single-tw
30	Metro	Cinta de goteo tsx 505-20-500, 0.125 Mm(5 milec), 20 cm de 3658 metros
31	Metro	Eolo clásico ls 16 mm/15 mil/1.30Lph/0.30M/1500 m
31	Metro	Gotero pc rb 1,6 lt-30cm- 500m/0.900 Mm
31	Metro	Gotero integr. Pc 16 mm/30 cm/3.90 Lph/500 m/0.90 Mm
30	Pza	Gotero botón pc emiter 1 gph
30	Pza	Gotero botón microflapers 2 lph marrón
30	Pza	Gotero botón r-70 regulable e inundador- pls/esp
30	Pza	Gotero botón clicktif 4 lph pc nandajin
30	Pza	Gotero desmontable
30	Pza	Gotero botón corona pc 2l toro
190	Metro	Politubo pemd 16 mm rain bird
10	Pza	Copla con enganche de 16 mm p/manguera lay flat t-tape
10	Pza	Terminal de línea 16 mm
10	Pza	Unión univ ½" e40 rxr pvc
10	Pza	Adaptador m 16 mm x ½"r
10	Pza	Mini válvula 16 mm bxb - sab / celeste
2	Pza	Conector rápido para cinta 16 mm
10	Pza	Teflón 3/4"

### • Módulo para Hortalizas

El módulo de hortalizas es para 300 m<sup>2</sup> con una cinta de goteo, con goteros integrados cada 0.3 m.

El material que se requiere para un módulo para hortalizas es el siguiente:

Sistema parcelario móvil- Goteo hortalizas		
CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL
10	Metro	Manguera de salida 2" sf-10 usa blue(azul) 4.0 Bar
1	Pza	TEE 2" RXR PVC
2	Pza	Acople de pvc - pp 2" tipo "d"
1	Pza	Acople de aluminio 2" tipo "f" - m
2	Pza	Acople de aluminio 3" tipo "e" - m
2	Pza	Acople de aluminio 2" tipo "c" - m
1	Pza	Acople de aluminio 2" tipo "dp" - m
1	Pza	Acople de aluminio 2" tipo "dc" - m
4	Pza	Abrazadera reforzada 2" sf rebolt-single-tw
620	Metro	Eolo clásico ls 16 mm/15 mil/1.30 Lph/0.30M/1500 m
20	Pza	Copla 16 mm p/manguera lay flat 5/8 brb tipo cocodrilo
20	Pza	Terminal de línea 16 mm
10	Pza	Teflón 3/4"

## • Módulo para Frutales

El módulo de frutales es para 300 m<sup>2</sup> con tubo ciego de 16 mm que se colocan los goteros cada 2 m con micro tubos para que el agua llegue a la planta con el caudal requerido.

El material que se requiere para un módulo para frutales es el siguiente:

Sistema parcelario móvil frutas		
CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL
10	Metro	Manguera de salida 2" sf-10 usa blue(azul) 4.0 Bar
1	Pza	Tee 2" rxr pvc
2	Pza	Acople de pvc - pp 2" tipo "d"
1	Pza	Acople de aluminio 2" tipo "f" - m
2	Pza	Acople de aluminio 3" tipo "e" - m
2	Pza	Acople de aluminio 2" tipo "c" - m
1	Pza	Acople de aluminio 2" "tipo "dp" - m
1	Pza	Acople de aluminio 2" tipo "dc" - m
4	Pza	Abrazadera reforzada 2" sf rebolt-single-tw
150	Metro	Politubo pemd 16 mm rain bird
300	Pza	Gotero botón clicktif 4 lph pc nandajin
150	Metro	Micro tubo 6 mm (ciego)
5	Pza	Copla con enganche de 16 mm p/manguera lay flat t-tape
5	Pza	Terminal de línea 16 mm
5	Pza	Unión univ ½" e40 rxr pvc
5	Pza	Adaptador m 16 mm x ½"r
10	Pza	Teflón 3/4"

## 1.1.4 Herramientas

### • Montaje

Las herramientas son las que se necesitan para poder realizar la instalación de los distintos tipos de riego de este equipo.

Herramientas para armar el sistema de riego		
CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL
3	Pza	Perforadora ch p/manguera lay flat dn15
1	Pza	Cierra mecánica 40 cm
2	Pza	Llave stilson 1 a 2"
1	Pza	Tarraja 2"
1	Pza	Tarraja 3/4"
4	Pza	Perforadora azul 3-8 mm p4
1	Pza	Brocas y perforador 15 mm

### • Monitoreo

- Medidor de irradiancia y ángulo vertical y azimut
- Balde de 10 litros
- Cronometro

## PARTE II: Ejercicios de capacitación

### Ejercicio 1: Conociendo el Equipo Móvil de Bombeo Solar

#### Información Básica

Objetivos mínimos que deben alcanzar los participantes	<p>Conocer el panel fotovoltaico</p> <p>Conocer el inversor y la caja de control</p> <p>Conocer la bomba</p>
Usos	Riego tecnificado, agua segura y abrevaderos

#### Información General

Duración	60 minutos
Preparación del lugar	Ambiente amplio para el despliegue de todos los implementos del equipo. Se forman tres áreas de trabajo y se distribuye a los participantes en círculo.
<b>Requerimientos</b>	
Facilitadores/asistentes	Uno o dos
Ayuda didáctica a preparar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción del Equipo Móvil de Bombeo Solar</li> <li>• Lista de materiales</li> </ul>
Materiales para los facilitadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo Móvil de Bombeo Solar</li> <li>• Cajas con materiales rotulados</li> </ul>
Materiales para los participantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ninguno</li> </ul>
Condiciones del lugar	Suficiente espacio para el despliegue de los distintos elementos

#### Organización del ejercicio

Pasos	Tiempo	Contenido	Actividades Facilitador	Actividades Participantes	Materiales	Consejos
Introducción	2'	Motivación	Explicar	Escuchar		Recomendaciones de cuidado y manejo de los equipos.
Preparación de grupos	8'	División de componentes: 1) elementos fotovoltaicos y 2) riego y otros usos	Supervisar el traslado y división de equipos	Apoyar en el traslado de equipos	Equipo Móvil de bombeo solar	Formación de un círculo alrededor de los equipos.
Explicación de los componentes	30'	Explicación de las características de los componentes y equipos que los conforman	Explicar	Escuchar	Equipo	Asegurar que los participantes pueden ver y escuchar las explicaciones
Procesamiento y generalización	20'	Preguntas de entendimiento: ¿Cuántas celdas solares existen en un panel?	Preguntar aleatoriamente	Responder		

## Ejercicio 2: El montaje del componente fotovoltaico (superficial y sumergible)

### Información Básica

Objetivos mínimos que deben alcanzar los participantes	Instalación del panel en la estructura metálica móvil Ubicación del panel en el norte magnético Inclinação del panel Instalación de la bomba en el pozo Encendido de la bomba
Usos	Riego tecnificado, agua segura y abrevaderos

### Información General

Duración	1.42 horas (85')
Preparación del lugar	Lugar con pozo y área para instalar el sistema de riego
<b>Requerimientos</b>	
Facilitadores/asistentes	2 facilitadores y 4 asistentes
<b>Ayuda didáctica a preparar</b>	
Materiales para los facilitadores	Equipo de bombeo sumergible y superficial, brújula y nivel
Materiales para los participantes	Cuadernos
Condiciones del lugar	Lugar abierto y con espacio para que los estudiantes puedan ver

### Organización del ejercicio

Tiempo	Contenido	Actividades Facilitador	Actividades Participantes	Materiales	Consejos
15'	Mostrar el panel y la estructura metálica	Mostrar, junto con un asistente, cómo se instala el panel en la estructura metálica móvil	Ver y escuchar	Panel, bomba, caja de controlador y cables	Los estudiantes tienen que conformar grupos y repetir lo aprendido
15'	Ubicar el panel al norte 0° y una inclinación de 30°	Mostrar cómo se ubica el panel al norte con la ayuda de una brújula y la inclinación de 30° del panel			
20'	Mostrar los componentes electrónicos de la caja del controlador	Abrir la caja del controlador para ver cómo se instalaron los cables de tres fases y el cable que va a tierra			
30'	Montar la bomba en el pozo	Montar la bomba y mostrar cómo se ancla la misma para que quede totalmente vertical			
5'	Encender la bomba	Encender la bomba y calcular el caudal que sale en boca de pozo			

## Ejercicio 3: Diseño hidráulico para riego tecnificado

### Información Básica

<b>Objetivos mínimos que deben alcanzar los participantes</b>	<p>Conocer el volumen diario de la fuente de agua</p> <p>Conocer el cabezal de riego</p> <p>Conocer las cintas de goteo, tipos de goteros y tubos para el riego</p> <p>Conocer el área a ser regada</p> <p>Cálculo hidráulico de las pérdidas de carga en tuberías y accesorios</p> <p>Diseño hidráulico de un pequeño sistema de riego parcelario</p>
<b>Usos</b>	Irrigación

### Información General

Duración	3.5 horas
Preparación del lugar	Aula con data y pizarra
<b>Requerimientos</b>	
Facilitadores/asistentes	Uno o dos
Ayuda didáctica a preparar	Presentaciones en PPT ejercicios en pizarra
Materiales para los facilitadores	Maletín Zoop, computadora, Data show y pizarra
Materiales para los participantes	Computadora, calculadora, cuaderno, lápices y borrador
Condiciones del lugar	Ambiente con pupitres o mesas para conformar grupos para la realización de los ejercicios

### Organización del ejercicio

Pasos	Tiempo	Contenido	Actividades Facilitador	Actividades Participantes	Materiales	Consejos
Introducción	45'	Conceptos básicos del diseño agronómico e hidráulico	Presentación	Escuchar	Computadora, data show y pizarra	Grupos de dos personas para el desarrollo de los ejercicios
Requerimiento de agua del cultivo	45'	Cálculo agronómico del requerimiento de agua del cultivo diario				
Dimensionamiento del tanque	15'	Con Base en el cálculo anterior se puede definir el volumen del tanque				
Diseño hidráulico de la parcela de riego	45'	Calculo del diseño del sistema de riego tecnificado por goteo				
Práctica	60'					

## Ejercicio 4: Cálculo de la altura de bombeo

### Información Básica

<b>Objetivos mínimos que deben alcanzar los participantes</b>	Conocer las pérdidas de carga en tuberías de conducción y la altura necesaria de bombeo
<b>Usos</b>	Bombeo para irrigación, agua segura, bebederos y otros

### Información General

Duración	1.5 horas
Preparación del lugar	Aula bien iluminada
<b>Requerimientos</b>	
Facilitadores/asistentes	Uno
Ayuda didáctica a preparar	Presentaciones y ejercicios en grupos
Materiales para los facilitadores	Data, computadora y pizarra
Materiales para los participantes	Computadoras y cuadernos
Condiciones del lugar	Ambiente con pupitres o mesas para conformar grupos para la realización de los ejercicios

### Organización del ejercicio

Pasos	Tiempo	Contenido	Actividades Facilitador	Actividades Participantes	Materiales	Consejos
Introducción	15'	Hidráulica de tuberías	Presentación	Escuchar	Computadora, data show y pizarra	Grupos de 2 personas
Ejercicio de ejemplo	30'	Velocidad de flujo Caudal en la tubería. Pérdida de carga en tuberías y accesorios				
Práctica	45'					

## Ejercicio 5: Pruebas de aceptación

### Información Básica

<b>Objetivos mínimos que deben alcanzar los participantes</b>	<p>Conocer la inclinación y orientación del panel fotovoltaico</p> <p>Medir la radiación solar</p> <p>Calcular la potencia eléctrica de salida del Generador solar</p> <p>Aforar en boca de pozo</p> <p>Medir altura total de bombeo</p> <p>Comprobar el valor medio de flujo teórico con el real (+/-15%)</p> <p>Medir la inclinación de los paneles</p>
---	---

### Información General

Duración	2 horas
Preparación del lugar	Tener un pozo, río o tanque cerca,
<b>Requerimientos</b>	
Facilitadores/asistentes	Uno o dos facilitadores
Ayuda didáctica a preparar	Lista de materiales
Materiales para los facilitadores	Kit de bombeo, tuberías, flexo y wincha
Materiales para los participantes	Calculadora, flexo, wincha
Condiciones del lugar	Ambiente amplio en zona abierta

### Organización del ejercicio

Tiempo	Contenido	Actividades Facilitador	Actividades Participantes	Consejos
20'	Instalación de la bomba en el pozo o río o tanque	Explica los pasos a seguir	Los demás alumnos miran y aprenden	2 o tres alumnos participan
10'	Instalación del cableado de la bomba al controlador			Otros dos o tres alumnos participan
20'	Medir la inclinación y la orientación del panel			Conformación de grupos y todos realizan la práctica
20'	Aforar el caudal en boca de pozo			
20'	Medir la altura total de bombeo			
30'	Obtener la potencia pic de la bomba			

## Ejercicio 6: Mantenimiento

### Información Básica

<b>Objetivos mínimos que deben alcanzar los participantes</b>	<p>Para aumentar su vida útil, todo sistema requiere proteger y conservar sus obras y equipos mediante actividades de operación y mantenimiento. En sistemas tradicionales, estas actividades suelen efectuarse como procedimientos rutinarios, de acuerdo con reglas no escritas que todo usuario conoce y está de acuerdo en cumplir.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar aspectos críticos de los equipos y componentes de los sistemas, para planificar un completo plan de O y M</li> <li>- Identificar las actividades de mantenimiento preventivo regulares</li> <li>- Identificar fallas, llevar un registro de éstas y abordarlas con un mantenimiento correctivo</li> <li>- Diagnosticar los parámetros de funcionamiento del sistema fotovoltaico de manera de evitar fallas</li> </ul>
---	---

### Información General

Duración	30´
Preparación del lugar	Aula bien iluminada
<b>Requerimientos</b>	
Facilitadores/asistentes	Un facilitador
Ayuda didáctica a preparar	Planillas en Excel
Materiales para los facilitadores	Data, computadora y presentación en ppt
Materiales para los participantes	Computadora y cuaderno de apuntes
Condiciones del lugar	Ambiente con pupitres o mesas para conformar grupos para la realización de los ejercicios

### Organización del ejercicio

Pasos	Tiempo	Actividades Facilitador	Actividades Participantes	Materiales
Aspectos generales	5´	Explica los pasos a seguir	Escucha y aprenden	Computadora, data y pizarra
Generador solar				
Sistema de transporte (del pozo al reservorio)				
Reservorio				
Cabezal de riego				
Sistema de riego				

## Conclusiones

- Cuando las tecnologías tradicionales de bombeo alcanzan sus límites técnicos, los medios habituales para bombear agua para riego (bombas de gasolina o diésel) poseen la doble desventaja de requerir mucho mantenimiento y un suministro regular de combustible, además de la presencia física de personal para su operación. Por lo tanto, la energía solar puede ayudar a proporcionar acceso a un suministro de energía seguro y respetuoso con el medio ambiente.
- La tecnología del bombeo solar posee un gran potencial para fomentarse en zonas de alta pobreza, que al mismo tiempo considere una planificación y articulación integral de políticas y los sectores que trabajan en comunidades de pobreza extrema.
- Se pueda tomar en cuenta las alternativas tecnológicas en proyectos nuevos o vigentes de inversión pública de los distintos sectores relacionados.

## Recomendaciones

- Establecer una propuesta de desarrollo de capacidades y formación para sistemas de bombeo solar, debido a la asistencia técnica limitada para el diseño, implementación y mantenimiento.
- Socializar experiencias exitosas de los sistemas de bombeo solar para múltiples usos.
- Garantizar que se considere esta alternativa tecnológica con recursos de inversión, mediante los programas y proyectos.
- Fomentar los sistemas de bombeo solar en zonas donde no existe energía eléctrica de red.
- Aprovechar el potencial en el riego familiar. El bombeo solar se constituye en un mecanismo de resiliencia al cambio climático
- Promover el uso de energías renovables. En Bolivia, la oferta de tecnología aún es reducida y los costos podrían ser más asequibles.

## Bibliografía

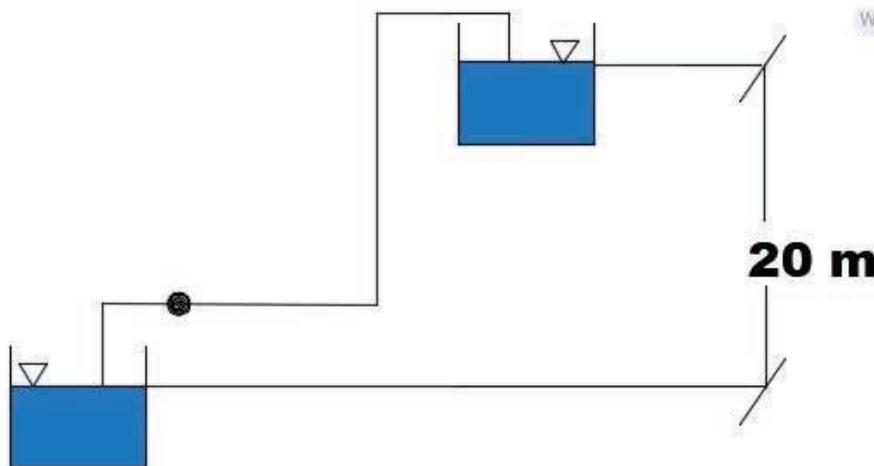
<b>Acoples rápidos:</b>	
<a href="http://www.oleohidraulicamp.com.ar/08---acoples-rapidos-acoples-con-levas_mid_326.html">http://www.oleohidraulicamp.com.ar/08---acoples-rapidos-acoples-con-levas_mid_326.html</a>	
<b>Catálogo de riego Plasgot:</b>	
<a href="http://www.plasgot.com/recurso/pagina/archivo/plasgot_2017.pdf">http://www.plasgot.com/recurso/pagina/archivo/plasgot_2017.pdf</a>	
<b>Catálogo de riego Microflapper:</b>	
<a href="http://jisl.co.in/PDF/Catalogue_2015/drip/Drippers/Micro_Flapper.pdf">http://jisl.co.in/PDF/Catalogue_2015/drip/Drippers/Micro_Flapper.pdf</a>	
<b>Catálogo de riego Rain Bird:</b>	
<a href="http://www.aquatubo.com/tarifas/jardineria/»»%20Tarifas%20fabricantes/RAINBIRD%20Catalogo%20RIEGO%20Agrícola%202017.pdf">http://www.aquatubo.com/tarifas/jardineria/»»%20Tarifas%20fabricantes/RAINBIRD%20Catalogo%20RIEGO%20Agrícola%202017.pdf</a>	
<b>Catálogo de riego Durman:</b>	
<a href="https://durman.com/catalogos/catalogoriegocostarica.pdf">https://durman.com/catalogos/catalogoriegocostarica.pdf</a>	
<b>Catálogos de Riego Toro:</b>	
<a href="https://www.toro-ag.it/public/download_file/Catalogo%20Toro%20SPA%20low.pdf">https://www.toro-ag.it/public/download_file/Catalogo%20Toro%20SPA%20low.pdf</a>	
<b>Catálogos de bombas Lorentz:</b>	
<a href="http://pdf.archiexpo.es/pdf/lorenz-108665.html">http://pdf.archiexpo.es/pdf/lorenz-108665.html</a>	
<b>Catálogos de bombas Franklin:</b>	
<a href="http://www.franklinagua.com/media/6565/m1705sp-subdrive_solarppak_catalog_09-13_web.pdf">http://www.franklinagua.com/media/6565/m1705sp-subdrive_solarppak_catalog_09-13_web.pdf</a>	
<a href="http://franklinagua.com/media/53789/m1705sp_subdrive_solarpak_catalog_9-16_web.pdf">http://franklinagua.com/media/53789/m1705sp_subdrive_solarpak_catalog_9-16_web.pdf</a>	
<a href="http://www.franklinagua.com/media/22798/LCO02003-Catalogo-de-Productos-COL_007SP.pdf">http://www.franklinagua.com/media/22798/LCO02003-Catalogo-de-Productos-COL_007SP.pdf</a>	
<b>Página web de bombas Grundfos:</b>	
<a href="https://ar.grundfos.com/products/grupos-de-producto/bombas-solares.html">https://ar.grundfos.com/products/grupos-de-producto/bombas-solares.html</a>	

# Anexos

## Anexo 1

### Altura de Carga

Calcular la altura de carga y la velocidad que necesita para poder elevar el agua a 20 metros de altura 5 l/s con una tubería de 4" de diámetro, a una longitud de 500 metros. C=130



Resolución:

$$C := 130 \quad L := 500 \text{ m} \quad H := 20 \text{ m}$$

$$\phi := 4 \text{ in} \quad \phi := 100 \text{ mm} \quad \phi = 0.1 \text{ m}$$

$$A := \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \quad A = 0.008 \text{ m}^2$$

$$Q := 5 \frac{\text{l}}{\text{s}} \quad Q = 0.005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v := \frac{Q}{A} \quad v = 0.64 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L := 500 \quad \phi := 0.1 \quad Q := 0.005$$

$$hf := \frac{10.679}{C^{1.852}} \cdot \frac{L}{\phi^{4.87}} \cdot Q^{1.852} \quad hf = 2.636 \text{ m}$$

pérdida de carga en accesorios

Asumimos un 15% de la pérdida de carga

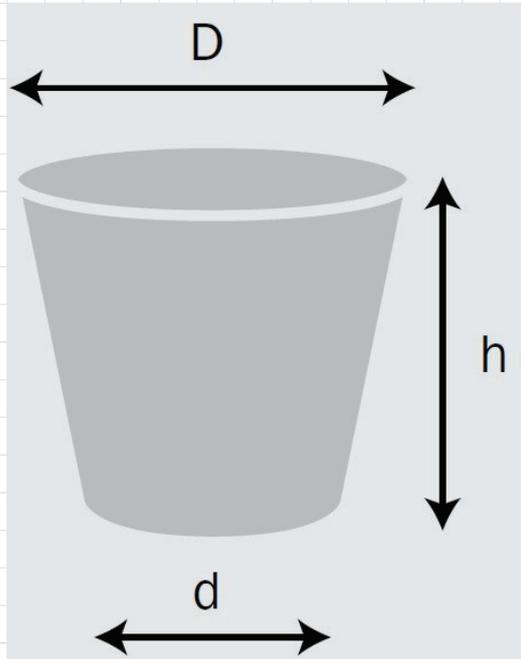
$$hf_{ac} := 0.15 \cdot hf \quad hf_{ac} = 0.395 \text{ m}$$

Se necesita una altura de carga de:

$$\Delta h := H + hf + hf_{ac} \quad \Delta h = 23.032 \text{ m}$$

## Anexo 2

## Aforo con Valde



$$D := 0.30 \text{ m}$$

$$d := 0.20 \text{ m}$$

$$h := 0.40 \text{ m}$$

$$V := \frac{\left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \right)}{2} \cdot h$$

$$V = 0.02 \text{ m}^3$$

$$t_{prom} := 15 \text{ s}$$

$$Q := \frac{V}{t_{prom}}$$

$$Q = 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad Q = 1.361 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

### Anexo 3

#### Cantidad de agua para el riego de una hectarea

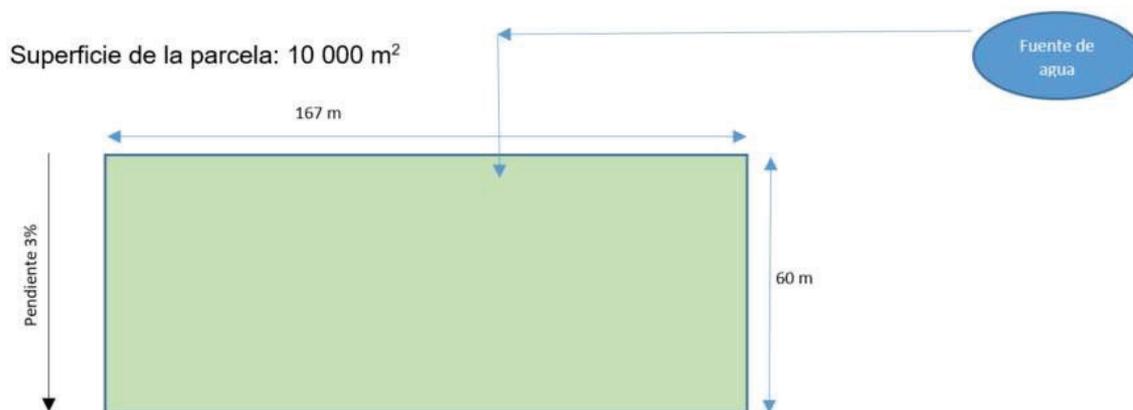
se necesita saber la cantidad de agua que se necesita para regar con un sistema de riego por goteo 1 ha. sabiendo que el caudal que da el pozo durante 7 horas solares es de 1.5 l/s. conociendo los parámetros del suelo a regar, la evapotranspiración y el porcentaje del área a regar.

**Tabla 10** Resumen de las propiedades físicas de los suelos.

Textura del suelo	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Capacidad de campo (% θ g)	Punto de marchitez permanente (% θ g)	Infiltración básica (mm/h)
Arenoso	1.65 (1.55 – 1.90)	9 (6 – 12)	4 (2 – 6)	50 (25 – 250)
Franco arenoso	1.50 (1.40 – 1.60)	14 (10 – 18)	6 (4 – 8)	25 (13 – 75)
Franco	1.40 (1.35 – 1.50)	22 (18 – 26)	10 (8 – 12)	13 (8 – 20)
Franco arcilloso	1.35 (1.30 – 1.40)	27 (23 – 31)	13 (11 – 15)	8 (2.5 – 15)
Arcilloso	1.25 (1.20 – 1.30)	35 (31 – 39)	17 (15 – 19)	5 (1.3 – 10)

Fuente: Mihajlovich (1979).

- Tipo de suelo: Franco arenoso
- Densidad aparente: 1.5
- Capacidad de campo: 14
- Punto de marchitez permanente: 6
- Criterio de riego: 40%
- Porcentaje de área a regar: 60%
- Eficiencia de riego 95%
- evapotranspiración: 4.5mm/d



Humedad del suelo:

$$CC := 14 \quad Efa := 95$$

$$PMP := 6 \quad CR := 40$$

$$Da := 1.5 \quad PAR := 60$$

$$ZR := 40 \quad ETm := 4.5$$

$$LR := \frac{((CC - PMP) \cdot ZR \cdot Da)}{10} \quad LR = 48 \text{ mm}$$

Lamina neta a aplicar:

$$Ln := \frac{CR}{100} \cdot LR \cdot \frac{PAR}{100} \quad Ln = 11.52 \text{ mm}$$

Lamina bruta:

$$Lb := \frac{Ln}{\frac{Efa}{100}} \quad Lb = 12.126 \text{ mm}$$

Frecuencia de riego:

$$Fr := \frac{Ln}{ETm} \quad Fr = 3 \text{ días}$$

Volumen que se necesita almacenar:

El 60% del área es  $6000 \text{ m}^2$

$$A := 6000 \text{ m}^2$$

$$V := A \cdot \frac{Lb \cdot m}{1000} \quad V = 72.758 \text{ m}^3$$

el caudal de la fuente es constante y puede dar agua durante las 7 horas de sol en las que funciona la bomba fotovoltaica.

$$T := 7 \text{ hr}$$

$$Q := 1.5 \frac{\text{L}}{\text{s}} \quad Q = 5.4 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$V := Q \cdot T \quad V = 37.8 \text{ m}^3$$

Como la frecuencia de riego es cada 3 días entonces se debe hacer un almacenamiento que permita almacenar el volumen requerido.

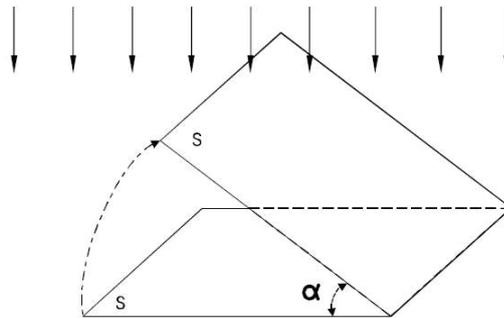
Como el volumen almacenado por día es de 37.8 entonces en 2 días se puede almacenar:

$$V_{\text{almacenado}} := V \cdot 2 \text{ day} \quad V_{\text{almacenado}} = 75.6 \text{ m}^3 \cdot \text{day}$$

## Anexo 4

### Prueba de aceptación

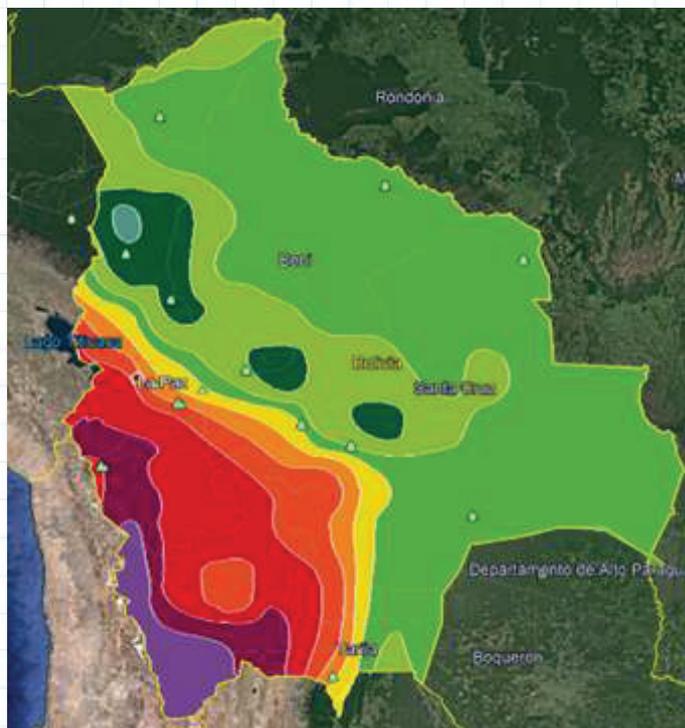
1.- se debe conocer la inclinación de los paneles y para que capte la mayor cantidad de energía del sol tiene que estar orientado al Norte si estamos en el hemisferio sur y al Sur si estamos en el hemisferio Norte



Radiación sobre una superficie inclinada

para el ejemplo tomaremos la inclinación  $30^\circ$  que corresponde para la latitud en la que se encuentra Bolivia (la inclinación suele variar donde nos encontremos pero se fijó para toda Bolivia la inclinación de los  $30^\circ$  con un azimut  $0^\circ$  al Norte para poder captar la mayor cantidad de energía)

2.- se debe medir la radiación solar en el sitio. para eso se debe conocer la latitud y la longitud del lugar

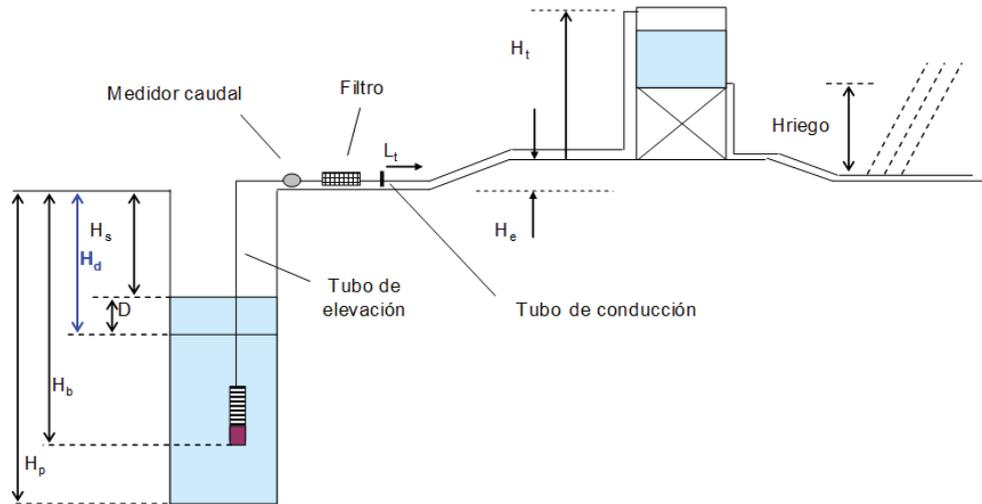


En la herramienta diseñada del SPIS se encuentra un link donde se puede encontrar por medio del puntero en el mapa exactamente el GD del lugar (radiación en  $\text{kW}/\text{m}^2$ )

$$Gd := 6 \frac{kW}{m^2}$$

3.- Se debe calcular la altura del pozo desde la altura dinámica hasta la altura de descarga sin considerar las pérdidas de carga y calcular la longitud de la tubería total

**Cálculo de la altura total, con estanque de acumulación:**



Para nuestro ejemplo:

- Hd=4m
- Ht=15m
- Long tubería= 400m
- Diámetro= 4"=100mm
- C=140
- Caudal= 5l/s

Se debe calcular las pérdidas de carga en la tubería y los accesorios

$$C := 140 \quad L := 400 \text{ m} \quad H := 19 \text{ m}$$

$$\phi := 4 \text{ in} \quad \phi := 100 \text{ mm} \quad \phi = 0.1 \text{ m}$$

$$A := \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \quad A = 0.008 \text{ m}^2$$

$$Q := 5 \frac{l}{s} \quad Q = 0.005 \frac{m^3}{s}$$

$$v := \frac{Q}{A} \quad v = 0.64 \frac{m}{s}$$

$$L := 400 \quad \phi := 0.1 \quad Q := 0.005$$

$$hf := \frac{10.679}{C^{1.852}} \cdot \frac{L}{\phi^{4.87}} \cdot Q^{1.852} \quad hf = 1.838 \text{ m}$$

pérdida de carga en accesorios

Asumimos un 15% de la pérdida de carga

$$hf_{ac} := 0.15 \cdot hf \quad hf_{ac} = 0.276 \text{ m}$$

Se necesita una altura de carga de:

$$\Delta h := H + hf + hf_{ac} \quad \Delta h = 21.114 \text{ m}$$

4.- Calcular la potencia Ppek de la bomba

$$Gd := 6 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

$$V_{diario} := 37.8 \text{ m}^3$$

$$hd := 4$$

$$P_{pek} := 8 \frac{(hd \cdot V_{diario})}{Gd} \quad P_{pek} = 201.6 \frac{\text{kW}}{\frac{\text{m}^2}{\frac{h}{d}}}$$

se debe sacar el área del panel que en este caso es de 1mx1.6m

$$A_{panel} := 1 \text{ m} \cdot 1.6 \text{ m} \quad A_{panel} = 1.6 \text{ m}^2 \quad A_{panel} := 1.6$$

se halla la potencia eléctrica que llega a la Bomba

Fcp varia segun la temperatura

T <sub>amb</sub> [°C]	F <sub>Cp</sub>
25	0,90
30	0,85
35	0,80

$$F_{cp} := 0.90$$

$$P_{el} := F_{cp} \cdot \frac{P_{pek}}{1000} \cdot A_{panel}$$

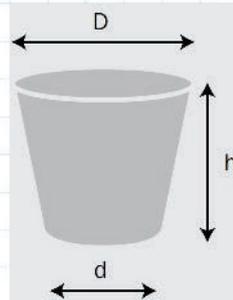
$$P_{el} = 0.29 \text{ kW}$$

5.- aforar en boca de pozo

$$D := 0.30 \text{ m}$$

$$d := 0.20 \text{ m}$$

$$h := 0.40 \text{ m}$$



$$V := \frac{\left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \right) \cdot h}{2}$$

$$V = 0.02 \text{ m}^3$$

$$t_{prom} := 18 \text{ s}$$

$$Q := \frac{V}{t_{prom}}$$

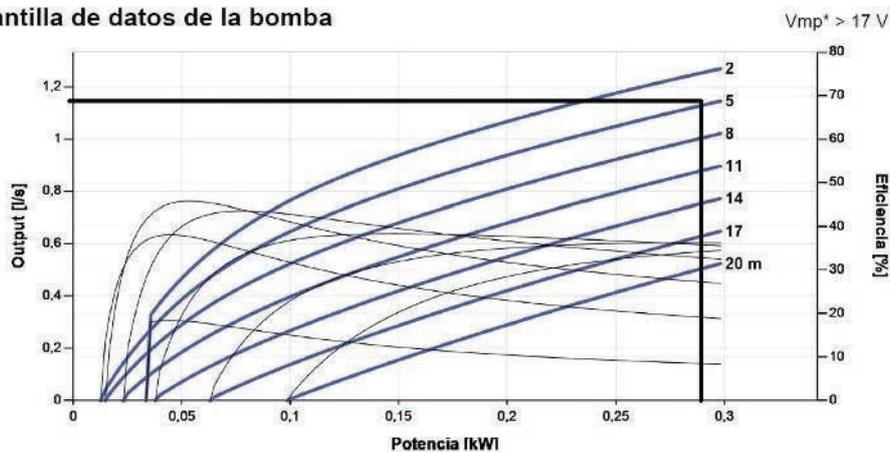
$$Q = 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad Q = 1.134 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

6.- comprobar el valor medio con el flujo de agua teórico (+/-)15%

## PS2-150 C-SJ5-8

Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

Plantilla de datos de la bomba



Aproximadamente estamos en el valor teórico. **por tanto esta bien**



