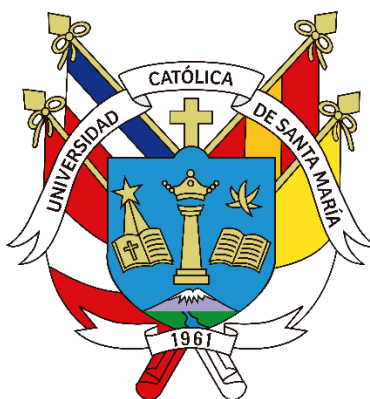


**Universidad Católica de Santa María**

**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**

**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica  
y Mecatrónica**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO HÍDRICO ALIMENTADO POR  
ENERGÍA FOTOVOLTAÍCA PARA RIEGO POR ASPERSIÓN EN 30  
HECTÁREAS DEL CENTRO EXPERIMENTAL “LA RAYA” - UNA PUNO”**

**Tesis presentada por el Bachiller:**

Málaga Paucar, Kevin Julio

**para optar el Título Profesional de:**

Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor: Dr. Valencia Salas, Mario José

**Arequipa – Perú**

**2023**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 18 de Abril del 2023

Dictamen: 005869-C-EPIMMEM-2023

Visto el borrador del expediente 005869, presentado por:

**2009244281 - MALAGA PAUCAR KEVIN JULIO**

Titulado:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO HÍDRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA  
PARA RIEGO POR ASPERSIÓN EN 30 HECTÁREAS DEL CENTRO EXPERIMENTAL LA RAYA - UNA  
PUNO**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**29667313 - ALCAZAR ROJAS HERMAN ENRIQUE  
DICTAMINADOR**



**30857994 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO  
DICTAMINADOR**



**40302702 - QUISPE CCACHUCO MARCELO JAIME  
DICTAMINADOR**



# DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO HÍDRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA RIEGO POR ASPERSIÓN EN 30 HECTÁREAS DEL CENTRO EXPERIMENTAL "LA RAYA" - UNA PUNO

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.ucsm.edu.pe">repositorio.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="http://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://api.eoi.es">api.eoi.es</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://alicia.concytec.gob.pe">alicia.concytec.gob.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to unsaac Trabajo del estudiante	1%
7	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://repository.ucc.edu.co">repository.ucc.edu.co</a> Fuente de Internet	1%

9	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	1 %
10	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	1 %
11	<a href="http://repositorio.unica.edu.pe">repositorio.unica.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
12	<a href="http://renati.sunedu.gob.pe">renati.sunedu.gob.pe</a> Fuente de Internet	1 %
13	<a href="http://hgingenieria.com.co">hgingenieria.com.co</a> Fuente de Internet	1 %
14	<a href="http://howlingpixel.com">howlingpixel.com</a> Fuente de Internet	1 %
15	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
16	<a href="http://upcommons.upc.edu">upcommons.upc.edu</a> Fuente de Internet	1 %
17	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres por velar por mi bienestar, por el cariño incondicional, la motivación y el apoyo a lo largo de mi vida.



## RESUMEN

El presente proyecto de estudio de factibilidad sustentado por la ingeniería hidráulica, consiste de un Sistema de Bombeo Hídrico mediante energía fotovoltaica para producción de pastos cultivados (*Rye grass – trébol blanco*) en 30 hectáreas del Centro Experimental “La Raya” de la UNA Puno; la finalidad es promover el uso de energías renovables para disminuir el impacto ambiental negativo producido por las energías convencionales, donde la energía fotovoltaica se está convirtiendo en una práctica usual y rentable.

El uso de agua del río adyacente a los terrenos del Centro Experimental concede llevar procesos productivos económicos y ambientales; donde nos proporcionará el incremento de producción de biomasa de materia verde para la alimentación de los camélidos como son las alpacas y llamas; con el cual, reflejará el incremento de producción de fibra y carne para su comercialización, y por ende la mejora del rendimiento económico de la institución.

En el sistema de bombeo solar directo de fuentes de energía renovable, se determinó la potencia diaria necesaria para alimentar el sistema de bombeo hidráulico y de control es de 10 820 W/día, usando 32 paneles solares de 420 Wp cada uno, con una combinación 2 ramas en paralelo de 16 paneles en serie, alimentados con una electrobomba sumergible marca Pedrollo de multietapa y un inversor variador de frecuencia marca Nastec de 15 Kw 24VDC/380VAC; los cuales servirán para bombear agua con una capacidad 18.49 m<sup>3</sup>/h para el riego de 30 hectáreas y gobernado por un tablero de control.

En la evaluación económica del proyecto, el tiempo de recuperación económica es de 8 años y 4 meses con VAN S/ 191 743.76 y TIR 21.83%, lo que nos muestra su rentabilidad y factibilidad en el mediano plazo, la perspectiva en general es satisfacer la demanda de agua para mejorar la eficiencia de producción de pastos cultivados, y por ende la mejora de alimentación animal para un periodo de vida útil de 20 años. El proyecto presenta el diseño y selección de los sistemas requeridos para su ejecución, identificando los recursos y materiales a utilizar con el fin de acertar el costo total y la cantidad de tiempo estimado, para la recuperación de la inversión por el impacto en el ahorro energético y económico.

**Palabras Claves:** Bombeo hidráulico, Energía solar fotovoltaica, Riego aspersión.

## ABSTRACT

The present feasibility study project supported by hydraulic engineering, consists of a Water Pumping System through photovoltaic energy for the production of cultivated pastures (R<sub>1</sub> grass - white clover) in 30 hectares of the "La Raya" Experimental Center of UNA Puno; The purpose is to promote the use of renewable energy to reduce the negative environmental impact produced by conventional energy, where photovoltaic energy is becoming a common and profitable practice.

The use of water from the river adjacent to the grounds of the Experimental Center allows carrying out economic and environmental production processes; where it will provide us with the increase in biomass production of green matter for the feeding of camelids such as alpacas and llamas; with which, it will reflect the increase in the production of fiber and meat for its commercialization, and therefore the improvement of the economic performance of the institution.

In the direct solar pumping system from renewable energy sources, the daily power necessary to feed the hydraulic and control pumping system was determined to be 10,820 W/day, using 32 solar panels of 420 Wp each, with a combination of 2 parallel branches of 16 panels in series, powered by a multistage Pedrollo submersible electric pump and a 15 Kw 24VDC/380VAC Nastec frequency inverter; which will serve to pump water with a capacity of 18.49 m<sup>3</sup>/h for the irrigation of 30 hectares and governed by a control panel.

In the economic evaluation of the project, the economic recovery time is 8 years and 4 months with VAN S/ 191,743.76 and IRR 21.83%, which shows us its profitability and feasibility in the medium term, the general perspective is to satisfy the water demand to improve the production efficiency of cultivated pastures, and therefore the improvement of animal feeding for a period of useful life of 20 years. The project presents the design and selection of the systems required for its execution, identifying the resources and materials to be used in order to guess the total cost and the estimated amount of time, for the recovery of the investment due to the impact on energy savings. and economic.

**Keywords:** Hydraulic pumping, photovoltaic solar energy, sprinkler irrigation.



## ÍNDICE

RESUMEN .....	4
ABSTRACT .....	5
INTRODUCCIÓN .....	15
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.1. INTRODUCCIÓN .....	16
1.2. OBJETIVOS .....	17
1.2.1. Objetivo General.....	17
1.2.2. Objetivos Específicos .....	17
1.3. ANTECEDENTES .....	17
1.4. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	26
1.5. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	28
1.6. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA .....	28
1.7. LIMITACIONES .....	29
1.8. NORMAS REFERENCIALES .....	29
1.9. DATOS METEOROLÓGICOS DE ACUERDO A LA UBICACIÓN .....	29
1.10. ESTIMACIÓN HÍDRICA .....	30
1.11. RECURSO HÍDRICO PARA EL PROYECTO .....	34
CAPITULO II MARCO TEÓRICO .....	35
2.1. INTRODUCCIÓN .....	35
2.2. DESCRIPCIÓN DE PLANTAS CULTIVADAS .....	35
2.2.1. Cultivo de pasto Ray grass inglés ( <i>Lolium perenne</i> ) .....	35
2.2.2. Cultivo de pasto Trébol Blanco ( <i>Trifolium repens</i> ) .....	36
2.3. RIEGO POR ASPERSIÓN .....	36
2.3.1. Ventajas e inconvenientes del riego por aspersión .....	38
2.4. BOMBAS HIDRÁULICAS .....	38
2.4.1. Funcionamiento de una Bomba Centrífuga .....	40
2.4.2. Curvas Características de una Bomba Centrífuga .....	41
2.4.3. Ecuaciones de una Bomba Hidráulica .....	43
2.4.4. Sistema de Bombeo Hidráulico .....	47
2.5. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO ECONÓMICO DE TUBERÍA .....	53

2.6.	CÁLCULO DE ESPESOR DE TUBERÍA .....	57
2.7.	SISTEMAS DE BOMBEO SOLAR DE TANQUE A TANQUE.....	58
2.8.	ENERGÍA RENOVABLE SOLAR.....	59
2.8.1.	Concepto de Energía Solar .....	59
2.8.2.	Concepto de Energía Fotovoltaica .....	62
2.8.3.	Composición Básica de un Sistema Fotovoltaico .....	64
2.8.4.	Paneles Fotovoltaicos .....	66
2.8.5.	Aplicaciones de la Energía Solar .....	67
2.9.	PANELES FOTOVOLTAICOS.....	71
2.9.1.	Características de las Células Fotovoltaicas .....	71
2.9.2.	Célula Solar .....	72
2.9.3.	Modelado del Panel Solar:.....	73
2.9.4.	Interconexión de Paneles .....	74
2.10.	BATERÍAS O ACUMULADORES .....	77
2.11.	INVERSOR .....	78
2.11.1.	Tipos de Inversores Solares .....	79
2.12.	REGULADOR DE CARGA.....	79
2.13.	SISTEMAS DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICOS .....	80
2.13.1.	Subsistema de generación:.....	82
2.13.2.	Subsistema motor-bomba: .....	82
2.13.3.	Subsistema de acondicionamiento de potencia: .....	82
2.13.4.	Subsistema de acumulación y distribución:.....	83
2.14.	ALTERNATIVA CON BOMBA SUPERFICIAL MULTITETAPA .....	84
CAPÍTULO III DISEÑO DEL PROYECTO .....		88
3.1.	INTRODUCCIÓN .....	88
3.2.	SISTEMAS DEL PROYECTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN .....	88
3.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO HIDRÁULICO .....	90
3.3.1.	Selección de la electrobomba .....	96
3.3.2.	Cálculo del espesor de tubería .....	102
3.4.	SISTEMA ELÉCTRICO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	110
3.4.1.	Componentes del Sistema Eléctrico .....	110
3.4.2.	Especificaciones Técnicas Modulo Fotovoltaico .....	112
3.4.3.	Especificaciones Técnicas Motor Eléctrico .....	113

3.4.4.	Cálculo de matriz fotovoltaica .....	114
3.4.5.	Selección de inversor y variador de frecuencia .....	117
3.4.6.	Selección de conductores fotovoltaicos .....	119
3.4.7.	Dimensionamiento de Protección Contra Descargas Atmosféricas .....	122
3.4.8.	Pararrayos PDC .....	124
3.4.9.	Materiales para pozos a tierra .....	125
3.4.10.	Calculo de pozo a tierra protección descargas atmosféricas .....	126
3.4.11.	Estructura fija para matriz fotovoltaica .....	129
3.5.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MONTAJE.....	132
3.5.1.	Instalación de la bomba .....	132
3.5.2.	Instalación de estructura de paneles solares .....	133
3.5.3.	Instalación de torre arriostrada .....	133
3.6.	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA.....	133
CAPÍTULO IV ANÁLISIS ECONÓMICO.....		136
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	136
4.2.	INGRESO ECONÓMICO COMPARATIVO DE LA PROPUESTA.....	136
4.3.	COSTOS DE SISTEMAS Y COMPONENTES DEL PROYECTO .....	137
4.3.1.	VAN, TIR y Tiempo de Recuperación .....	140
4.3.2.	Determinación del VAN (Valor Actual Neto):.....	141
4.3.3.	Determinación del TIR (Tasa Interna de Retorno):.....	142
4.3.4.	Determinación de Tiempo de Recuperación: .....	143
CAPÍTULO V IMPACTO MEDIO AMBIENTAL DEL PROYECTO .....		144
5.1.	ANÁLISIS IMPACTO AMBIENTAL.....	144
CONCLUSIONES .....		145
RECOMENDACIONES .....		146
REFERENCIAS .....		147
ANEXOS .....		152

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos Meteorológicos temperaturas máximas y mínimas de la zona .....	30
Tabla 2: Evapotranspiración año de referencia .....	31
Tabla 3: Fases Fenológicas y los días de siembra necesarios para el cultivo .....	32
Tabla 4: Días después de siembra y factor $K_c$ .....	32
Tabla 5: Demanda Hídrica Total .....	33
Tabla 6: Coeficiente adimensional perdida de carga de accesorios .....	45
Tabla 7: Velocidades medias más usuales .....	52
Tabla 8: Valores del coeficiente “Y” para $e < D/6$ .....	57
Tabla 9: Espesores de distintos tubos según la normativa ANSI(mm) .....	58
Tabla 10: Factores de pérdida de accesorios y válvulas .....	95
Tabla 11: Puntos (Q, HB) de la curva del sistema .....	96
Tabla 12: Características Técnicas de la Bomba Hidráulica .....	97
Tabla 13: Modulo fotovoltaico PEIMAR .....	112
Tabla 14: Modulo fotovoltaico JINKO .....	113
Tabla 15: Especificaciones Técnicas del Motor Eléctrico .....	114
Tabla 16: Potencia de consumo según criterios de diseño .....	115
Tabla 17: Variación por temperatura local .....	115
Tabla 18: Variación de potencia y voltaje por variación de temperatura .....	116
Tabla 19: Número total de paneles solares fotovoltaicos .....	116
Tabla 20: Balance módulos solares fotovoltaicos, valores máximos y mínimos .....	117
Tabla 21: Número total de módulos solares fotovoltaicos en paralelo y serie .....	117
Tabla 22: Datos técnicos para la selección del inversor- variador de frecuencia .....	119
Tabla 23: Reducción de la resistencia por tipo de arreglo .....	128
Tabla 24: Ganancia de peso en alpacas tuis alimentadas pastos cultivados y naturales ...	136

Tabla 25: Precio venta de carne y fibra de alpacas con pastos cultivados y naturales .....	137
Tabla 26: Ingresos venta de carne y fibra de alpacas con pastos cultivados y naturales ..	137
Tabla 27: Presupuesto General del Sistema de Bombeo Solar Fotovoltaica.....	138
Tabla 28: Flujo de Costo y Beneficio de Proyecto.....	141



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Componentes del Sistema de Bombeo de Agua por Energía Solar .....	109
Cuadro 2: Cuadro de Componentes Tablero Control .....	111

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Factor $K_c$ .....	33
-------------------------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación general del proyecto. ....	27
Figura 2: Ubicación y área geográfica del proyecto. ....	27
Figura 3: Curvas características bombas centrífuga y desplazamiento positivo. ....	38
Figura 4: Clasificación General de las Bombas Hidráulicas. ....	39
Figura 5: Componentes de una Bomba Centrífuga. ....	40
Figura 6: Funcionamiento de una Bomba Centrífuga. ....	40
Figura 7: Curvas Características de una bomba centrífuga .....	42
Figura 8: Bomba centrífuga de multietapas .....	42
Figura 9: Curvas características altura versus altura, rendimiento .....	43
Figura 10: Diagrama de Moody; factor de fricción. ....	46
Figura 11: Comportamiento del sistema de bombeo .....	47
Figura 12: Sistema de Bombas en Paralelo .....	48
Figura 13: Sistema de Bombas en Serie .....	49
Figura 14: Cavitación variación del NPSHr con el Caudal. ....	50
Figura 15: Perfil de Velocidad de Flujo Desarrollado .....	52

Figura 16: Obtencion del diámetro Económico .....	53
Figura 17: Sistema de Bombeo Tanque a Tanque.....	59
Figura 18: Sistema de Bombeo Básico Fotovoltaico Solar .....	61
Figura 19: Diagrama Conversión Energía Solar a Fotovoltaica. ....	62
Figura 20: Diagrama beneficios de energía solar fotovoltaica.....	63
Figura 21: Componentes Básicos de un Sistema Foto voltaico .....	64
Figura 22: Transformación de Energía Fotovoltaica.....	65
Figura 23: Esquema Distribución Energía Fotovoltaica .....	65
Figura 24: Tecnología de Paneles Fotovoltaicos.....	66
Figura 25: Comparación de Eficiencias de Paneles Fotovoltaicos .....	67
Figura 26: Esquema Instalación Foto voltaica Centralizada .....	70
Figura 27: Esquema de Instalación Fotovoltaica Aislada .....	71
Figura 28: Componentes basicos cedula solar fotovoltaica .....	73
Figura 29: Conexiones internas panel solar de 16 células .....	74
Figura 30: Conexión de módulos en serie .....	75
Figura 31: Conexión de módulos en paralelo.....	75
Figura 32: Conexión de módulos en paralelo y serie .....	76
Figura 33: Diagrama de Ragone Almacenamiento de Energia .....	77
Figura 34: Típico sistema bombeo de agua por energía solar fotovoltaico. ....	81
Figura 35: Reservorio con alternativa de bomba multietapa sumergible Pedrollo 6SR ....	86
Figura 36: Reservorio con alternativa de bomba multietapa de superficie Pedrollo FCR .	87
Figura 37: Sistemas y componentes riego por aspersión energía fotovoltaica Centro Experimental La Raya .....	89
Figura 38: Curvas características de la bomba hidráulica Modelo 6SR .....	98
Figura 39: Curva del Sistema y Punto de Operación de la Bombeo .....	99
Figura 40: Punto de Operación del Sistema .....	100

Figura 42: Valvula de Compuerta y Diseccion .....	106
Figura 43: Válvula de Globo y sus Partes .....	107
Figura 44: Válvula de Angulo .....	107
Figura 45: Válvula de Retención a Bisagra.....	108
Figura 46: Válvula reguladora de presión .....	108
Figura 47: Especificaciones técnicas tratamiento químico de la tierra. ....	125
Figura 48: Detalle de sistema de pozo a tierra .....	127
Figura 49: Tipos Arreglos de Varillas en Paralelo .....	128
Figura 50: Disposición del ángulo de inclinaciones de los paneles solares. ....	129
Figura 51: Características y especificaciones técnicas de los materiales. ....	130
Figura 52: Modelamiento en 3D instalación estructura matriz foto voltaica .....	131
Figura 53: Esquema de Fuerza. ....	134
Figura 54: Esquema de Control.....	135

## INTRODUCCIÓN

Diseño del Sistema de Bombeo Hídrico mediante energía Fotovoltaica para producción de forraje en 30 hectáreas del Centro Experimental “La Raya”; en el cual el agua es el elemento vital en la producción de pastos cultivados para la alimentación sustentable de camélidos sudamericanos, como la alpaca. Para esta necesidad existe la tecnología de bombeo hídrico, por lo que se ha diseñado un sistema de abastecimiento del agua en condiciones económicas sostenibles, donde la energía para su operación será provista mediante un sistema de energía solar fotovoltaica, y con ello reducir el impacto ambiental por el consumo de energías convencionales. El presente estudio consta de cinco capítulos como lo describiremos a continuación:

**El Primer Capítulo** contiene el planteamiento del problema, los objetivos, antecedentes, sustentación técnica, limitaciones en el desarrollo del tema y la sustentación de la capacidad hídrica necesaria para el riego por aspersión en la producción de pastos cultivados.

**El Segundo Capítulo** se ha constituido el marco teórico correspondiente a toda la base para el sustento de la ingeniería del proyecto delineando, desde diseño y selección de los componentes del sistema de bombeo de agua para riego por aspersión.

**El Tercer Capítulo** se desarrolló la ingeniería del proyecto, donde se realiza el diseño y selección de todos los componentes del sistema de bombeo hidráulico suministrado por energía solar fotovoltaica para el riego por aspersión de 30 hectáreas del Centro Experimental “La Raya” – UNA Puno.

**El Cuarto Capítulo** consiste en la evaluación económica financiera del proyecto, donde nos indicara la recuperación de la inversión en el tiempo, evaluando los beneficios en los periodos de tiempo y los costos tanto fijos como operacionales.

**El Quinto Capítulo** se realizó un análisis de impacto medio ambiental del proyecto para lograr las conclusiones y recomendaciones.

## CAPITULO I

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la actividad ganadera en el Perú, los camélidos domésticos representan un recurso primordial para la seguridad alimentaria, ya que provee de carne de alto contenido proteico con bajos niveles de colesterol, producción de fibra, y sirven como medios de transporte, e incluso el estiércol es aprovechable como abono natural y combustible. La alpaca y llama pueden ser criadas a grandes altitudes, donde los pastizales son escasos y de baja calidad nutritiva, lo que limita la producción y productividad. (Condemayta et al., 2014)

Hoy en día la vida sin el recurso hídrico nos sería prácticamente imposible, y más si se trata de un centro experimental donde su actividad principal es la crianza de ganado; observamos también que existen otras zonas en las que sus expansiones agrícolas de forraje están en crecimiento del 5% anual, donde no cuentan con accesibilidad al agua. En el lugar de estudio el elemento vital es el agua en la producción de forraje para ganado y otros servicios, y su inaccesibilidad está creando un problema mayúsculo a los usuarios, donde están requiriendo realizar un proyecto de sistema de bombeo para el abastecimiento de agua en condiciones económicas.

La ubicación donde será realizado el proyecto es el Centro Experimental “La Raya”, el cual queda alejado de la ciudad, y tiene un área cultivable de 30 hectáreas, donde la institución necesita implementar la tecnología adecuada para el uso del agua del río adyacente en la producción de forraje y uso para otras necesidades; la topografía de la zona es favorable debido a la existencia de pastos en el área cultivable y utilización de riego por inundación. Por lo tanto, se ha realizado un estudio para el diseño del sistema de bombeo y construcción del reservorio, el cual deberá instalarse en un sitio plano, como se observa en la Figura 2, teniendo en cuenta el cableado que debe llegar al sistema de bombeo y la implementación del sistema fotovoltaico; el mismo que se llevará a cabo con ingresos recaudados por el Centro Experimental “La Raya”.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de bombeo hidráulico alimentado por energía fotovoltaica, para riego por aspersión, en la producción de pastos cultivados en 30 hectáreas del Centro Experimental “La Raya” de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y formular el sistema de bombeo de agua para riego por aspersión por energía solar fotovoltaica.
- Calcular y seleccionar el tipo de bombas, tubería y accesorios adecuados para el sistema de bombeo por energía solar fotovoltaica.
- Calcular y seleccionar el sistema de energía solar fotovoltaica para el sistema de bombeo del agua para riego por aspersión.
- Evaluar económicamente el proyecto de bombeo por energía fotovoltaica de agua para riego por aspersión en su factibilidad económico.

## 1.3. ANTECEDENTES

Según Arizaca, A. (2022), en la tesis titulada “Energía Fotovoltaica Aplicado en un Sistema de Riego por Aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla”, a razón de que en el área de estudio se evidencia la desnutrición del ganado ovino; debido al mal uso del recurso hídrico el cual es derivado por canales artesanales siendo ineficiente e insuficiente para los cultivos; en ese contexto se planteó el objetivo general: calcular la energía fotovoltaica aplicado en un sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla, siendo el método mediante la estimación de la oferta del manantial denominado “Pujio” en temporada de avenida y estiaje; para posteriormente realizar el cálculo agronómico e hidráulico, y finalmente la estimación del presupuesto que conllevara su implementación. Los resultados muestran que la oferta de agua en temporada de estiaje es de 1.88 l/s, y en temporada de avenida es de 2.34 l/s, con respecto al cálculo agronómico se obtuvo una evapotranspiración de cultivo de 2.56 mm/día; con lámina neta y bruta de riego de 1.42 mm/día, con intervalos de riego de 0.56 días, a un tiempo de riego de 14 min/día; requiriendo una demanda de agua de 25.60 m<sup>3</sup>/día para 1.80 ha de cultivo de alfalfa; abastecida con un caudal de 0.05 m<sup>3</sup>/s, para 8 turnos de riego; así también en el cálculo hidráulico se obtuvo un caudal de bombeo de 0.00167 m<sup>3</sup>/s; con  $\phi$  de tubería de impulsión de 1.5”, para una altura hidrodinámica total de 34.15 m y  $\phi$  de tubería de succión de 2”; con potencia de la bomba de 1 Hp (768 Wp), requiriendo 25 paneles solares de 50 Wp (c/u)

para su funcionamiento; así mismo se requerirá 105 aspersores, garantizando una presión no menor a 30 m.c.a., en cada línea de riego, todo ello presupuestado en S/ 96,718.15. Concluyendo que la aplicación del sistema de riego, permitirá el ahorro del costo energético debido a que se empleará energía fotovoltaica, la misma que favorecerá la producción de alfalfa en épocas de sequía.

En la tesis “Diseño de un Sistema de Generación de Energía Eléctrica Híbrido Eólico-Solar para el Fundo Huasacache de la UCSM”, que se desarrolla en el Fundo de Huasacache, para la Universidad Católica de Santa María situada en Arequipa, en donde se ha realizado el estudio de la máxima demanda teniendo como referencia los equipos instalados y el Código Nacional de Electricidad. Actualmente el Fundo cuenta con suministro de energía eléctrica en baja tensión BT, pero como se encuentra alejada de la red eléctrica de SEAL, a más de 300 metros, por lo que la calidad de la energía no es buena, existe una gran caída de tensión y hay interrupciones frecuentemente. Al recopilar los datos de clima del lugar, como el viento y la irradiación solar, se determinó que la zona tiene un potencial eólico y solar, siendo esto corroborado por el Mapa eólico y solar del Perú. Por ello se propuso la instalación de tres aerogeneradores de eje horizontal BORNAY de 3 kW de potencia, y 32 paneles solares de 330Wp, para cubrir la demanda energética del Fundo Huasacache. Además, se realizó un análisis económico (híbrido – eléctrica) para determinar el sistema más beneficioso (Gamarra, 2019).

Pinares, L. A. (2022), en el proyecto desarrollado a continuación, realizó el diseño de un sistema de generación fotovoltaico conectado a red de 1 MW de potencia para el abastecimiento de una planta láctea ubicada en el departamento de Arequipa. La radiación promedio anual de la zona donde se ubicará el proyecto es de 6.86 kWh/m<sup>2</sup>, lo cual hace de esta ubicación un lugar ideal para aprovechar la energía solar. Para realizar el diseño de este proyecto se estudió la teoría, así como las aplicaciones y mejoras recientes dentro de la tecnología de los sistemas solares fotovoltaicos, recopilando información de varias fuentes; además se utilizó softwares modernos para la simulación y se recopiló datos reales del recurso solar de la zona mediante softwares libres. Luego con los datos reales sobre el consumo eléctrico de la planta láctea en cuestión, se realizó el diseño de un sistema de generación fotovoltaico conectado a red que satisface la demanda energética de la planta en gran medida utilizando un sistema descentralizado de 7 grupos cada uno con 360 módulos fotovoltaicos distribuidos en 15 cadenas de 24 módulos cada una; cubriendo la mayor parte de la demanda. Por último, mediante una evaluación económica se determinó

que el proyecto es factible evaluando el costo de la inversión y el tiempo de recuperación de la inversión.

Mamani, M. I. (2019), en la tesis “Diseño del Sistema de Energía Solar Fotovoltaico para la Iluminación de los Laboratorios de Electricidad del Pabellón “R” de la UCSM” propone utilizar la radiación solar en la producción de la energía eléctrica a partir de los paneles fotovoltaicos, logrando así no solo alimentar la carga eléctrica planteada sino y sobre todo fomentar el interés e investigación en este tipo de energía renovable por parte de la comunidad universitaria de la Universidad católica de Santa María. Entonces el principal del presente trabajo de investigación es el diseño de un sistema de energía no convencional como es la energía solar fotovoltaica para la iluminación de bajo consumo de los laboratorios de electricidad del tercer nivel del Pabellón “R” de la Universidad Católica de Santa María. El periodo de funcionamiento diario estimado es de 12 horas y se ha hecho un análisis considerado para 20 años de utilización del sistema y compararlo con un sistema de energía convencional.

Quintanilla, A. M. (2020), en la tesis “Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico Aislado para Suministrar de Energía Eléctrica la Localidad de Patahuasi - Pampa Cañahuas”, toma como base el número de pobladores del lugar y su consumo eléctrico plasmándolo en un cuadro de cargas general, obteniendo un consumo de energía total de 325.86 kWh/día. Seguidamente se procedió a determinar el campo fotovoltaico, realizando en el proceso diferentes comparaciones de las mejores tecnologías y de esta manera seleccionar los componentes más adecuados para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Finalmente realizando el análisis económico y la viabilidad del diseño, se arribó a la conclusión que con la propuesta de emplear paneles solares Policristalinos y baterías de Plomo- Ácido obtuvimos el mejor Valor Actual Neto (VAN) siendo este de S/. 442645.07, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 5% y un periodo de recuperación de la inversión de 17 años.

Bellota, M. G. (2019), en el trabajo de investigación titulado “Propuesta de factibilidad energética haciendo uso de paneles solares en la Universidad Católica de Santa María bajo el enfoque del PMI”, se analizará la factibilidad que tiene la implementación de paneles solares o celdas fotovoltaicas para el beneficio de la misma, con el fin de reducir costos energéticos y aprovechar la gran cantidad de rayos solares a la que está expuesta gran parte del año la ciudad de Arequipa, desarrollando el estudio de factibilidad donde determina el potencial solar de la región de Arequipa, la demanda que se requiere y el diseño que tendrá

el proyecto. Y proponiendo un proyecto según el estudio de factibilidad bajo el enfoque del PMI.

Vidales, J. C. (2022), en el proyecto titulado “Diseño de un Sistema de Bombeo de Agua Utilizando Energía Solar Fotovoltaica” nace una inquietud por contribuir a la comunidad, dándole una alternativa al bombeo de agua convencional, el cual usaba como fuente energética electricidad de la red pública (en zonas urbanas) y gasolina (zonas rurales). Así mismo se utilizó data de radiación Solar que recibe la Región Ica de la página web de la NASA, y PVWatts las cuales eran necesarias para cuantificar la porción de energía solar que se capta. Persiguiendo el siguiente objetivo: Diseñar un sistema de bombeo que utilice energía solar mediante paneles solares fotovoltaicos para la región de Ica. Se dispuso realizar los cálculos para el diseño del sistema hidráulico, el cual se optó por seleccionar una electrobomba centrífuga de 3 HP, y seleccionar 15 módulos fotovoltaicos de 330 Wp, teniendo un sistema de paneles fotovoltaicos con 4950 Wp de potencia instalada. La instalación resultará rentable a largo plazo, y más aún en sistemas de bombeo en el cual se opte por comprar una motobomba a Gasolina – Diesel o una electrobomba que tenga módulos fotovoltaicos como generadores de energía eléctrica.

Helfer, A. M. (2021), en la tesis “Diseño e Implementación de un Sistema Fotovoltaico en la Compañía de Bombero de Yanahuara – Arequipa” menciona que en la actualidad, los constantes cortes de energía en la ciudad de Arequipa, el aumento de emergencias y las condiciones críticas suscitadas por la pandemia ocasionada por el Covid-19 ponen en riesgo y demora la atención de emergencias por parte del CGBVP y nos permite ver una realidad de las consecuencias de un déficit de energía eléctrica en época de desastre. El presente trabajo buscó una solución al suministro energético de una compañía de bomberos en el distrito de Yanahuara en la región de Arequipa considerando un tipo de energía renovable y autónoma la cual es la energía fotovoltaica, se diseñó el sistema utilizando el software PVSyst, seleccionando cada elemento del sistema en base a un análisis previo de la eficiencia, confiabilidad, costo, comportamiento, disponibilidad en el mercado actual, avances en la tecnología y las condiciones de funcionamiento. El sistema consta de seis paneles fotovoltaicos policristalinos de 270W cada uno, soportes fijos de Aluminio AL6005 -T5, un inversor controlador de 3000W, un banco de baterías y sus respectivos componentes de protección. Se realizó el rediseño del sistema eléctrico existente, según el CNE Utilización y la NTP vigente, para adaptar los circuitos conectados al sistema fotovoltaico. Se simuló diferentes condiciones críticas para realizar un análisis del

comportamiento del sistema, permitiendo obtener la mejor configuración del sistema para una máxima confiabilidad y una configuración óptima para un máximo aprovechamiento posible de la energía.

Argandoña, G. F. (2022), en el trabajo “Diseño e Implementación de un Microinversor para Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios”, presenta el diseño e implementación de un microinversor que trabaja con un sistema fotovoltaico, diseñado a base de un microcontrolador para aplicaciones de control de potencia. Este diseño presenta un microinversor con tecnología MPPT que nos permite extraer la mayor eficiencia de energía de los paneles solares y una entrega eficiente de energía a la salida de este. Se tomó en cuenta que el diseño presenta un importante aislamiento entre sus etapas de potencia y control lo que nos permite tener una robustez a la hora de descargas eléctricas por parte de la etapa de potencia. También se implementó diferentes sensores de corriente y voltaje en la entrada y salida de energía para así tener un monitoreo completo de todas las variables eléctricas que maneja el microinversor en sus tarjetas. Este diseño cuenta con una pantalla que nos permite visualizar la cantidad de KW que está generando del panel solar y la cantidad de KW que se entrega a la carga. También se puede visualizar la cantidad de corriente y voltaje que entrega el panel solar, la corriente y tensión del voltaje alterno de salida. Se mantiene un monitoreo de temperatura del módulo inversor de voltaje, como también un control de bloqueo de este mismo módulo en caso ocurra alguna falla.

En la tesis “Evaluación Técnico-Económica de una Instalación de Bombeo Solar Fotovoltaico Aplicada a la Ampliación de la Frontera Agrícola en Zonas Aisladas de Arequipa” se muestra la evaluación técnico-económica de un sistema de bombeo solar fotovoltaico aplicada a la ampliación de la frontera agrícola de zonas rurales de Arequipa. En los viñedos de la Empresa Majes Tradición SAC (Arequipa, Perú) instaló una bomba solar fotovoltaica sumergible para impulsar el agua desde una derivación del río Majes hasta el reservorio superior para riego tecnificado de los viñedos. Para medir los parámetros climáticos, instaló una estación meteorológica, que mide la radiación solar, la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento. En el sistema de bombeo solar se instalaron sensores eléctricos e hidráulicos (corriente, voltaje, flujo másico y presión hidráulica) para evaluar las eficiencias en cada proceso de transformación de energía. También se evaluaron los parámetros económicos del proyecto para analizar la recuperación de la inversión comparado con tecnologías convencionales de bombeo. Los resultados indican que el sistema de bombeo fotovoltaico funciona desde las 07:30 horas hasta las 15:30 horas, con

un promedio de 8 horas por día. La eficiencia global del sistema es del 7%, lo que corresponde a una eficiencia del módulo fotovoltaico del 12%. La eficiencia hidráulica varía entre 55% y 75%, mientras que el flujo másico varía entre 2 kg/s y 6.3 kg/s, lo que corresponde a una irradiación solar de 200 W/m<sup>2</sup> y 1190 W/m<sup>2</sup> respectivamente. Los resultados del análisis económico indican que la inversión del sistema fotovoltaico, comparado a la electricidad de la red pública, se recupera en 5.3 años, comparado con los costos de generación eléctrica a partir de un generador a combustión interna (diésel y/o GLP) la recuperación es en 2.8 años (Peralta, 2018).

Quispe, A. W. (2017), en el trabajo de investigación “Estudio Técnico y Económico para la Instalación de una Planta Fotovoltaica para la Provisión de Energía al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional en la Región Puno”, en la zona rural llamada Mucra, ubicada al norte de la ciudad de Juliaca, tiene como propósito determinar la factibilidad, para la instalación de una Planta Fotovoltaica ubicada en la región Puno. En el área de estudio se recopiló datos que sirvieron para determinar valores como la radiación solar, radiación solar difusa, temperatura, velocidad de viento. Con los datos obtenidos procedió al diseño técnico, tales como la inclinación óptima, espaciamiento de los paneles y demás datos que usamos para determinar los criterios de diseño de la planta fotovoltaica, De esta forma desarrolló la parte técnica para luego proceder con la parte económica del proyecto y así poder determinar la viabilidad de proyecto. En ese sentido hemos podido comprobar que la Región Puno, Tiene como promedio anual de la irradiación solar sobre superficie horizontal 5,9 kWh/m<sup>2</sup> día. La irradiación mínima ocurre en el mes de enero con 5,1 kWh/m<sup>2</sup> día, lo que nos indica según esta investigación que es viable la instalación de una planta fotovoltaica en nuestra región de Puno.

Ahumada, R. (2017), en el trabajo de investigación “Diseño del Sistema de Bombeo Automatizado con Energía Fotovoltaica para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito de Vilavila”, pretende mostrar el diseño de un sistema de bombeo automatizado con energía fotovoltaica para la planta de tratamiento de aguas residuales, como medio de optimización en el proceso de funcionamiento de la planta de tratamiento, aprovechando la energía solar como fuente de energía alternativa para el funcionamiento del sistema automatizado, haciendo uso de un PLC LOGO de la marca Siemens para el control de la planta. Para lograr ello realizó el cálculo del sistema a partir de datos técnicos de la planta de tratamiento y también se utilizaron varias herramientas computacionales con el fin de contrastar las hipótesis planteadas, elegir los componentes adecuados para el sistema de

bombeo automatizado así como el sistema fotovoltaico y de esta manera contribuir con la reducción de la contaminación del principal recurso hídrico del distrito de Vilavila y aprovechar el recurso solar existente como fuente de energía. También realizó el estudio de factibilidad técnica-económica del sistema y buscar las mejores opciones para su implementación.

Mamani, Y. K., Mamani, C. O. (2017), en la tesis “Determinación Experimental de la Eficiencia de un Panel Fotovoltaico Marca Sunbe Solar Tipo Slp 60-12 de 60 w Bajo las Condiciones Ambientales de Puno con Énfasis en la Intensidad de Radiación Solar”, desarrollo la investigación durante cuatro días del mes de diciembre del 2018 y cuyo objetivo fue la determinación experimental de la eficiencia de un panel fotovoltaico de 60 W en la ciudad de Puno, que es afectada principalmente por aspectos ambientales y tecnologías utilizadas en su fabricación. El método empleado para determinar la eficiencia es el método de conversión de energía, que consistió en determinar qué porcentaje de la radiación solar incidente en el panel es convertida en energía eléctrica fotovoltaica. La radiación solar se midió cada 30 minutos desde las 10:30 AM hasta las 3:00 PM cada día con una estación meteorológica automática, los cuales fueron recalculados a su vez computacionalmente con un software considerando una inclinación de  $16^\circ$  coincidente con la latitud de Puno y la orientación del panel al norte geográfico para lo cual se determinó su variación con respecto al norte magnético de  $5^\circ$  grados puesto que la óptima instalación del panel, juega un papel importante, ya que mejora la eficiencia del mismo. Los resultados obtenidos de las eficiencias del panel fotovoltaico de los cuatro días considerados, varía entre 11,43 – 12,80% con un promedio de 12,10%, respecto a la eficiencia de 15% de las especificaciones técnicas del panel, pero a condiciones estándar de  $1000 \text{ W/m}^2$  de  $25^\circ\text{C}$ . Concluyéndose que la eficiencia del panel fotovoltaico es aceptable con respecto a la eficiencia especificada en sus características técnicas, lo cual se debe a las condiciones meteorológicas particulares de Puno a una altitud de 3827 metros sobre el nivel del mar que implican los efectos del nivel de radiación y la temperatura ambiente, variaciones climáticas que son factores externos que inciden en la eficiencia.

Vilca, R. (2021), en el trabajo de investigación “Estudio para el Bombeo de Agua Mediante la Energía Solar Fotovoltaica Aplicado al Riego en el Sector Ganadero de Rosaspata Ubicado en la Cuenca Llallimayo”, presenta una solución a la problemática de falta de agua para riego en el sector Rosaspata del distrito de Cupi de la provincia de Melgar, analizando su geografía, clima, fuentes hídricas. Este estudio contempla el estudio de un sistema de

riego por aspersión usando energía renovable, con aspersores móviles que abarca una superficie de trabajo de 2.49 ha, para el cultivo de alfalfa. En el diseño agronómico se determinó que el mes más crítico es octubre, siendo su evapotranspiración potencial de 3.35 mm/día, con una precipitación efectiva 8.84mm/día, la necesidad de agua del cultivo es de 95 mm, la demanda de agua del proyecto es de 126.68 mm, la lámina neta es de 66.6mm, la lámina bruta es de 88.7mm, se eligió un marco de riego de 18x18m<sup>2</sup>, el aspersor seleccionado trabajará a 3.5bar para un caudal de 2.600 l/s con un radio de alcance de 15 m, se determinó que 7 aspersores estarán funcionando al mismo tiempo y que el caudal del sistema será de 5 l/s. El diseño hidráulico comprende la línea de conducción, las tuberías secundarias, los laterales de riego, presiones de riego y caudal total, se escogió la bomba de agua más apropiada disponible en el mercado. En el diseño fotovoltaico se determinó una radiación mínima de 5W.h/m<sup>2</sup>-día, se requiere un total de 18 paneles solares con una potencia de 320w las cuales trabajaran sin necesidad de baterías. El costo aproximado del proyecto de bombeo para el riego de alfalfa es de aproximadamente S/. 41,000, de los cuales se analizó que para la producción de ensilado de alfalfa el valor actual neto es de S/. 121,000 y la tasa interna de retorno es de 50%, y para la producción de paca de alfalfa el valor neto es de S/. 4,000 y la tasa interna de retorno es de 18%, los cuales nos indican la rentabilidad y factibilidad de los mismos.

El riego es una práctica que data desde la antigüedad, con la necesidad de suministrar a los cultivos la dotación de agua necesaria para su desarrollo. La literatura contiene varios estudios sobre el bombeo, riego y agricultura. Sin embargo, son pocos los trabajos que presentan las soluciones adecuadas sobre las opciones que el agricultor tiene disponibles para el riego del cultivo de acuerdo con varios sistemas de bombeo existentes y los costos implicados, para obtener la solución más adecuada técnica y económicamente, incluyendo y relacionando los sistemas alternativos y convencionales.

Las tendencias actuales debidas al cambio climático están acercándonos a una “crisis del agua”. Algunos autores sobre todo de trabajos de investigación plasmados en tesis como: Flores Granda en “Estudio de riego localizado mediante la aplicación de riego tecnifica “Tesis Escuela de Ciencias Agrícolas- Ecuador (2009).

Zucy Lisbeth Haro Cando (2012), en su tesis “OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL RECURSO HÍDRICO DEL SISTEMA DE RIEGO MONTÚFAR PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA” Universidad Técnica del Norte- Ecuador, propone una nueva alternativa de manejo del agua para riego, tomando en cuenta parámetros como: la

pendiente, tipo de cultivo, tipo de suelo, extensión del área de cultivo, etc., esto llevará a identificar métodos de riego en los que se optimice el recurso agua, de tal manera que todos los regantes reciban el servicio sin problemas.

Según Salazar, J. (2010), en una investigación realizada en el caserío de San Mateo de Quilcate San Miguel de Pallaques, Región de Cajamarca; indica que el cultivo de Rye grass con una dosis de agua de 2 123.89 m<sup>3</sup>/ ha, con una frecuencia de riego de cada seis días, se obtiene una producción de 21 633 kg/ha de forraje verde.

Según Rojas, S. (2013), en el valle de Cajamarca, el riego por inundación tiene una eficiencia de 20 al 25 %, con una aplicación de agua de excesivos volúmenes durante el turno e intervalos de riego muy prolongados, siendo estas limitantes para la producción agrícola, y que impide que los cultivos alcancen su potencial de productividad. Por Nuñez, L. (2015), según el Manual de Cálculo de Eficiencia para Sistema de Riego. Perú: Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego, indica que, dentro de los métodos de riego presurizado, el riego por aspersión puede conseguir hasta un 90% de eficiencia de riego, adecuado para plantas que quedan al nivel del suelo.

De acuerdo a Turín et al (1999), en su estudio realizado en la U.P. Cochas de la SAIS Tupác Amaru, “Influencia de la alimentación con pastos naturales y cultivados sobre la ganancia de peso, peso vivo al beneficio y peso de carcasa en alpacas tuis”, entre los meses de setiembre y noviembre, indicaron que las alpacas tuis, de 18 meses de edad, al ser alimentadas con pastos cultivados de la asociación rye grass- trébol blanco, presentaban una ganancia de peso diario de 131 g/d, respecto a alpacas alimentadas con pastos naturales, obteniendo una ganancia de 60 g/d; de tal manera que determinaron que el efecto de la alimentación con pastos cultivados fue significativamente mayor a la de pastos naturales, lo que se debe a una mejor calidad nutricional y adecuada disponibilidad del alimento.

En el trabajo realizado en la Estación Experimental del IVITA-Maranganí, “Engorde de llamas bajo diferentes regímenes alimenticios”, evaluaron la respuesta al engorde de llamas alimentadas con pradera nativa, mezcla phalaris+trébol, y mezcla ryegrass+trébol. Se observó una mayor ganancia de peso en ryegrass+trébol (199 g/d) y phalaris+trébol (182 g/d) que en la pradera nativa (78 g/d); concluyendo que la mayor ganancia de peso y el mejor mérito económico se lograron en las pasturas cultivadas. García et al., (2002).

#### 1.4. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se realizará en el Centro Experimental “La Raya”, distrito de Santa Rosa, que se encuentra en la provincia de Melgar, departamento de Puno. Geográficamente se ubica en las coordenadas: 14°29'49.72" S, 70°57'07.31" O y a una altitud de 4208 msnm. El área de riego tiene una extensión de 300 250 m<sup>2</sup>. Se encuentra a una distancia de 65km de la ciudad de Ayaviri. El área de riego en mención se encuentra ubicada a 1.2 Km de las instalaciones del C.E. La Raya.

Localización geográfica del proyecto:

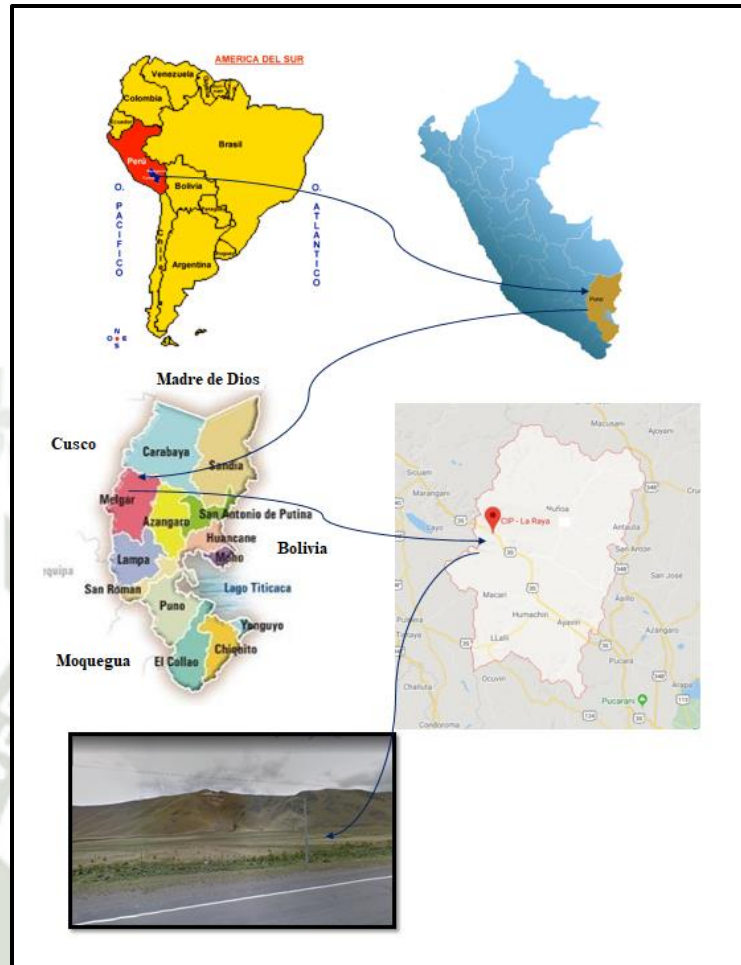
País : Perú  
Departamento : Puno  
Provincia : Melgar  
Distrito : Santa Rosa  
Localidad : CE La Raya  
Región Natural : Sierra

Coordenadas geográficas del proyecto:

El CIP La Raya, está ubicada en el Distrito de Santa Rosa, que es uno de los nueve distritos de la provincia de Melgar. Se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud Sur : 14°29'49.72"  
Latitud Oeste : 70°57'07.31"  
Altitud : 4 208 m.s.n.m.

**Figura 1:** Ubicación general del proyecto.



Nota: <https://pdfcofee.com/centro-experimental-la-rama-pdf-free.html>

**Figura 2:** Ubicación y área geográfica del proyecto.



Nota: <https://pdfcofee.com/centro-experimental-la-rama-pdf-free.html>

### 1.5. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

El área del riego de pastos cultivados, perteneciente al Centro Experimental “La Raya”, se encuentra a 4208 m.s.n.m. dentro de las coordenadas geográficas 14°29'49.72" latitud sur y 70°57'07.31" de longitud oeste con una superficie de 30 hectáreas aproximadamente.

El Centro Experimental “La Raya”, actualmente presenta problemas en su producción forrajera por la falta de sistemas de irrigación, el trabajo realizado tiene como punto de partida enfocarse en su producción ganadera, que se caracteriza por la crianza de camélidos sudamericanos. La problemática que afronta este lugar es en la mala utilización del recurso hídrico, el cual es proveído por un río adyacente al área de pastos cultivados, la zona de estudio tiene un área aproximada de 30 hectáreas, el recurso hídrico se deriva por un canal artesanal al cauce del río presentándose por este motivo problemas técnicos de erosión, los cuales obstruyen los canales en épocas de avenidas, haciendo que los terrenos estén colmatados, con todo esto se ocasiona la socavación y sedimentación del lecho del río, teniendo que realizar arduas jornadas de trabajo para la limpieza de los canales; es por esta razón que se implementara un sistema de riego por aspersión mediante la utilización de un reservorio de concreto armado de 3m x 4m x 1.5m que nos permita acumular agua del río aledaño y a través de una electrobomba entregar el agua a la tubería principal del riego por aspersión, y así poder irrigar los campos de pastos cultivados.

### 1.6. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Debido al costo muy alto de este tipo de proyectos, la viabilidad económica se evalúa en detalle a partir de la ubicación del reservorio, el cual se utilizará como tanque almacenador, de donde el agua será bombeada mediante una electrobomba hacia la tubería principal del sistema de riego por aspersión.

Se realizó una evaluación para obtener los mejores, y económicamente viables, equipos adecuados para este proyecto. Esto incluye la selección de componentes para el sistema de bombeo y para la obtención de energía fotovoltaica, la cual parte desde cero, considerando oferta y demanda de los insumos en el mercado nacional.

Este estudio nos garantiza una inversión a mediano plazo, económicamente hablando en relación a sistemas de bombeo de agua a base de energías distintas a la solar, que tienen un coste energético cero y requieren un mantenimiento anual programado, lo que reduce los costes de operación. Una vez completado el sistema de bombeo, será económicamente ventajoso, por lo que la institución puede obtener muchos beneficios, incrementando su producción e ingresos.

## 1.7. LIMITACIONES

Para el diseño del sistema de bombeo de agua por energía solar fotovoltaico, las limitaciones técnicas son las siguientes:

- De acuerdo a los datos obtenidos del área del centro experimental, la comprobación en situ el abastecimiento de agua para el reservorio está garantizado por los datos técnicos de la zona.
- No se realizará el diseño del sistema de bombeo de agua por energía fotovoltaica al detalle.
- No se realizará una evaluación económica social del proyecto del sistema de bombeo de agua por energía solar.

## 1.8. NORMAS REFERENCIALES

El actual marco normativo de la fotovoltaica es el siguiente:

- Ley de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables – Decreto Legislativo N°1002 (mayo 2008).
- Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables Decreto Supremo N° 012-2011-EM (marzo 2011). Reemplaza al Reglamento original (Decreto Supremo N°050-2008-EM).
- Bases Consolidadas de la Primera Subasta con Recursos Energéticos Renovables (RER), aprobadas mediante Resolución Viceministerial N° 113-2009-MEM/VME del Ministerio de Energía y Minas.
- Bases Consolidadas de la segunda Subasta con Recursos Energéticos Renovables (RER), aprobadas mediante Resolución Viceministerial N° 036-2011-MEM/VME del Ministerio de Energía y Minas.
- Decreto Legislativo N° 1002: Decreto Legislativo de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables.

## 1.9. DATOS METEOROLÓGICOS DE ACUERDO A LA UBICACIÓN

Mediante el software de la NASA (power data access viewer) la cual brinda información sobre diferentes datos meteorológicos en una línea de tiempo bastante amplia, tenemos acceso a una base de datos que el software te permite descargar.

A continuación, se observa en la Tabla 1 el resumen de las temperaturas máximas y mínimas de la zona, estos datos promedios fueron obtenidos de una historia de datos desde 01/01/2000 hasta 31/12/2020 que el software de la NASA nos proporciona.

Una vez obtenidos estos valores promedio de temperatura empezamos a realizar el cálculo de la demanda hídrica que necesitamos para poder así sembrar forraje.

El cultivo que encontramos en el área de riego es Rye grass y Trébol blanco, el cual es una asociación de rápido crecimiento, adecuada para cubrir necesidades energéticas y proteicas en la alimentación de los animales, siendo cultivada desde el nivel del mar hasta los 4200 msnm, lo cual condiciona una elevada demanda como alimento forrajero para el ganado. (Ordoñez y Bojórquez, 2004)

**Tabla 1:** Datos Meteorológicos temperaturas máximas y mínimas de la zona

MES	Tmax. (°C)	Tmin.(°C)
<b>Enero</b>	18.08	-1.40
<b>Febrero</b>	17.32	-1.26
<b>Marzo</b>	16.76	-1.51
<b>Abril</b>	16.31	-2.42
<b>Mayo</b>	15.74	-3.98
<b>Junio</b>	15.12	-4.41
<b>Julio</b>	15.18	-4.95
<b>Agosto</b>	16.44	-4.48
<b>Setiembre</b>	18.12	-3.43
<b>Octubre</b>	19.39	-2.93
<b>Noviembre</b>	20.17	-1.62
<b>Diciembre</b>	19.57	-1.04

Nota: Históricos 01/01/2000 - 31/12/2020, software de la NASA

### 1.10. ESTIMACIÓN HÍDRICA

La estimación precisa de la evapotranspiración de referencia permite obtener valores más reales sobre las necesidades hídricas de los cultivos. El objetivo del estudio consiste en evaluar mediante el método Hargreaves, con el fin de estimar la evapotranspiración de referencia para las condiciones ambientales de la ubicación del proyecto y así poder obtener un valor referencial de la demanda hídrica. (Salazar, 2010).

Como se muestra en la Tabla 1 tenemos los valores máximos y mínimos de temperatura en la cual se muestran los promedios de 20 años con estos valores procederemos a realizar el cálculo de la demanda hídrica.

$$E_{to} = 0.0023 * R_a * (T_m + 17.8) * \sqrt{\Delta T}$$

Donde:

$E_{to}$ : Evapotranspiración de referencia. mm/día

$T_m$ : Temperatura media (°C)

$R_a$ : Radiación extraterrestre al tope de la atmósfera mm/día

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura diaria

Cómo se observa la radiación está en  $Mj/m^2/día$ , se debe de convertir a mm/día, 1 mm/día equivale a  $2.45 MJ/m^2/día$ .

Para este método se utilizan datos de irradiancia ( $MJ/m^2/día$ ), estos datos los obtuvimos mediante el software de la NASA, a continuación, en la Tabla 2 se muestra los valores promedios calculados.

**Tabla 2:** Evapotranspiración año de referencia

MES	Tmax. (°C)	Tmin. (°C)	Rad (MJ/m <sup>2</sup> /día)	Rad (mm/día)	Temp Media (°C)	Delta de Temp (°C)	ETO (mm/día)
Enero	18.08	-1.40	40.55	16.55	8.34	19.48	4.39
Febrero	17.32	-1.26	39.56	16.15	8.03	18.58	4.13
Marzo	16.76	-1.51	36.93	15.07	7.63	18.26	3.77
Abril	16.31	-2.42	32.89	13.42	6.94	18.73	3.31
Mayo	15.74	-3.98	28.95	11.82	5.88	19.72	2.86
Junio	15.12	-4.41	26.92	10.99	5.35	19.54	2.59
Julio	15.18	-4.95	27.79	11.34	5.11	20.13	2.68
Agosto	16.44	-4.48	31.08	12.69	5.98	20.92	3.17
Setiembre	18.12	-3.43	35.09	14.32	7.35	21.55	3.85
Octubre	19.39	-2.93	38.30	15.63	8.23	22.33	4.42
Noviembre	20.17	-1.62	40.01	16.33	9.28	21.78	4.75
Diciembre	19.57	-1.04	40.59	16.57	9.26	20.61	4.68

Nota: Elaboración propia

Una vez calculada la evapotranspiración de referencia, procedemos con el cálculo del coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) para el riego de rye grass y trébol blanco; al no encontrar el valor  $K_c$  correspondiente a la asociación de pastos, optamos por la utilización del  $K_c$  del

Rye grass ya que es un cultivo similar en consumo hídrico al trébol blanco. Los datos de referencia sobre el Kc fueron obtenidos mediante información brindada por el instituto nacional de innovación agraria (INIA). En la siguiente Tabla 3 se muestra las fases fenológicas y los días de siembra necesarios para el cultivo.

**Tabla 3:** Fases Fenológicas y los días de siembra necesarios para el cultivo

FASE	Duración (días)	Fases fenológicas (%)	DDS (días después de siembra)	Kc (inicial)	Kc (floración)	Kc (termino cultivo)
Establecimiento	19.00	5.00	19.00	0.60	0.70	0.60
Crecimiento en la biomasa	38.00	15.00	57.00			
Floración y fructificación	57.00	20.00	114.00			
Maduración	76.00	60.00	190.00			
TOTAL (Día hasta madurez del grano)	190.00	100.00				

Nota: Elaboración propia

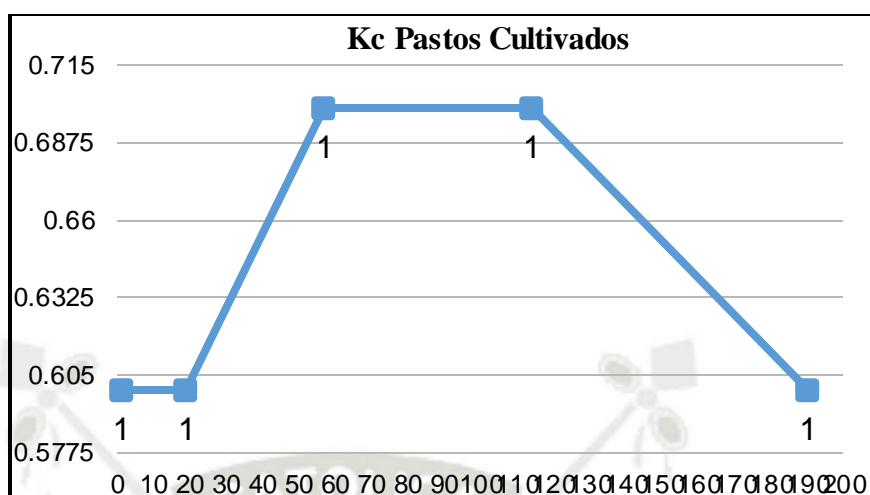
En la siguiente Tabla 4 se muestran los días después de siembra (DDS) en función del coeficiente del cultivo obteniendo la gráfica Kc para la asociación rye grass y trébol blanco.

**Tabla 4:** Días después de siembra y factor Kc

DDS (días después de siembra)	Kc
1.00	0.60
19.00	0.60
57.00	0.70
114.00	0.90

Nota: Elaboración propia

**Gráfica 1:** Factor Kc



Nota: Elaboración propia

Mediante la Gráfica 1 mostrada y los valores obtenidos con anterioridad llegamos a la parte final donde se muestra una Tabla 5 donde observamos el requerimiento hídrico durante el periodo de siembra de marzo - setiembre, periodos de siembra recomendado por el INIA para cultivos de rye grass.

**Tabla 5:** Demanda Hídrica Total

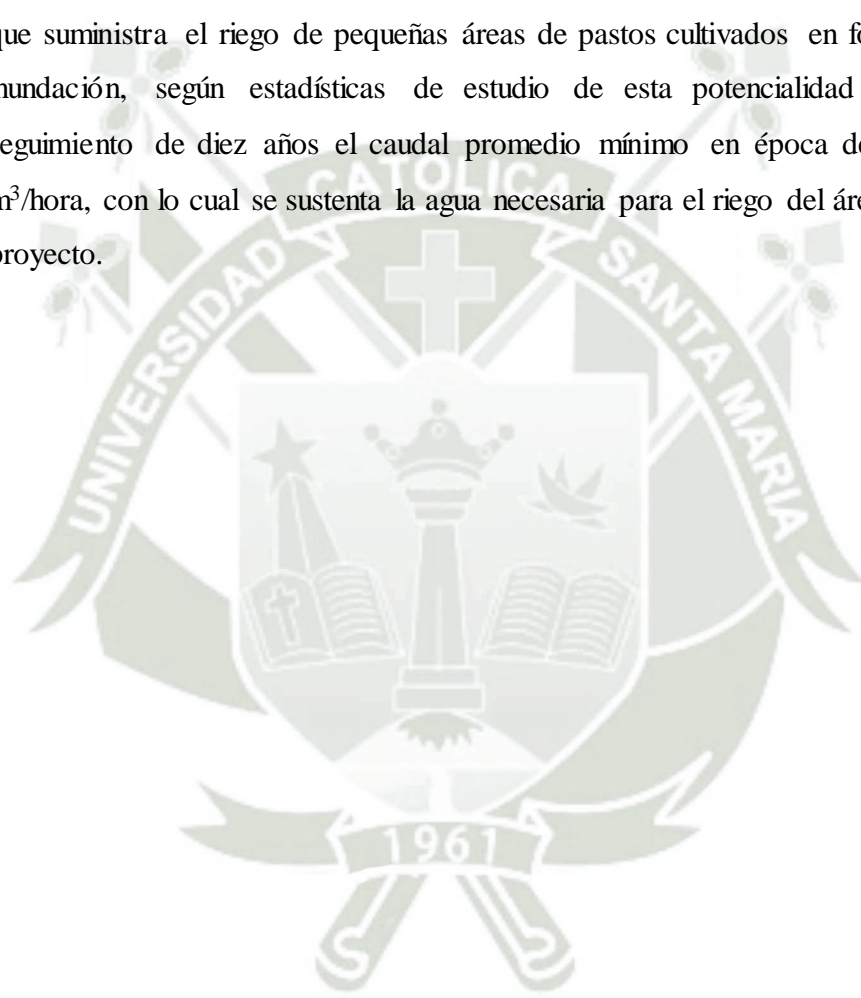
Mes	Demanda hídrica x hectárea (m <sup>3</sup> /día)	Nº Hectáreas (30) (m <sup>3</sup> /día)
<b>1 Marzo</b>	22.601	678.035
<b>1 Abril</b>	20.961	628.840
<b>1 Mayo</b>	20.004	600.117
<b>1 Junio</b>	18.101	543.041
<b>1 Julio</b>	18.290	548.701
<b>1 Agosto</b>	20.307	609.225
<b>1 Setiembre</b>	23.072	692.150
<b>Promedio</b>		614.300

Nota: Elaboración propia

Como resultado podemos observar que aproximadamente se requieren 615 m<sup>3</sup>/día para poder abastecer las necesidades hídricas de los cultivos rye grass y trébol blanco en una extensión de 30.00 hectáreas.

### **1.11. RECURSO HÍDRICO PARA EL PROYECTO**

En el Centro Experimental La Raya sostiene un promedio aproximado de 4000 alpacas y 800 llamas, desde hace 30 años como se observa en la Figura 2 de ubicación y área geográfica del proyecto, y al margen de lado derecho del proyecto recorre un río, recurso que suministra el riego de pequeñas áreas de pastos cultivados en forma tradicional por inundación, según estadísticas de estudio de esta potencialidad hídrica y con un seguimiento de diez años el caudal promedio mínimo en época de estiaje es de 1700 m<sup>3</sup>/hora, con lo cual se sustenta la agua necesaria para el riego del área determinado en el proyecto.



## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. INTRODUCCIÓN

La energía solar se denomina renovable debido a que es un recurso inagotable respecto del ciclo de vida humano. Además, presenta la característica de ser abundante y limpia. Las fuentes renovables de energía tienen un gran potencial para la generación de energía. Así, la tecnología fotovoltaica que transforma directamente la luz solar en electricidad, ha mostrado ser de gran utilidad para la generación de energía eléctrica en lugares apartados y remotos. Hoy en día, la tecnología fotovoltaica disponible comercialmente es una alternativa real para su aplicación en diversas tareas domésticas, industriales y agropecuarias. Sin embargo, es necesario un análisis de viabilidad económica y factibilidad técnica para determinar si es la más apropiada para tal fin. En el sector agropecuario, las aplicaciones más comunes, son bombeo de agua, cercos eléctricos, calentadores de agua, congeladores y sistemas de secado de productos agrícolas, además de la electrificación básica para fines domésticos. (Choque, 2018).

El bombeo de agua a pequeña escala es una aplicación importante en todo el mundo. Las comunidades rurales donde no hay un suministro convencional de electricidad se ven particularmente afectadas. Los sistemas de bombeo fotovoltaicos se caracterizan por ser de alta confiabilidad, larga duración y mínimo mantenimiento, reduciendo los costos a largo plazo en comparación con otras alternativas. Además, no requiere del empleo de un operador y tienen un bajo impacto ambiental (no contaminan el aire o el agua y no producen ruido). Otra ventaja es que los sistemas son modulares, pudiendo adaptarse en cada momento a las necesidades específicas del usuario, y siendo sencillos de operar. Para realizar un proyecto con éxito es necesario entender conceptos como la energía solar fotovoltaica, la hidráulica del sistema y el funcionamiento del conjunto motor-bomba. (Choque, 2018).

#### 2.2. DESCRIPCIÓN DE PLANTAS CULTIVADAS

##### 2.2.1. Cultivo de pasto Ray grass inglés (*Lolium perenne*)

Se caracteriza por tener un crecimiento de postura erguida produce muchos macollos, crece rápidamente y es sencillo de establecer, alcanza una altura de entre 25 a 40

centímetros, tiene tallos cilíndricos que están cubiertas con muchas hojas de verde obscuro.

El rendimiento de las praderas comerciales de Rye grass es de 60 a 70 toneladas de forraje verde por hectárea (equivalente de 12 a 14 toneladas de forraje seco), el valor nutrimental de este forraje es de 15 a 18 % de proteína cruda, 70 a 80 % digestible y 2.96 mega calorías de energía metabolizable. (Castillo, 2015).

### **2.2.2. Cultivo de pasto Trébol Blanco (*Trifolium repens*)**

Su sistema radical es en pivote, acompañado por raíces fibrosas superficiales. De crecimiento rastrero, sujetado principalmente por estolones, permitiendo enraizarse y desarrollarse de manera independiente, lo que aumentaría la duración del cultivo por la propagación vegetativa. Es una especie muy demandante de sol que tolera poco el sombreado, hecho que se destaca por la rápida recuperación tras el pastoreo y la elevación constante del pecíolo buscando las partes mejor iluminadas. (Argote y Andía, 2006).

Se realizan la combinación de rye grass perenne festuca alta, depende si la producción ganadera está dedicada a la producción de leche.

Es de alto valor nutritivo, con alta calidad, especialmente durante primavera y verano. Se destaca por su altísima producción primavero-estival y acumulación anual elevada, consiguiendo alrededor de 13,3 toneladas de materia seca en 9, según INTA Pergamino (<https://todo-agro.com/producto/trebol-blanco-trifolium-repens>).

### **2.3. RIEGO POR ASPERSIÓN**

El riego por aspersión es un método de riego mecanizado o presurizado, ya que requiere de mecanismos que generan presión para mover el agua. Con este método de riego no es necesario nivelar el suelo, y se puede regar un potrero recién sembrado sin causar problemas de erosión o de corrimiento de las semillas, si se usa la presión y el aspersor adecuado.

Los sistemas de riego por aspersión se basan en convertir la energía de la presión en energía de velocidad de salida del agua por la boquilla del aspersor en forma de chorro que al reunirse con la resistencia del aire cae a la superficie del suelo esparciendo en forma de gotas de agua. (IIFAP, 2010).

Componentes:

El sistema de riego por aspersión tiene una amplia gama de opciones tecnológicas, lo que le permite adaptarse a una variedad de situaciones socioeconómicas, así como a suelos y cultivos únicos. Sin embargo, los sistemas tienen los mismos componentes fundamentales:

- Bomba, ya sea por un motor de combustión o eléctrico, el motor se encarga de bombear el agua desde su fuente original, que puede ser una balsa, un pozo o un río, y suministrar la presión necesaria para que los aspersores del sistema de riego funcionen correctamente.
- Tuberías. El agua es transportada desde la bomba a través del tubo principal, que luego se multiplica por tubos secundarios y ramas. La tubería principal suele ser estacionario y puede instalarse en la superficie del suelo o, más frecuentemente, se entierra bajo tierra. En algunos casos las tuberías principales son móviles y puede moverse de un paquete a otro. Las tuberías fijas pueden ser de plástico de alta densidad, fibrocemento o hierro galvanizado. Por otro lado, los tubos móviles están hechos de aluminio o plástico liviano para facilitar su traslado de un lugar a otro.
- Los ramales, o laterales, los aspersores se montan en tuberías que pueden ser de tres tipos: fijas (que suelen estar enterradas en el suelo), desplazables o móviles
- Aspersores, los elementos conocidos como aspersores son aquellos que arrojan agua al suelo y crecen como pequeñas gotas para imitar la lluvia. Son los componentes claves en el diseño de sistemas de gestión de riesgos y en la determinación del calibre de su desempeño.

El riego por aspersión es una modalidad en la que el agua llega al cultivo en forma de "lluvia" localizada.

Criterios para escoger este tipo de riego:

Depende de la fuente de agua disponible, cultivo asociado, fuente de energía (gravitacional, eléctrica, fotovoltaica, combustible, etc), dinero que disponga y el tipo de terreno que posee. (IIFAP, 2010).

Aplicaciones

- Obtención de agua
- Pozo
- Toma de un río, lago o embalse
- Almacenamiento subterráneo
- Un cuerpo de agua natural o artificial, para este propósito como un lago o embalse.
- Construcción de un depósito específicamente para almacenar el agua
- Instalación para puesta en presión del sistema
- Por gravedad, si el área de riego se encuentra en la parte inferior de la captación, como al realizar el riego de campos ubicados en aguas debajo de una presa

- Al realizar el empleo de agua de pozo, o para riegos de terrenos que se encuentran en la zona superior al embalse de regulación
- Tuberías principales y secundarias fijas
- Se utilizan dispositivos móviles
- Aspersores.

### 2.3.1. Ventajas e inconvenientes del riego por aspersión

Ventajas:

- El consumo de agua necesario para el riego por aspersión es inferior al que se requiere en el riego por surcos.
- Utilización con facilidad en terrenos colinares.
- Dosificación del agua para tener una buena precisión.
- El riego no tiene efectos negativos sobre la vegetación, es eliminada la presión que ejerce el agua a las plantas; por su homogeneidad en distribución en la vegetación, en su totalidad se realiza el riego por aspersión y su distribución es suave sobre el agua en una determinada área.

Inconvenientes:

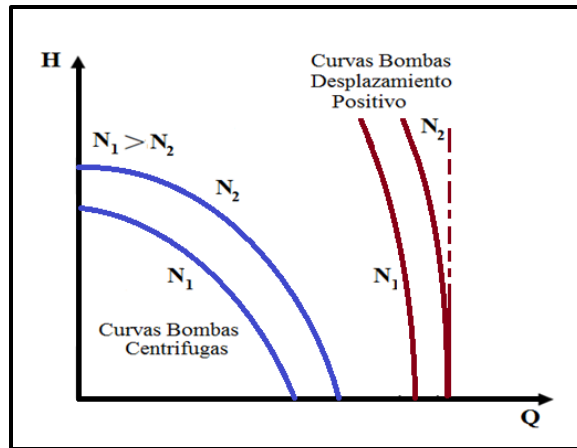
- Es necesario establecer adecuadamente la distancia entre aspersores, para obtener un coeficiente de uniformidad superior al 80%.
- La humedad provocada en la zona foliar y del tallo, junto a temperaturas altas podrían provocar aparición de hongos. (IIFAP, 2010).

## 2.4. BOMBAS HIDRÁULICAS

Las bombas son maquinarias con la capacidad de transformar energía mecánica en hidráulica, aportando energía para superar las pérdidas de carga y el desnivel entre dos puntos, obligando al fluido a circular en un determinado sentido. Aunque se puede forzar a que el fluido atraviese una bomba en la dirección opuesta, esta situación es anómala. En los sistemas de bombeo tradicionales, las bombas más utilizadas son las bombas centrífugas y las axiales. Estas bombas pueden impulsar un caudal mayor a medida que disminuye la resistencia o diferencia de altura que deben vencer (Cafaggi et al., 2021).

En la Figura 3 se observa la clasificación de los diferentes tipos de bombas hidráulicas:

**Figura 3:** Curvas características bombas centrífuga y desplazamiento positivo.

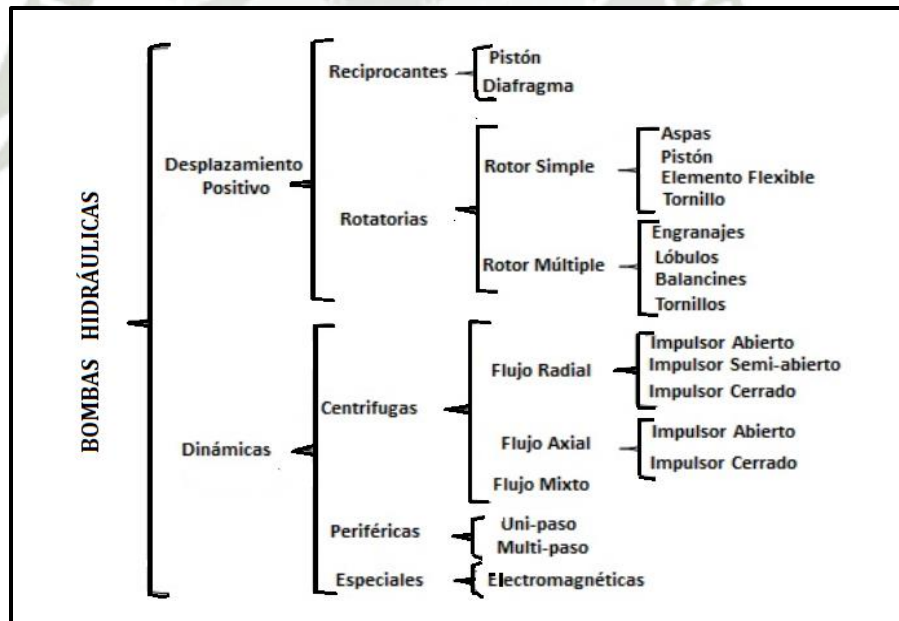


Nota: Elaboración propia

Hay dos tipos básicos de bombas:

**Bombas roto dinámicas.**

**Figura 4:** Clasificación General de las Bombas Hidráulicas.



Nota: (Cengel y Cimbala, 2018)

Las bombas rotodinámicas añaden simplemente cantidad de movimiento al fluido por medio de paletas o álabes giratorios. Se diseña con una altura manométrica aproximadamente fija y brinda un mayor caudal a diferencia de las bombas de desplazamiento positivo. Estas bombas no son recomendables para profundidades de aspiración mayores a 5-6 metros y pueden tener varios estados, el número de estados depende de la altura de bombeo necesaria. (Abella y Romero, 2005).

## Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico.

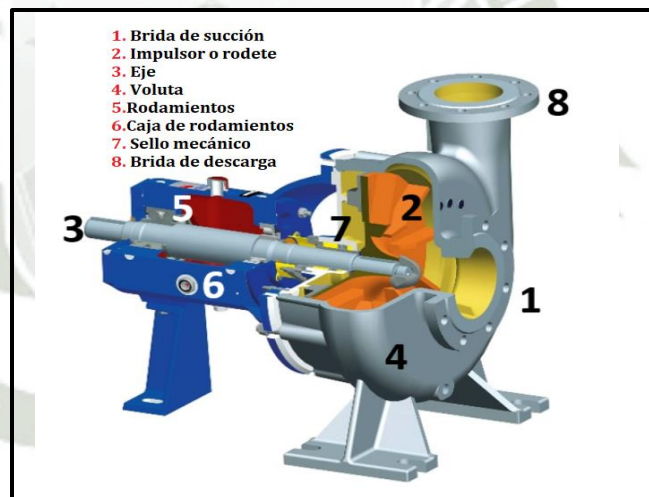
Las bombas de desplazamiento positivo son apropiadas para altos incrementos de presión y bajos caudales, mientras que las bombas centrífugas proporcionan caudales elevados con bajas alturas manométricas (Abella y Romero, 2005).

### 2.4.1. Funcionamiento de una Bomba Centrífuga

Al ser impulsado hacia afuera en dirección radial por las palas del rodete después de ingresar a la bomba a través de su cubo o entrada, el líquido recibe energía. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética, lo cual es debido a la forma de caracol de la voluta para generar un incremento gradual en el área de flujo de tal manera que la energía cinética a la salida del rodete se convierte en cabeza de presión a la salida (Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2005).

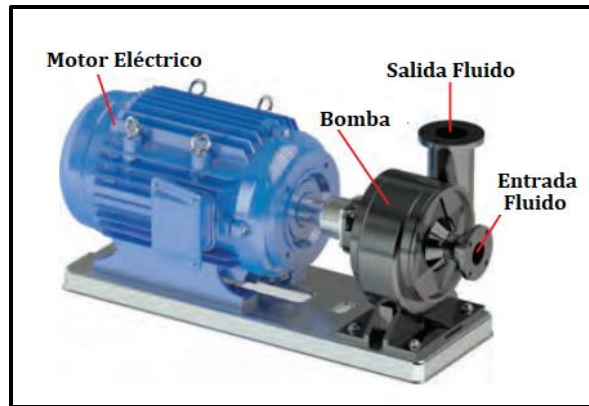
La Figura 5 nos representa los componentes de una bomba centrífuga.

**Figura 5:** Componentes de una Bomba Centrífuga.



Nota: (Pérez y Renedo, 2015)

**Figura 6:** Funcionamiento de una Bomba Centrífuga.



Nota: (Cengel, Cimbala; 2018)

### 2.4.2. Curvas Características de una Bomba Centrífuga

Las curvas de rendimiento de la bomba centrífuga muestran la relación entre la tasa de flujo del líquido y altura de elevación generada, cantidad de energía absorbida y la eficiencia de la bomba. Estas curvas pueden mostrar la altura máxima de succión de este líquido.

Las leyes de similitud, que conectan la potencia mecánica suministrada a la bomba  $P$ , el caudal  $Q$  y la velocidad de rotación,  $n$  pueden caracterizar con precisión una bomba centrífuga. Permitiendo la obtención de un punto en la curva  $H_2-Q_2$  a una velocidad diferente cuando se aplican concurrentemente al punto  $H_1-Q_1$  de la curva Head-Flow asumiendo también que el rendimiento hidráulico es constante entre ambos lugares (Cengel, Cimbala; 2018). Se tiene:

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \frac{N_p}{N_m}, \quad \frac{H_p}{H_m} = \frac{N_p^2}{N_m^2}, \quad \frac{P_p}{P_m} = \frac{N_p^3}{N_m^3}$$

Dónde:

$H_{m,P}$ : Altura (modelo-prototipo)

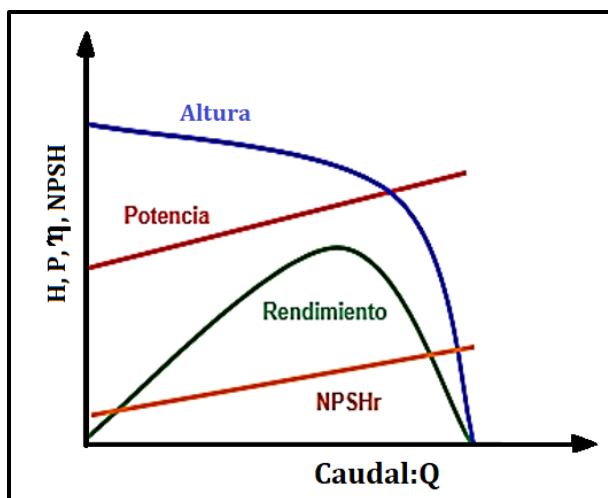
$D_{m,P}$ : Diámetro (modelo-prototipo)

$N_{m,P}$ : Revoluciones (modelo-prototipo)

$P_{m,P}$ : Potencia (modelo-prototipo)

En la Figura 7 se muestra las curvas de funcionamiento de una bomba centrífuga seleccionada. Estas curvas caracterizan el comportamiento de la bomba centrífuga en cuestión.

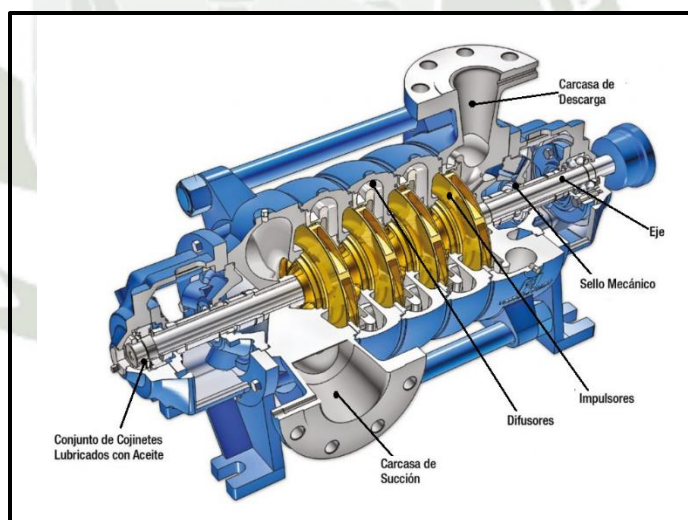
**Figura 7:** Curvas Características de una bomba centrífuga



Nota: Elaboración propia

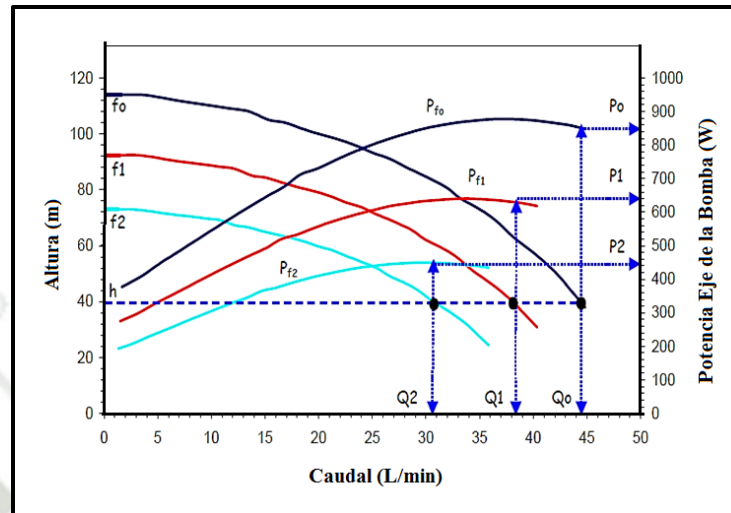
Las Figuras 8 y 9 nos muestran el comportamiento de las bombas hidráulicas multietapas con sus componentes y sus curvas características para diferentes cantidades de caudal-altura-potencia al eje.

**Figura 8:** Bomba centrífuga de multietapas



Nota: (Abella y Romero, 2005)

**Figura 9:** Curvas características altura versus altura, rendimiento  
Bomba centrífuga multietapa.



Nota: (Abella y Romero, 2005)

### 2.4.3. Ecuaciones de una Bomba Hidráulica

#### 2.4.3.1. Ecuación General de Bernoulli Generalizada

La ecuación general de la energía es una extensión de la ecuación de Bernoulli, el cual posibilita resolver problemas en los que hay pérdidas y ganancia de energía. (Font et al., 2011).

Para cualquier sistema la expresión del principio de energía es:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \Sigma H_B + \Sigma H_T - \Sigma H_P = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

$\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}$ : Alturas de presiones estáticas en el punto 1 y 2 respectivamente (m.c.a).

$Z_1, Z_2$ : Alturas geodésicas en el punto 1 y 2 respectivamente (m.c.a).

$\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g}$ : Altura de presiones de velocidad en el punto 1 y 2 respectivamente (m.c.a).

$\Sigma H_P$ : Energía perdida por el sistema debido a la fricción en la tubería (perdidas primarias) y en las válvulas y conectores (perdidas secundarias) (m.c.a).

$\Sigma H_B$ : Energía entregada al fluido mediante un dispositivo mecánico externo (bomba). (m.c.a).

$\Sigma H_T$ : Energía retirada al fluido mediante un dispositivo mecánico externo (turbina) (m.c.a).

#### 2.4.3.2. Pérdidas Primarias y Secundarias en Tuberías

Las pérdidas de energía se llevan a cabo en un flujo constante, por lo que ocurren principalmente en secciones de tubería con sección constante, y se encuentran en dos tipos como, primarias y secundarias:

Las principales pérdidas son "pérdidas superficiales" que ocurren cuando el fluido entra en contacto con una superficie (capa límite), cuando las capas de fluido se frotan entre sí (régimen laminar) o cuando las partículas de fluido chocan entre sí (régimen turbulento).

Las pérdidas secundarias son las "pérdidas de forma" que tienen lugar en las transiciones (estrechamiento o expansiones), en codos, válvulas y en toda clase de accesorios de tuberías. (Font et al., 2011).

#### 2.4.3.3. Pérdidas Primarias: Ecuación de Darcy-Weisbach

Se demostró hacia fines del siglo XIX que la pérdida de carga era inversamente proporcional al diámetro de la tubería y estaba relacionada con el cuadrado de la velocidad promedio en la tubería, así como con su longitud. La relación mencionada se expresa según la ecuación de Darcy-Weisbach. (Font et al., 2011):

$$h_p = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$h_p$ : Pérdida primarias de carga por fricción (m)

f: Factor de fricción. Adimensional

L: Longitud de la tubería. (m)

D: Diámetro del conducto. (m)

V: Velocidad promedio en la sección del conducto. (m/s)

g: Gravedad. (m/s<sup>2</sup>)

Este método se usa constantemente para determinar las pérdidas de carga en tuberías largas y rectas, tanto para flujo laminar como turbulento. La forma en que se define y evalúa el factor de fricción difiere entre los dos tipos de flujo. Para determinar el valor del factor de fricción (f), existen varias tablas, gráficos, fórmulas, etc. Sin embargo, desde 1940, una calculadora llamada "Diagrama de Moody" (Font et al., 2011).

#### 2.4.3.4. Pérdidas Secundarias

La ecuación fundamental de las pérdidas secundarias, análoga a la ecuación de Darcy para pérdidas primarias, es la siguiente (Font et al., 2011):

$$h_s = \Sigma K * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$h_p$ : Pérdida de carga secundaria. (m)

$K$ : Coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria.

$V$ : Velocidad media en la tubería si se trata de codos, válvulas, etc. Si se trata de un cambio de sección como contracciones o ensanchamientos, suele tomarse la velocidad en la sección menor. (m/s)

En la Tabla 6 podemos observar algunos coeficientes adimensionales de pérdida de carga secundaria:

**Tabla 6:** Coeficiente adimensional perdida de carga de accesorios

Nombre del accesorio	Valor K
Válvula esférica, totalmente abierta	K=10
Válvula de ángulo, totalmente abierta	K=5
Válvula de retención de clapeta	K=2.5
Válvula de pie con colador	K=0.8
Válvula de compuerta, totalmente abierta	K=0.19
Codo de retroceso	K=2.2
Empalme en T normal	K=2.0
Codo de 90° normal	K=0.9
Codo de 90° de radio medio	K=0.75
Codo de 90° de radio grande	K=0.60
Codo de 45°	K=0.42

Nota: (Robert Mott, 2014)

### 2.4.3.5. Diagrama de Moody

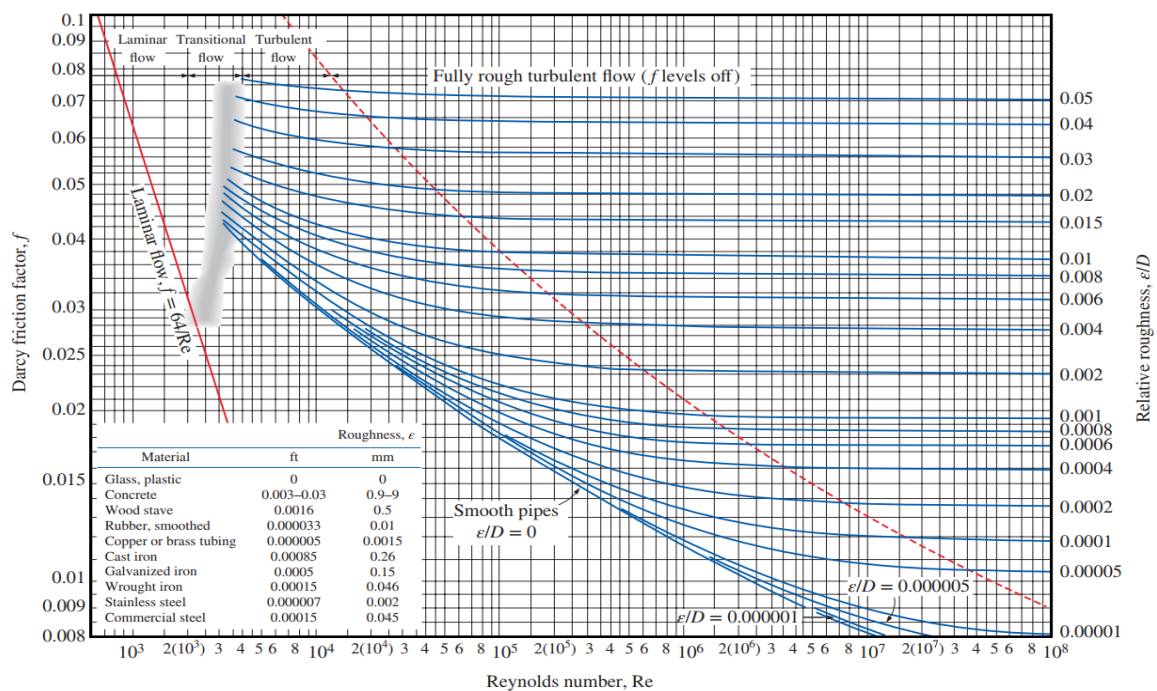
Las ecuaciones de Poiseuille y Colebrook-White a menudo se pueden usar para calcular el coeficiente de fricción  $f$ . El diagrama de Moody es uno de los enfoques más populares para calcular rápidamente el coeficiente de fricción, ya que este tipo de ecuaciones necesitan una calculadora que pueda programarse o técnicas de resolución avanzadas.

Dicho diagrama es la representación (en escala logarítmica), de las dos ecuaciones anteriores, y permite determinar el valor de  $f$  en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa. (Font et al., 2011)

La utilización de este diagrama permite:

- Determinar el valor del factor de fricción ( $f$ ) para ser utilizado en la ecuación de Darcy.
- Resolver todos los problemas de pérdidas de cargas primarias en conductos de cualquier diámetro, cualquier material, y para cualquier caudal.
- Puede utilizarse en conductos de sección no circular, sustituyendo el diámetro ( $D$ ) por el radio hidráulico ( $R_h$ ).

**Figura 10:** Diagrama de Moody; factor de fricción.



Nota: (Cengel, Cimbala; 2017)

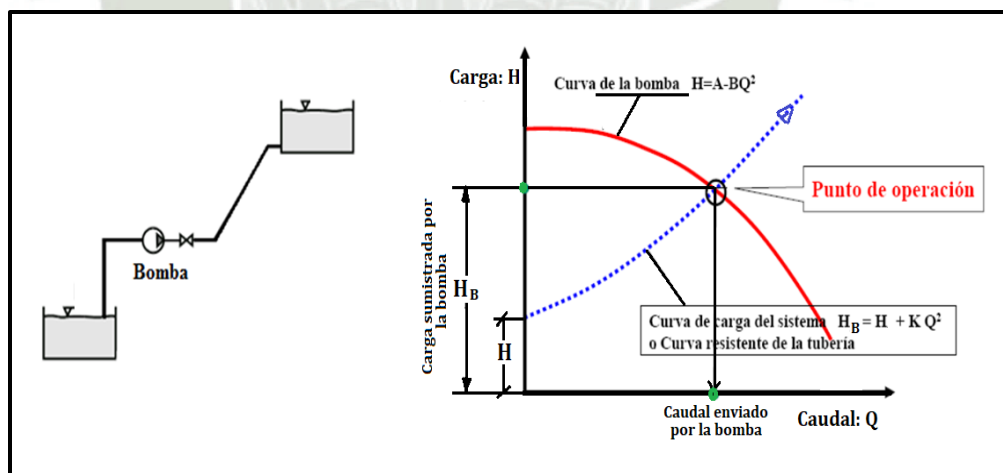
## 2.4.4. Sistema de Bombeo Hidráulico

Las bombas centrífugas operando en paralelo aumentan la capacidad de bombeo del sistema, ya que el caudal final bombeado es igual a la suma de la contribución de cada bomba. Esta arquitectura es intrigante cuando se usa en situaciones donde las alturas de presión o los flujos son muy variados. Una carga debidamente controlada produce un consumo mínimo y, en consecuencia, un funcionamiento eficiente. Los sistemas de bombeo en paralelo además contribuyen a aumentar la fiabilidad y mantenibilidad del sistema ya que en ciertas situaciones en que la altura o el caudal a vencer o bombear sean bajos podrá utilizarse solo una de las bombas, pudiendo ser revisada o reparada la bomba parada. (Font et al., 2011)

### 2.4.4.1. Punto de Operación de un Sistema de Bombeo

El caudal que circula por la bomba y, por tanto, la altura de elevación que proporciona, están condicionados por la interacción bomba-sistema. El punto de funcionamiento ( $Q_B$ ,  $H_B$ ) vendrá dado por el corte de la curva resistente del sistema con la curva característica de la bomba. (Cengel, Cimbala;2017)

**Figura 11:** Comportamiento del sistema de bombeo



Nota: Elaboración propia.

La curva característica de la bomba se representa con frecuencia mediante un polinomio, típicamente una parábola. Esto se hace para resolver sistemas usando computadoras y al mismo tiempo sirve para fines educativos. Como resultado, el siguiente sistema de dos ecuaciones daría la respuesta al ejemplo anterior:

$$H_1 + H_B - h_p = H_2$$

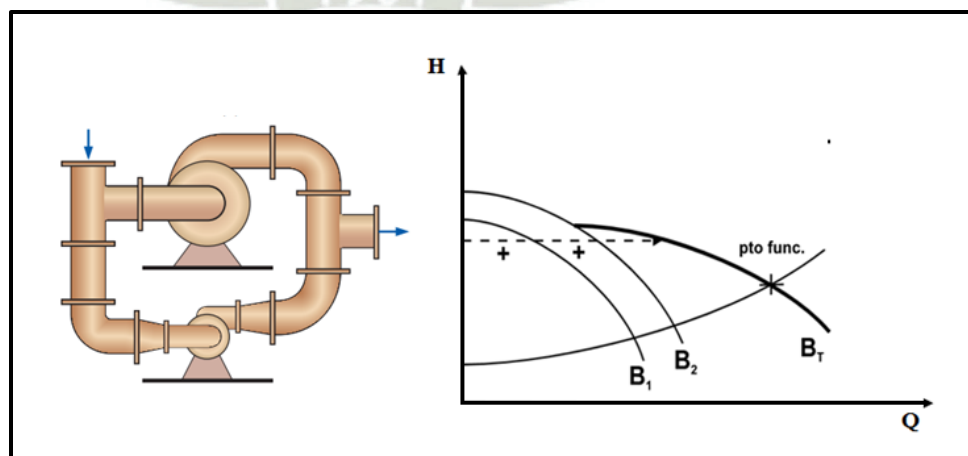
$$H_B = A + B * Q + C * Q^2$$

Donde A, B y C son los coeficientes de ajuste de la curva característica. Además, HP tendría que cambiarse a la fórmula comparable,  $H_B = k * Q^2$ , y tendrían que hacerse las iteraciones necesarias. El sentido físico debe tenerse en cuenta al usar este método, ya que las alturas o flujos negativos no funcionan con la ecuación de ajuste. Además, no será particularmente útil en lugares alejados del diseño de la bomba (OPS, 2005).

#### 2.4.4.2. Bombas en Paralelo

Algunos sistemas de bombeo requieren varias bombas trabajando en serie o en paralelo sobre el mismo circuito. Como sistema regulador o cuando se requieren cualidades extremadamente cambiantes, esto podría ser útil. Cuando se conectan muchas bombas en serie, se pueden intercambiar con fines de cálculo por una segunda bomba ficticia que produce un total de alturas individuales con el mismo caudal. Una curva característica conjunta se produce cuando varias bombas funcionan en paralelo y los flujos separados se suman para la misma altura. Para evitar que cualquiera de las bombas funcione en un lugar no deseado, es conveniente colocarlas en serie y preferiblemente en paralelo. Es mucho mejor si son idénticas. Para realizar el gráfico de la curva tanto de bombas en serie, como bombas en paralelo, existe: el método gráfico y si se tuviese la curva de la bomba, por arreglos numéricos teniendo en cuenta las características propias de cada configuración de juego de bombas. (Cengel, Cimbala;2017)

**Figura 12:** Sistema de Bombas en Paralelo



Nota: (Cengel, Cimbala;2017)

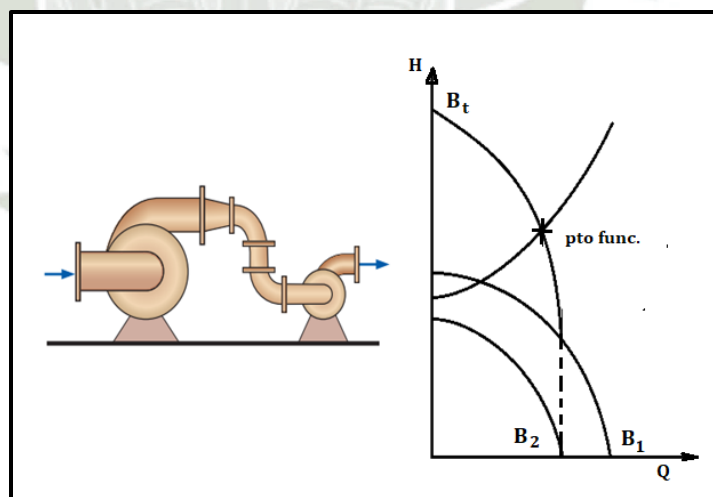
#### 2.4.4.3. Bombas en serie

En el mismo circuito, varias bombas pueden funcionar ocasionalmente en paralelo o en serie. Cuando se requieren cualidades extremadamente cambiantes o cuando se necesita un sistema de regulación, esto puede ser útil.

Se puede usar una sola bomba hipotética para determinar la carga total producida por todas las bombas para un cierto caudal cuando varias bombas están conectadas en secuencia. De manera similar, al conectar muchas bombas en paralelo, es posible crear una curva característica combinada en la que los caudales de cada bomba se suman para una altura específica.

Para evitar que cualquiera de las bombas funcione en un lugar no deseado, es conveniente colocarlas en serie y preferiblemente en paralelo. Es mucho mejor si son idénticos. Para realizar el gráfico de la curva tanto de bombas en serie como bombas en paralelo existe: el método gráfico y si se tuviese la curva de la bomba, por arreglos numéricos teniendo en cuenta las características propias de cada configuración de juego de bombas. (Cengel, Cimbala;2017)

**Figura 13:** Sistema de Bombas en Serie



Nota: (Cengel, Cimbala;2017)

#### 2.4.4.4. Cavitación

La cavitación ocurre cuando la presión del fluido finalmente cae por debajo de la presión de vapor, lo que lleva a la formación de burbujas de vapor hirviendo. Al elegir y usar bombas, válvulas y otros equipos de control, la cavitación es un hecho crucial que puede provocar la degradación de los componentes mecánicos y el mal

funcionamiento de la instalación, lo que requiere reparaciones costosas. Se ha demostrado que la suciedad y los gases disueltos favorecen la formación de estas burbujas, sirviendo como núcleos formadores. La cavitación suele estar relacionada con las estructuras verticales turbulentas de las zonas de separación. Las burbujas de vapor pueden ocurrir como resultado de las bajas presiones en el núcleo de los vórtices y la depresión de la separación. Una presión más alta hace que estas burbujas se vuelvan inestables y colapsen violentamente. El ruido, las vibraciones y la erosión resultan de esto. Una fuerte cavitación reduce el rendimiento de los equipos hidráulicos, pero incluso una cavitación en fase incipiente puede, con el tiempo, llegar a erosionar seriamente las superficies metálicas. (Fernandez Diez, 2010)

#### 2.4.4.5. Altura Neta Positiva de Succión: NPSH

Es importante mantener una presión suficiente por encima de la presión de vapor en la entrada de la bomba para evitar la cavitación. El fabricante determina el valor necesario como NPSHr (Net Positive Suction Head required). Desde el punto de vista de la utilización, hay que asegurarse de que el NPSHd (disponible) en el sistema sea superior al NPSHr. (OPS, 2005).

La forma de calcular el NPSHd cuando la bomba está conectada a un depósito es:

$$\text{NPSHd} = \frac{P_{\text{Atm}} - P_v}{G.E} - H_s - h_p$$

Dónde:

NPSHd: Altura neta de succión disponible (m)

$P_{\text{Atm}}$ : Presión atmosférica (m.c.a.)

$P_v$ : Presión de vaporización a la altura de bombeo (m.c.a.)

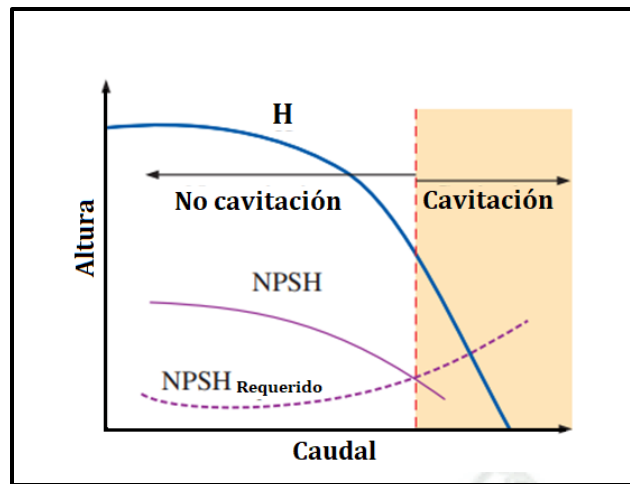
G.E: Gravedad específica (adimensional)

$H_s$ : Altura de succión (m)

$H_p$ : Altura de perdidas (m)

La altura absoluta que la bomba deja en la succión por encima de la presión de vapor se conoce como NPSHd, como se muestra en la Figura 14. La relación del NPSHr con el caudal es otra consideración importante. Cuanto mayor sea este valor, mayor será la velocidad de la bomba y el riesgo de cavitación. Los fabricantes a menudo proporcionan tanto la curva de altura como la curva NPSHr.

**Figura 14:** Cavitación variación del NPSHr con el Caudal.



Nota: (Cengel, Cimbala;2017)

Y finalmente cambiar a:

$$\text{NPSH}_d > \text{NPSH}_r$$

Dónde:

NPSH<sub>d</sub>: Altura neta de succión disponible (m)

NPSH<sub>r</sub>: Altura neta de succión requerido (m)

Mediante esta simplificación se agrupan los términos que dependen de la instalación en un solo parámetro llamado NPSH disponible, quedando como NPSH requerido los que dependen de la bomba. (OPS, 2005)

#### 2.4.4.6. Caudal

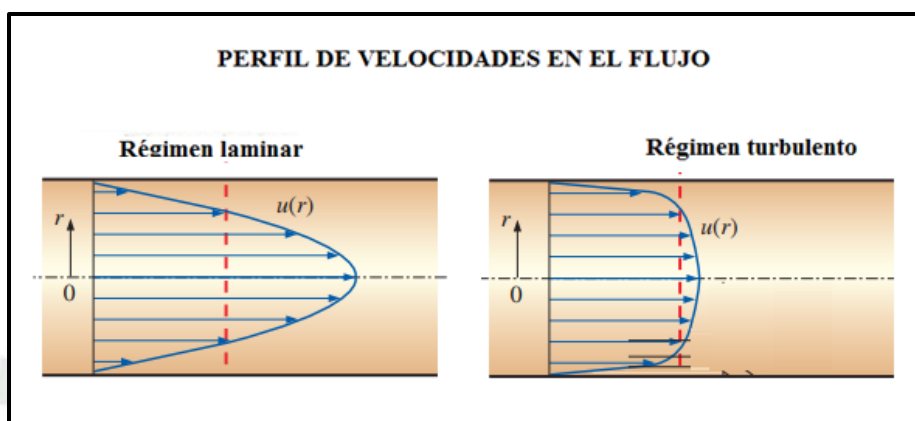
La cantidad de líquido que se mueve durante un cierto período de tiempo se conoce como flujo volumétrico, o simplemente flujo Q, a través de un sistema dado. Las unidades más utilizadas son litros/minuto (L/min), litros/seg (L/s) y m<sup>3</sup>/hora (L/h). No obstante, en el ámbito de influencia anglosajona lo podemos encontrar expresado tanto en galones americanos por minuto (US gpm). (Cengel y Cimbala, 2017).

La equivalencia entre las principales unidades de medida de caudal es la siguiente:

$$1 \text{ L/s} = 60 \text{ L/m} = 3.6 \text{ m}^3/\text{h} = 15.839 \text{ gpm}$$

El caudal volumétrico que circula por un determinado sistema se puede obtener multiplicando la velocidad del fluido (v) por el área transversal de paso:

**Figura 15:** Perfil de Velocidad de Flujo Desarrollado



Nota: (Cengel y Cimbala; 2017)

$$Q = V * A$$

Dónde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

V: Velocidad del fluido (m/s)

A: Área transversal (m<sup>2</sup>)

**Tabla 7:** Velocidades medias más usuales

Velocidades medias más usuales			
<b>Agua</b>	B. Embolos	Succión	0.5 a 1 m/s
		Expulsión	1 a 2 m/s
	B. Centrifugas	Succión	0.5 a 2.5 m/s
		Expulsión	1.5 a 4.5 m/s
<b>Vapor</b>	Turbinas	Alimentación	30 a 80 m/s
		Succión	16 a 20 m/s
		Expulsión	25 a 30 m/s
<b>Aire</b>	Turbocompresor	Suc. y exp.	20 a 25 m/s

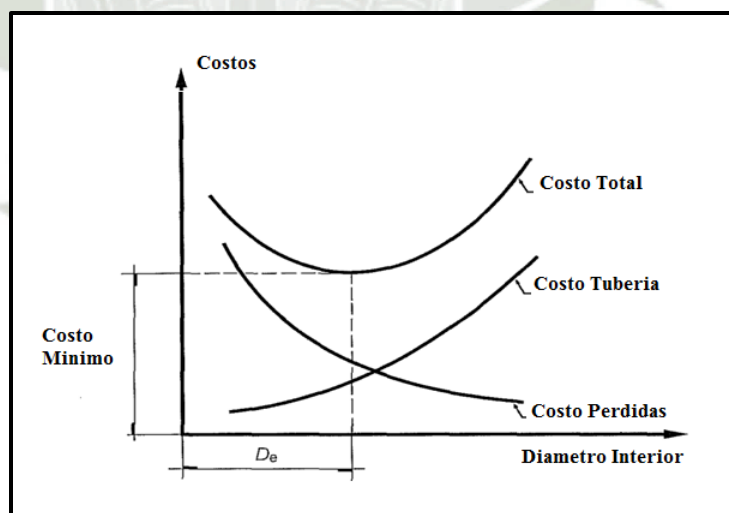
	Motores combust.	Alimentación	10 a 20 m/s
		Conductos aire acondicionado	1.5 a 5 m/s
<b>Gases</b>	Motor combust.	Escape	10 a 40 m/s
<b>Aceites de lubricación</b>		Tuberías	0.5 a 1.5 m/s

Nota: Universidad de Cantabria, 2015

## 2.5. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO ECONÓMICO DE TUBERÍA

En el diseño hidráulico de una planta de bombeo se debe elegir el diámetro de tubería de descarga más rentable, lo que se hace en base a la eficiencia tanto de la inversión original como de la operación y mantenimiento de esta última. Luego se desarrollan las ecuaciones matemáticas para el cálculo del diámetro económico en el actual proyecto de bombeo del recurso hídrico (Valencia et al., 2019).

**Figura 16:** Obtencion del diámetro Económico



Nota: Elaboración propia

### a. Espesor de la Tubería:

Esta expresión permite obtener el espesor de la tubería al 50% por golpe de ariete

$$e = \frac{P * D}{2 * S_{Material}}$$

Donde:

$e$ : Espesor de la tubería (m).

$D$ : Diámetro de la tubería (m).

$P$ : Presión estática del fluido. (Kg-f/mm<sup>2</sup>).

$S_{Material}$ : Esfuerzo permisible del material de tubería (kg-f/mm<sup>2</sup>).

#### b. Peso de la Tubería:

Con esta expresión permite obtener el peso de tubería para el sistema de bombeo.

$$P_{Tuberia} = \pi * D * e * L * \gamma_{Material}$$

Donde:

$P_{Tuberia}$ : Peso de la tubería (kg-f).

$D$ : Diámetro de la tubería (m).

$e$ : Espesor de la tubería (m).

$L$ : Longitud de la tubería (m).

$\gamma_{Material}$ : Peso específico del material (kg-f/m<sup>3</sup>).

#### c. Costo Anualizado de Tubería:

Esta expresión permite anualizar el costo de la tubería

$$a = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Donde:

$a$ : Anualización.

$i$ : Interés bancario.

$n$ : Tiempo de préstamo (años).

En la siguiente expresión anualizamos el costo de tuberías para la instalación del sistema de bombeo.

$$S_T = P_{Tuberia} * a * \text{Costo de tubería unitaria instalada}$$

Donde:

$S_T$ : Costo anualizado de tubería (US\$/año).

$P_{Tuberia}$ : Peso de la tubería (Kg-f).

$a$ : Anualización de costo de tubería (1/año).

*Costo tubería*: Costo de la tubería (US\$/Kg-f).

#### d. Costo de Pérdidas de Energía Eléctrica:

Esta fórmula permite determinar las pérdidas hidráulicas primarias y secundarias del sistema de bombeo.

$$h_p = \left( f \frac{L}{D} + \Sigma K + f * \frac{L_{eq}}{D} \right) * \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * D^4 * g}$$

Donde:

$h_p$ : Altura perdida (m).

f: Factor de pérdidas por fricción (adimensional).

L: Longitud de la tubería (m).

D: Diámetro de la tubería (m).

$\Sigma K$ : Sumatoria de pérdidas por accesorios (adimensional).

$L_{Eq}$ : Longitud equivalente de la tubería (m).

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s).

g: Gravedad (m/s<sup>2</sup>).

Esta expresión permite calcular la potencia de pérdida hidráulica:

$$P_{Perdida} = \frac{\gamma_{H_2O} * Q * h_f}{102 * \eta}$$

Donde:

$P_{Perdida}$ : Potencia perdida (KW).

$\gamma_{H_2O}$ : Peso específico del agua (Kg-f/m<sup>3</sup>).

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s).

$h_f$ : Altura perdida (m).

$$\text{Energía Perdida} = \text{Potencia perdida} * \text{Horas por día} * \text{Días por año}$$

Donde:

Energía perdida: Energía perdida (kWh/año).

Horas por día: Horas por día (hr/día).

Días por año: Días por año (día/año).

$$S_E = \text{Energía perdida} * \text{Costo} * \text{Factor de potencia} * \text{Tiempo}$$

Donde:

$S_E$ : Costo de pérdida anual de energía (US\$. /Año).

Energía perdida: Energía perdida (kWh/año).

*Costo* : (US\$/ kWh).

Factor de planta: Factor de potencia de planta.

Tiempo: Tiempo y operación anual (hr.)

**e. Obtención del Diámetro Económico:**

$$\frac{dS_T}{dD} + \frac{dS_E}{dD} = 0$$

$\frac{dS_E}{dD}$ : Derivada de costo de pérdida anual de energía respecto al diámetro.

$\frac{dS_T}{dD}$ : Derivada de costo anualizado de tubería respecto al diámetro.

Despejando la ecuación y reemplazando todas las variables diferentes al Diámetro (*D*); tenemos la obtención del diámetro económico.

**f. Determinación de la Potencia al Eje de la Bomba:**

Mediante la siguiente ecuación permite determinar la potencia de accionamiento de la bomba a utilizarse:

$$P_{Eje} = \frac{\gamma_{H_2O} * Q * H_B}{102 * n}$$

Donde:

$P_{Eje}$ : Potencia de la bomba (KW).

$\gamma_{H_2O}$ : Peso específico del agua (Kg-f/m<sup>3</sup>).

$H_B$ : Altura de bombeo (m).

$n$ : Eficiencia de la bomba. (Adimensional).

**g. Determinación de la Potencia Eléctrica de consumo de la Electrobomba:**

Mediante la siguiente ecuación permite calcular la potencia eléctrica de consumo de la electrobomba:

$$P_{Electrica} = \frac{\gamma_{H_2O} * Q * H_B}{102 * n}$$

Donde:

$P_{Bomba}$ : Potencia de la bomba (W).

$\gamma_{H_2O}$ : Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>).

$H_B$ : Altura de bombeo (m).

$n$ : Eficiencia del conjunto electrobomba (adimensional).

## 2.6. CÁLCULO DE ESPESOR DE TUBERÍA

Cálculo del espesor según la normativa ANSI

La norma ASME B31.1 el espesor se calcula mediante la fórmula:

$$e_{\min} = e = \frac{P * D}{2 * (S + P * Y)}$$

Donde:

$e_{\min}$ : Espesor mínimo de la pared. (mm)

P: Presión de diseño. (kPa)

D: Diametro exterior de la tubería. (mm)

S: Esfuerzo admisible del material. (kPa)

Y: Coeficiente que depende del material y la temperatura de diseño. Tabla 8:

Esta fórmula es para: Aceros al carbono, Aceros de baja y media aleación, Aceros inoxidables, Níquel y aleaciones de alto Ni, Fundición, Cobre y aleaciones de Cu, Aluminio y aleaciones, Titanio y aleaciones.

**Tabla 8:** Valores del coeficiente “Y” para  $e < D/6$

Materiales	Temperatura °C					
	≤ 482	510	538	566	593	≥ 621
Aceros Ferriticos	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Aceros Austeniticos	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Otros metales dúctiles	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Hierro fundido	0.0	...	...	...	...	...

Nota: Norma ASME B31.1, 2010

Espesor pedido,  $e_{ord}$  [mm]

El espesor de pared especificado para el material se determina mediante la siguiente fórmula, que se define en el apartado 4.3 de la norma UNE-EN 13480-3, una vez determinado el valor del espesor mínimo necesario sin márgenes ni tolerancias:

$$e_{ord} > e + c_0 + c_1 + c_2$$

Donde:

$e_{ord}$ : Espesor de pedido mínimo que debe tener la tubería. (mm)

- $c_0$ : Es el margen de corrosión o erosión fijado 1mm.
- $c_1$ : Valor absoluto tolerancia negativa tomado de las normas del material. Ejemplo, se debe tomar 1 mm si la tolerancia de fabricación es de +0,5, -1 mm. El programa de cálculo de tuberías utiliza por defecto 1 mm.
- $c_2$ : Asignación de adelgazamiento para tener en cuenta cualquier adelgazamiento durante la fabricación. Este parámetro es cero para tuberías rectas.

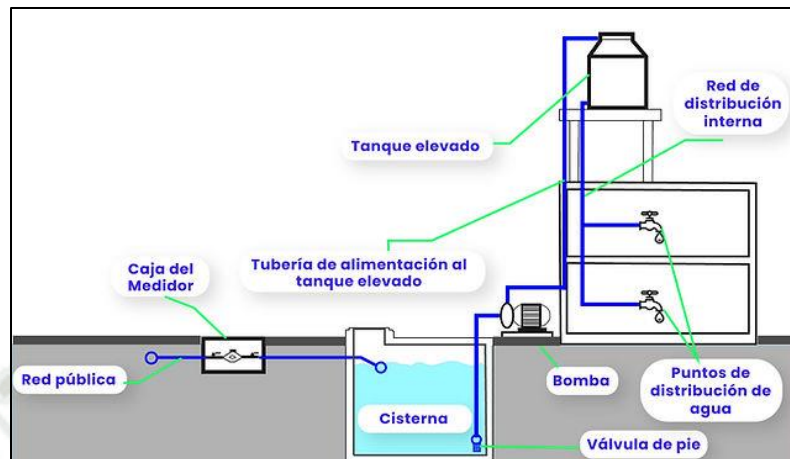
**Tabla 9:** Espesores de distintos tubos según la normativa ANSI(mm)

DN (")	DN (mm)	DE (mm)	ANSI Sch10	ANSI Sch20	ANSI Sch 30	ANSI Sch40	ANSI Sch60	ANSI Sch80
			Espesor	Espesor	Espesor	Espesor	Espesor	Espesor
3/8	10	17.1	-	-	-	2.31	-	3.2
1/2	15	21.3	-	-	-	2.77	-	3.73
3/4	20	26.7	-	-	-	2.87	-	3.91
1	25	33.4	2.77	-	-	3.38	-	4.55
1 1/4	32	42.2	2.77	-	-	3.56	-	4.85
1 1/2	40	48.3	2.77	-	-	3.68	-	5.08
2	50	60.3	2.77	-	-	3.91	-	5.54
2 1/2	65	73.0	3.05	-	-	5.16	-	7.01
3	80	88.9	3.05	-	-	5.49	-	7.62
4	100	114.3	3.05	-	-	6.02	-	8.56
5	125	141.3	3.4	-	-	6.55	-	9.52

Nota: [http://www.provinds.com.py/Utilidades\\_EspesorTubos.html](http://www.provinds.com.py/Utilidades_EspesorTubos.html)

## 2.7. SISTEMAS DE BOMBEO DE TANQUE A TANQUE

Un sistema de bombeo está compuesto por una serie de partes que permiten almacenar y transportar temporalmente fluidos a través de tuberías para satisfacer las demandas de flujo y presión en varios sistemas y operaciones. Por ejemplo, este sistema consta, en un tanque elevado, con una altura que permita la presión de agua establecida según las normas sobre la pieza más desfavorable. Desde este tanque, un número de bombas establecido (casi siempre una o dos), conectadas en paralelo impulsarán el agua al tanque elevado (Cafaggi et al., 2021).

**Figura 17:** Sistema de Bombeo Tanque a Tanque

Nota: Quezada y Salazar, 2018.

## 2.8. ENERGÍA RENOVABLE SOLAR

### 2.8.1. Concepto de Energía Solar

Casi todos los seres vivos dependen de la luz solar para sobrevivir. La intensidad de la luz solar puede variar según la estación; en otoño e invierno los días son más cortos y la luz solar permanece durante menos tiempo cada día, de manera inversa, en primavera y verano los días son más largos y tienen la luz del sol por más tiempo. La primavera es la estación del año en la cual la cantidad y la intensidad de la luz son mayores, en consecuencia, la temperatura aumenta (Tobajas, 2019).

El sol es indirectamente el responsable de la producción de casi toda forma de energía. Desde el momento en que el sol comenzó a funcionar, ha emitido radiación solar suficiente como para producir combustibles fósiles que se consumen rápidamente en nuestro planeta. El sol también genera calor, que evapora el agua de los océanos y la convierte en ríos, lo que a su vez hace posible la construcción de grandes centrales hidroeléctricas, así como ser fundamental en el proceso de fotosíntesis que hace crecer las plantas de las cuales depende la vida en la tierra (Tobajas, 2019).

Se entiende por energía solar el aprovechamiento de la energía proveniente del Sol, un tipo de energía renovable. La energía contenida en el Sol es tan abundante que se considera inagotable. El Sol emite radiación solar desde hace 5 mil millones de años y se estima que aún no ha llegado al 50% de su existencia. La energía del sol no solo es inagotable, sino también abundante; la cantidad de energía que el Sol arroja sobre la tierra todos los días es diez mil veces más que la cantidad de energía que todo el planeta consume todos los días,

sin embargo, la radiación recibida se distribuye más o menos uniformemente sobre toda la superficie de la tierra, lo que dificulta su aprovechamiento. (Tobajas, 2019).

La cantidad de potencia solar disponible en la superficie terrestre se ha calculado en  $1.7 \times 10^{14}$  kilowatts. No necesita ser transportado en contenedores, ni necesita ser enviado de un lugar a otro a través de líneas eléctricas o tuberías, está disponible en todos los lugares donde brille el sol. Una característica importante de la energía solar es que podemos llamarla "limpia" porque no causa contaminación, tiene muy poco impacto negativo en el medio ambiente, sin producir residuos ni desechos industriales. (Tobajas, 2019).

Tomando en cuenta el día y la noche, las estaciones del año, días nublados y soleados, y la latitud de la superficie terrestre, la potencia solar promedio en la superficie terrestre es alrededor de  $17 \text{ W}/\text{pie}^2$ , la cual es suficiente para satisfacer la demanda energética mundial, siempre y cuando pueda ser colectada. (Sanz, Navas y Rey de las Moras, 2011).

Si bien la energía solar ofrece un gran potencial para el futuro, existen varios obstáculos que requerirán una financiación significativa y un esfuerzo continuo para superarlos. A pesar del costo de establecer un sistema de energía solar inicialmente. Dado que simplemente necesita un mantenimiento de rutina después de la instalación, es más rentable (Sanz, Navas y Rey de las Moras, 2011). A continuación, se observa las limitaciones de la energía solar:

- La energía se dispersa por varios puntos.
- Debido a cómo la superficie de la tierra afecta la recepción durante el día y la noche, los días nublados y las estaciones, es de naturaleza intermitente.
- La inversión en equipos solares es de gran envergadura. Las tecnologías de recolección, almacenamiento y procesamiento de energía son caras.
- En algunos lugares donde la demanda de energía es máxima, la disponibilidad de radiación solar es mínima.

Existen dos vías principales para el aprovechamiento de la radiación solar.

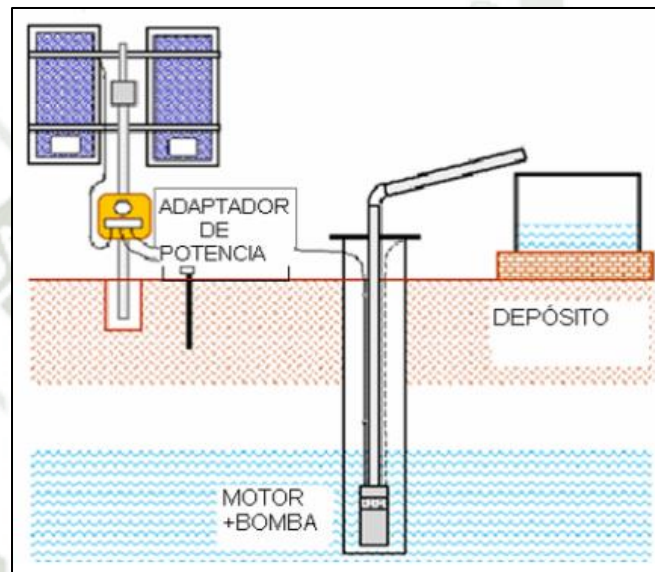
- Energía Solar Térmica
- Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar, principalmente del Sol en forma de radiación, calor y rayos ultravioleta, llega a la Tierra. Tanto la conversión térmica a alta temperatura (sistema fotométrico) como la conversión fotovoltaica (sistema fotovoltaico) son métodos para utilizar la energía solar.

La conversión térmica de alta temperatura consta en transformar la energía solar en energía térmica que está almacenada en un fluido.

La conversión fotovoltaica consta en la transformación directa de la energía luminosa en energía eléctrica. Se utilizan para ello unas placas solares formadas por células fotovoltaicas (de silicio o germanio).

**Figura 18:** Sistema de Bombeo Básico Fotovoltaico Solar



Nota: (Gonzales, 2010)

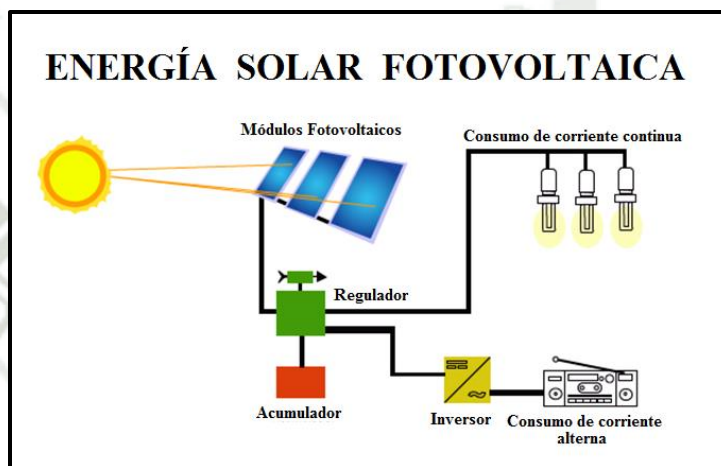
La energía solar es una forma de energía renovable que es producida por la radiación electromagnética del sol. Los humanos han utilizado la energía solar que golpea la Tierra desde el principio de los tiempos a través de una variedad de tecnologías recientemente desarrolladas. Hoy en día, la energía solar se puede producir mediante el uso de una variedad de colectores, incluidas células fotoeléctricas, helióstatos y colectores solares, para convertir el calor y la luz solares en energía eléctrica o térmica. Es uno de los combustibles supuestamente limpios o renovables que podría ayudar a resolver algunos de los problemas más críticos que enfrenta la humanidad (Méndez & Cuervo, 2012).

La forma en que varias tecnologías solares absorben, transforma y distribuyen la energía solar determina si son pasivas o activas. Los paneles fotovoltaicos y los colectores solares térmicos son ejemplos de tecnologías activas que se utilizan para recolectar energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa

térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural (Méndez & Cuervo, 2012).

La fuente de energía solar más desarrollada en la actualidad es la energía solar fotovoltaica. Según informes de la organización ecologista Greenpeace, la energía solar fotovoltaica podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030. (Méndez & Cuervo, 2012).

**Figura 19:** Diagrama Conversión Energía Solar a Fotovoltaica.



Nota: (Tobajas, 2019)

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el costo de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales, aumentando a su vez la eficiencia, y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las energías no renovables en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red. Otras tecnologías solares, como la energía solar termoelectrica también reducen significativamente sus costes (Méndez & Cuervo, 2012).

### 2.8.2. Concepto de Energía Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina (Méndez & Cuervo, 2012).

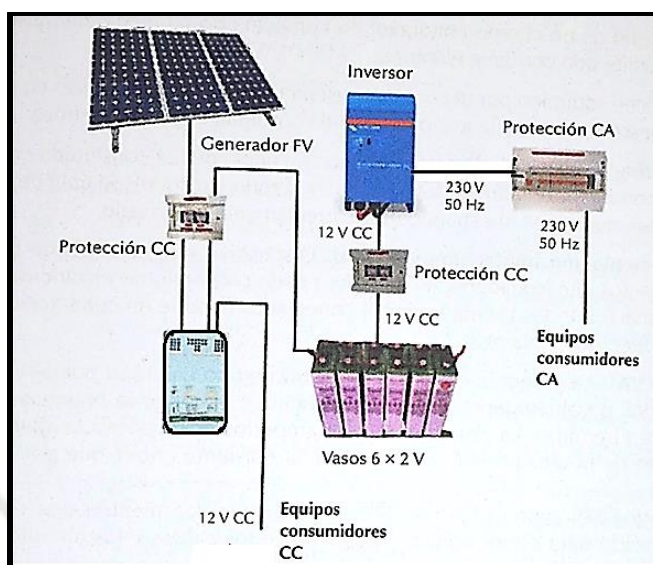
**Figura 20:** Diagrama beneficios de energía solar fotovoltaica



Nota: <https://incsolar.com.mx/>

Dado que la energía fotovoltaica no produce contaminación mientras está en uso, ayuda a reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Su principal inconveniente es que, dado que se requiere radiación solar para la producción, se desperdiciará entre el 10 y el 25 por ciento de la energía incidente si la celda no se orienta perpendicularmente al Sol. Como resultado, los seguidores solares se utilizan con frecuencia en plantas de conexión a la red para mejorar la producción de energía. Las condiciones climáticas adversas, como la falta de luz solar, las nubes o la suciedad depositada en los paneles, también tienen un impacto en la producción. Esto implica que para garantizar el suministro eléctrico es necesario complementar esta energía con otras fuentes de energía gestionables como las centrales basadas en la quema de combustibles fósiles, la energía hidroeléctrica o la energía nuclear. (Fernández, 2009)

**Figura 21:** Componentes Básicos de un Sistema Fotovoltaico



Nota: (Tobajas, 2018)

Actualmente el coste de la electricidad producida en instalaciones solares se sitúa entre 0.05-0.10 \$/kWh. en Europa, China, India, Sudáfrica y Estados Unidos. En 2015, se alcanzaron nuevos récords en proyectos de Emiratos Árabes Unidos (0,058 \$/kWh.), Perú (0.048 \$/kWh.) y México (0.048 \$/kWh.), Precios en Dólares por kWh. (Fernández, 2009)

### 2.8.3. Composición Básica de un Sistema Fotovoltaico

La estructura de un sistema fotovoltaico completamente desconectado de la red, como se muestra en la figura 22, parte de paneles fotovoltaicos o celdas fotovoltaicas, que son las mismas que convierten los rayos del sol en una diferencia de potencial que puede ser aprovechado por el inversor para generar electricidad (Tobajas, 2018).

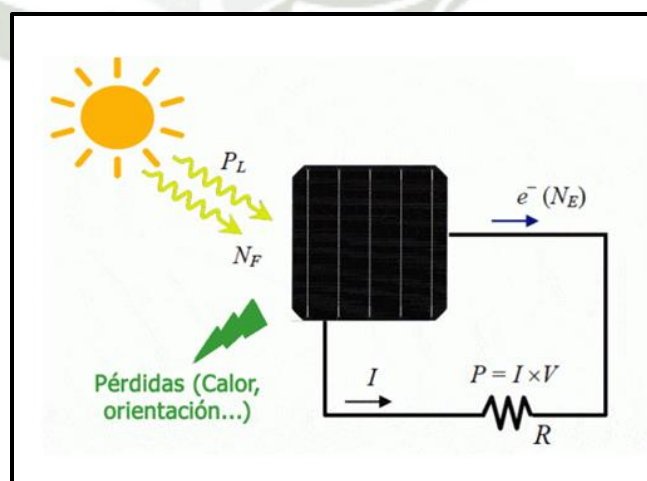
**Figura 22:** Transformación de Energía Fotovoltaica



Nota: (Tobajas, 2018)

Cabe señalar que los paneles fotovoltaicos funcionan a 12, 24 y 48 voltios, lo que significa que su salida está entre +3, -3 voltios, por ejemplo, los paneles de 12 voltios producen entre 9 y 15 voltios, dependiendo de la irradiación solar. También tienen una eficiencia baja en comparación con el poder energético de la radiación solar que llega al planeta, actualmente los paneles tienen una eficiencia de unos 17% en relación a la energía del sol, pero comparados con la energía eléctrica su eficiencia energética total sigue siendo muy superior a la de los combustibles fósiles (Tobajas, 2018).

**Figura 23:** Esquema Distribución Energía Fotovoltaica



Nota: (Tobajas, 2018)

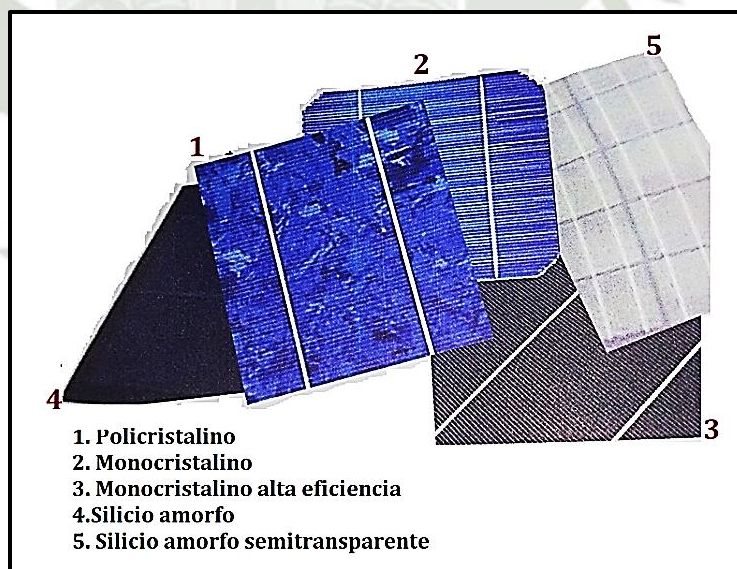
El sistema también utiliza un controlador de baterías, que se usa para controlar estas fluctuaciones de voltaje de los paneles y garantizar que las baterías estén a un nivel de tensión de carga constante para no dañar el banco de baterías (Tobajas, 2018).

Esto explica por qué los sistemas fotovoltaicos están diseñados para un área geográfica concreta y funcionen en su fase de generación con corriente continua, así como su regulación y carga de baterías, mientras que la corriente que sale del inversor es alterna, utilizada para alimentar equipos eléctricos comerciales (Tobajas, 2018).

#### 2.8.4. Paneles Fotovoltaicos

El término "potencia máxima" se refiere a la potencia máxima que se puede producir en circunstancias ambientales típicas, como una temperatura ambiente de 25 °C y una radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>. Hay varios tipos de paneles solares disponibles en el mercado, y su especificación fundamental es la denominada "potencia máxima". Como podemos ver en la Figura 24, se pueden dividir en tres categorías según su diseño y tecnología: monocristalinos, policristalinos y de película delgada (Guerrero, 2019).

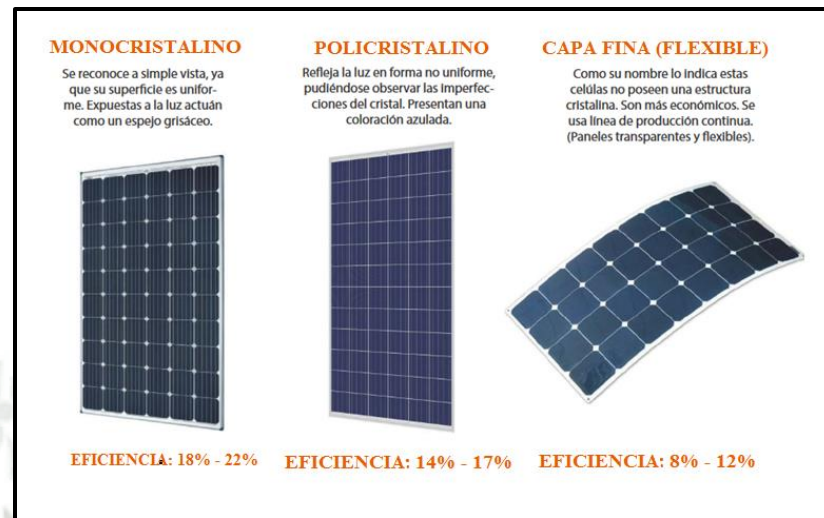
**Figura 24:** Tecnología de Paneles Fotovoltaicos



Nota: (Guerrero, 2019)

Para tomar una decisión sobre qué panel se debe comprar, es necesario ver más allá de si es un panel mono cristalino o poli cristalino, se debe tener en cuenta la relación entre precio/watt, y del espacio en metro cuadrado (m<sup>2</sup>) que ocuparán los paneles, así como de la duración y garantía lineal de funcionamiento del poder nominal.

**Figura 25:** Comparación de Eficiencias de Paneles Fotovoltaicos



Fuente: (Guerrero, 2019)

Las celdas mono cristalinos están compuestas por un solo cristal de silicio, mientras que las células poli cristalinas se forman a base de la unión de varios cristales. Hace unos años, los paneles solares monocristalinos solían funcionar mejor que las células policristalinas; sin embargo, debido al tiempo y al aumento de la demanda de paneles fotovoltaicos, esta distinción ya no existe y los costos de fabricación de las dos tecnologías ahora son casi iguales (Guerrero, 2019).

Hace años, las celdas mono cristalinas eran afectadas en su desempeño por el calor, en mayor medida que las policristalinas. En la actualidad esto no es necesariamente así.

El llamado efecto fotovoltaico se utiliza para convertir la energía solar directamente en energía eléctrica para aplicaciones de energía solar fotovoltaica. Esta transformación se lleva a cabo mediante “células solares” que están fabricadas con materiales semiconductores (por ejemplo, silicio) que generan electricidad cuando incide sobre ellos la radiación solar (Guerrero, 2019).

## 2.8.5. Aplicaciones de la Energía Solar

### 2.8.5.1. Aplicaciones de la Energía Solar Térmica

- Producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS):

La producción de agua caliente sanitaria (ACS) para los sectores de vivienda y servicios es el principal uso de la energía solar térmica. El agua caliente sanitaria se

utiliza a una temperatura de 45 °C, que puede alcanzarse convenientemente con colectores solares planos que normalmente pueden alcanzar los 80 °C de temperatura. Se cree que la cobertura anual promedio de ACS es de alrededor del 60%; hablamos de esta proporción y no mayor para asegurar que no haya energía extra durante la época del año en que la radiación solar es más alta. La energía suministrada por los colectores debe ser tal que ofrezca el 100% de su capacidad durante los meses más ventajosos. El resto de los requisitos que no cumplen los colectores los cumple un sistema auxiliar, que a menudo funciona con diésel, gas o electricidad. Los plazos de amortización se acortan con este porcentaje de cobertura (Eduardo, 2014).

- **Calefacción de baja temperatura:**

Para los sistemas de calefacción que utilizan agua de suministro a menos de 60°C, la energía solar térmica puede ser una adición útil.

Dado que el fluido que recorre este circuito es calentado a una temperatura de unos 45°C por los colectores solares, el suelo radiante (un circuito de tuberías por el suelo) es la tecnología que mejor funciona para la calefacción con aporte solar. El termo fan-col o Aero es otra tecnología que se emplea (Eduardo, 2014).

- **Calentamiento de agua de piscinas:**

El calentamiento del agua de la piscina es uno de los otros usos. En piscinas exteriores, el uso de colectores puede prolongar la temporada de baño mientras que, en instalaciones de uso invernal, pueden ofrecer un modesto apoyo a la instalación tradicional en periodos de baja radiación solar. Adicionalmente, cabe recordar que el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) prohíbe el uso de fuentes de energía convencionales para climatizar piscinas al aire libre (Eduardo, 2014).

- **Aire acondicionado mediante máquinas de absorción:**

Los captadores planos o de vacío de alto rendimiento que producen ACS, calefacción en invierno y frío mediante máquinas de absorción en verano será una de las áreas de instalación termosolar que más crecerá en los próximos años.

Lo ideal para aprovechar la instalación es utilizar energía solar térmica para todos estos sistemas a la vez, ya que utilizarla solo para ACS y calefacción provoca un exceso en verano, lo que provoca un sobrecalentamiento de la instalación, que debe evitarse mediante un sistema de los existentes (Eduardo, 2014).

Las aplicaciones de la energía solar térmica se extienden también al sector industrial: agua caliente y precalentamiento de agua de proceso, calefacción, aire caliente y refrigeración (Eduardo, 2014).

### **2.8.5.2. Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica**

La finalidad de una instalación solar fotovoltaica es generar electricidad a partir de la energía solar.

Numerosas industrias utilizan la energía solar fotovoltaica, incluidos aviones, juguetes, calculadoras y la generación de energía a gran escala para uso público o pequeña para uso en hogares individuales.

Principalmente se diferencian dos tipos de instalaciones: las de conexión a red, donde la energía que se produce se utiliza íntegramente para la venta a la red eléctrica de distribución, y las aisladas de red, que se utilizan para autoconsumo, ya sea una vivienda aislada, una estación repetidora de telecomunicación, bombeo de agua para riego, etc. (Eduardo, 2014).

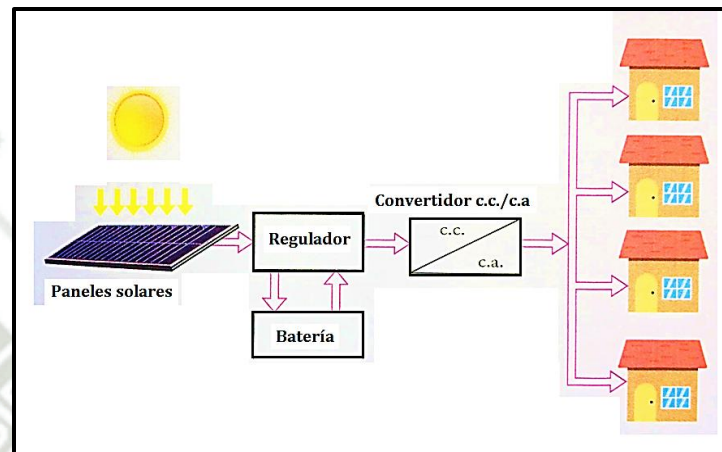
### **2.8.5.3. Instalaciones Conectadas a la Red Eléctrica:**

La producción eléctrica de una instalación solar puede suministrarse a la red eléctrica como lo haría una planta de energía. La producción de energía no tiene relación con la cantidad de electricidad que se utiliza. El mayor uso de estas aplicaciones es resultado del mayor precio de venta a la red KWh. Para instalaciones de menos de 100 KW e instalaciones mayores, el precio de venta al proveedor eléctrico en 2006 es de 0,440 € por KWh y 0,230 € por KWh, respectivamente. Esto se compara con una compra de energía de aproximadamente 0,0766 €. Otro beneficio es que las empresas eléctricas están obligadas a comprar la energía generada (Eduardo, 2014). Cuyas aplicaciones son la siguientes:

- Instalaciones en tejados, casas con conexiones a la red de distribución eléctrica, como terrazas: Se colocan sistemas modulares de fácil instalación en la superficie del techo.
- Plantas de producción: Son aplicaciones de tipo industrial que pueden implementarse en ubicaciones rurales escasamente pobladas o agregarse a techos considerables en áreas metropolitanas pobladas (como estacionamientos, espacios comerciales, etc.).

- Integración en edificios: Consiste en la sustitución de elementos arquitectónicos convencionales por nuevos elementos arquitectónicos que incluyen el elemento fotovoltaico, y que por tanto son generadores de energía (recubrimientos de fachadas, muros cortina, parasoles, pérgolas, etc.) (Eduardo, 2014).

**Figura 26:** Esquema Instalación Fotovoltaica Centralizada

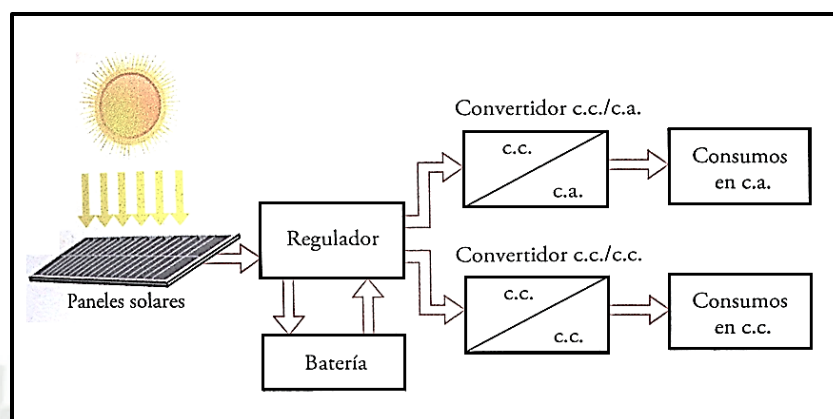


Nota: (Tobajas. 2019)

#### 2.8.5.4. Instalaciones aisladas a la red eléctrica:

Estos sistemas se utilizan principalmente donde no hay acceso a la red eléctrica y la instalación de un sistema fotovoltaico es más económica que tender una línea entre la red y el punto de consumo. La energía eléctrica generada se utiliza para autoconsumo. Las principales aplicaciones de los sistemas aislados son:

- Electrificación de viviendas y edificios, principalmente para iluminación y electrodomésticos de baja potencia.
- Alumbrado público.
- Aplicaciones agropecuarias y ganaderas.
- Bombeo y tratamiento de agua.
- Antenas de telefonía aisladas de la red.
- Señalización y comunicaciones (Eduardo, 2014).

**Figura 27:** Esquema de Instalación Fotovoltaica Aislada

Nota: (Tobajas, 2019)

## 2.9. PANELES FOTOVOLTAICOS

Se trata de un conjunto de células fotovoltaicas que se conectan en paralelo o en serie, y dependiendo del diseño de los paneles, convertir la energía solar en electricidad según la demanda establecida (Fernández, 2009).

Factores que influyen en el rendimiento y la eficiencia de los paneles fotovoltaicos:

**Material:** Se producen como películas delgadas o cristales. El silicio monocristalino y policristalino se encuentran entre los materiales más utilizados. Aunque su eficiencia es baja (menos del 20%), actualmente son la mejor opción para un sistema solar fotovoltaico debido a su menor costo en comparación con el arseniuro de galio (Gouws y Lukhwareni, 2012). Debido al diseño de su material, la tecnología de celdas fotovoltaicas tiende a producir de mayor tamaño, pero consistentemente con una proporción de menor espesor, lo que sugiere una ganancia en productividad para el funcionamiento de los paneles (Fernández, 2009).

**Ángulos de inclinación:** Es la inclinación de la superficie terrestre con respecto al panel solar. Esto sugiere una mejora en la obtención de energía solar; alternativamente, se puede utilizar un seguidor solar, que ajusta continuamente el grado de inclinación para captar la mayor cantidad de luz solar durante el día (Gouws y Lukhwareni, 2012).

### 2.9.1. Características de las Células Fotovoltaicas

Una mayor irradiación solar genera un aumento de voltaje y corriente, lo que eleva la temperatura y mejora el desempeño del panel (Gouws y Lukhwareni, 2012).

La instalación de paneles fotovoltaicos no está arraigada principalmente en factores regionales, a diferencia de otras fuentes de energía renovable como la eólica (Fernández, 2009).

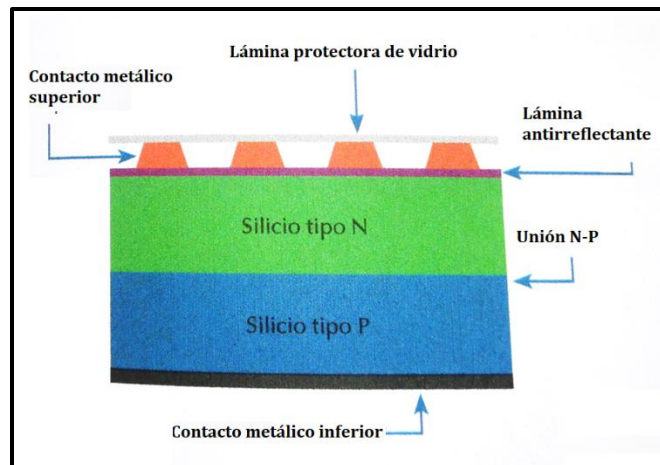
Las condiciones de prueba estándar (STC), un conjunto bien definido de circunstancias, se utilizan para categorizar los paneles fotovoltaicos. Contienen la temperatura de las células solares (30 °C) y la intensidad de la radiación (1 kW/m<sup>2</sup>). Los paneles se comprueban durante la fabricación en una sala llamada simulador flash. Este se compone de una lámpara de flash y el filtro de simulación de luz solar más preciso. El flash solo dura 50 ms, por lo que los paneles no se calientan demasiado. Esto permite medir las propiedades eléctricas del módulo a temperaturas cercanas a los 25 °C. (Clemente, 2014).

### 2.9.2. Célula Solar

Este es el bloque de construcción básico a partir del cual se fabrican todos los módulos fotovoltaicos. Una celda fotovoltaica típica tiene seis pulgadas de diámetro y solo seis gramos de peso. Las habilidades que pueden generar son, sin embargo, bastante débiles. Por ejemplo, un dispositivo como el descrito anteriormente podría producir solo 1 W de electricidad. Los paneles fotovoltaicos se crean conectándolos en configuraciones serie-paralelo para generar mayores cantidades de energía (Eduardo, 2014).

Está construido con materiales semiconductores, en su mayoría silicio ligeramente dopado con fósforo. Casi la mitad de los fotones de la radiación solar tienen una energía de 1,08 eV o más, lo que convierte al silicio en un material atractivo para absorber la radiación solar. En el silicio, se requiere una energía de 1,08 eV para liberar un electrón para crear corriente eléctrica (Eduardo, 2014).

Una celda solar es una unión p-n, como se ve en el diagrama adjunto, y su construcción es comparable a la de un diodo.

**Figura 28:** Componentes básicos celda solar fotovoltaica

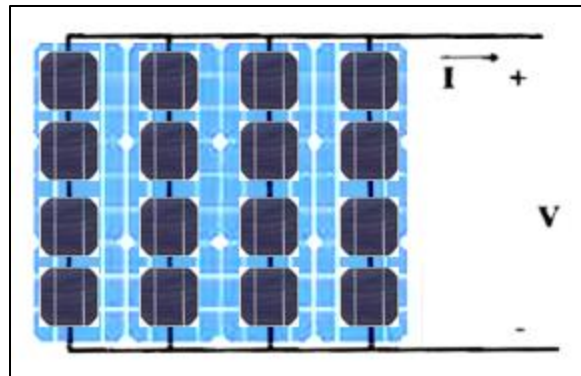
Nota: (Guerrero, 2019)

Una célula solar tiene una eficiencia baja; existen células con eficiencias entre 12 y 24%. Se están realizando investigaciones para aumentar la productividad y reducir los costos de producción. Las celdas esféricas están siendo desarrolladas por organizaciones como Southern California Edison y Texas Instruments. El objetivo es desarrollar células y fabricarlas en masa para bajar considerablemente los costos (Guerrero, 2019).

Según algunos datos, la tecnología fotovoltaica cuesta entre \$0.25 y \$0.30 por kilowatt-hora; con las celdas esféricas, se puede esperar que el costo se reduzca a la mitad. Debido a la baja eficiencia y potencia de las celdas individuales, para lograr aplicaciones prácticas, se interconectan para obtener paneles solares; estos paneles son vendidos por los fabricantes y suministrados a los diseñadores de sistemas solares. (Fernández, 2009).

### 2.9.3. Modelado del Panel Solar:

Para lograr las características adecuadas de tensión y corriente, es decir, para satisfacer la necesidad de potencia, se componen de varias celdas acopladas en combinaciones serie paralelo. Los paneles solares vienen sellados y constan de varias células conectadas entre sí, las cuales no están accesibles para modificación (Guerrero, 2019).

**Figura 29:** Conexiones internas panel solar de 16 células

Nota: Elaboración propia.

En la Figura 29 se puede ver un panel con 16 celdas. Se unieron entre sí para que haya cuatro filas conectadas en paralelo, con cuatro celdas en cada fila conectadas en serie. Podemos mejorar la capacidad de corriente de las celdas uniéndolas en paralelo, y podemos aumentar el voltaje que pueden producir conectándolas en serie. Para lograr buenas conexiones, es necesario que todas las células tengan las mismas características de voltaje-corriente, si bien es cierto que en la práctica esto es difícil de lograr. (Guerrero, 2019).

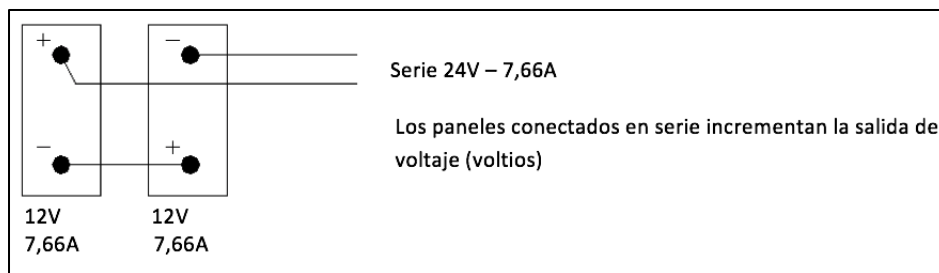
#### 2.9.4. Interconexión de Paneles

Para satisfacer la demanda de electricidad, es posible que sea necesario conectar muchos paneles. Cuando el voltaje de una bomba difiere del voltaje suministrado por el panel, debe vincular los dos de manera que el voltaje y la corriente resultantes sean los que requiere la bomba. La técnica es sencilla serie-paralelo hasta obtener los resultados deseados; la misma idea se aplica cuando se usan muchas resistencias para obtener un cierto valor de resistencia. Se pueden interconectar varios paneles de tal forma que las características resultantes sean iguales a interconectar todas las células de ambos paneles (Guerrero, 2019).

##### 2.9.4.1. Conexión de Módulos en Serie

Cuando dos paneles están conectados en serie, el voltaje aumenta, pero la corriente permanece constante. El voltaje de salida de los paneles debe cambiarse para alcanzar el punto de operación requerido para algunas cargas, que están diseñadas para operar en circunstancias nominales (Guerrero, 2019).

**Figura 30:** Conexión de módulos en serie

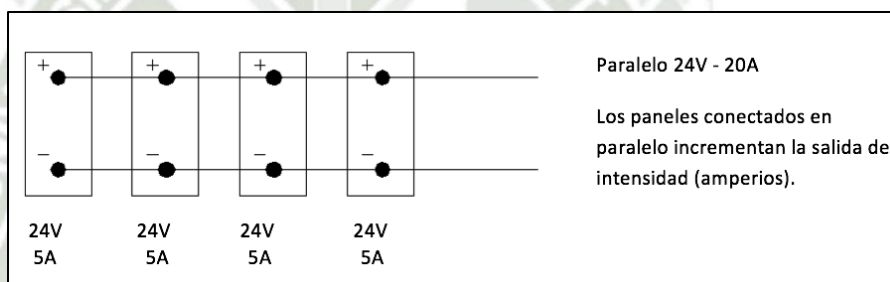


Nota: (Guerrero, 2019)

#### 2.9.4.2. Conexión de Módulos en Paralelo

El efecto de conectar paneles en paralelo es aumentar la corriente y mantener el voltaje constante (Guerrero, 2019).

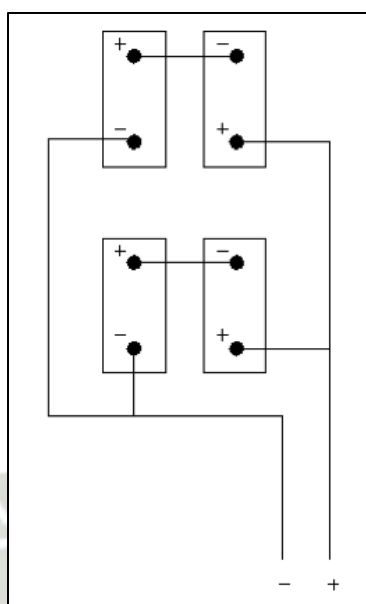
**Figura 31:** Conexión de módulos en paralelo



Nota: (Guerrero, 2019)

#### 2.9.4.3. Conexión de Módulos en Paralelo y Serie

El efecto de conectar paneles en paralelo y serie es aumentar la corriente y mantener el voltaje constante (Guerrero, 2019).

**Figura 32:** Conexión de módulos en paralelo y serie

Nota: (Guerrero, 2019)

#### 2.9.4.4. Conexiones Exteriores

La instalación mecánica del equipo también debe tenerse en cuenta al conectar muchos paneles entre sí. Los paneles tienen un marco de metal resistente que permite fijarlos a las bases. Las bases deben seleccionarse en función de los requisitos particulares del diseño. En algunos lugares, es importante ensamblar sobre bases de hierro porque hay demasiado viento, y si los paneles no están conectados a bases resistentes, el impacto del viento en la superficie del panel puede hacer que se rompan. La inclinación de cada panel debe ser uniforme. En otros casos, el montaje se lleva a cabo en "bastidores" móviles que pueden desplazarse para conseguir la máxima incidencia de radiación sobre la superficie del panel. No se recomienda invertir en este tipo de montaje para sistemas de bombeo ya que colocar los paneles en un ángulo cercano a la latitud del lugar dará un rendimiento satisfactorio.

Para concluir con esta sección, hay que hacer notar que los fabricantes de paneles fotovoltaicos dan una garantía promedio de 20 años. Esta se basa en cálculos de envejecimiento que se basan en una larga experiencia práctica, pruebas de simulación y verificación constante de las técnicas de manufactura utilizadas. (Guerrero, 2019).

#### 2.9.4.5. Vida Útil de los Paneles Solares Fotovoltaicos

Los mejores productores de paneles solares del mundo, incluidos LG Energy, SunPower, Winaico, REC, Trina Solar, Hanwha Q cells, Jinko Solar, Canadian Solar,

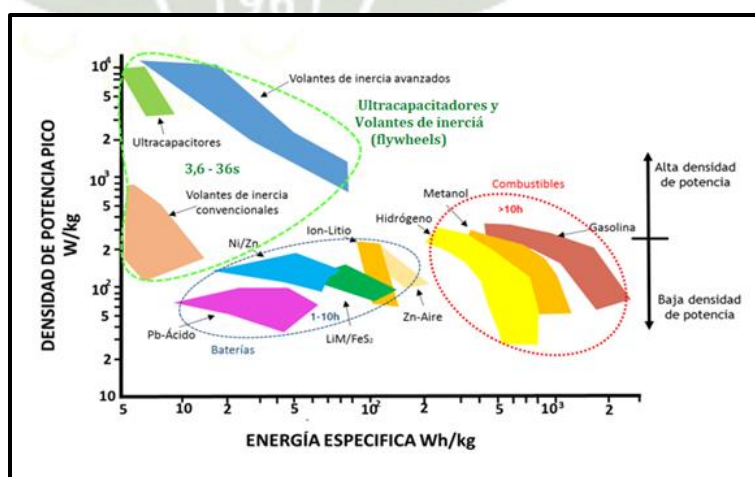
Seraphin y JA Solarde, invierten mucho tiempo y energía para hacer que sus productos sean duraderos. porque necesitan soportar temperaturas extremas, así como las inclemencias del tiempo. Su esperanza de vida es limitada, por lo que eventualmente envejecerán.

Con respecto a la vida útil original y estándar proporcionada por los principales fabricantes de paneles fotovoltaicos, la regla general sugiere que la vida útil de un panel solar es de 25 años con una eficiencia de generación mínima del 80%, pero fácilmente puede llegar a los 30 años. uso con el mantenimiento de rutina apropiado.

## 2.10. BATERÍAS O ACUMULADORES

El propósito de una batería solar es acumular la energía eléctrica generada por paneles solares fotovoltaicos para que pueda ser utilizada en la noche o en días nublados. Las baterías pueden ser el elemento más caro y frágil del sistema. El uso de baterías también permite proporcionar una corriente superior a la que puede suministrar el panel fotovoltaico durante el funcionamiento. Las baterías suministran corriente continua a 6, 12, 24 o 48V. El acumulador es la celda que almacena energía a través de un proceso electroquímico. Una disposición en serie de 6 celdas de plomo-ácido con un voltaje de 2 voltios cada una se denomina batería de 12 voltios. Las baterías conocidas como monobloques están construidas con muchas celdas de 2V dispuestas en un solo bloque. Las baterías estacionarias, también conocidas como acumuladores solares, son baterías compuestas por elementos de 2 voltios conectados en serie hasta alcanzar la tensión de trabajo deseada para la instalación solar. (Méndez & Cuervo, 2012).

**Figura 33:** Diagrama de Ragone Almacenamiento de Energía



Nota: [www.Rutainmedellin.org](http://www.Rutainmedellin.org)

Cuando la necesidad de energía del sistema eléctrico es mayor que la que pueden suministrar los paneles solares, la energía adicional producida por los paneles se utiliza para cargar las baterías.

La batería convierte la energía eléctrica de los módulos solares en energía química. Cuando dos materiales distintos, como los de las placas positiva y negativa, se sumergen en el electrolito, tiene lugar una reacción que se utiliza para crear esta conversión, y la electricidad fluye desde la batería en cuanto hay un circuito conectado entre los polos positivo y negativo. El electrolito es una solución de ácido sulfúrico y agua. A medida que la batería se va descargando, la composición del plomo de las placas es más parecida. En este momento, disminuye la densidad del ácido y la tensión entre bornes disminuye. (Méndez & Cuervo, 2012).

La capacidad de someterse a un proceso de carga y descarga constante se conoce como resistencia a los ciclos de una batería.

Respecto a las clases de batería, existen dos según su ciclo:

- **Baterías de Ciclo Bajo:** Las baterías de ciclo bajo están diseñadas para entregar una cierta cantidad de corriente durante un corto período de tiempo y soportar sobrecargas menores sin pérdida de electrolito, como es el caso de los vehículos. Sin embargo, estas baterías no pueden manejar descargas severas. Su vida se reduce significativamente si se descargan por debajo del 20% con frecuencia. Por lo tanto, estas baterías no son una buena elección para sistemas solares fotovoltaicos (Méndez & Cuervo, 2012).
- **Baterías de Ciclo Profundo:** Están diseñadas para ser descargadas repetidamente hasta un 80% de su capacidad. Esta característica las convierte en la mejor opción para sistemas de energía solar (Méndez & Cuervo, 2012).

## 2.11. INVERSOR

Los inversores solares fotovoltaicos son dispositivos encargados de convertir la energía generada en el sistema fotovoltaico, que se transmite en forma de corriente continua, en corriente alterna, para que los electrodomésticos y otros equipos eléctricos puedan funcionar correctamente. (Méndez & Cuervo, 2012).

### 2.11.1. Tipos de Inversores Solares

Entre los inversores solares, existen inversores para sistemas conectados a red e inversores para sistemas fotovoltaicos aislados. Dentro de estas categorías se puede encontrar diferentes tecnologías dependiendo de las características específicas de la instalación (Tobajas, 2018). Por lo tanto, se deben considerar los siguientes parámetros antes de elegir la tecnología para convertir la energía de los paneles:

**Potencia Instalada:** la potencia de salida del inversor determinará la potencia máxima que se puede tener instalada en la vivienda.

**Ubicación de Nuestros Paneles Solares:** Cuando los módulos están colocados en diferentes lugares o hay sombra, significa que la potencia generada por algunos módulos se reduce en comparación con otros, para este caso se debe buscar un inversor que te permita obtener energía para cada panel por separado.

**Similitud entre paneles:** Si tenemos diferentes tipos de paneles o unos son más viejos que otros, no podremos utilizar inversores que limiten la producción de la instalación al panel con menor rendimiento. Evitaremos los inversores de cadena (string).

**Ampliaciones de la Instalación:** En caso de expandir la instalación a futuro, se debe elegir un tipo de inversor sin límite de potencia o elegir un modelo de inversor cuya potencia de salida máxima pueda satisfacer las necesidades futuras.

Los inversores grandes utilizan materiales de electrónica de potencia y pueden llegar a los 25 años de vida útil, mediante el cambio de algunos componentes (Tobajas, 2018).

### 2.12. REGULADOR DE CARGA

El regulador de carga de la instalación, a veces denominado controlador de carga, es la pieza encargada de dirigir y regular el flujo de energía entre la batería y los módulos solares fotovoltaicos. En otras palabras, cuando las baterías están recibiendo energía fotovoltaica de los paneles solares del sistema fotovoltaico, el regulador de carga evita sobrecargas y sobredescargas de las baterías.

La mayoría de los controladores de carga tiene un ciclo de carga de 3 etapas:

Primera etapa: En esta etapa, el voltaje de carga se va elevando gradualmente hasta llegar a un tope (este valor de tensión depende de cada batería), mientras que la batería se encuentra en el consumo máximo de corriente eléctrica.

Segunda Etapa: Durante esta, la tensión se mantiene por un tiempo determinado de 1 hora aproximadamente, y posteriormente la corriente empieza a disminuir gradualmente, a medida que la batería se carga. (Tobajas, 2018)

Tercera etapa: En esta última, el voltaje baja de nivel, y se mantiene un mínimo flujo de energía, hasta que se requiera volver a iniciar con la primera etapa.

Sin embargo, dependiendo del sistema y del tipo de controlador que se utilice para este, las etapas pueden tener una que otra variación.

Existen principalmente dos tipos de controladores, los MPPT (Maximum Power Point Tracking, o seguidor del punto de máxima potencia) y los PWM (Pulse-Width Modulation, modulación por anchura de pulsos). En resumen, El MPPT se encarga de trabajar en la entrada de los paneles fotovoltaicos a la tensión más conveniente, para sacar la máxima potencia o para limitar la potencia en fase de absorción y flotación y el PWM actúa como un interruptor entre los paneles solares y la batería. (Tobajas, 2018)

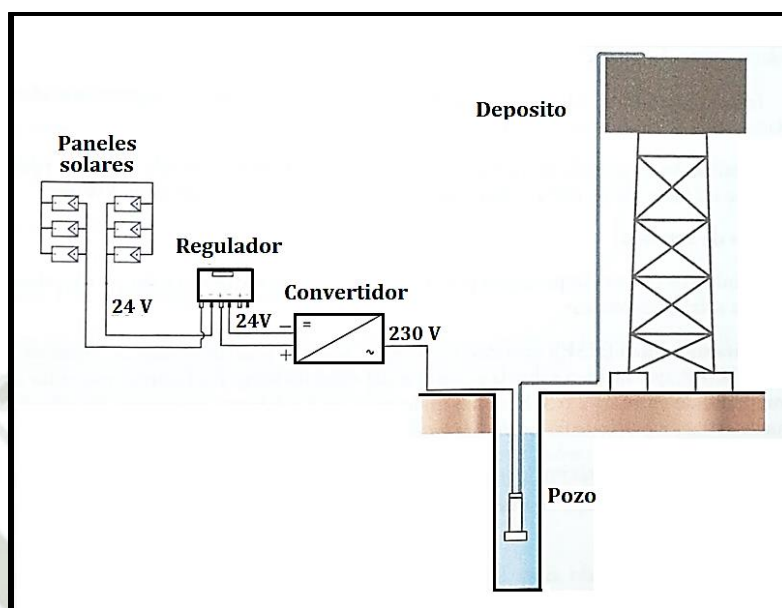
### **2.13. SISTEMAS DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICOS**

La energía solar usada en el bombeo de agua se torna en una alternativa viable poder llevar agua a lugares donde sería muy difícil o imposible obtener energía a través de las líneas eléctricas. Una vez que se completa el estudio de factibilidad, se puede demostrar que para algunas aplicaciones es más económico instalar un sistema solar fotovoltaico que pagar a la empresa que brinda el servicio de electricidad para extender la línea de transmisión. Los sistemas basados en procesos fotovoltaicos han demostrado ser muy fiables y más económicos que otras alternativas en una amplia variedad de aplicaciones (González, 2010).

La inversión inicial se considera alta, pero el poco mantenimiento y la confiabilidad hacen que estos sistemas sean viables y crezcan en popularidad en casi todos los países. Las bombas solares son particularmente adecuadas para requisitos moderados de volumen de agua. Todo lo que se requiere para instalar dicho sistema es un sitio con suficiente luz solar (para satisfacer la demanda) y una fuente de agua. Esto suena simple, pero no hay muchos porque los sistemas solares son una tecnología relativamente nueva no muy conocida. (González, 2010).

Un sistema fotovoltaico (FV) de bombeo de agua consta, en general, de un generador FV, un sistema motor/bomba, un sistema de acondicionamiento de potencia (opcional) de acople entre el generador FV y el motor, un sistema de acumulación (opcional), un pozo y un sistema de tuberías. (González, 2010).

**Figura 34:** Típico sistema bombeo de agua por energía solar fotovoltaico.



Nota: (Guerrero, 2019)

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

- Las condiciones hidráulicas.
- La profundidad de nivel del agua en el pozo bajo la superficie.
- La altura estática de elevación del agua por encima de la superficie del suelo (por ejemplo, hasta un depósito de almacenamiento).
- Las pérdidas adicionales de presión en tuberías y accesorios (altura dinámica).
- La energía suministrada por el generador fotovoltaico a lo largo del día, determinada por la radiación solar y las condiciones climáticas (Abella y Romero, 2005).

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

Los componentes esenciales en toda instalación son:

- Subsistema de generación o generador fotovoltaico.
- Subsistema motor-bomba.
- Subsistema de acondicionamiento de potencia.
- Subsistema de acumulación y distribución (Abella y Romero, 2005).

A continuación, se describen cada uno de estos elementos:

### **2.13.1. Subsistema de generación:**

Un generador fotovoltaico consiste en un conjunto de módulos (formado a su vez por células solares), conectados en serie y/o paralelo, que transforman la energía solar incidente en energía eléctrica (Abella y Romero, 2005).

### **2.13.2. Subsistema motor-bomba:**

Un motor acciona una bomba de agua como parte del subsistema motor-bomba. Los motores pueden ser de corriente continua (CC) o de corriente alterna (CA) en general. Las bombas centrífugas o de desplazamiento positivo están disponibles. Por su situación en el pozo los sistemas motor-bomba pueden ser sumergibles, flotantes o de superficie (Abella y Romero, 2005).

### **2.13.3. Subsistema de acondicionamiento de potencia:**

Un generador solar tiene una característica I-V a una temperatura y nivel de irradiación específicos. La carga eléctrica debe colocarse para que su propia característica I-V cruce la matriz FV lo más cerca posible del punto de máxima potencia para maximizar la transferencia de energía. El propósito del circuito de acondicionamiento de energía es hacer funcionar la matriz fotovoltaica a su máxima potencia mientras suministra al motor y la bomba la mejor combinación posible de voltaje y corriente. Los dispositivos de acondicionamiento de potencia pueden ser:

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

Los dispositivos de acondicionamiento de potencia, que se colocan entre el generador y la motobomba y siempre se requieren en el caso de bombas accionadas por motores de CA (inversores), tienen como objetivo seguir el punto de máxima potencia para transmitir la máxima energía al motor. Este equipo generalmente genera pérdidas de energía del 4 % al 7 % debido al autoconsumo y el rendimiento, los costos adicionales y las posibles fuentes de fallas. Como resultado, su uso solo es apropiado si el aumento en la energía hidráulica de salida es significativamente mayor. El aumento del coste y la disminución de la fiabilidad se ven compensados por el aumento del rendimiento total del sistema (Abella y Romero, 2005).

#### 2.13.4. Subsistema de acumulación y distribución:

Salvo que se instalen en el sistema acumuladores electroquímicos, baterías o depósitos de almacenamiento de agua, un sistema de bombeo accionado por energía solar fotovoltaica sólo proporciona agua durante las horas de sol en las que se supera el umbral de irradiación. Las baterías pueden mejorar el acoplamiento generador-motor y almacenar energía solar adicional para usarla más adelante cuando sea necesario bombear más agua. En general, no se recomienda agregar baterías al sistema porque disminuyen su confiabilidad, aumentan el costo del sistema de bombeo y requieren más mantenimiento. Sin embargo, en algunas circunstancias, puede ser ventajoso porque hace un mejor uso de la energía producida y el motor funciona en sus condiciones nominales.

Los tanques de almacenamiento de agua son otra opción para almacenar energía. Estos depósitos, dependiendo de su tamaño, podrán suplir las carencias de agua que se produzcan cuando el caudal bombeado sea insuficiente para cubrir el consumo requerido. Es crucial agregar un tanque de almacenamiento en las aplicaciones de suministro de agua potable para asegurar varios días de independencia. Se debe tener en cuenta la relación entre el diámetro y la altura del tanque para evitar que la altura manométrica aumente debido a la inclusión del tanque. Además, debe cubrirse para reducir las pérdidas por evaporación y la entrada de suciedad. Si se opta por el uso de un depósito de almacenamiento de agua se puede disminuir la potencia pico del generador y del grupo motor-bomba hasta un punto en el que el caudal bombeado más el volumen de agua almacenado no sean suficientes para satisfacer la demanda de agua (Abella y Romero, 2005).

Ventajas:

- El área de América Central dispone de abundante radiación solar.
- La tecnología fotovoltaica permite soluciones modulares y autónomas.
- La operación de los sistemas fotovoltaicos es amigable con el medio ambiente.
- Los sistemas tienen una vida útil larga (más de 20 años).
- El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es sencillo y tiene costos muy bajos.
- Las comunidades rurales ahora pueden permitirse sistemas fotovoltaicos debido a las reducciones de precios, y se anticipa que esta tendencia continuará.

- La tecnología de los dispositivos y sistemas solares ha avanzado hasta el punto de que ahora se puede utilizar para abordar de manera confiable los problemas energéticos que enfrentan nuestras naciones.
- Actualmente existen proveedores de equipos solares que ofrecen sus bienes y servicios de instalación en las siete naciones centroamericanas.
- Los sistemas solares individuales se pueden instalar rápida y fácilmente utilizando solo unas pocas herramientas y equipos de prueba simples. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2002).

Desventajas:

- La inversión inicial es alta en relación con la capacidad de pago de la mayoría de los hogares rurales.
- Solo se crea suficiente energía para satisfacer las demandas mínimas de energía.
- La disponibilidad de energía es variable y depende de las condiciones atmosféricas (PNUD, 2002).

#### **2.14. ALTERNATIVA CON BOMBA SUPERFICIAL MULTITETAPA**

Una bomba sumergible es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido, al estar sumergida en el fluido, haciéndola más eficiente.

Respecto al uso de una bomba multietapa de superficie, en comparativa con una sumergible, mueve fluidos a una menor distancia utilizando la misma potencia que una bomba sumergible, con el mismo caudal requerido.

Siendo el caso de un sistema de bombeo fotovoltaico, es necesario tener muy en cuenta la potencia disponible.

Además de lo antes mencionado, según la guía para sistemas de bombeo (Cafaggi et al., 2021), las ventajas y desventajas de las bombas sumergibles son:

Ventajas:

- Tienen un diseño pequeño con sellos y empaques herméticos para mantener el líquido fuera y proteger las partes internas.
- Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena.

- Son más eficientes porque no necesitan gastar mucha energía en el movimiento del agua.
- Pueden utilizar el agua como lubricante.
- Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA.
- Manejan flujos altos.
- Operan a cargas dinámicas grandes.

Desventajas:

- En relación con la carga dinámica total, tienen un rango de eficiencia limitado.
- Se dañan si trabajan en seco.
- Deben extraerse para darles mantenimiento.
- Instalarlas en fuentes corrosivas acelera su desgaste.

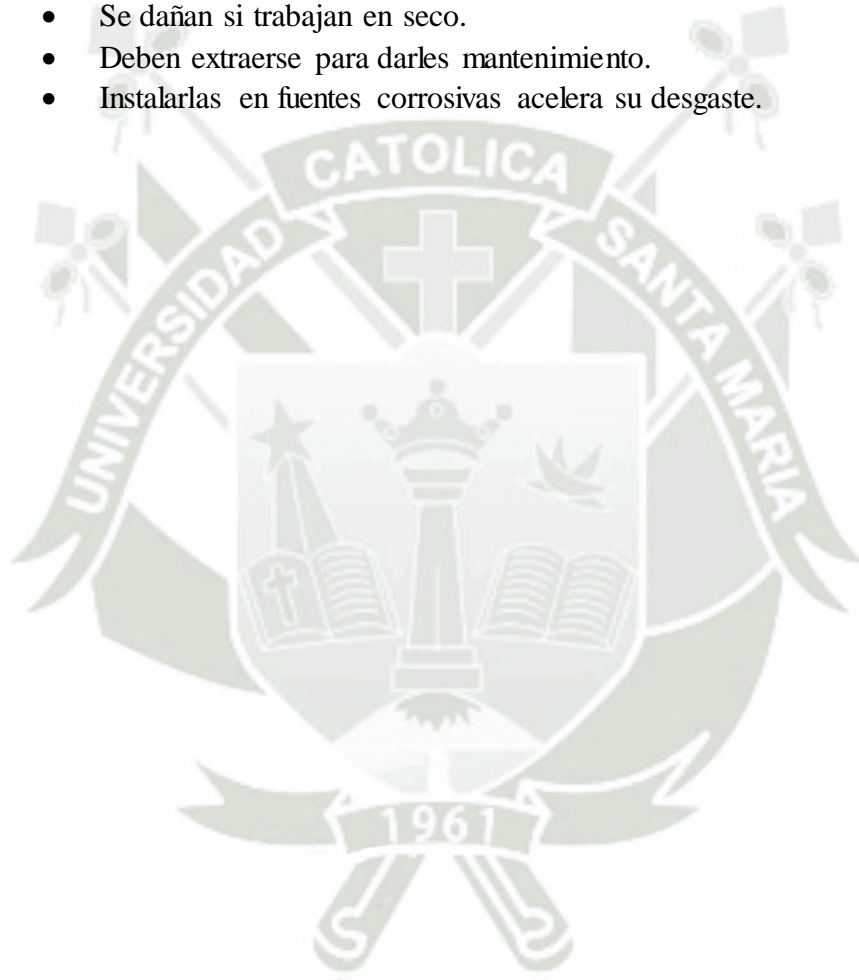
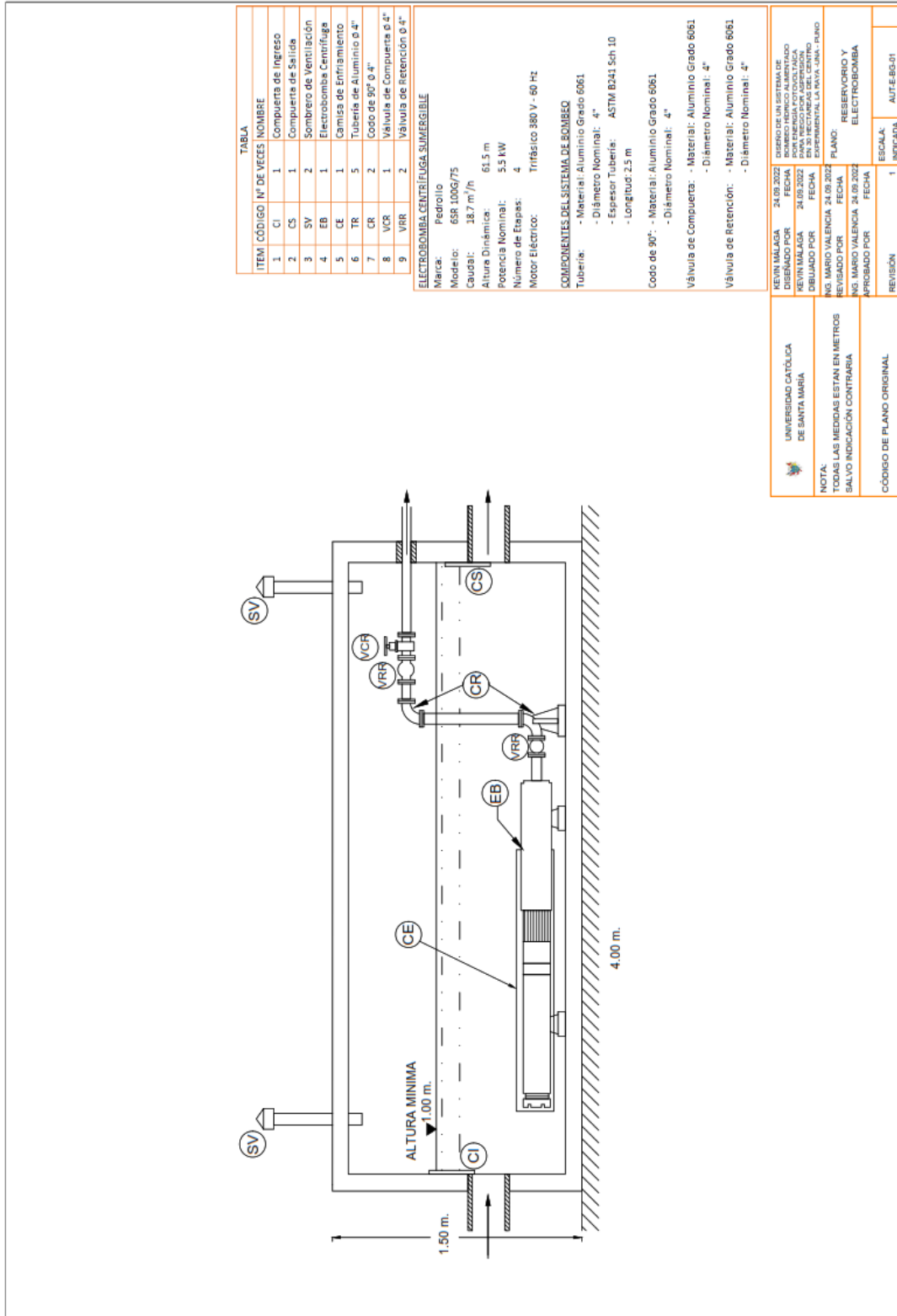
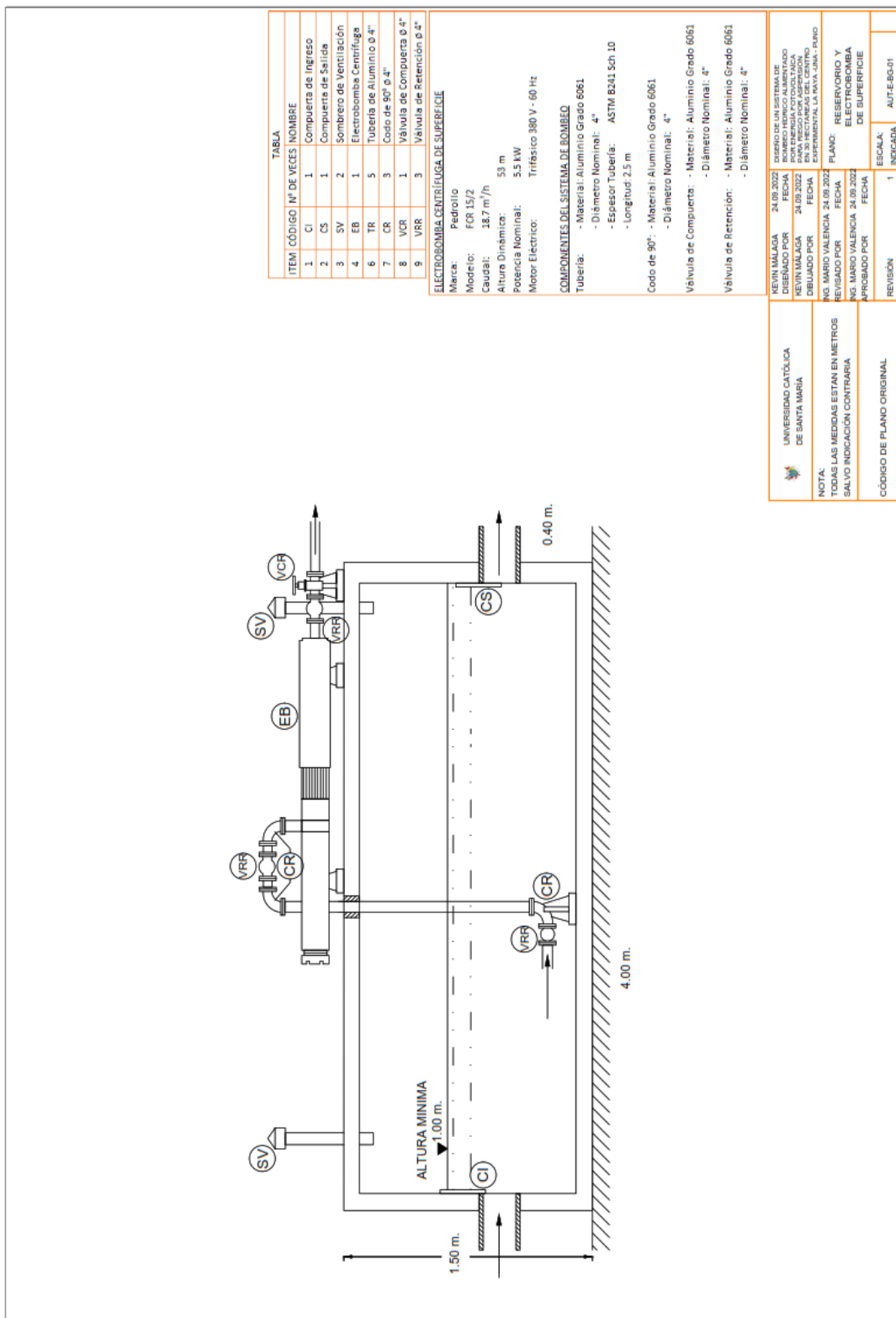


Figura 35: Reservorio con alternativa de bomba multietapa sumergible Pedrollo 6SR



Nota: Elaboración propia

Figura 36: Reservorio con alternativa de bomba multietapa de superficie Pedrollo FCR



Nota: Elaboración propia

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DEL PROYECTO

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

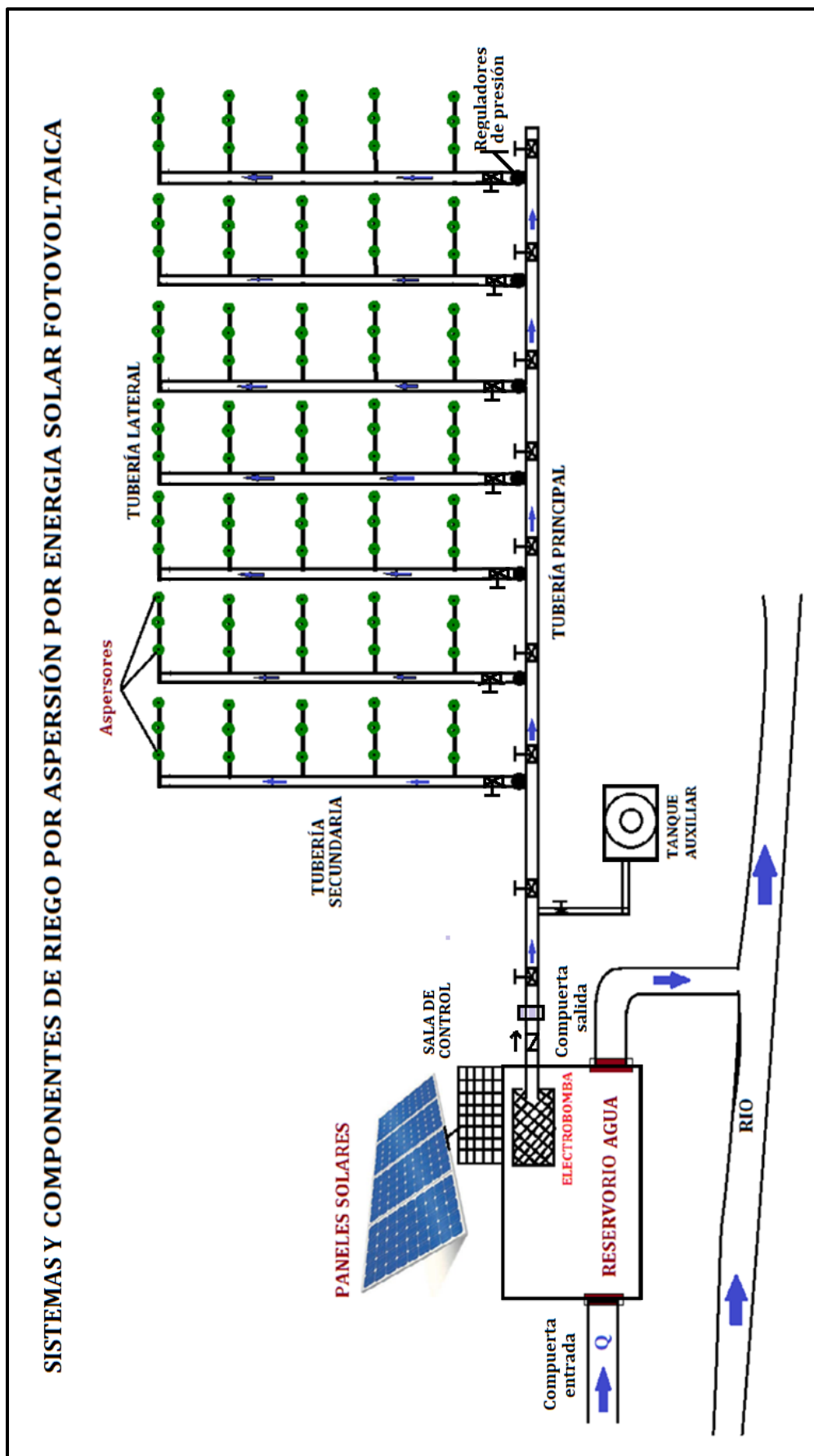
Diseño del Sistema de Bombeo Hídrico alimentado por energía Fotovoltaica para riego por aspersión en 30 hectáreas del Centro Experimental “La Raya”; en el cual, el agua es el elemento vital en la producción de pastos cultivados para la alimentación sustentable del ganado. Para un buen dimensionado, es necesario seguir unos pasos, que por general se resumen en la evaluación de energía hidráulica necesaria para satisfacer la demanda, análisis del recurso fotovoltaico y definición de los equipos necesarios. (Jenkins, 2014). El centro experimental cuenta con la disponibilidad de un río adyacente a las áreas cultivables, pero carece de las tecnologías para su uso eficiente, por esta necesidad se plantea el diseño de un sistema de abastecimiento del agua en condiciones económicas sostenibles, que consiste en la selección de bombas centrífugas, sistema de succión e impulsión de tuberías, válvulas y accesorios; para su operación la energía será provista mediante un sistema de energía solar fotovoltaica, con la selección de paneles solares, su interconexión, inversores y automatización del sistema; y con ello reducir el impacto ambiental por el consumo de energías convencionales.

#### 3.2. SISTEMAS DEL PROYECTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Los sistemas del proyecto de abastecimiento de agua para riego por energía solar fotovoltaica para el Centro Experimental La Raya como se muestra en la Figura 35 son:

1. Sistema de energía solar fotovoltaica
  - a. Paneles solares fotovoltaicos.
  - b. Subsistema de bombeo hidráulico.
  - c. Inversor y variador de frecuencia.
  - d. Estructura para paneles solares.
  - e. Componentes eléctricos y cableado.
2. Sistema de distribución de riego por aspersión.
3. Tanque auxiliar de agua

**Figura 37:** Sistemas y componentes riego por aspersión energía fotovoltaica Centro Experimental La Raya



Nota: Elaboración propia

### 3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO HIDRÁULICO

En el diseño de sistema de bombeo hidráulico se considera dos bombas centrifugas de multietapa, donde una estará activa y al otra en stand by para evitar una paralización del sistema de bombeo para el riego por aspersión. Según el estudio hídrico realizado en el primer capítulo, de la Tabla 5, la demanda hídrica total para las 30 hectáreas es de 614.30 m<sup>3</sup>/día. Se tiene considerado realizar el riego en los siete días de la semana, debido a la rotación de pastoreo de los animales, es decir realizar el riego de 4.29 hectáreas por día y se debe considerar las horas de sol diarias pico por irradiación solar optima de 1000 W/m<sup>2</sup>.

El cual se realizará en un tiempo de seis horas, en el turno de 09:00-13:45 horas, que realizando los cálculos correspondientes es de 18.49 m<sup>3</sup>/h; las bombas seleccionadas son del modelo 6SR100G/75 de la marca Pedrollo, la tubería de succión y carga tendrán el mismo diámetro, la altura de succión es al mismo nivel del eje de la bomba y la altura estática de 52 m, la tubería es de aluminio y tendrá una longitud de 871 m, a lo largo de ella están distribuidos 15 accesorios como se muestra en los planos.

Para la altura estática se considera la presión mínima de trabajo para los aspersores:

- Baja presión:  $P < 2.5 \text{ kg/cm}^2$ , radios de alcance hasta 12 metros
- Media presión:  $2.5 \text{ Kg/cm}^2 < P < 4 \text{ Kg/cm}^2$ , radios de alcance entre 12 y 25 metros.
- Alta presión:  $P > 4 \text{ Kg/cm}^2$ , radios de alcance de hasta 60 metros. Para aspersores de impacto o tipo turbina (tipo cañón).

Para las horas solares pico HSP, se tienen referencias mostradas en las Tablas solares de la Región de Puno de los meses de menor radiación solar, para cada una de ellas se realizarán los cálculos y se analizará si la variación genera cambios significativos en el resultado final.

Ateniendo un valor de horas solar pico HSP = 4.75 horas.

Parámetros de Diseño del Sistema de Bombeo de Agua

#### Generalidades

- $H_{\text{Estática}} : 50 \text{ m}$
- Tiempo bombeo: 9:00a.m. – 13:45 a.m. = 4.75 horas
- Factor de planta:  $\frac{4.75 \text{ hrs} * 365 \text{ dias}}{8760 \text{ hrs}} = 0.198$
- $Q = 18.49 \text{ m}^3/h$
- Costo KWh: US\$ 0.165

- Interés anual (i): 12%
- Vida útil: 20 años
- Peso específico del material ( $\gamma_{\text{Aluminio}}$ ):  $2700 \frac{\text{Kg-f}}{\text{m}^3}$
- Esfuerzo permisible del acero ( $S_{\text{Aluminio}}$ ):  $8\ 000\ 000 \frac{\text{Kg-f}}{\text{m}^2}$
- Costo de Tubería:  $5 \frac{\text{US\$}}{\text{Kg-f}}$
- Factor de fricción (f): 0.018
- Pérdida de accesorios (K) (Tabla 6):
  - Valvula de compuerta = 0.12, Cantidad = 9
  - Filtro = 4.5, Cantidad = 1
  - Codo 90° = 0.45, Cantidad = 4
  - Empalme T = 2.0, Cantidad = 6
  - Valvula de retención/check = 9.0, Cantidad = 1
  - Filtro = 0.12, Cantidad = 1
  - Uniones roscadas = 0.08, Cantidad = 42
  - Codo 45° = 0.40, Cantidad = 4
  - Reductor de presión = 2.5; Cantidad = 1
- Eficiencia del motor eléctrico: 95% (Anexo 6)
- Determinación del Caudal:

$$Q = 18.49 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} = 0.00514 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### 3.3.1.1. Cálculo del costo anual de tubería

#### a. Espesor de la tubería:

Esta expresión permite obtener el espesor de la tubería al 50% por golpe de ariete.

$$e = \frac{1.5 * P * D}{2 * S} \Rightarrow e = \frac{1.5 * \gamma_{\text{H}_2\text{O}} * H * D}{2 * S}$$

#### b. Peso de la tubería:

Con la expresión permite obtener el peso de tubería.

$$P_{\text{Tubería}} = \pi * D * e * L * \gamma_{\text{Acero}}$$

$$P_{\text{Tubería}} = \frac{\pi * 1.5 * D^2 * \gamma_{\text{H}_2\text{O}} * H * L * \gamma_{\text{Aluminio}}}{2 * S}$$

$$P_{\text{Tub.}} = \frac{\pi * 1.5 * D^2 * 1000 * H * L * 2700}{2 * S}$$

$$P_{\text{Tub.}} = \frac{6361725.124 * D^2 * H * L}{S}$$

**c. Costo anualizado de tubería:**

Con la siguiente permite anualizar el costo de la tubería.

$$a = \frac{i*(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \Rightarrow a = \frac{0.12*(1+0.12)^{15}}{(1+0.12)^{15} - 1} \Rightarrow a = 0.146824$$

$$S_T = P_{\text{Tubería}} * a * \text{Costo}_{\text{Tub. Unitaria}}$$

$$S_T = \frac{6361725.124 * D^2 * H * L}{S} \text{ Kg} * \frac{C * \text{US\$}}{\text{Kg}} * 0.146824 \left(\frac{1}{\text{Año}}\right)$$

$$S_T = \frac{934053.9295 * D^2 * H * L * C}{S} * \frac{\text{US\$}}{\text{Año}}$$

**3.3.1.2. Cálculo del costo anual de energía perdida:**

**a. altura de pérdidas hidráulicas:**

$$H_p = \left( f \frac{L}{D} + \Sigma K + f * \frac{\Sigma L_{eq}}{D} \right) * \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * D^4 * g}$$

$$H_p = 0.040 * \frac{L}{D} * \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * D^4 * g} = 0.0033051 * \frac{L * Q^2}{D^5}$$

**b. Potencia de pérdidas hidráulicas:**

Para sistemas de bombeo o hidráulicos

$$P_{\text{PERDIDA}} = \frac{\gamma * Q * H_p}{102 * \eta}$$

$$P_{\text{PERDIDA}} = \frac{1000 * Q * 0.0033051 * \frac{L * Q^2}{D^5}}{102 * 0.75}$$

$$P_{\text{PERDIDA}} = 0.04320392157 * \frac{L * Q^3}{D^5} \text{ KW}$$

**c. Pérdida de energía hidráulica al año:**

$$E_{\text{PÉRDIDA}} = \text{Potencia} * \text{Tiempo operacion al año} * \text{F. P.}$$

$$\text{F. P.} = \text{Factor de Planta} = \frac{\text{Producción Energía al Año}}{\text{Prod. Energía Instalada al Año}}$$

$$E_{PÉRDIDA} = 0.04320392157 * \frac{L * Q^3}{D^5} * 8760 * 0.198 \left( \frac{\text{KWh}}{\text{Año}} \right)$$

$$E_{PÉRDIDA} = 74.93633788 * \frac{L * Q^3}{D^5} \left( \frac{\text{KWh}}{\text{Año}} \right)$$

**d. Costo de energía pérdida anual:**

$$S_E = P_{PÉRDIDA} * \text{Costo de Energía Unitaria}$$

$$\text{Costo Energía Seal} = E \frac{\text{US\$}}{\text{KW} - \text{HR}}$$

$$S_E = 74.93633788 * \frac{L * Q^3}{D^5} \left( \frac{\text{KWh}}{\text{Año}} \right) * E \frac{\text{US\$}}{\text{KWh}}$$

$$S_E = 74.93633788 * \frac{L * Q^3 * E \text{ US\$}}{D^5 \text{ Año}}$$

Luego:

$$S_{\text{Total}} = S_T + S_E$$

Reemplazando

$$S_{\text{Total}} = 934053.9295 * \frac{D^2 * H * L * C}{S} + 74.93633788 * \frac{L * Q^3 * E}{D^5}$$

Derivamos respecto al diámetro:

$$\frac{dS_{\text{Total}}}{dD} = 1868107.859 * \frac{D * H * L * C}{S} + 74.93633788 * (-5)$$

$$* \frac{L * Q^3 * E}{D^6} = 0$$

$$\frac{dS_{\text{Total}}}{dD} = 1868107.859 * \frac{D^7 * H * C}{S} - 374.6816894 * Q^3 * E = 0$$

$$D^7 = \frac{374.6816894}{1868107.859} * \frac{Q^3 * E * S}{H * C}$$

$$D = \sqrt[7]{0.000200567482 * \frac{Q^3 * E * S}{H * C}}$$

Reemplazamos los datos:

Primera Iteración

$$Q = 0.00514 \frac{\text{m}^3}{\text{S}}$$

$$H = 60 \text{ m}$$

$$S = 8000000 \text{ Kg/m}^2$$

$$C = 5 \text{ US\$/Kg}$$

$$E = 0.165 \text{ US\$/KWh}$$

$$D = \sqrt[7]{0.000200567482 * \frac{0.00514^3 * 0.165 * 8000000}{60 * 5}}$$

$$D = 0.103 \text{ m} = 4.04 \text{ pulg}$$

Segunda Iteración

$$H_B = H + H_P = 50 \text{ m} + 0.0033051 * \frac{250 * 0.00514^2}{0.103^5} \text{ m}$$

$$H_B = 51.88 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[7]{0.000200567482 * \frac{0.00514^3 * 0.165 * 8000000}{51.88 * 5}}$$

$$D = 0.104 \text{ m} = 4.10 \text{ pulg}$$

### 3.3.1.3. Justificación

Se utilizarán tuberías de aluminio de tipo extruido y de uniones roscadas; con dos tipos de diámetros, tubería principal de diámetro nominal de 4 pulgadas y tubería del tramo secundario de 3 pulgadas; lo común entre estas dos tuberías son los diámetros normalizados. Debido a que son tuberías sin costura, con tratamiento mecánico de extruido en frío, le reduce el factor de fricción y soportan altas presiones. Entonces se usará:

$$D = 4 \text{ pulg} = 0.102 \text{ m, tubería principal}$$

$$D = 3 \text{ pulg} = 0.0762 \text{ m, tubería secundaria}$$

Cálculo del punto de funcionamiento a partir de la curva del sistema de bombeo.

De la Tabla 6, se obtuvo los valores de factores K, debido a pérdidas secundarias

$\Sigma K =$  Válvula Check + Filtro + Válvula de Compuerta + Codos de 90° + Codo 45° + Tees + Regulador de presión + Reducción + Uniones.

Datos: Aluminio:  $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.038mm}{102mm} = 0.00037$

$$N^{\circ} R_e = \frac{\rho * V * D}{\mu} = \frac{1000 * 0.63 * 0.102}{1 * 10^{-3}} = 64260$$

Aluminio:  $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.038mm}{76mm} = 0.0005$

$$N^{\circ} R_e = \frac{\rho * V * D}{\mu} = \frac{1000 * 1.63 * 0.0762}{1 * 10^{-3}} = 124206$$

- Factor de fricción:  $f=0.0212$  (Diagrama de Moody) para tubería de 4 Pulgadas

- Factor de fricción:  $f=0.0191$  (Diagrama de Moody) para tubería de 3 Pulgadas

**Tabla 10:** Factores de pérdida de accesorios y válvulas

Tipo	Cantidad	K (Factor de Fricción) D= 4 pulgadas
Válvula de Check	01	9.00
Válvula de Compuerta	09	0.50
Codos Estándar de 90°	04	0.24
Reducción de 4" a 3"	01	0.38
Filtro	01	4.5
Codos Estándar de 45°	04	0.45
Tee Estándar – Flujo en ramal	06	0.90
Uniones Roscadas	42	0.08
Juntas de Dilatación	01	0.14
Regulador de presión	01	2.5

Fuente: (Cengel y Cimbala, 2018)

$$\Sigma K = 9.0 + 9 * 0.50 + 4 * 0.24 + 1 * 4.5 + 6 * 0.90 + 42 * 0.08 + 1 * 0.14 + 1 * 2.5 + 1 * 0.38 = 30.74$$

Hallando la curva del sistema.

$$H_B = (Z_2 - Z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \left( f * \frac{L}{D} + \Sigma K + f * \frac{L_{eq}}{D} \right) * \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * D^4 * g}$$

$$H_B = 50m + \left( f * \frac{L}{D} + \Sigma K + f * \frac{L_{eq}}{D} \right) * \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * D^4 * g}$$

$$H_B = 50\text{m} + \left(0.0212 * \frac{871\text{ m}}{0.102\text{ m}} + 30.74\right) * \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * (0.102\text{m})^4 * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} + \left(0.0207 * \frac{405\text{ m}}{0.0762\text{ m}}\right) * \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * (0.0762\text{m})^4 * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$H_B = 50\text{m} + 410\,136.59 * Q^2 \Rightarrow \text{Curva del Sistema}$$

Se procedió a tabular datos de la altura de bombeo mediante valores de caudal, para así obtener el punto de operación del sistema de bombeo.

**Tabla 11:** Puntos (Q, HB) de la curva del sistema

Q (m3/h)	H(m)	Q (m3/s)	HB (m)
0	80	0.00000	50.00
3	79	0.00083	50.28
6	77	0.00167	51.14
9	75	0.00250	52.56
12	72	0.00333	54.56
15	68	0.00417	57.12
18	63	0.00500	60.25
21	58	0.00583	63.96
24	52	0.00667	68.23
27	44	0.00750	73.07
30	35	0.00833	78.48
33	25	0.00917	84.46

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.1. Selección de la electrobomba

Para poder cubrir la demanda hídrica de 615.00 m<sup>3</sup>/día se recomienda realizar 01 sistema de bombeo solar fotovoltaico independiente, el sistema contara con una electrobomba de 7.5 HP sumergible, de la marca PEDROLLO modelo: 6SR100G/75; esta electrobomba nos brindara un caudal de 18.70 m<sup>3</sup>/h a una altura manométrica total de 61.5m. El valor de la altura y caudal de operación se justifica según los caculos realizados por el modelo propuesto en el marco teórico y de acuerdo al dimensionamiento según el Plano 01 en el Anexo 9.

#### 3.3.2.1. Datos Técnicos Electro bomba

Los datos técnicos de la electrobomba son:

Marca: Pedrollo  
Modelo: 6SR100G/75

Potencia Nominal: 5.5 KW  
 Numero de etapas: 04  
 Instalación: Horizontal  
 Temperatura máxima de fluido: 35 °C  
 Contenido de arena máxima: 100g/m<sup>3</sup>  
 Arranques hora: 20 con intervalos regulares  
 Flujo de enfriamiento: 16 cm/s  
 Motor eléctrico: Trifásico  
 Alimentación: 380 V

**Tabla 12:** Características Técnicas de la Bomba Hidráulica

6SR100G				Q m <sup>3</sup> /h l/min	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
MODELO	N. ETAPAS	POTENCIA			0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Trifásica		kW	HP	H metros												
6SR 100G/75	4	5.5	7.5		80	79	77	75	72	68	63	58	52	44	38	25
6SR 100G/100	6	7.5	10		118	117	114	110	105	100	95	88	78	68	58	38
6SR 100G/150	9	11	15		177	173	170	166	160	152	142	130	118	100	85	56
6SR 100G/200	12	15	20		235	230	225	220	213	202	190	170	150	133	110	69
6SR 100G/250	15	18.5	25		292	290	284	275	265	252	238	218	195	167	140	92
6SR 100G/300	18	22	30		350	345	339	333	320	305	285	260	230	200	168	110

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

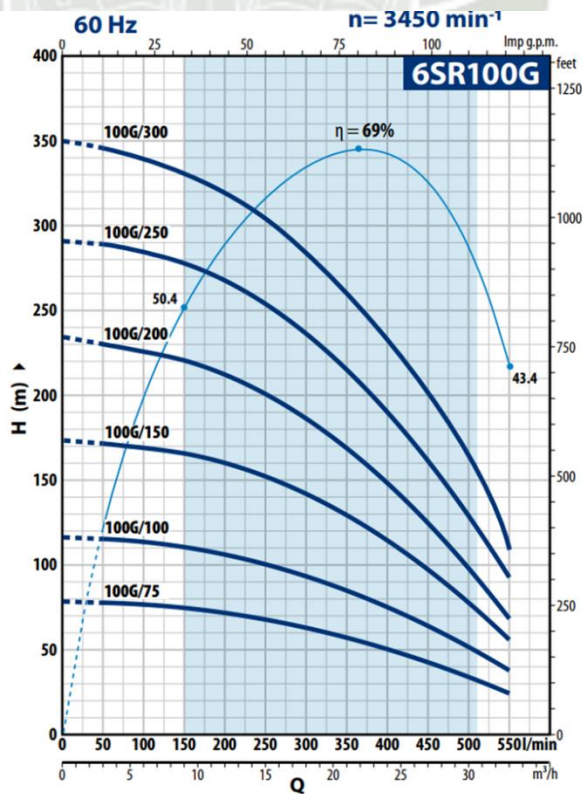
**DIMENSIONES Y PESOS (SOLO HIDRÁULICA)**

MODELO Bomba	BOCA DN	N° ETAPAS	DIMENSIONES mm		kg
			Ø	h1	
6SR 70G/75 -HYD	3" NPT	7	149.5	676	19.0
6SR 70G/100 -HYD		9		763	21.5
6SR 70G/150 -HYD		14		1025	27.5
6SR 70G/200 -HYD		19		1241	32.0
6SR 100G/75 -HYD		4		545	15.6
6SR 100G/100 -HYD		6		632	17.6
6SR 100G/150 -HYD		9		807	25.5
6SR 100G/200 -HYD		12		938	26.6
6SR 100G/250 -HYD		15		1068	27.6
6SR 100G/300 -HYD		18		1198	30.6
6SR 120G/75 -HYD		3		530	10.5
6SR 120G/100 -HYD		5		636	17.5
6SR 120G/150 -HYD		7		742	19.8
6SR 120G/200 -HYD		9		891	23.2
6SR 120G/250 -HYD		12		1051	26.6
6SR 120G/300 -HYD		14		1157	28.9
6SR 120G/400 -HYD		19		1422	34.8



Nota: Pedrollo 6SR100G

**Figura 38:** Curvas características de la bomba hidráulica Modelo 6SR



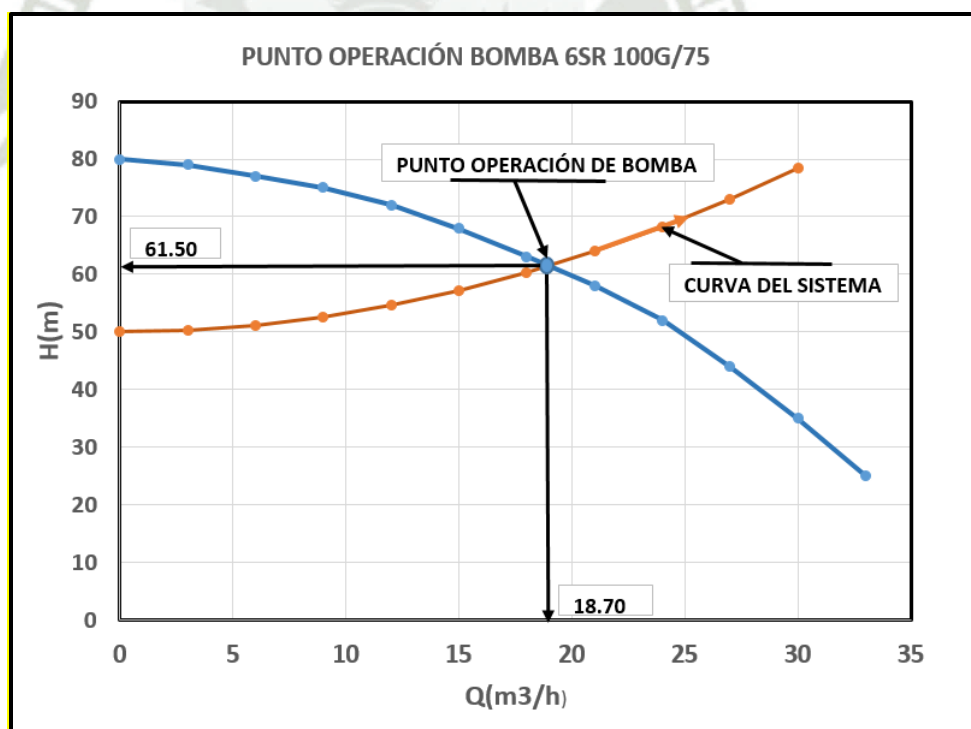
Nota: Pedrollo 6SR100G

A continuación, mostraremos en la Figura 16 las curvas características y datos de prestaciones de la electrobomba seleccionada obtenidas de la ficha técnica de la electrobomba.

Cómo se observa en la gráfica anterior, la electrobomba nos brindara un caudal de 18.70 m<sup>3</sup>/h a una altura de 61.50 m. La bomba se encuentra dentro de la curva de eficiencia hidráulica, aproximadamente 67%; cabe destacar que el sistema se ha calculado con el factor de seguridad correspondiente para los años de su vida útil.

En caso que la altura y/o caudal del sistema varíe debido a la energía otorgado por los paneles solares el sistema se mantendrá dentro de su curva de eficiencia hidráulica sin percances, se configura automáticamente por el componente inversor -variador de frecuencia y así poder bombear el caudal y/o altura requerido.

**Figura 39:** Curva del Sistema y Punto de Operación de la Bombeo



Nota: Elaboración Propia.

Se selecciona Bomba Centrífuga (ANEXO 6):

- Marca Pedrollo
- Modelo 6SR 100G/75

- Diámetro de rodete 149.5mm
- Velocidad: 3450 RPM

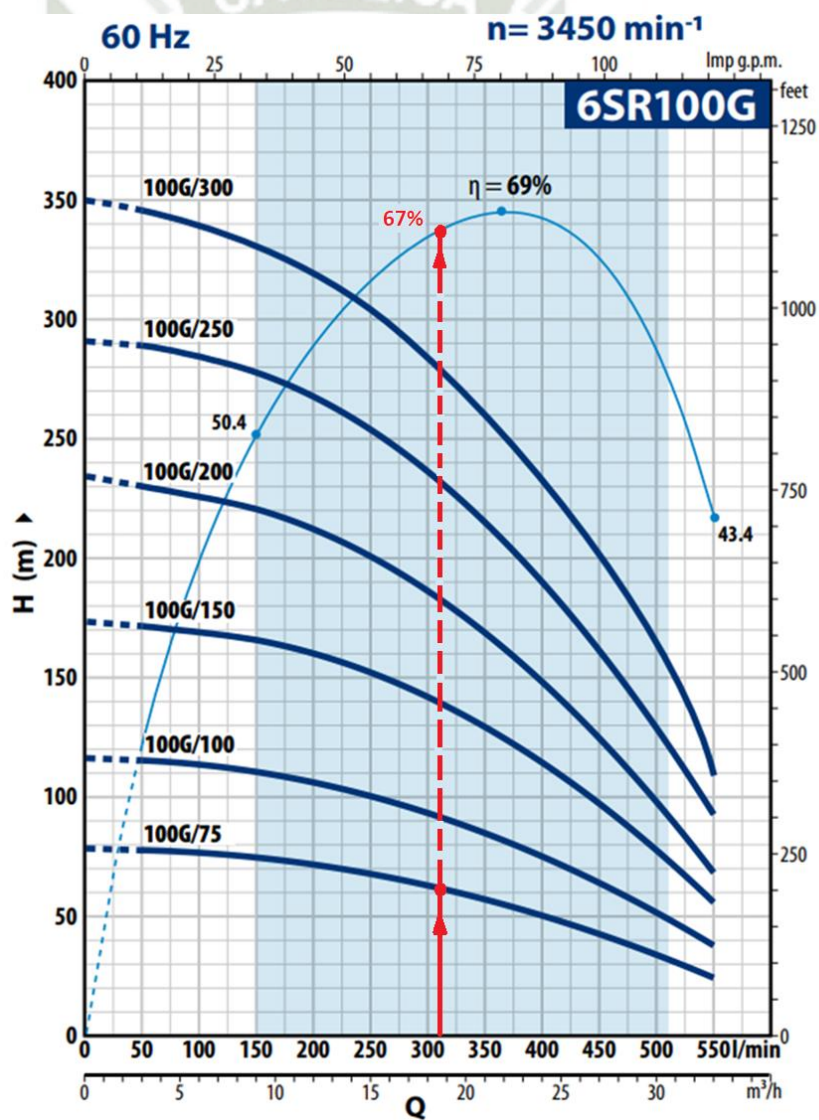
Datos: (Determinado el punto de funcionamiento del sistema de bombeo),

Figura 17.

- Eficiencia ( $\eta$ ) = 67%
- Caudal ( $Q$ ) = 313.67 L/min
- Potencia = 6.27 HP
- Altura: 61.50 m

Se selecciona una bomba tipo 6SR100G de la marca Pedrollo (ANEXO 6)

**Figura 40: Punto de Operación del Sistema**



Nota: Elaboración Propia

**a. Obteniendo la potencia de accionamiento:**

$$P_{Eje} = \frac{\gamma * H_B * Q}{102 * \eta}$$

Datos:

- $n_{Bomba} = 67\%$  (Curva del sistema)
- $H_B = 61.50$  m
- $Q = 313.67$  L/min \* /1000 L/m<sup>3</sup> = 0.00519 m<sup>3</sup> /s
- $\gamma_{agua} = 1000$  Kg-f / m<sup>3</sup>

$$P_{Eje} = \frac{\gamma * H_B * Q}{102 * \eta}$$

$$P_{Eje} = \frac{1000 \frac{Kg - f}{m^3} * 61.50 \text{ m} * 0.00519 \frac{m^3}{s}}{102 * 0.67}$$

$$P_{Eje} = 4.67 \text{ KW} = 6.27 \text{ H.P.}$$

Debido a las curvas características de la bomba, la bomba centrífuga multietapa operará a 6.27 H.P. de potencia del eje.

**b. Calculando la potencia eléctrica**

$$P_{Electrica} = \frac{\gamma * H_B * Q}{102 * \eta_B * \eta_{M.E.}}$$

Datos:

- $n_{Motor} = 83\%$
- Al ser un motor de alta eficiencia 83%.
- $n_{Bomba} = 0.67$  (Curva del Sistema)
- $H_B = 61.50$  m
- $Q = 313.67$  L/min \* 1/1000 (L/m<sup>3</sup>) = 0.00519 m<sup>3</sup> /s
- $\gamma_{agua} = 1000$  Kg-f/ m<sup>3</sup>

$$P_{Electrica} = \frac{\gamma * H_B * Q}{102 * \eta_B * \eta_{M.E.}}$$

$$P_{\text{Electrica}} = \frac{1000 \frac{\text{Kg} \cdot \text{f}}{\text{m}^3} * 0.00519 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 61.50\text{m}}{102 * 0.83 * 0.67}$$

$$P_{\text{Electrica}} = 5.63 \text{ KW} = 7.55 \text{ HP}$$

### 3.3.2. Cálculo del espesor de tubería

Para el espesor de la tubería de aluminio, se consideró parámetros como esfuerzo permisible del aluminio grado 6061 con 12.1 Casi, presión de trabajo de 62 m de columna de agua, con un diámetro exterior según Tabla 9, reemplazamos los datos en la formula siguiente:

$$e_{\min} = \frac{P * D}{2 * (S + P * Y)}$$

$$e_{\min} = e = \frac{608220 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0.1143\text{m}}{2 * (83630417.28 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} + 608220 * 0.4 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})} = 0.83\text{mm}$$

Luego obtenemos el espesor pedido para la tubería de aluminio, tomado de la formulación norma UNE-EN 13480-3:

$$e_{\text{ord}} > e + c_0 + c_1 + c_2$$

$$e_{\text{ord}} > 0.83\text{mm} + 1\text{mm} + 1\text{mm}$$

$$e_{\text{ord}} > 2.83\text{mm}$$

Por consiguiente, el espesor requerido para la tubería de aluminio grado 6061 es 2.83mm.

### Selección del Material de las Tuberías y Accesorios

La tubería y los accesorios son conformados de material liviano de aluminio grado 6061.

#### Tubería de Aluminio

##### Propiedades mecánicas

Es una aleación de resistencia entre media y alta, con una fuerte soldabilidad, ductilidad y maquinabilidad, así como una buena resistencia a la corrosión. El templeado aumenta la resistencia mecánica y a la corrosión. También es una de las aleaciones de aluminio más utilizadas en la actualidad (Gabrian International, 2020).

##### Composición química

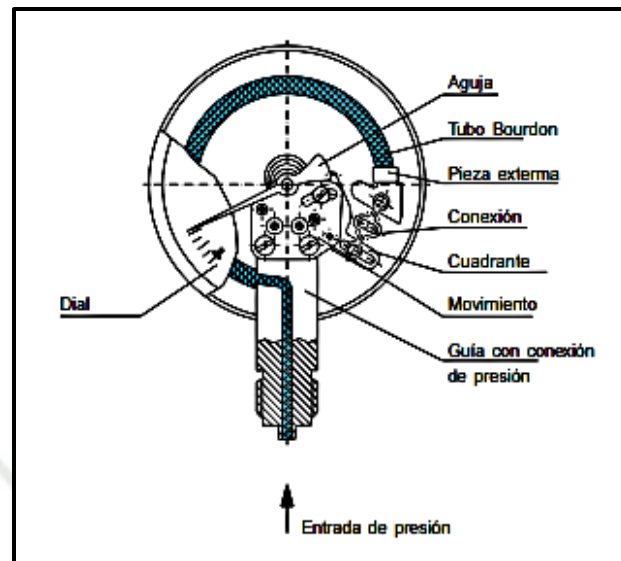
En la composición cuenta con elementos de aluminio, silicio y magnesio. El contenido de aluminio de esta aleación debe oscilar entre 95,85% y 98,56%, mientras que los componentes restantes de la aleación están dentro de los límites predeterminados (Gabrian International, 2020).

#### Selección de Manómetros

##### **Manómetros con Tubo Bourdon**

Los tubos de Bourdon tienen una sección transversal ovalada y una forma circular. La sección transversal ovalada del tubo se vuelve prácticamente redonda como resultado de la presión del medio que actúa en el interior del tubo. El tubo de Bourdon se dobla como resultado de la tensión del anillo del tubo y, a medida que se mueve el extremo no fijo del tubo, este movimiento sirve como indicador de la presión que se refleja en la aguja. Los tubos de Bourdon, que se utilizan para presiones de hasta 60 bares, se doblan en un ángulo de unos 250°. Los tubos Bourdon se utilizan con varias bobinas superpuestas del mismo diámetro (como bobinas helicoidales) o bobinas con formas helicoidales (como muelles helicoidales) en un nivel para presiones altas. Solo una pequeña cantidad de protección contra sobrecarga está disponible para los tubos de Bourdon. Los manómetros se pueden mejorar agregando un sello químico como sistema de separación o protección para procedimientos de medición particularmente desafiantes. Los rangos de presión son de 0,6 a 40 bar, mientras que la lectura de precisión (o clase) abarca de 0,1 a 4,0% (Font et al., 2011).



**Figura 41:** Manómetro con tubo de Bourdon

Nota: Wiegand, 2005

### Selección de Válvulas

Los criterios para la selección de válvulas varían según los diferentes dominios de uso. Al seleccionar el material para los componentes, tenga en cuenta las características químicas y físicas del medio con el que opera. Además, la válvula se ve afectada directamente por los requisitos mecánicos y específicos del proceso. En general, es necesario considerar los datos del fabricante pertinente, así como el impacto mutuo en la relación presión/temperatura de operación (Font et al., 2011).

### Válvulas

Conducir o transportar fluidos a través de tuberías, ya sean líquidos como agua, aceite o gasolina o gases como aire, vapor o metano, requiere con mayor frecuencia control de flujo, regulación o prevención de que el fluido regrese en contra de una determinada dirección de circulación. También es necesario con frecuencia la capacidad de mantener el caudal a una determinada presión de servicio o liberar el exceso de presión cuando supera determinados límites de seguridad (Font et al., 2011).

Emplean válvulas, que se instalan fácilmente en las tuberías y deben cumplir plenamente la función para la que han sido seleccionadas, para estas diversas funciones. Por lo tanto, elegir el tipo y las calidades correctos de la válvula adecuada para una determinada aplicación es crucial, ya que tiene un impacto significativo en la eficiencia que se puede esperar de ella (Font et al., 2011).

Para su buena maniobra, debe tener en cuenta los siguientes factores: su capacidad, el tipo de fluido, la temperatura, la clase y tipo de tubería en la que debe colocarse, el modo de realizar las conexiones, el modo de funcionamiento, y, por último, las instalaciones. Las consideraciones de temperatura tienen menos impacto en la elección de la válvula para sistemas de agua potable y alcantarillado que en plantas de vapor o centrales térmicas, en las que se requiere tener en cuenta las altas temperaturas de funcionamiento, a menos que los sistemas estén expuestos a la intemperie. en climas extremadamente fríos, como los que se encuentran en nuestra cordillera (Font et al., 2011).

Adicionalmente, el fluido que se tiene que regular en las redes sanitarias antes mencionadas es muchas veces la presión del agua, la cual es moderada en comparación con las altas presiones que se deben manejar en plantas de vapor o centrales térmicas (Font et al., 2011).

Los propósitos principales y las características constructivas de las válvulas se describen aquí para ayudar a elegir la correcta.

### Funciones Básica de las Válvulas:

#### Permitir el paso de un flujo o detenerlo

Cuando una ruta de fluido tiene que abrirse o cerrarse por completo, las válvulas de compuerta se emplean con mayor frecuencia (Font et al., 2011).

**Figura 42:** Valvula de Compuerta y Diseccion



Nota: Wiegand, 2005

Este tipo de válvulas, como se muestra en la figura, son las más prácticas porque, por su diseño interno, producen un sello hermético cuando están cerradas y, cuando están completamente abiertas, permiten el máximo paso del fluido con la misma pérdida de presión en la válvula porque, en la posición abierta, la válvula no solo facilita el paso en línea recta, sino que también mantiene la misma área de la tubería a la que está unida (Font et al., 2011).

Se construyó en todos los diámetros entre ¼" y 36", o más.

#### Regular o limitar el flujo

Los mejores tipos de válvulas para controlar o limitar el flujo de fluidos son las válvulas de globo y angulares. Según la posición de cierre, los asientos de estas válvulas están contruidos de tal forma que provocan un desplazamiento del sentido del flujo que las atraviesa, aumentando progresivamente su resistencia al paso. Debido a que necesitan mucho trabajo para funcionar a altas presiones, estas válvulas rara vez se utilizan para diámetros superiores a 12" (Font et al., 2011).

Otro tipo de válvula de globo, llamada válvula de aguja debido a su vástago cónico extremadamente largo, se usa para controlar con mayor precisión el flujo en tamaños de menos de una pulgada (Font et al., 2011).

**Figura 43:** Válvula de Globo y sus Partes



Nota: Wiegand, 2005

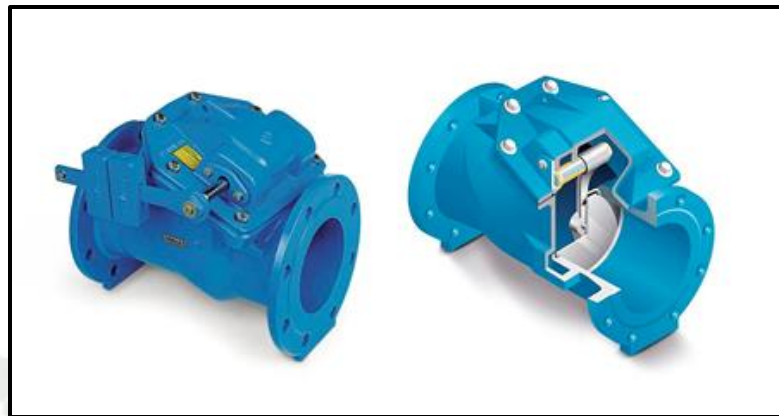
**Figura 44:** Válvula de Angulo



Nota: Wiegand, 2005

### **Evitar el retorno del flujo**

El reflujo se evita mediante el uso de válvulas de retención. La retención de bisagra y la retención horizontal son dos tipos distintos de estas válvulas que se construyen (Font et al., 2011).

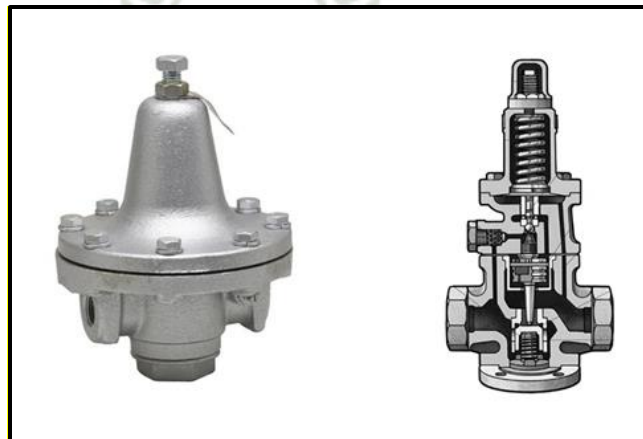
**Figura 45:** Válvula de Retención a Bisagra

Nota: Wiegand, 2005

Ambas variedades están diseñadas para realizar la misma tarea básica, que es permitir que solo pase una dirección de flujo a través de ellas; así, cuando el sentido del flujo los abre, la fuerza de la gravedad y el sentido contrario del mismo las cierran naturalmente. Por lo general, las válvulas de retención de tipo horizontal se usan con válvulas de globo, mientras que las válvulas de retención de tipo bisagra se usan con válvulas de compuerta (Font et al., 2011).

**Regulación de presión y/o gasto**















Cuando es necesario reducir la alta presión variable presente en el suministro de entrada a una presión menor y constante, se emplean válvulas reguladoras de presión. De acuerdo con las limitaciones apropiadas previamente definidas, estas válvulas reducen la presión, y también son capaces de mantenerla en valores predeterminados independientemente de la cantidad de fluido que viaje a través de ellas (Font et al., 2011).



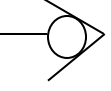



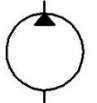


**Figura 46:** Válvula reguladora de presión

Nota: Wiegand, 2005

Las válvulas reguladoras de gasto funcionan de forma similar a las válvulas reguladoras de presión, sólo que, en lugar de reducir y mantener la presión de salida, reduce y mantienen el gasto de salida (Font et al., 2011).

**Cuadro 1:** Componentes del Sistema de Bombeo de Agua por Energía Solar

NOMBRE	SÍMBOLO	IMAGEN	DIÁMETRO	MATERIAL	CANTIDAD DE PIEZAS
Tubería			4"	Aluminio Grado 6061	871 m
Tubería			3"	Aluminio Grado 6061	8844 m
Codo de 90º grados			4"	Aluminio Grado 6061	10 Pzas.
Tee			4"	Aluminio Grado 6061	4 Pzas.
Unión Universal			4"	Aluminio Grado 6061	20 Pza.
Reducción			4" a 3"	Aluminio Grado 6061	4 Pzas.
Reducción			3" a 1"	Aluminio Grado 6061	2 Pzas.

Válvula de Compuerta			4''	Aluminio Grado 6061	4 Pzas
Válvula Check o de retención			4''	Aluminio Grado 6061	1 Pza.
Medidor de Caudal			4''	PVC	1 Pza.
Bomba			4''	Acero Inoxidable	2 Pza.
Motor			Potencia: 7.5 HP		2 Pza.

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. SISTEMA ELÉCTRICO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

#### 3.4.1. Componentes del Sistema Eléctrico

La configuración eléctrica del sistema de bombeo de agua con energía solar es la siguiente: Las piezas y componentes utilizados para conectar el tablero general se enumeran en la tabla, así tenemos:

**Cuadro 2:** Cuadro de Componentes Tablero Control

COMPONENTE	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
<p><b>TABLERO DE ACERO PARA CONEXIONES ELÉCTRICAS.</b></p>		<p><b>Dimensiones:</b> 40 x 30 x 15 cm. <b>Material:</b> Acero</p>
<p><b>INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO</b></p>		<p><b>Modelo:</b> LS-BKN C-16 <b>Voltaje:</b> 600V~</p>
<p><b>INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO</b></p>	  	<p><b>Modelo:</b> Stronger SGMGK/2-C10. IEC 80898 <b>Voltaje:</b> 230/400 V</p>

<p><b>POTENCIÓMETRO SCHNEIDER</b></p>		<p><b>Modelo:</b> Schneider Electric SZ1-RV-1202</p> <p><b>Potencia:</b> 2.2 kΩ</p>
<p><b>LÁMPARA LED-PILOTO</b></p>		<p><b>Modelo:</b> Stronger AD 22-22 DS</p> <p><b>Voltaje:</b> 220 AC</p> <p><b>Corriente :</b> ≤ 20 mA.</p>
<p><b>CABLE MANGUERA DE CONDUIT DE ½”</b></p>		
<p><b>PRENSAESTOPAS PARA TUBO CONDUIT DE ½”</b></p>		

Nota: Elaboración propia

### 3.4.2. Especificaciones Técnicas Modulo Fotovoltaico

En la Tabla 13 se muestran los datos relevantes del módulo fotovoltaico PEIMAR, de 420Wp con celda monocristalina PERC, de procedencia italiana.

**Tabla 13:** Modulo fotovoltaico PEIMAR

INFORMACIÓN DEL PANEL	Unidades
Potencia Pico (P <sub>MAX</sub> )	420.00 Wp
Voltaje en circuito abierto (VOC)	48.96 V

Intensidad en cortocircuito (ISC)	10.91	A
Voltaje a máxima potencia (VMPP)	40.80	V
Intensidad a máxima potencia (IMPP)	10.30	A

Nota: PEIMAR

En la Tabla 14 se muestran los datos relevantes del módulo Fotovoltaico JINKO, de 410Wp con celda monocristalina PERC, procedencia china.

**Tabla 14:** Modulo fotovoltaico JINKO

INFORMACIÓN DEL PANEL		Unidades
Potencia Pico (P <sub>MAX</sub> )	410.00	Wp
Voltaje en circuito abierto (VOC)	50.40	V
Intensidad en cortocircuito (ISC)	10.60	A
Voltaje a máxima potencia (VMPP)	42.30	V
Intensidad a máxima potencia (IMPP)	9.69	A

Nota: JINKO

Ambos paneles tienen altas eficiencias y se desarrollarán muy bien en ambientes fríos y de altura.

### 3.4.3. Especificaciones Técnicas Motor Eléctrico

Marca:	Pedrollo.
Modelo:	6PD/7.5
Potencia Nominal:	7.5 HP.
Tensión Nominal:	380.00V
Protección:	IP68
Corriente Nominal:	15.3 A
Revoluciones:	3450 RPM.
Eficiencia:	78%

Con estos valores de potencia, voltaje, corriente y eficiencia empezamos a realizar el cálculo de cuánto sería la potencia final que requerirá la matriz fotovoltaica para poder alimentar el motor eléctrico trifásico. En la Tabla 15, mostramos los cálculos de potencia requerida para poder calcular la matriz fotovoltaica.

**Tabla 15:** Especificaciones Técnicas del Motor Eléctrico

DENOMINACIÓN	VALOR
POTENCIA ACCIONAMIENTO	7.50 HP
POTENCIA ACCIONAMIENTO	5 5591.70 WATTS
CORRIENTE O AMPERAJE DEL MOTOR	15.30 AMPS
EFICIENCIA DEL MOTOR	78 %
VOLTAJE NOMINAL DEL MOTOR	380.00 VOLTIOS
NUMERO DE FASES	3.00 FASES
Tmin (<25°C)	-2.79 °C
Tmax (>25°C)	17.35 °C
Tadd (paneles a nivel del suelo)	25.00 °C
POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO	9.62 H.P
POTENCIA MOTOR ELÉCTRICO	7 168.85 WATTS
POTENCIA MOTOR ELÉCTRICO CONSIDERANDO NASTEC	8 244.17 WATTS

SEGÚN NASTEC: La disminución en la producción de Watts por temperaturas máximas de la localidad, recomienda incrementar la potencia un 15% más del dato obtenido en la “Potencia del Motor”.

Nota: NASTEC es un fabricante internacional de sistema de bombeo solar fotovoltaico.

Nota: Elaboración propia

#### 3.4.4. Cálculo de matriz fotovoltaica

Para el proyecto se consideró dos marcas distintas de módulos fotovoltaicos, Peimar es una marca de origen europeo y Jinko Solar de origen chino. Estas marcas cumplen con las más estrictas normas europeas para módulos fotovoltaicos, en la actualidad estas marcas son de fácil acceso mediante empresas peruanas, las cuales son importadoras directas, por lo que no se tendrá problemas con el abastecimiento de módulos fotovoltaicos.

En la Tabla 16 se muestran los resultados al aplicar pérdidas en la eficiencia de transmisión eléctrica; se consideró 5% de pérdidas. Como todos sabemos los módulos fotovoltaicos cuentan con una vida útil amplia, 25 años como mínimo, pero las celdas fotovoltaicas se degradan con el pasar del tiempo, perdiendo potencia, aproximadamente 1% por año (ejemplo 100Wp pasado 25 años será 75Wp aproximadamente); para esto se consideró un factor de 0.80 con el fin de

asegurar que la producción de energía fotovoltaica sea lo más pareja durante su vida útil.

**Tabla 16:** Potencia de consumo según criterios de diseño

Potencia (Wp)	Criterios de aumento de potencia según recomendaciones
8 244.17	SEGÚN NASTEC : Disminución en la producción de watts por temperaturas máximas de la localidad (recomiendan teóricamente usar 15% más del dato obtenido en la "potencia del motor"
8 656.38	La eficiencia en la transmisión (93-97%)
10 820.48	Disminución en la producción de watts luego de 20-25 años de funcionamiento (depende de cada marca de paneles, generalmente 1% por año)

Nota: Elaboración propia

Una vez calculada la potencia total de la matriz fotovoltaica, se realizó el cálculo del número de módulos solares en serie y en paralelo. Para el número de módulos en serie se tuvo en cuenta valores técnicos del variador de frecuencia VASCO SOLAR, así también se consideró los coeficientes de temperatura de los módulos fotovoltaicos obtenidos de ficha técnica del módulo PEIMAR, como se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17:** Variación por temperatura local

COEFICIENTES DE TEMPERATURA		
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.28	% °C
Coefficiente de temperatura de Potencia	-0.37	% °C
Información de Temperaturas Max y Min		
Tstc	25	
Tmin(<25°C)	-1.04	°C
Tmax(>25°C)	19.57	°C
Tadd	25	°C

Nota: Elaboración propia.

**Tabla 18:** Variación de potencia y voltaje por variación de temperatura

	Paneles solares 420 Wp PEIMAR		Paneles solares 410 Wp Jinko	
Módulos potencia	420.00	Wp	410	Wp
Voltaje circuito abierto a temperaturas mínimas	52.39	Volts	53.93	Volts
Voltaje a potencia máxima a temperaturas máximas	37.94	Volts	42.30	Volts
Potencia máxima a temperatura máxima	381.15	Watts	372.08	Watts

Nota: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 18, a mayor temperatura mayores pérdidas tanto en la potencia como en la producción de voltaje, pero también se debe considerar que a menor temperatura mayor voltaje en circuito abierto recordando que como máximo podemos llegar a 850Vdc, valor dado por el fabricante.

A continuación, en la Tabla 19, se estima el número total de paneles fotovoltaicos de acuerdo a indicaciones de NASTEC, así como aplicando las pérdidas por eficiencia de transmisión y las pérdidas de potencia luego de 25 años.

**Tabla 19:** Número total de paneles solares fotovoltaicos

POTENCIA NOMINAL Wp	Nº DE MÓDULO S	Nº DE MÓDULOS (REDONDE O AUTO)	Nº DE MÓDULOS	Nº DE MÓDULO S (REDON DEO AUTO)	Nº DE MÓDU LOS	Nº DE MÓDULOS TOTAL
420.00	19.62	20.00	20.61	21.00	25.76	<b>26.00</b>
410.00	20.11	21.00	21.11	22.00	26.39	<b>27.00</b>

Nota: Elaboración propia.

Una vez obtenido el número total de módulos fotovoltaicos para poder alimentar una electrobomba de 7.5 H.P., empezamos con el desarrollo del número de módulos en serie, respetando los valores máximos y mínimos de tensión en el variador de frecuencia, como se observa en la Tabla 20.

**Tabla 20:** Balance módulos solares fotovoltaicos, valores máximos y mínimos

<b>MÍNIMO VOLTAJE RECOMENDADO ( VOLTAJE MOTOR * 1.4 SEGÚN NASTEC)</b>					<b>532</b>	<b>V</b>
MODULO	NOMINA L POWER	WATT S	Vmp	VOLTIOS	NRO DE MÓDULOS	NRO DE MÓDULOS (REDONDEO AUTO)
Peimar	420.00	Wp	40.80	V	13.04	14.00
Jinko	410.00	Wp	42.30	V	12.58	13.00
<b>Mínimo voltaje de operación VASCO</b>					<b>560</b>	<b>V</b>
MODULO	NOMINA L POWER	WATT S	Module Vmp min (Vmp- Tmax)	VOLTIOS	NRO DE MÓDULOS	NRO DE MÓDULOS (REDONDEO AUTO)
Peimar	420.00	Wp	40.80	V	13.73	14.00
Jinko	410.00	Wp	42.30	V	13.24	14.00
<b>Máximo voltaje paneles en Voc</b>					<b>850</b>	<b>V</b>
MODULO	NOMINA L POWER	WATT S	Voc	VOLTIOS	NRO DE MÓDULOS	NRO DE MÓDULOS (REDONDEO AUTO)
Peimar	420.00	Wp	48.96	V	17.36	17.00
Jinko	410.00	Wp	50.40	V	16.87	16.00
<b>Máximo voltaje Voc-Tmin</b>					<b>850</b>	<b>V</b>
MODULO	NOMINA L POWER	WATT S	Voc-Tmin	VOLTIOS	NRO DE MÓDULOS	NRO DE MÓDULOS (REDONDEO AUTO)
Peimar	420	Wp	52.39	V	16.22	<b>16.00</b>
Jinko	410	Wp	53.39	V	15.76	<b>15.00</b>

Nota: Elaboración propia.

El número de módulos fotovoltaicos en serie será: 16 módulos en serie para los de 420Wp y 15 módulos para los de 410Wp.

En la Tabla 21 se muestra el número final de módulos fotovoltaicos, así también el número de módulos en paralelo.

**Tabla 21:** Número total de módulos solares fotovoltaicos en paralelo y serie

MODULO	POTENCIA NOMINAL	NRO DE MÓDULOS EN SERIE (STRING)	NRO DE MÓDULOS EN PARALELO	NRO DE MÓDULOS (FINAL)
Peimar	420.00	16.00	1.63 ≈ 2.00	32.00
Jinko	410.00	15.00	1.80 ≈ 2.00	30.00

Nota: Elaboración propia

### 3.4.5. Selección de inversor y variador de frecuencia

#### Especificaciones Técnicas inversor y variador de frecuencia

Según los catálogos proporcionados hemos seleccionado el inversor y variador de frecuencia de la marca Vasco Solar que se utilizará deberá cumplir con las siguientes normas aplicables:

EN61800-3, EN 61800-6-1, EN 61000-6.3, EN 610004-3, EN 610004-4, EN 61000-4-4, EN 61000-4-5, EN 61000-4-6, EN 50178, EN 60204-1.

ISO 9001 Sistema de gestión de la calidad

ISO 14001 Sistema de gestión ambiental

OHSAS 18001 Sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional.

### **Selección vasco solar**

Con la Tabla 15 mostrada tenemos como valor la potencia final del motor 10.82 KW, y la bomba de 7.5 H.P. con este valor seleccionaremos el vasco solar, es importante considerar que el variador trabajara a una altura de 4225 m.s.n.m por lo que se tiene que aplicar un factor de derrateo de altura 0.67, el factor aplicado es 0.67,  $15KW*0.67=10.50$  KW, potencia real considerando perdidas por altura.

El mecanismo protege la bomba de sobrecargas y marchas en seco. Por ejemplo, el control del factor de potencia del motor brinda protección contra el funcionamiento en seco, eliminando la necesidad de sondas. Además, el mecanismo protege el motor contra sobrevoltaje y sobrecalentamiento.

### **Características Técnicas Vasco Solar 430**

Marca:	Nastec
Modelo:	VS430
Potencia:	15 KW
Temperatura trabajo:	-10°C a 50°C
Grado de protección:	IP65
Peso:	8.7 kg.

**Tabla 22:** Datos técnicos para la selección del inversor- variador de frecuencia

Modelo	Vin	Vin P1 nom*	Max Vout	Max Iout	Typical motor P2**			Weigt	Size
	[VOC]	[VOC]	[VAC]	[A]	[VAC]	[KW]	[HP]	[Kg]	
VASCO Solar 412	320-850	>560	3x400	12	3x400	4	5.36	8.5	2
VASCO Solar 415	320-850	>560	3x400	15	3x400	5.5	7.38	8.5	2
VASCO Solar 418	320-850	>560	3x400	18	3x400	7.5	10.06	8.5	2
VASCO Solar 425	320-850	>560	3x400	25	3x400	11	14.75	8.5	2
<b>VASCO Solar 430</b>	<b>320-850</b>	<b>&gt;560</b>	<b>3x400</b>	<b>30</b>	<b>3x400</b>	<b>15</b>	<b>20.12</b>	<b>8.7</b>	<b>2</b>
VASCO Solar 438	320-850	>560	3x400	38	3x400	18.5	24.81	28	3
VASCO Solar 448	320-850	>560	3x400	48	3x400	22	29.50	28	3
VASCO Solar 465	320-850	>560	3x400	65	3x400	30	40.23	28	3

Nota: NASTEC 2022

VASCO SOLAR 430 será el variador seleccionado, según ficha técnica el recuadro marcado de color verde indica:

Vin: 320 hasta 850 Vdc (Se debe de considerar voltaje Voc del panel, la serie de módulos no debe de superar los 850 Voc)

Vin nom: Voltaje nominal de operación a partir de 560 Voc arranca la bomba. Para poder calcular el valor mínimo de voltaje necesario para la bomba según NASTEC, el voltaje de funcionamiento del motor trifásico AC de 380 Vac debemos de aumentar un 40% más en voltaje de paneles solares en conclusión un mínimo 520 Vac.

### 3.4.6. Selección de conductores fotovoltaicos

#### 3.4.6.1. Especificaciones Técnicas Conductor

Los conductores que se utilizarán deberán cumplir con las siguientes normas aplicables:

- Norma de Construcción y ensayos: EN 50618
- De conformidad con la directiva de baja tensión: 2014/35/UE
- De conformidad reglamento CPR n°305/2011/UE: Reacción al fuego
- Certificado AENOR HAR N°042/001106-gama: de 1x1.5 a 1x50mm<sup>2</sup>
- Cumplimiento directivo RoHS

UL 62 Cables y cordones flexibles

NTP 370-252, UNE 211002 Normas constructivas conductores eléctricos.

ISO 9001

Sistema de gestión de la calidad



$\Delta V = 15.32 V_{dc}$ , 1.95% de pérdida, máxima pérdida admisible es de 5%

### **Circuito 02 DC**

El circuito 02 será desde la matriz fotovoltaica hasta el tablero eléctrico de paralelos, considerando una distancia máxima de 30 m. Para este cálculo se seleccionó el módulo fotovoltaico de 420Wp, teniendo una matriz fotovoltaica de 16 módulos en serie, con una potencia total de 10 820.48Wp

Potencia Fotovoltaica :10820.48Wp

Corriente por string (Isc) : 10.91 A

Voltaje del arreglo solar (Voc) : 783.36Vdc

Longitud : 30m

Conductor : 4 mm<sup>2</sup>

### **Intensidad Nominal**

$$I_{Nominal} = MD/V$$

$$I_{Nominal} = 8.58 \text{ A}$$

### **Intensidad de Diseño:**

$$I_{Diseño} = 1.25 * I_{Nominal}$$

$$I_{Diseño} = 10.72 \text{ A}$$

### **Caída de Tensión:**

$$\Delta V = \frac{2 * I_{Diseño} * Longitud * \rho}{A_{Conductor}}$$

$\Delta V = 2.87 V_{dc}$ , 1.00% de pérdida, máxima pérdida admisible es de 5%

### **Circuito 03 AC**

El circuito 03 será desde el variador de frecuencia salida AC hasta la electrobomba trifásica, considerando una distancia máxima de 100m.

Los conductores que se utilizarán deberán cumplir con las siguientes normas aplicables:

Norma de referencia: UNE-EN 50525-2-21/IEC 60245-4

Certificaciones: CE, SEC, HAR, AENOR, DNV, RoHS

Características frente al fuego: No propagación de llama según UNE-EN60332-1

Presencia de agua: Apto para bombas sumergibles, pozos profundos, apto para agua potable

ISO 9001 Sistema de gestión de la calidad

ISO 14001 Sistema de gestión ambiental

OHSAS 18001 Sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional

### Características Técnicas

Marca:	Top cable
Modelo:	XTREMH07RN-F
Tensión nominal (AC):	450/750V
Temperatura máx. de servicio:	90 °C servicio permanente
Temperatura máx. de servicio:	250 °C en cortocircuito
Temperatura min de servicio:	-40 °C
Potencia electrobomba	: 20Hp.
Corriente del motor	: 38.90 A
Voltaje	: 380Vac
Factor de potencia	: 0.78
Longitud	: 100m
Conductor	: 6 mm <sup>2</sup>

### Intensidad Nominal

$$I_{\text{Nominal}} = \frac{MD}{\sqrt{3} * V * \text{Cos}\phi}$$

$$I_{\text{Nominal}} = 29.05\text{A}$$

### Intensidad de Diseño:

$$I_{\text{Diseño}} = 1.25 * I_{\text{Nominal}}$$

$$I_{\text{Diseño}} = 36.31 \text{ A}$$

### Caída de Tensión:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * I_{\text{Diseño}} * \text{Longitud} * \rho}{A_{\text{Conductor}}}$$

$$\Delta V = 18.72 \text{ V}_{\text{dc}}, 4.93\% \text{ de pérdida, máxima pérdida admisible es de } 5\%$$

### 3.4.7. Dimensionamiento de Protección Contra Descargas Atmosféricas

La finalidad de este sistema es proteger la instalación fotovoltaica de descargas atmosféricas, para atraer la corriente del rayo y disiparlo a los pozos a tierra.

NORMA UNE 21.186: Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivos de cebado.

Guía de evaluación de riesgo de impacto de rayo y selección del nivel de protección para una instalación exterior de protección contra el rayo.

Se realiza la evaluación teniendo en cuenta el riesgo de impacto de los siguientes factores:

- a. El entorno del edificio.
- b. La naturaleza de la estructura del edificio.
- c. El valor de su contenido.
- d. La ocupación humana y riesgo de pánico.
- e. Las consecuencias que tendrá sobre el entorno y los daños al edificio.

### Densidad de impactos del rayo sobre el terreno ( $N_g$ )

El cálculo de densidad de impacto del rayo sobre el terreno se describe por la siguiente parámetros y normas.

$$N_g = 0.02 * N_k^{1.67}$$

$$N_k = 40$$

$$N_g = 9.5$$

### Frecuencia esperada de impactos directos de rayos ( $N_d$ ) sobre una estructura

$$N_d = N_g * 1.1 * A_e * C_1 * \frac{10^{-6}}{\text{año}}$$

$$A_e = 2827.43 \text{ m}^2$$

$$C_1 = 0.5$$

$$N_d = 0.0147$$

### Determinación ( $N_c$ )

$$C_2 = 1, C_3 = 5, C_4 = 3, C_5 = 5$$

$$C = C_2 * C_3 * C_4 * C_5$$

$$C = 75$$

$$N_c = \frac{3 * 10^{-3}}{C} \Rightarrow N_c = 0.00004$$

### Determinación de nivel de protección

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

$$E = 99.7\%$$

### Radio de protección.

$$R_p = \sqrt{(2 * r * h - h^2) + [\Delta * (2 * r + \Delta)]}$$

$$r = 20\text{m}, h = 10\text{m}, \Delta = 15\text{m}$$

$$R_p = 34\text{m}$$

Nivel de protección	Radio esfera ficticia (r)
I	20 m
II	30 m
III	45 m
IV	60 m

### 3.4.8. Pararrayos PDC

El PDC THOR es un pararrayo ionizante no radiactivo, que trabaja bajo el principio de cebado y ofrece un radio de protección que depende de su altura, respecto a la superficie a proteger, del avance de cebado y del nivel de protección determinado.

Está conformado por un cuerpo cónico esferoide, dialécticamente separado de la asta central, mediante un núcleo de alta impedancia, que permite la formación del efecto corona, principio de funcionamiento de los pararrayos PDC.

#### Características físicas:

Cuerpo: Asta central y conector mixto de acero inoxidable calidad 316

Núcleo: alta impedancia fabricado en resina epóxica bisfenol para altas temperaturas.

Dimensiones: Altura 42cm, diámetro 30cm, peso 2.9Kg

Tiempo de vida útil: 50 años.

El pararrayo PDC ionizante cebado que se utilizará deberá cumplir con las siguientes normas aplicables:

NFC 17-102 Protección contra rayo

UNE 21-186 Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo cebado.

AISI 316 Acero inoxidable

ISO 9001 Sistema de gestión de la calidad

ISO 14001 Sistema de gestión ambiental

OHSAS 18001 Sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional  
Así también cuenta con un aislador de 12 kV, que aísla el pararrayo y la estructura metálica, la bajada del cable de cobre desnudo se realizara por medio de aisladores cerámicos.

### 3.4.9. Materiales para pozos a tierra

#### THORGEL

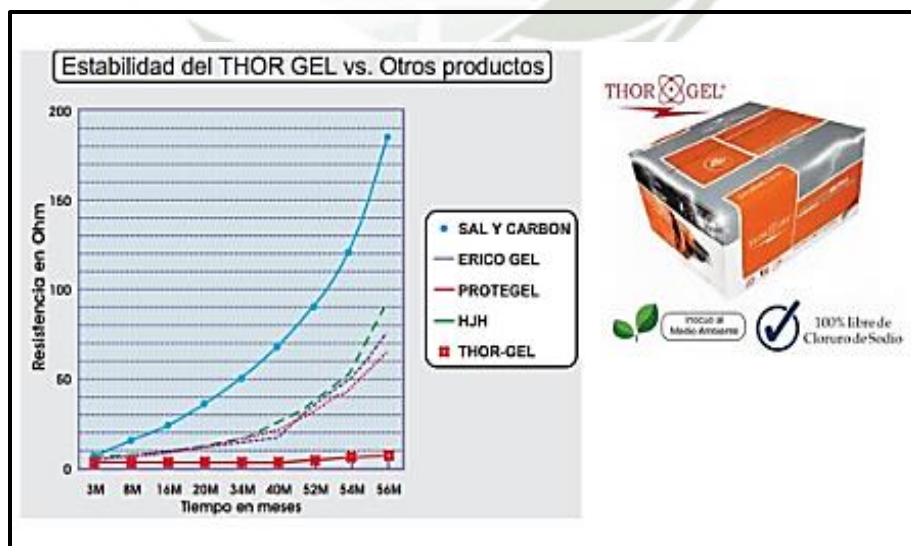
El tratamiento químico de suelo surge como un medio de mejorar y disminuir la resistencia eléctrica del SPAT sin necesidad de utilizar gran cantidad de electrodos. El ThorGel que se utilizará deberá cumplir con las siguientes normas aplicables:

- ISO 9001 Sistema de gestión de la calidad
- ISO 14001 Sistema de gestión ambiental
- OHSAS 18001 Sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional

#### Características técnicas

- Higroscopicidad – Alta capacidad de Gelificación
- No ser corrosivas – Alta conductividad eléctrica
- Químicamente estable en el suelo – No ser toxico
- Inocuo para la naturaleza

**Figura 47:** Especificaciones técnicas tratamiento químico de la tierra.



Nota: <http://www.emb.cl/electroindustria>

### **Bentonita sódica**

La bentonita sódica que se utilizará deberá cumplir con las siguientes normas aplicables:

ISO 9001	Sistema de gestión de la calidad
ISO 14001	Sistema de gestión ambiental
OHSAS 18001	Sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional

### **Características técnicas**

- No toxico
- En polvo
- Color Beige
- Higroscópico
- No corrosivo
- Peso 25 Kg

### **Varillas de cobre y conectores**

Las varillas de cobre y los conectores que se utilizará debe cumplir con las siguientes normas aplicables:

ANSI/UL 467	Equipos puesta a tierra y uniones
ANSI/NEMA GR1	Electrodos de puesta a tierra y acoples
ISO 9001	Sistema de gestión de la calidad
ISO 14001	Sistema de gestión ambiental
OHSAS 18001	Sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional

### **Características técnicas**

Tipo de varilla:	Cobre
Longitud de la varilla:	2.4 m
Diámetro de la varilla:	5/8"
Conector:	AB
Diámetro del conector:	3/4"
Dimensiones:	0.42 m x 0.30 m

#### **3.4.10. Calculo de pozo a tierra protección descargas atmosféricas**

La resistencia de puesta a tierra equivalente está dada por:

$$R = \frac{\rho_a}{2 * \pi * L} * \text{Ln} \left( \frac{R}{d} \right) + \frac{\rho}{12 * \pi * L} * \text{Ln} \left( \frac{2L}{R} \right)$$

Donde:

$\rho$ : Resistividad eléctrica del terreno natural. ( $\Omega - m$ )

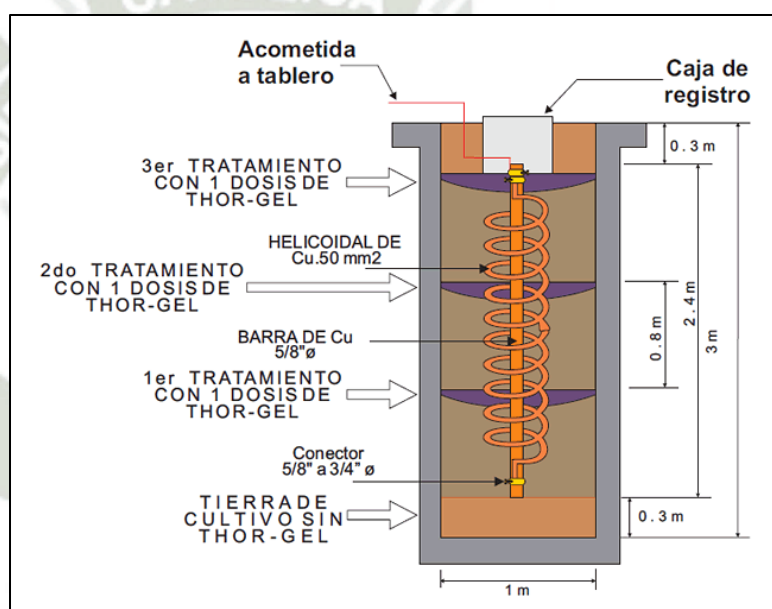
$\rho_a$ : Resistividad eléctrica del relleno. ( $\Omega - m$ )

L: Longitud de la varilla. ( m )

d: Diametro de la varilla. (m)

R: Radio del pozo de tierra. (m)

**Figura 48:** Detalle de sistema de pozo a tierra



Nota: <https://saamiseg.com/>

Datos para realizar el cálculo de pozo a Tierra:

Resistividad eléctrica del terreno  $\rho$ (Ohm-m) : 300

Resistividad eléctrica del relleno  $\rho_a$ (Ohm-m) : 30

Radio del pozo a tierra R(m) : 070

Longitud de la varilla L(m) : 2.40

Diámetro de la varilla d(m) : 0.019

Aplicando la fórmula, se realiza el cálculo y tenemos:

Resistencia de un pozo a tierra = 13.5588 ohm

Finalmente se aplica el factor de acuerdo a la disposición del pozo a tierra:

Factor helicoidal = 0.7

Entonces:

Resistencia de un pozo a tierra =  $13.558 \times 0.7 = 9.4911 \text{ ohm} < 10 \text{ ohm}$

Para el pozo a tierra de baja tensión, la resistencia de puesta a tierra debe ser menor a 10 ohm, por ello se hace lo siguiente:

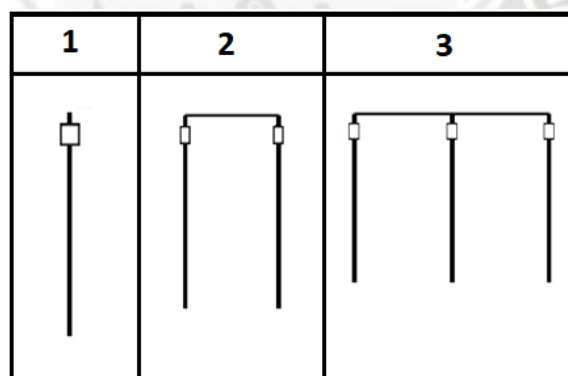
Se colocan tres pozos a tierra en paralelo entonces se considera:

**Tabla 23:** Reducción de la resistencia por tipo de arreglo

Reducción por tipo de arreglo	
Tipo arreglo	Valor reducido al (%)
1	100
2	55
3	38

Nota: Elaboración propia

**Figura 49:** Tipos Arreglos de Varillas en Paralelo



Nota: <http://www.emb.cl/electroindustria>

El cálculo de la resistencia del pozo a tierra en paralelo es:

$$R_T = 0.38 \times 9.4911 = 3.6066 \text{ Ohm} < 10 \text{ Ohm}$$

Las pruebas están diseñadas para garantizar la calidad de los suministros, por lo que deberán ser efectuadas en cada circuito y medición de pozo a tierra.

Los valores de resistencia de puesta a tierra son estipulados en el código nacional de electricidad.

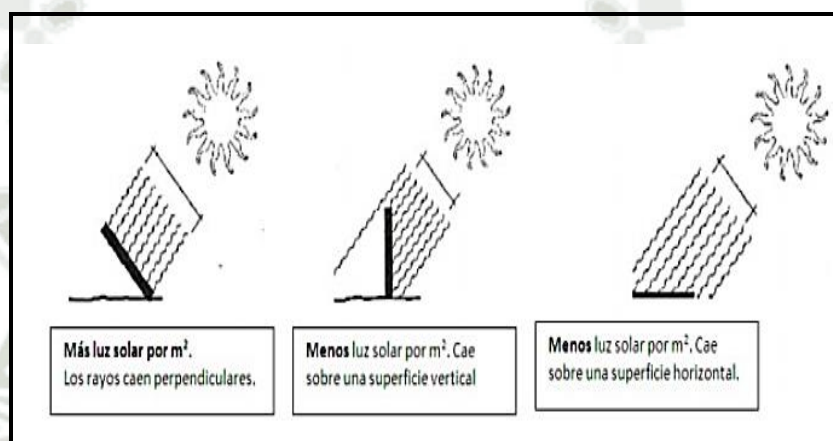
### 3.4.11. Estructura fija para matriz fotovoltaica

#### 3.4.11.1. Angulo de inclinación de los paneles solares

Es necesario conocer un ángulo de inclinación adecuado para nuestra instalación, y poder aprovechar la radiación solar durante todo el año.

Existen expresiones que permiten determinar la inclinación ideal con varios criterios, según la técnica y el tiempo y uso.

**Figura 50:** Disposición del ángulo de inclinaciones de los paneles solares.



Nota: <https://areatecnologia.com/>

Considerando la latitud de nuestra instalación (Latitud: 14°29'49.72").

Fijando los ángulos de inclinación máximo en verano y en invierno.

Inclinación verano:  $L + 15 = 14,29^\circ + 15^\circ = 29.29^\circ$

Inclinación invierno:  $L - 20 = 14,29^\circ - 20^\circ = -5.71^\circ$

Inclinación óptima:  $3.7 + (L * 0.69) = 3.7 + (14 \times 0.69) = 13.56^\circ$

Angulo recomendado: 14°

#### 3.4.11.2. Materiales para estructura solar fotovoltaica

Para proporcionar una seguridad estructural constante, la construcción de los paneles solares fotovoltaicos debe tener resistencia. Así mismo, las bases soportan un módulo fotovoltaico cumpliendo las siguientes funciones:

- Proporcionar a los paneles la consistencia mecánica adecuada y un buen sistema de anclaje.
- Proporcionar la orientación e inclinación óptimas para la aplicación.

Los esfuerzos son ocasionados por agentes atmosféricos, como viento, lluvia, granizo y nieve (Fernandez, 2009).

Se propone realizar 04 estructuras de apoyo, cada estructura brindara apoyo para 16 módulos de 420 Wp ó 15 módulos de 410 Wp, con un ángulo de inclinación de  $14^{\circ} \pm 1^{\circ}$ , orientación norte.

El anclaje de la estructura se realizará mediante zapatas de concreto y así garantizar una buena fijación al suelo.

### Especificaciones técnicas materiales

Tubo galvanizado de 50x50x3mm con 6m. de longitud.

Acero tipo C/RIEL STRUT de 41x41x2mm. Con 6m. De longitud.

Abrazadera final y media de aluminio con pernería inoxidable.

ISO 9001 Sistema de gestión de la calidad

ISO 14001 Sistema de gestión ambiental

OHSAS 18001 Sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional

Marca: Alternativa

Fabricación: Acero al carbono laminado en caliente

Galvanizado en caliente.

Grapas para sujeción de paneles:

Material: Aluminio

Pernería: Inoxidable

**Figura 51:** Características y especificaciones técnicas de los materiales.



Nota: <https://atersa.shop>

### 3.4.11.3. Modelado 3d y dimensiones estructura fija para matriz fotovoltaica

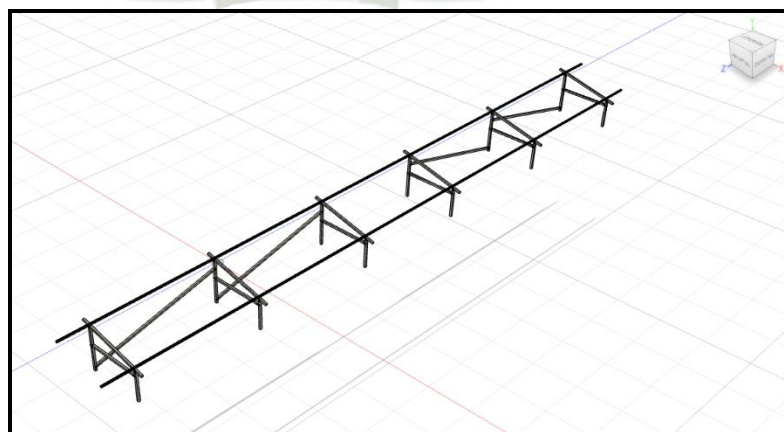
Se recomienda realizar estructuras de una sola hilera de módulos fotovoltaicos facilitando la limpieza de los módulos, menor área para arrastre de vientos, al momento de realizar la instalación no se necesitará realizar trabajos en altura mejorando la seguridad al momento de la instalación (Fernandez, 2009).

A continuación, se muestra Figura 52 un bosquejo 3D de la estructura fija para módulos fotovoltaicos. La estructura que se presenta esta desarrollada en su totalidad en acero galvanizado. El uso de tornillos de acero galvanizado o inoxidable permite eliminar completamente las uniones soldadas, y así prevenir futuros problemas de oxidación.

La sencillez de montaje de los módulos solares es otra de las ventajas de su montaje a través de carriles (STRU rail), lo que elimina la necesidad de cualquier tipo de junta de goma durante el montaje con los soportes de fijación al ser ambos de acero galvanizado (Fernandez, 2009).

Su montaje se realiza únicamente con uniones atornilladas, eliminando por completo las uniones soldadas, lo que supone una importante ventaja. Preferentemente, estas uniones atornilladas serán de acero inoxidable, lo que simplificará sustancialmente el montaje y minimizará el coste total de la instalación.

**Figura 52:** Modelamiento en 3D instalación estructura matriz fotovoltaica



Nota: <https://3dwarehouse.sketchup.com/>

La sujeción al terreno se debe realizar mediante zapatas de concreto, dependiendo de las cualidades del terreno se podría evitar el uso de zapatas de concreto incrustando

directamente los apoyos en el terreno con una profundidad mínima de 80cm donde solo se modificaría el largo de los apoyos.

Dimensiones totales: Largo 17.4m.

Ancho 1.4m.

Angulo de inclinación 14°

Altura mínima 0.8 m.

Altura máxima 1.3m.

### 3.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MONTAJE

El objetivo principal de estas normas de montaje es definir las reglas apropiadas para llevar a cabo las tareas electromecánicas.

Estas especificaciones técnicas describen las tareas clave que deben completarse, las cualidades del trabajo a realizar y, ocasionalmente, los protocolos que deben seguirse. El montaje de los equipos y materiales electromecánicos y realizaran de acuerdo a las disposiciones prescritas en el Código Nacional de Electricidad Suministro 2011, El reglamento de seguridad e higiene ocupacional del Sub sector Electricidad R.M. N°263-2001 – ES/VME.

Así como prevención y control de la salud de los trabajadores con riesgo a exposición a virus mortales.

#### **Dirección Técnica:**

Para garantizar que el trabajo se complete de manera efectiva y estrictamente de acuerdo con los requisitos técnicos y los planos del proyecto, debe estar disponible personal técnico con experiencia en las tareas relacionadas y las credenciales pertinentes.

#### **Equipos:**

De acuerdo con estos requisitos técnicos y cronogramas del proyecto, el equipo y las herramientas empleadas deben estar en excelentes condiciones de funcionamiento y estar disponibles en cantidades adecuadas.

#### 3.5.1. Instalación de la bomba

De acuerdo con el plano de la instalación de la bomba sumergible de manera horizontal, esta debe adecuarse una camisa de enfriamiento, para su propósito principal, enfriamiento por medio de convección natural, así como separación del fondo del pozo a la bomba.

Se realizará las instalaciones con los niples, uniones universales, codos y Tee.

Las válvulas check, válvula de cierre podrán ser de bronce cumpliendo con las especificaciones técnicas antes mencionadas.

### **3.5.2. Instalación de estructura de paneles solares**

Para la instalación de la estructura metálica, se debe realizar con no menos de 03 personas en campo, estas deben estar alineadas al norte magnético para su mayor aprovechamiento de energía, con un ángulo de inclinación de  $14^{\circ}$ .

Debe verificarse el cumplimiento de lo establecido con las bases y especificaciones técnicas, lo siguiente:

- El cumplimiento de distancias mínimas de seguridad.
- Limpieza de la estructura y paneles solares.
- Los residuos de embalaje y otros desperdicios deben haberse retirado.

### **3.5.3. Instalación de torre arriostrada**

Todas las actividades deben realizarse en las mejores circunstancias ambientales posibles, y la torre arriostrada debe construirse con personal técnico y bajo la supervisión suficiente de acuerdo con los requisitos descritos en esta sección y como se muestra en los diseños.

Las puestas a tierra comprenden hilo, varilla y pozo. Los agujeros de los pozos se deben haberse realizado previamente, colocando el conductor desnudo de cobre para las conexiones de pozo a tierra.

Se procederá con el montaje previo al tendido del conductor, aplicando una cama de bentonita sódica y tierra de chacra, y se colocará la varilla de cobre de  $5/8''$ , aplicando cuatro dosis químicas de ThorGel.

Las puestas a tierra se instalarán respetando las normas establecidas en el Código Nacional De Electricidad (Suministro). Para lo cual se deberá verificar que el valor de resistencia de puesta a tierra de cada pozo este dentro de los valores permisibles. Las puestas a tierra consideraran cajas de registro para el respectivo mantenimiento y mediciones de resistividad posteriores.

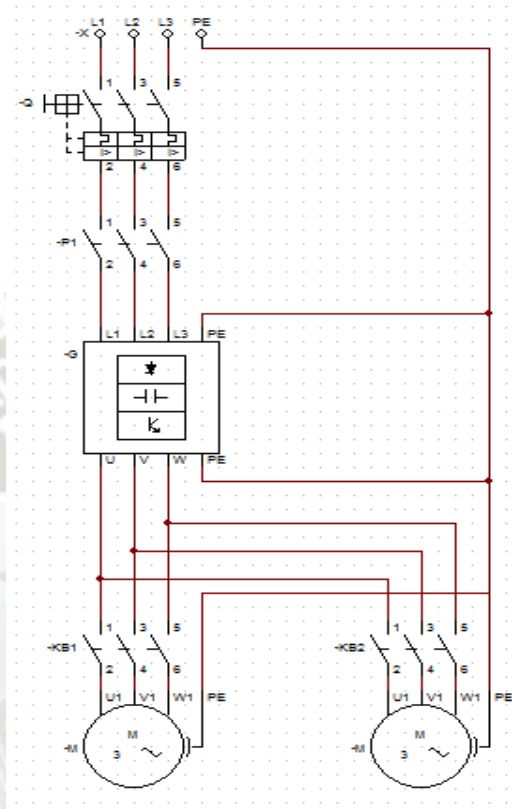
## **3.6. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA**

El sistema de suministro de potencia eléctrica es por energía renovables aquellas fuentes energéticas basadas en la utilización del sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal; en nuestro caso es por paneles fotovoltaicos en la operación de

abastecimiento de agua por riego por aspersión durante todos los días del año sin excepción.

La alimentación del circuito de fuerza corresponde al siguiente diagrama unifilar:

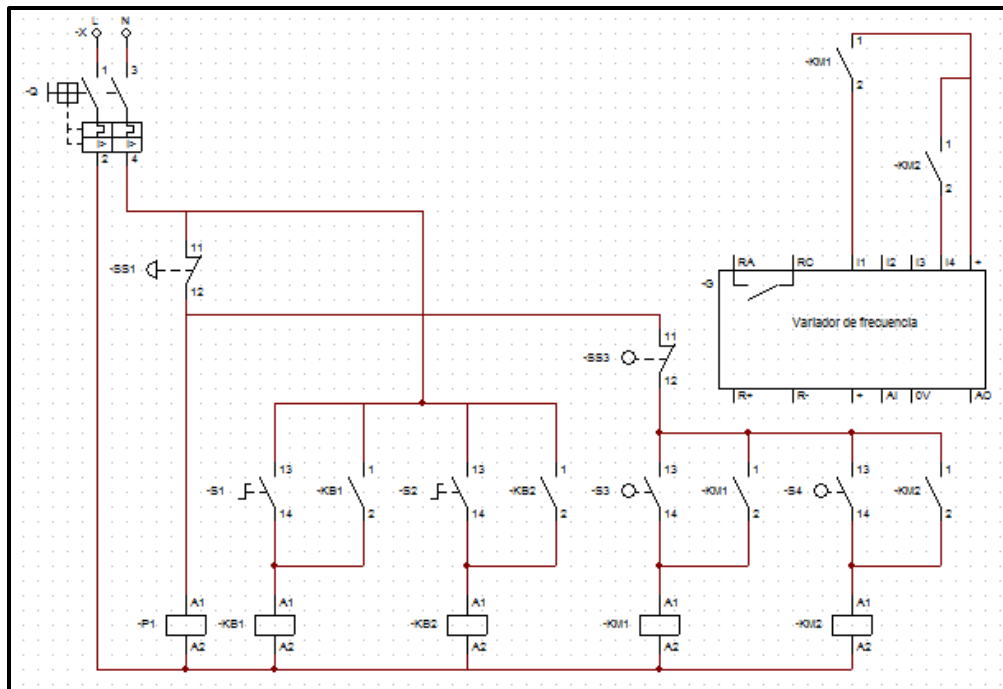
**Figura 53:** Esquema de Fuerza.



Nota: Elaboración propia en Programa CADe Simu.

La alimentación del circuito de control compete al siguiente diagrama unifilar:

**Figura 54:** Esquema de Control.



Nota: Elaboración propia en Programa CADe Simu.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, necesitamos usar energías renovables, especialmente en nuestro país, gracias al enorme poder de la energía solar, que existe los 365 días del año, en este caso, energía solar renovable solar en un sistema de bombeo de agua, teniendo un menor impacto ambiental. En este capítulo se realizará el análisis económico; costos de instalación, costos de operación y el análisis de rentabilidad que se maneja para recuperar la inversión y el beneficio adicional que produce en el transcurso de funcionamiento del proyecto en el Centro Experimental La Raya.

#### 4.2. INGRESO ECONÓMICO COMPARATIVO DE LA PROPUESTA

En estudios acerca de la influencia de regímenes alimenticios en alpacas tuis, para alpacas de 18 meses de edad, alimentadas con pastos cultivados, se obtuvo una ganancia de peso de 131 g/día, para un rendimiento de carcasa del 56.7 % (Turín et al, 1999).

Considerando que un periodo de engorde es de 90 días; del cuál, se obtendría una ganancia de peso de 11.79 Kg, y al cual se relaciona con el rendimiento de carcasa para obtener el peso de carne para la venta de 6.68 Kg., estos indicadores se muestran en la Tabla 24.

Se consideran 2 periodos de engorde por año, las cuales comprenden los meses de junio, julio y agosto para el primer periodo; y octubre, noviembre y diciembre para el segundo periodo; con una carga de 15 animales/hectárea, y en las 30 hectáreas 450 alpacas es la soportabilidad.

**Tabla 24:** Ganancia de peso en alpacas tuis alimentadas pastos cultivados y naturales

Régimen alimentario	Tiempo de engorde (días)	Ganancia de peso diario (gramos)	Ganancia de peso 90 días (Kg)	Rendimiento de carcasa (%)	Peso de carcasa (Kg)
Ryegrass-trébol	90	131	11.79	56.7	6.68
Pastos naturales	90	60	5.4	52.7	2.84

Nota: Elaboración propia

**Tabla 25:** Precio venta de carne y fibra de alpacas con pastos cultivados y naturales

Régimen alimentario	Precio de carne por Kg (S/.)	Ingreso por carne (S/.)	Ingreso/ menudencias (cabeza y patas) (S/.)	Ingreso vísceras (S/.)	Producción de fibra (Lb.)	Precio de fibra por libra. (S/.)	Ingreso/ Fibra. (S/.)
Ryegrass-trébol	14.0	93.52	23.0	10.0	1.13	12.5	14.13
Pastos naturales	13.0	36.92	20.0	8.0	0.80	12	9.60

Nota: Elaboración propia

Se consideran 2 campañas de engorde por año, las cuales contemplan los meses de junio, julio y agosto para la primera campaña; y octubre, noviembre y diciembre para la segunda campaña. Con una carga de 15 animales por hectárea, para un total de 450 alpacas.

**Tabla 26:** Ingresos venta de carne y fibra de alpacas con pastos cultivados y naturales

Régimen alimentario	Animales (n)	Ingreso total por alpaca (S/.)	Ingreso total por 1° periodo de engorde (S/.)	Ingreso total por 2° periodo de engorde (S/.)	Ingreso Total Anual (S/.)
Reygrass-trebol	450	140.65	63 292.50	63 292.50	126 585.00
Pastos naturales	450	74.52	33 534.00	33 534.008.0	67 068.00

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 26, se observa el ingreso comparativo en alpacas a base de dos regímenes alimenticios, teniendo los pastos naturales sin riego, y los pastos cultivados con riego, obteniéndose una diferencia de S/. 59,517.00, lo que representa el 88.7% de los ingresos a favor animales alimentados con pastos cultivados comparado al pastoreo en pastos naturales.

#### 4.3. COSTOS DE SISTEMAS Y COMPONENTES DEL PROYECTO

Mediante distintos presupuestos y cotizaciones que se realizaron, se llega a la conclusión que es mejor optar por un kit que cumpla con nuestros requerimientos, el kit mencionado es el siguiente:

- Sistema Hidráulico

- Sistema de Energía Solar Fotovoltaico

Cada kit comprende los siguientes elementos:

- Paneles solares fotovoltaicos.
- Inversor y variador de frecuencia.
- Estructura para paneles solares.
- Resto de componentes eléctricos y cableado.

**Tabla 27:** Presupuesto General del Sistema de Bombeo Solar Fotovoltaico.

**COSTO TOTAL SISTEMA DE BOMBEO HIDRICO FOTOVOLTAICO PRODUCCION DE FORRAJE -PUNO**

**1. SISTEMA HIDRAULICO DE BOMBEO Y ACCESORIOS**

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	P. PARCIAL (S/.)
1.1	Bomba Sumergible Pedrollo 6SR225G/200 20.0Hp	2	Und.	5 800.50	11 601.00
1.2	Camiseta de enfriamiento de 6" x 2.2mts	2	Und.	731.60	1 463.20
1.3	Manometro "LUISE" con glicerina 0 - 25 Bar D100	1	Und.	167.00	167.00
1.4	Presostato SQUARE D hasta 25bar	1	Und.	361.08	361.08
1.5	Valvulas y accesorios	1	Global	460.20	460.20
1.6	Tubería Hidráulica φ4" sch 10 y 871 m longitud de tubería Al.	871	m.	35.16	30 624.36
1.8	Tubería Hidráulica φ3" sch 10 y 3000 m longitud de tubería Al.	3000	m.	17.70	53 100.00
1.9	Tanque de Almacenamiento y estructura de soporte de acero	1	Unid	4 520.00	4 520.00
1.10	Tanque de almacenamiento de paso de concreto armado	1	Unid	3 500.00	3 500.00
<b>SUBTOTAL (S/.)</b>					<b>105 796.84</b>

## 2. COSTOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	PRECIO	P. PARCIAL
				UNITARIO	
2.1	Panel fotovoltaico PEIMAR 420 WP	32	Und.	849.60	27 187.20
2.2	Variador de frecuencia VASCO SOLAR 430 de 15 KW	1	Unid.	22 677.44	22 677.44
2.3	Estructura metalica galvanizada par 32 paneles 420 WP	4	Unid.	884.89	3 539.56
2.4	Pernos zincados 1/4"x3"	200	Unid.	2.48	496.00
2.5	Volandas plana 1/4"	400	Unid.	0.94	376.00
2.6	Tuerca de seguridad zincada 1/4"	200	Unid.	0.38	76.00
2.7	Abrazadera de aluminio intermedia+perno INOX.	64	Unid.	20.06	1 283.84
2.8	Abrazadera de aluminio final+perno INOX.	12	Unid.	29.50	354.00
2.9	Conectores MC4 (Par)	12	Unid.	9.59	115.08
2.10	Cable fotovoltaico 4 mm2	240	m.	6.96	1 670.40
2.11	Cable fotovoltaico 10 mm2	200	m.	18.01	3 602.00
2.12	Cable THW-90 2.5 mm2 Amarillo/Verde	100	m.	3.10	310.00
2.13	Cintillo plastico 35 cm (negro)	10	Und.	17.70	177.00
2.14	Espiral PVC (negro)	4	Und.	29.50	118.00
2.15	Tubo PVC luz 3/4" x 3m	90	Und.	6.61	594.90
2.16	Curva PVC 3/4"	30	Und.	1.00	30.00
2.17	Union tubo PVC 3/4"	30	Und.	0.71	21.30
2.18	Autoperforante 1/4"x1"x100 unid.	200	Und.	0.47	94.00
2.19	Tablero hermetico 400x300x200mm con placa metalica	3	Und.	306.80	920.40
2.20	Riel DIN 1m	2	Und.	9.44	18.88
2.21	Sticker riesgo electrico	4	Und.	5.78	23.12
2.22	Pegamentp PCV (grande 16 onz.)	3	Und.	56.17	168.51
2.23	Perno tirafon 3/4"x3" con tarugo naranja	100	Und.	4.13	413.00
2.24	Interruptor termomagnético Easy 3x50 A-400V	2	Und.	117.88	235.76
2.25	Fusible 15A 1000DC 10x38	20	Und.	33.04	660.80
2.26	Portafusible DC 10x38	20	Und.	47.31	946.20
2.27	Repartidor LEGRAND Bornera Seleccionadora 124 A	1	Unid.	234.82	234.82
2.28	Disyuntor DC 1000V, 63A 2P Solar interruptor proteccion contra sobrecarga del interruptor automatico	2	Und.	177.00	354.00
2.29	Tuberia conduit flexible 3/4"	30	m.	5.31	159.30
2.30	Abrazadera 3/4"	30	m.	2.12	63.60
<b>SUBTOTAL (S/.)</b>					<b>66 921.11</b>

### 3. COSTO DEL SISTEMA CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS Y POZO TIERRA

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	P. PARCIAL (S/.)
3.1	Pararrayos Ionizante PDC Thor	1	Und.	2 301.00	2 301.00
3.2	Aislador de baquelita 12KV	1	Und.	198.59	198.59
3.3	Cable Cu Desnudo 50mm <sup>2</sup>	30	m.	35.52	1 065.60
3.4	Cable Cu desnudo de 10mm <sup>2</sup>	100	m.	9.32	932.00
3.5	Dosis THOR GEL x 5kg	16	Und.	164.02	2 624.32
3.6	Bentonita Sodica x 50kg	4	Und.	53.10	212.40
3.7	Buzon PVC STP	4	Und.	60.18	240.72
3.8	Abrazadera de Cu tipo AB 3/4"	8	Und.	17.70	141.60
3.9	Varilla de Cu 5/8" x 2.4m	4	Und.	273.76	1 095.04
3.10	Tramo de Torre arriostrada T- 15 ( Hasta 15 metros de altura)	3	Und.	207.68	623.04
3.11	Base Triangular para Torre T- 15	1	Und.	106.20	106.20
3.12	Soporte de Captor Mod 2 1,5M Tipo bandera	6	Und.	115.05	690.30
3.13	Anclaje Lateral T-15	3	Und.	88.50	265.50
3.14	Aislador de baquelita	6	Und.	20.06	120.36
3.15	Cable galvanizado 6x7 + FC 3/16	100	m.	6.96	696.00
3.16	Abrazadera p/cable 5/16 1und 05ABC-K	12	Und.	11.68	140.16
3.17	Tensor gancho ojo 3/8x10.5/16 05TGK	6	Und.	32.09	192.54
<b>SUBTOTAL (S/.)</b>					<b>11 645.37</b>

### 4. COSTOS DE INSTALACION Y OTROS

4.1	Costos de instalacion				23 226.30
4.2	Gastos generales				11 613.00
<b>SUBTOTAL (S/.)</b>					<b>34 839.30</b>
<b>TOTAL (S/.)</b>					<b>219 202.62</b>

Nota: Elaboración propia

#### 4.3.1. VAN, TIR y Tiempo de Recuperación

El beneficio de este proyecto del sistema de bombeo solar fotovoltaico para el riego por aspersión y consecuente producción de pastos cultivados en 30 hectáreas, que se requiere mejorar la alimentación de los camélidos; donde el beneficio a futuro es el incremento de producción de carne y fibra de los animales. En la Tabla 27, se observa el ingreso comparativo en alpacas a base de dos regímenes alimenticios, teniendo los pastos naturales sin riego, y los pastos cultivados con riego, resultando una diferencia de S/. 59 517.00, lo que representa el 88.7% de los ingresos a favor animales alimentados con pastos cultivados comparado al pastoreo en pastos naturales.

La inversión del proyecto del sistema de bombeo hídrico alimentado por energía solar es de S/. 219 202.62, con un financiamiento bancario a un interés de 12%, con la condición de pagar anualmente y el costo de mantenimiento del sistema de

bombeo fotovoltaico anual correspondiente es de S/. 4 500 nuevos soles; el tiempo de vida útil del proyecto es de 20 años; donde el tiempo de recuperación es de 5 años y 9 meses, a partir del año que se inicia a observar las ganancias.

**Tabla 28:** Flujo de Costo y Beneficio de Proyecto

PERIODO	AÑO	FLUJO BENEFICIO (+) S/.	COSTO MANTENIMIENTO (-) S/.	BENEFICIO NETO S/.	BENEFICIO ANUAL S/.
				-219 202.62	0
2023-2024	1	59 517.00	4 500.00	-170 080.30	55 017.00
2024-2025	2	59 517.00	4 500.00	-126 221.08	55 017.00
2024-2026	3	59 517.00	4 500.00	-87 061.07	55 017.00
2024-2027	4	59 517.00	4 500.00	-52 096.77	55 017.00
2024-2028	5	59 517.00	4 500.00	-20 878.65	55 017.00
2024-2029	6	59 517.00	4 500.00	6 994.68	55 017.00
2024-2030	7	59 517.00	4 500.00	31 881.57	55 017.00
2024-2031	8	59 517.00	4 500.00	54 102.02	55 017.00
2024-2032	9	59 517.00	4 500.00	73 941.70	55 017.00
2024-2033	10	59 517.00	4 500.00	91 655.70	55 017.00
2024-2034	11	59 517.00	4 500.00	107 471.77	55 017.00
2024-2035	12	59 517.00	4 500.00	121 593.27	55 017.00
2024-2036	13	59 517.00	4 500.00	134 201.74	55 017.00
2024-2037	14	59 517.00	4 500.00	145 459.31	55 017.00
2024-2038	15	59 517.00	4 500.00	155 510.71	55 017.00
2024-2039	16	59 517.00	4 500.00	164 485.18	55 017.00
2024-2040	17	59 517.00	4 500.00	172 498.09	55 017.00
2024-2041	18	59 517.00	4 500.00	179 652.48	55 017.00
2024-2042	19	59 517.00	4 500.00	186 040.33	55 017.00
2024-2043	20	59 517.00	4 500.00	191 743.76	55 017.00

Fuente: Elaboracion Propia

#### 4.3.2. Determinación del VAN (Valor Actual Neto):

El Valor Actual Neto (VAN) se determina de la siguiente forma:

$$VAN = -I_{o+} \sum_{z=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_{o+} \frac{F_1}{(1+k)^1} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \frac{F_3}{(1+k)^3} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Reemplazando nuestros valores:

$$\begin{aligned}
 VAN = & -219\,202.62 + \frac{55\,017}{(1+0,12)^1} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^2} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^3} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^4} \\
 & + \frac{55\,017}{(1+0,12)^5} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^6} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^7} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^8} \\
 & + \frac{55\,017}{(1+0,12)^9} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^{10}} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^{11}} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^{12}} \\
 & + \frac{55\,017}{(1+0,12)^{13}} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^{14}} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^{15}} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^{16}} \\
 & + \frac{55\,017}{(1+0,12)^{17}} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^{18}} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^{19}} + \frac{55\,017}{(1+0,12)^{20}}
 \end{aligned}$$

$$VAN = 191\,743.76 \text{ S/}.$$

Se obtuvo un VAN positivo de S/. 191 743.76 de nuevos soles, lo que significa que el proyecto es viable y rentable; asegurando la recuperación de la inversión y beneficio del proyecto.

#### 4.3.3. Determinación del TIR (Tasa Interna de Retorno):

La Tasa Interna de Retorno se determina de la siguiente manera:

$$0 = -I_{o+} \sum_{z=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_{o+} \frac{F_1}{(1+k)^1} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \frac{F_3}{(1+k)^3} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

$k$ : Es la Tasa Interna de Retorno (TIR).

$F_t$ : Flujo beneficio neto.

$t$ : Tiempo de desarrollo de proyecto en años.

Reemplazando nuestros valores:

$$\begin{aligned}
 0 = & -219\,202.62 + \frac{55\,017}{(1+TIR)^1} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^2} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^3} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^4} \\
 & + \frac{55\,017}{(1+TIR)^5} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^6} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^7} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^8} \\
 & + \frac{55\,017}{(1+TIR)^9} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^{10}} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^{11}} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^{12}} \\
 & + \frac{55\,017}{(1+TIR)^{13}} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^{14}} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^{15}} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^{16}} \\
 & + \frac{55\,017}{(1+TIR)^{17}} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^{18}} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^{19}} + \frac{55\,017}{(1+TIR)^{20}}
 \end{aligned}$$

$$TIR = 0.2480 = 24.80\%$$

El TIR de 24.80% que se estimó es mayor que la tasa de interés general como es el de 12%, indicando que el proyecto es viable. Éste valor superior implica que no existe riesgo de la inversión al emprender este propósito.

#### 4.3.4. Determinación de Tiempo de Recuperación:

El tiempo de recuperación de la inversión del sistema de bombeo solar fotovoltaico para la producción de pastos cultivados con la finalidad de incrementar la productividad en la fibra de alpaca y el rendimiento en el peso de carne es de 5 años con 9 meses.

## CAPÍTULO V

### 5. IMPACTO MEDIO AMBIENTAL DEL PROYECTO

#### 5.1. ANÁLISIS IMPACTO AMBIENTAL

Lo mejor de los paneles solares fotovoltaicos, respecto a su impacto en el medio ambiente, es que no producen emisiones de carbono ni gases de efecto invernadero, no queman combustible, no producen desechos tóxicos y no hay partes móviles, reduciendo la probabilidad de un accidente ambiental. Los únicos contaminantes considerados en la energía solar fotovoltaica son los que intervienen en la construcción y transporte de sus componentes; que se encuentra entre las formas de energía más limpias del mundo. La instalación de energía solar fotovoltaica a gran escala reduciría su impacto en el medio ambiente (Quispe, 2021).

La energía solar fotovoltaica también es respetuosa con el medio ambiente porque su energía es inagotable, el sol brillará sobre la tierra durante mucho tiempo y, mientras continúe, se podrá almacenar la energía que la tecnología de células fotovoltaicas puede soportar. Comparando esto con los combustibles fósiles como el carbón o el petróleo, que deben extraerse o explotarse, tienen un impacto significativo en el medio ambiente, aún en condiciones seguras (Quispe, 2021).

## CONCLUSIONES

- El desarrollo del cálculo y selección de los componentes del sistema de bombeo por energía solar fotovoltaica fue conforme al modelo propuesto en el proyecto, y cabe recalcar que por razones de factor de seguridad se estableció un sobredimensionamiento del 25% por el uso de los componentes, y sistemas mecánicos y eléctricos, en el transcurso del tiempo.
- En el cálculo y selección de componentes, se eligió una electrobomba sumergible de desplazamiento positivo de 4 etapas, con una potencia nominal de 5.5 kW, de instalación horizontal; brindando al sistema un caudal de 18.70 m<sup>3</sup>/h a una altura de 61.50m; y con tuberías de aleación de aluminio de grado 6061, por su alta resistencia mecánica y a la corrosión, utilizando para la línea principal un diámetro de 4", y líneas secundarias de 3", de esta forma reduciendo las pérdidas de energía.
- En el cálculo de la potencia eléctrica solar fotovoltaica para el proyecto, se seleccionó paneles monocristalinos por su eficiencia y de capacidad de 420 Wp cada uno, con la siguiente disposición: 2 ramas en paralelo de 16 paneles en serie por rama; para obtener 10.8 kW, potencia necesaria para cubrir el funcionamiento del sistema de bombeo de agua.
- En la evaluación económica del proyecto de bombeo de agua para riego por energía solar fotovoltaica, se determinó un tiempo de recuperación de 5 años y 9 meses, con VAN S/ 191 743.76 y TIR 24.80%, lo cual refleja, la rentabilidad y factibilidad del mismo a mediano plazo; con un tiempo de operación estimado de 20 años, periodo en el que la gestión de activos es sostenible.

## RECOMENDACIONES

- En la sierra peruana se debe promover la implementación de sistemas solares fotovoltaicos, debido a que existe una muy buena concentración de radiación solar y extensas áreas de pastizales con recurso agua que son de los ríos u ojos de agua para mejorar la crianza de animales, como resultado, estos proyectos son sostenibles y rentables para incrementar los ingresos de la actividad ganadera.
- El uso de los sistemas de bombeo solar se está desarrollando considerablemente, incorporando cada vez nuevos componentes que optimizan su eficiencia y funciones de operatividad.
- El mantenimiento de los componentes del sistema se efectúa mediante una gestión relativamente simple, solicitando la visita periódica de un técnico calificado.
- Es favorable la utilización del riego de praderas nativas utilizando energía solar fotovoltaica, en donde los componentes del sistema son accesibles en el mercado local, teniendo una inversión inicial alta y recuperación económica de mediano plazo.

## REFERENCIAS

- Abella, M.A., Romero, F.C. (2005). Sistemas de Bombeo Fotovoltaico. Madrid, España. Editorial Cano Pina.
- Ahumada, R. (2017). Diseño del Sistema de Bombeo Automatizado con Energía Fotovoltaica para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito de Vilavila. Tesis de Grado. Ingeniería Electrónica. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/5285>
- Argandoña, G. F. (2022). Diseño e Implementación de un Microinversor para Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios. Tesis de Grado. Ingeniería Electrónica. Universidad Católica de Santa María. Arequipa. Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11989>
- Argote, Q., Andía, W. (2006). Guía práctica de Pastos Cultivados. Perú: REDESA Care Perú.
- Arizaca, A. (2022). Energía Fotovoltaica Aplicado en un Sistema de Riego por Aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla. Tesis de Grado. Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18991>
- Bellota, M. G. (2019). Propuesta de Factibilidad Energética Haciendo uso de Paneles Solares en la Universidad Católica de Santa María Bajo el Enfoque del PMI. Tesis de Grado. Ingeniería Industrial. Universidad Católica de Santa María. Arequipa. Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8864>
- Cafaggi, A., Rodal, E., SÁNCHEZ, A. (2021). Sistemas de bombeo. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México.
- Castillo, H. (2015). Cultive Pasto Rye Grass Para La Alimentación Del Ganado En La Época Invernal En El Norte Y Centro De Tamaulipas. Inifap. México.
- Cengel, Y.A.; Cimbala, J.M. (2018). Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones. México. Editorial Mc Graw-Hill.
- Choque, Z. (2018). Generación De Energía Basado En Un Sistema Fotovoltaico Para Bombeo De Agua. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz. Bolivia.
- Clemente, Wuilber. (2014). Optimización Del Sistema Solar Fotovoltaico Para La Generación De Energía Eléctrica En Viviendas Aisladas Alto andinas. Tesis de grado. Universidad Nacional Del Centro. Huancayo. Perú.

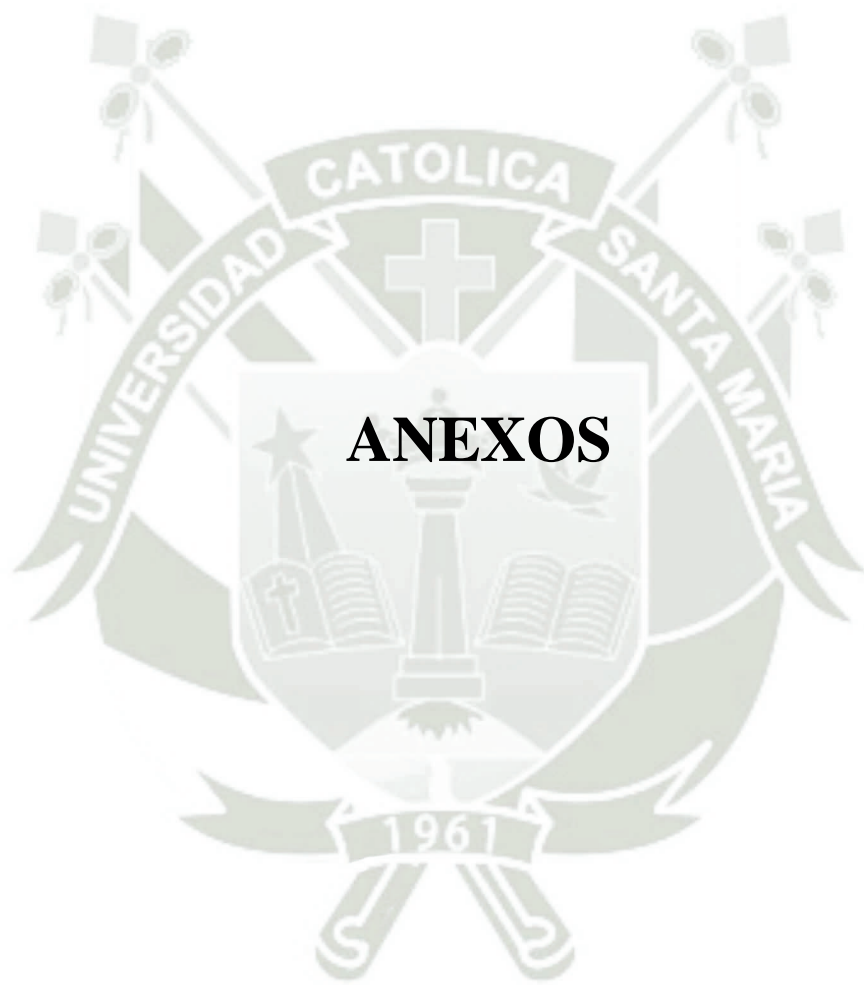
- Condemayta, S., Tapiá, M., & Apaza, E. (2014). Evaluación Antisárnica y Antinematódica de una Ivermectina de Larga Acción (Alpamec LA) en Alpacas del Centro de Investigación y Producción La Raya. Puno, Perú. Universidad Nacional del Altiplano.
- Eduardo, L. (2014). Ingeniería Fotovoltaica. Madrid, España. Editorial Limusa
- Fernández Diez, P. (2010). Bombas Centrífugas – Número de Álabes, Grado de Reacción y Cavitación. España. Editorial Graw Mac Hill.
- Fernández, E.C. (2009). Energía Solar Fotovoltaica, Competitividad y Evaluación Económica, Comparativa y Modelos. Madrid, España.
- Font, R., Salcedo, R., Martín, I. (2011). Mecánica de Fluidos - Tema 2. Impulsión de Fluidos. Alicante, España.
- Gabrian International Ltd. (2020). 6061 Aluminium Allow: Properties. <https://www.gabrian.com/>
- Gamarra, R. A. (2019). Diseño de un Sistema de Generación de Energía Eléctrica Híbrido Eólico-Solar para el Fundo Huasacache de la UCSM. Tesis de Grado. Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad Católica de Santa María. Arequipa. Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8878>
- García, W.; F. San Martín; C. Novoa; E. Franco. (2002). Engorde de llamas bajo diferentes regímenes alimenticios. Rev. investig. vet. Perú v.13 n.2 Lima jul./dic. 2002
- Gonzales, D. A. (2010). Prototipo de Sistema de Bombeo Fotovoltaico para Proyectos de Cooperación al Desarrollo con Tecnologías Apropriadas. Leganés, España.
- Gouws, R., Lukhwareni, T. (2012). Los Factores que Influyen en el Rendimiento y la Eficiencia del Sistema de Bombeo Solar de Agua: Revista Internacional de Ciencias Físicas.
- Guerrero, J.J. (2019). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Madrid, España. Editorial Sintesis S.A
- Haro Cando, Z. L. (2012). Optimización Del Uso Del Recurso Hídrico Del Sistema De Riego Montúfar Para Mejorar La Producción Agrícola. Tesis de Grado. Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
- Helfer, A. M. (2021). Diseño e Implementación de un Sistema Fotovoltaico en la Compañía de Bombero de Yanahuara - Arequipa. Tesis de Grado. Ingeniería

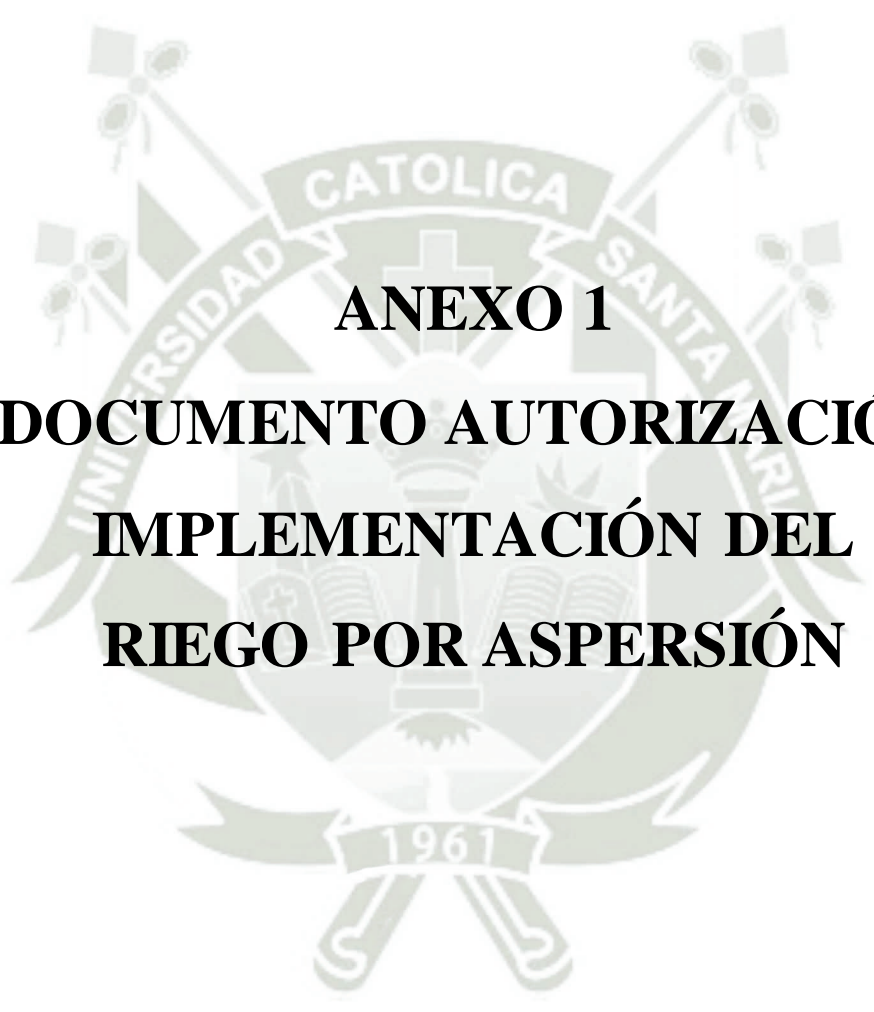
Mecánica Eléctrica. Universidad Católica de Santa María. Arequipa. Perú.  
Recuperado de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11321>

- Instituto de investigación y formación agraria y pesquera. (2010). Manual de riego para agricultores: módulo 3. Riego por aspersión. Sevilla: Signatura Ediciones de Andalucía, S.L.
- Jenkins, T. (2014). Designing Solar Water Pumping Systems. Department of agriculture cooperating. New Mexico State University.
- Mamani, M. I. (2019). Diseño del Sistema de Energía Solar Fotovoltaico para la Iluminación de los Laboratorios de Electricidad del Pabellón “R” de la UCSM. Tesis de Grado. Ingeniería Mecánica. Universidad Católica de Santa María. Arequipa. Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12234>
- Mamani, Y. K., Mamani, C. O. (2017). Determinación Experimental de la Eficiencia de un Panel Fotovoltaico Marca Sunbe Solar Tipo Slp 60-12 de 60 w Bajo las Condiciones Ambientales de Puno con Énfasis en la Intensidad de Radiación Solar. Tesis de Grado. Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12379>
- Méndez, J.M.; Cuervo, F. (2012). Energía Solar Fotovoltaica. Madrid, España. Editorial FC.
- Núñez, L. A. (2015). Manual de Cálculo de Eficiencia para Sistema de Riego. Perú: Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego.
- Ordoñez, J., Bojórquez, C. (2004). Establecimiento Del *Lolium Multiflorum* Con Cinco Densidades Sobre Pasturas Degradadas Como Una Alternativa A La Siembra De Cultivos Agrícolas. Revista De Investigaciones Veterinarias Del Perú.
- Organización Panamericana de la Salud (2005). Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. Guía. Organización Mundial de Salud, Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Lima. Perú.
- Peralta, A. A. (2018). Evaluación Técnico-Económica de una Instalación de Bombeo Solar Fotovoltaico Aplicada a la Ampliación de la Frontera Agrícola en Zonas Aisladas de Arequipa. Tesis de Grado. Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica del Perú. Arequipa. Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/1519>

- Pinares, L. A. (2022). Diseño de un Sistema de Generación Fotovoltaico para una Empresa Láctea Ubicada en Arequipa. Tesis de Grado. Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad Católica de Santa María. Arequipa. Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8600>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD. (2002). Manual sobre Energía Solar Renovable: Solar Fotovoltaica. San José, Costa Rica.
- Quezada, L., Salazar, J. (2018). “Diseño De Un Sistema De Control De Presión De Agua En Función De La Demanda Para El Laboratorio De Ingeniería Electrónica - UNPRG”. Tesis de grado. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque. Perú.
- Quintanilla, A. M. (2020). Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico Aislado para Suministrar de Energía Eléctrica la Localidad de Patahuasi - Pampa Cañahuas. Tesis de Grado. Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad Católica de Santa María. Arequipa. Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10422>
- Quispe, A. W. (2017). Estudio Técnico y Económico para la Instalación de una Planta Fotovoltaica para la Provisión de Energía al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional en la Región Puno. Tesis de Grado. Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6161>
- Quispe, J. L. (2021). Proyecto de Factibilidad de Bombeo por Energía Fotovoltaica de Agua Potable para los Anexos de La Molina, La Cuenca, Alto Cerro Verde del Distrito de Uchumayo – Arequipa. Tesis de Grado. Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad Católica de Santa María. Arequipa. Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11006>
- Rojas, S. (2013). “Evaluación de la eficiencia de aplicación del riego por aspersión en los usuarios de las comunidades de Moran Alto y Apán Bajo de la provincia de Hualgayoc Bambamarca”. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca. Perú.
- Salazar, J. (2010). “Frecuencia de agua de riego por aspersión en el cultivo de rye grass más trébol en el caserío de San Mateo de Quilcate- San Miguel de Pallaques”. Tesis Ing. Agrónomo. UNC. Cajamarca Perú.

- Sanz Requena, J.F., Navas Gracia, L.M., Rey de las Moras, M.C. (2011). Fundamentos de Energía Solar. España.
- Tobajas, M.C. (2019). Energía Solar Fotovoltaica. Madrid, España. Editorial Cano Pina.
- Turín, C.; G. Osoreo; B. Santiago; J. Gamarra; G. Gutiérrez. (1999). Influencia de la alimentación con pastos naturales y cultivados sobre la ganancia de peso, peso vivo al beneficio y peso de carcasa en alpacas tuis. II Congreso Mundial Sobre Camélidos. Cusco, Perú.
- Valencia, M., Hidalgo, A., Cáceres, A. (2019). Mecánica de Fluidos I. (2ª ed.). Arequipa, Perú. Universidad Católica de Santa María.
- Vidales, J. C. (2022). Diseño de un Sistema de Bombeo de Agua Utilizando Energía Solar Fotovoltaica. Tesis de Grado. Ingeniería Química. Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.13028/3908>
- Vilca, R. (2021). Estudio para el Bombeo de Agua Mediante la Energía Solar Fotovoltaica Aplicado al Riego en el Sector Ganadero de Rosaspata Ubicado en la Cuenca Llallimayo. Tesis de Grado. Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú. Recuperado de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3220156>





**ANEXO 1**  
**DOCUMENTO AUTORIZACIÓN**  
**IMPLEMENTACIÓN DEL**  
**RIEGO POR ASPERSIÓN**

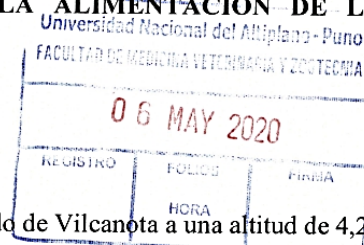


**PROYECTO: IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO OFDA 2000 PARA MENSURAR LA FIBRA Y RIEGO POR ASPERSIÓN PARA PRODUCCIÓN DE PASTOS CULTIVADOS CON FINES DE MEJORAR LA ALIMENTACIÓN DE LOS CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS**

**I. JUSTIFICACION**

El Centro Experimental La Raya se encuentra en el nudo de Vilcanota a una altitud de 4,200 m.s.n.m., y la Universidad Nacional del Altiplano se ubica contiguo al lago Titicaca más alto del mundo. El Centro se dedica a la crianza alpacas entre razas Huacaya y Suri, y llamas entre variedades K'ara y Ch'aku; estos animales son alimentados a base de pastos naturales en toda su extensión de aproximadamente 5200 hectáreas. Además, en el Centro se realiza generación de conocimientos en diferentes líneas como nutrición, reproducción, características textiles de la fibra con el equipo de Micro proyección Óptica para determinar diámetro y regla acanalada para longitud de mecha; con participación de docentes de la facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Para esta fortaleza se requiere la implementación de 01 equipo OFDA 2000 TRANSPORTABLE para evaluar diámetro medio de la fibra, factor de confort, finura al hilado, DS, CV, índice de curvatura y otras variables que determina el equipo.

Actualmente, el Centro Experimental La Raya posee aproximadamente 4000 alpacas y 800 Llamas; esta población de animales no cubre los requerimientos nutricionales por día, para cumplir los estados fisiológicos como es el crecimiento, mantenimiento, reproducción y producción más en esta época de estiaje; ya que los pastos de los pastizales naturales se encuentran lignificados por la madurez, baja concentración de aminoácidos y/o proteínas, vitaminas y minerales. Por esta situación la crianza de estos animales no muestra una rentabilidad óptima, debido a que existe mortalidad de animales, bajo incremento de peso, desarrollo fetal no adecuado en el último tercio de gestación. En tal virtud, es muy necesario el empleo de bombeo del agua de fuentes subterráneas y/o de ríos para propósitos de riego agrícola; utilizando motores de combustión instalados en las fuentes subterráneas; empleando como origen principal la energía de combustión (petróleo y gasolina), ocasionando costes elevados en el mantenimiento y operación del sistema de bombeo; adicional a ello estos



sistemas de bombeo emiten gases nocivos por la ignición de los combustibles generando la contaminación atmosférica (Davalos, 2019).

El uso del agua es considerado indispensable para la producción agropecuaria, enfrentándose a un contexto muy crítico a nivel de pequeños criadores; debido a que el 80% del recurso agua disponible es utilizada en mayor cantidad en los sistemas para riego por gravedad alcanzando eficiencias de riego no mayores al 35% y el 65%; perdiéndose en la conducción, distribución y la aplicación, provocando la salinidad y saturación de los suelos lo cual conlleva a que no se aproveche adecuadamente (Asmat, 2018).

Para esta situación, las empresas agropecuarias posee la oportunidad de tener una propuesta de implementar los sistemas fotovoltaicos para generar energía, con ello el bombeo del agua de subsuelo y/o reservorio con la finalidad de implementar el riego por aspersión de pastos cultivados; lo que permite el incremento de producción de forraje, con esa disponibilidad de biomasa se suplementará la alimentación de los animales que están cumpliendo el estado fisiológico de gestación; lo que favorecerá la reducción de tasas de mortalidad de las alpacas crías, también se obtendrá mejor peso al nacimiento para que el crecimiento ó ganancia de peso sea en menor tiempo como es el engorde de animales no aptos para la reproducción y así incrementar los ingresos del Centro Experimental.

## II. OBJETIVOS

- 2.1 Generar base de datos para medir parámetros genéticos en las características textiles de la fibra de camélidos con la implementación del equipo OFDA 2000.
- 2.2 Mejorar los requerimientos nutricionales en la alimentación de camélidos en periodos de estiaje con la **implementación de riego por aspersión** para la producción de pastos cultivados.

## III. RECURSOS ECONÓMICOS

Se planificará en el CEPLAN el 50% de inversión será a cargo del Centro Experimental con recursos directamente recaudados (Ingreso propio). El otro 50 % se gestionará recursos ordinarios de la UNA, con el compromiso de devolver el monto prestado en 4 años del proceso de producción.

## IV. CONCLUSIÓN

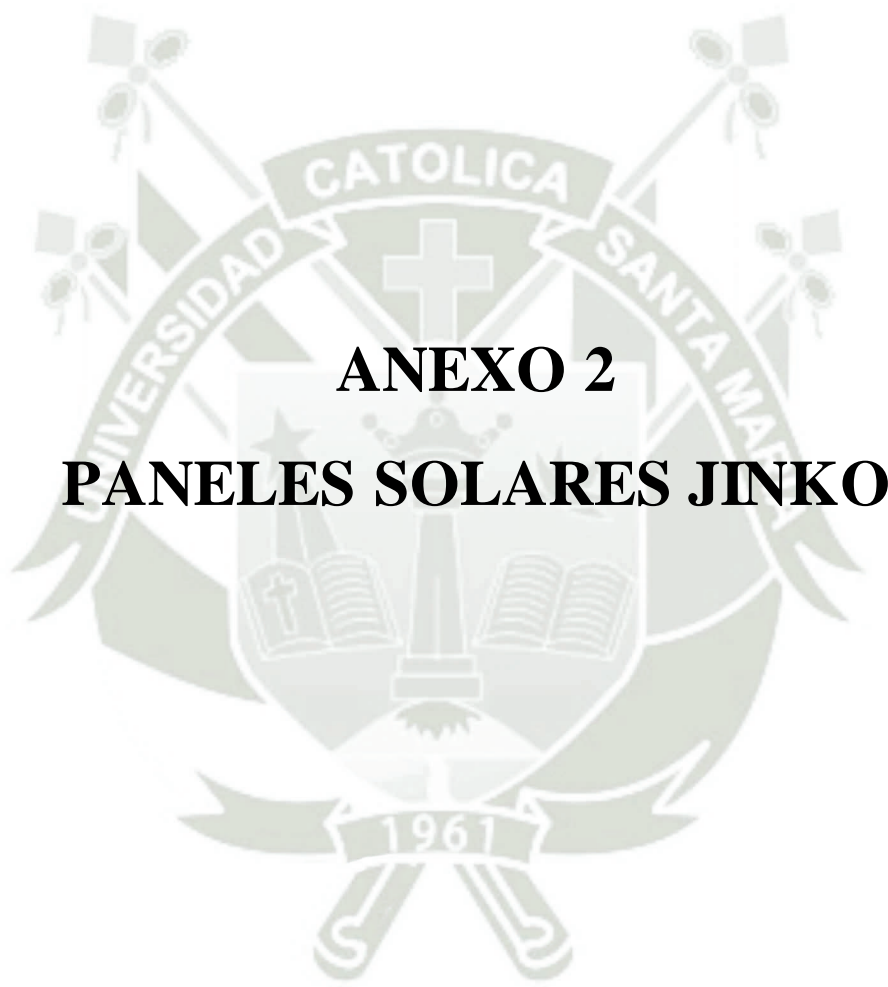
Se obtendrá el registro genealógico de los animales en relación a características tecnológicas de la fibra de toda la población de alpacas.

Mejorará la alimentación de los camélidos para lograr una rentabilidad positiva en relación a la producción de carne y fibra con el uso del riego por aspersión en la producción de pastos cultivados (Rye Grass y trébol blanco).

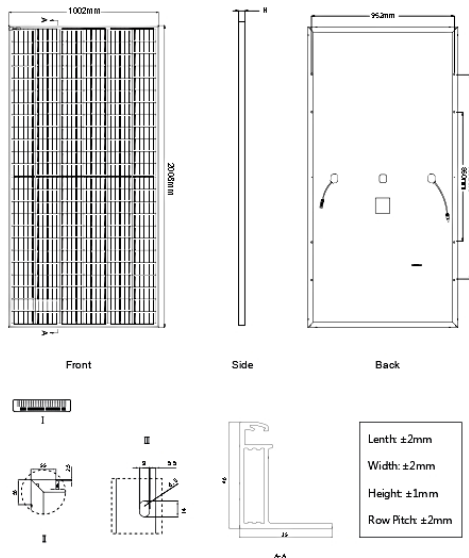


M. Sc. Oscar D. Grós Estrón  
DIRECTOR DE LARAYA

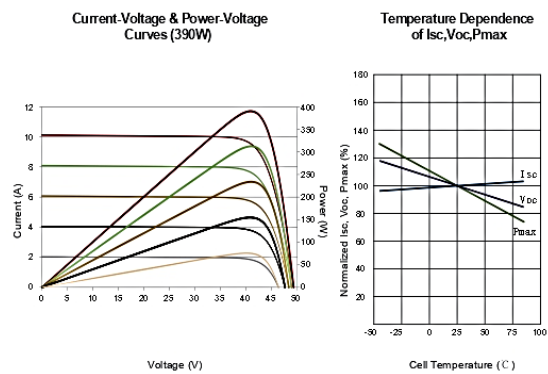
C.c.  
Archivo



### Engineering Drawings



### Electrical Performance & Temperature Dependence



### Packaging Configuration

( Two pallets = One stack )  
27pcs/pallet , 54pcs/stack, 594pcs/40' HQ Container

### Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono PERC 158.75×158.75mm
No. of Half-cells	144 (6×24)
Dimensions	2008×1002×40mm (79.06×39.45×1.57 inch)
Weight	22.5 kg (49.6 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm <sup>2</sup> , (+) 290mm, (-) 145mm or Customized Length

### SPECIFICATIONS

Module Type	JKM390M-72H		JKM395M-72H		JKM400M-72H		JKM405M-72H		JKM410M-72H	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	390Wp	294Wp	395Wp	298Wp	400Wp	302Wp	405Wp	306Wp	410Wp	310Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.1V	39.1V	41.4V	39.3V	41.7V	39.6V	42.0V	39.8V	42.3V	40.0V
Maximum Power Current (Imp)	9.49A	7.54A	9.55A	7.60A	9.60A	7.66A	9.65A	7.72A	9.69A	7.76A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.3V	48.0V	49.5V	48.2V	49.8V	48.5V	50.1V	48.7V	50.4V	48.9V
Short-circuit Current (Isc)	10.12A	8.02A	10.23A	8.09A	10.36A	8.16A	10.48A	8.22A	10.60A	8.26A
Module Efficiency STC (%)	19.38%		19.63%		19.88%		20.13%		20.38%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum System Voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.29%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: ☀ Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> 📖 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m<sup>2</sup> 📖 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Wind Speed 1m/s

\* Power measurement tolerance: ± 3%

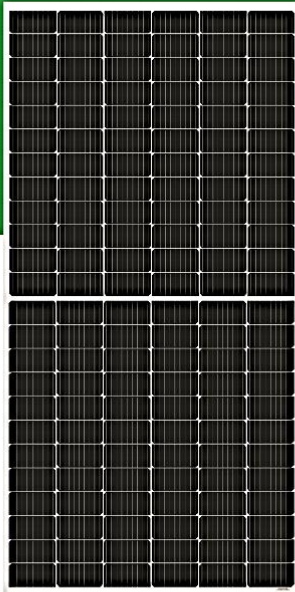
The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JKM390-410M-72H(V)-A3-EN



**ANEXO 3**  
**PANELES SOLARES PEIMAR**



**PLATINUM**



**AS-6M144-HC**

**435W~465W**

**MONOCRYSTALLINE MODULE**

#### ADVANCED PERFORMANCE & PROVEN ADVANTAGES

- High module conversion efficiency up to 21.27% by using innovative Half-cell design and Multi-busbar(MBB) cell technology.
- Low temperature coefficient and excellent performance under high temperature and low light conditions.
- Robust aluminum frame ensures the modules to withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa.
- High reliability against extreme environmental conditions (passing salt mist, ammonia and hail tests).
- Potential induced degradation (PID) resistance.

#### CERTIFICATIONS

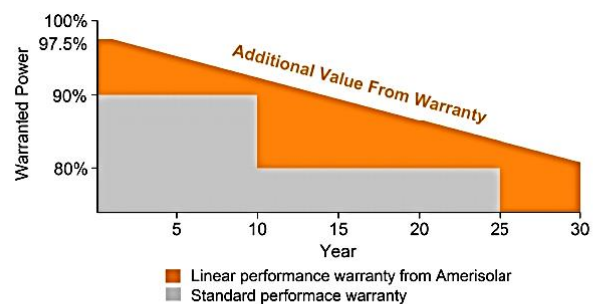
- IEC 61215, IEC 61730, UL 1703, IEC 62716, IEC 61701, IEC TS 62804, CE, CQC
- ISO 9001:2015: Quality management system
- ISO 14001:2015: Environmental management system
- ISO 45001:2018: Occupational health and safety management system



#### SPECIAL WARRANTY

- 20 years product warranty
- 30 years linear power output warranty

**Passionately  
committed to  
delivering innovative  
energy solution**



### ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT STC

Maximum Power ( $P_{max}$ )	435W	440W	445W	450W	455W	460W	465W
Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )	49.6V	49.8V	50.0V	50.2V	50.4V	50.6V	50.8V
Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )	11.10A	11.16A	11.22A	11.28A	11.34A	11.40A	11.46A
Voltage at Maximum Power ( $V_{mp}$ )	41.2V	41.4V	41.6V	41.8V	42.0V	42.2V	42.4V
Current at Maximum Power ( $I_{mp}$ )	10.56A	10.63A	10.70A	10.77A	10.84A	10.91A	10.97A
Module Efficiency (%)	19.90	20.13	20.36	20.58	20.81	21.04	21.27
Operating Temperature	-40°C to +85°C						
Maximum System Voltage	1000V DC/1500V DC						
Fire Resistance Rating	Type 1 (in accordance with UL1703)/Class C (IEC61730)						
Maximum Series Fuse Rating	20A						

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell temperature 25°C, AM1.5; Tolerance of P<sub>max</sub>: 0~+3%; Measurement Tolerance: ±3%

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT NOCT

Maximum Power ( $P_{max}$ )	323W	327W	331W	335W	339W	343W	347W
Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )	45.6V	45.8V	46.0V	46.2V	46.4V	46.6V	46.8V
Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )	8.99A	9.04A	9.09A	9.14A	9.19A	9.24A	9.29A
Voltage at Maximum Power ( $V_{mp}$ )	37.4V	37.6V	37.8V	38.0V	38.2V	38.4V	38.6V
Current at Maximum Power ( $I_{mp}$ )	8.64A	8.70A	8.76A	8.82A	8.88A	8.94A	8.99A

NOCT: Irradiance 800W/m<sup>2</sup>, Ambient temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s

### MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline PERC 166*83mm
Number of cells	144 (6x24)
Module dimensions	2102x1040x35mm (82.76x40.94x1.38inches)
Weight	24kg (52.9lbs)
Front cover	3.2mm (0.13inches) tempered glass with AR coating
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP68, 3 diodes
Cable	4mm <sup>2</sup> (0.006inches <sup>2</sup> ), Length: Portrait: 300mm (11.81inches); Landscape: 1400mm (55.12inches)
Connector	MC4 or MC4 compatible

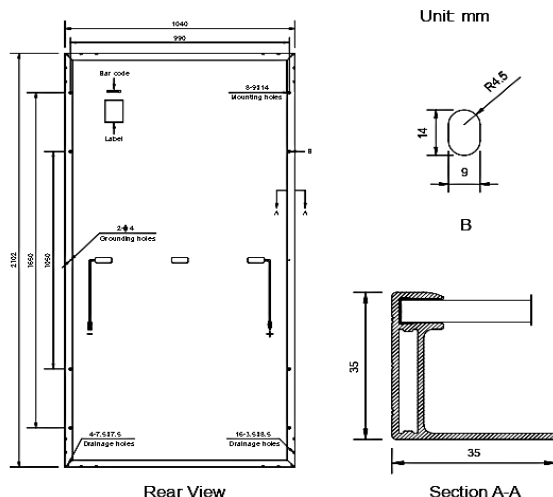
### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	43°C±2°C
Temperature Coefficients of $P_{max}$	-0.36%/°C
Temperature Coefficients of $V_{oc}$	-0.28%/°C
Temperature Coefficients of $I_{sc}$	0.05%/°C

### PACKAGING

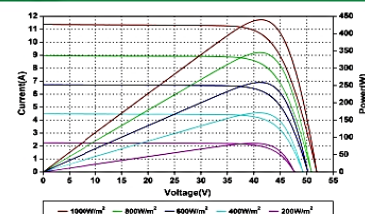
Standard packaging	31pcs/pallet
Module quantity per 20' container	155pcs
Module quantity per 40' container	682pcs

### ENGINEERING DRAWINGS

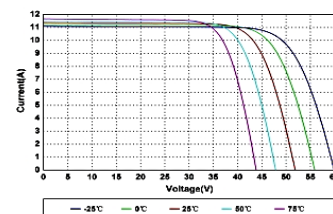


Specifications in this datasheet are subject to change without prior notice.

### IV CURVES



Current-Voltage and Power-Voltage Curves at Different Irradiances



Current-Voltage Curves at Different Temperatures

Amerisolar and Amerisolar logo denoted with ® are registered trademarks of Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Ltd.



**ANEXO 4**  
**PANELES SOLARES**  
**HELIO PLUS**

# HELIOS PLUS by Eco Green Energy

EGE-445/455W-144M(M6)

V1-2022

## ELECTRICAL DATA AT STC\*

Power output (Pmax)	445 W	450 W	455 W
Power tolerance	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W
Module efficiency	20.36%	20.58%	20.81%
Maximum power voltage (Vmp)	40.84 V	40.96 V	41.06 V
Maximum power current (Imp)	10.90 A	10.99 A	11.08 A
Open circuit voltage (Voc)	49.14 V	49.28 V	49.41 V
Short circuit current (Isc)	11.48 A	11.57 A	11.66 A

\*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m<sup>2</sup> • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

## ELECTRICAL DATA AT NMOT\*

Power output (Pmax)	331.80 W	335.53 W	339.26 W
Maximum power voltage (Vmp)	38.29 V	38.40 V	38.49 V
Maximum power current (Imp)	8.65 A	8.73 A	8.80 A
Open circuit voltage (Voc)	45.57 V	45.70 V	45.82 V
Short circuit current (Isc)	9.33 A	9.41 A	9.48 A

\*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m<sup>2</sup> • Ambient temperature: 20°C  
• AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

## MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline (166x83mm)
Number of cells	144
Dimensions	2102x1040x35mm
Weight	24.5 kg
Glass	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68 rated (3 by pass diodes)
Cable	4.0 mm <sup>2</sup> , 300 mm (+) / 300 mm (-); Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 compatible
Max front load (e.g.: snow)	5400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2400 Pa

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NMOT	41 °C ±3 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.35%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.30%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.05%/°C

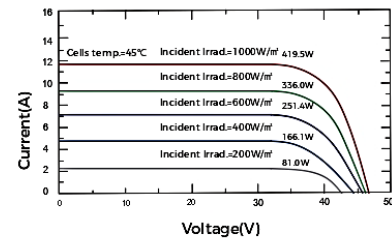
## MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-40 °C ~+85 °C
Maximum system voltage	1500V/DC(IEC)
Max series fuse rating	25 A

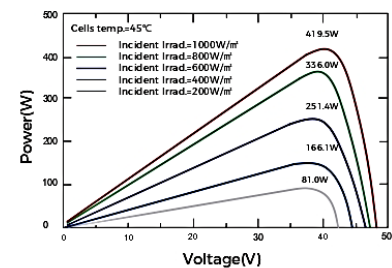
## PACKAGING (2102x1040x35mm)

Type	Pcs	Weight
Per Pallet	31 pcs	800 kg
40ft HQ Container	682 pcs (22pallets)	17.60 t

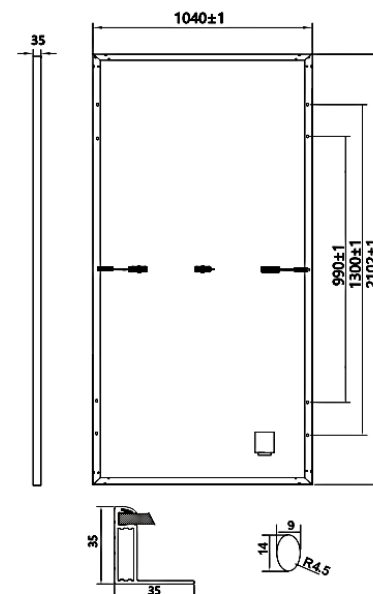
## PV MODULE : EGE-450W-144M(M6)



## PV MODULE : EGE-450W-144M(M6)



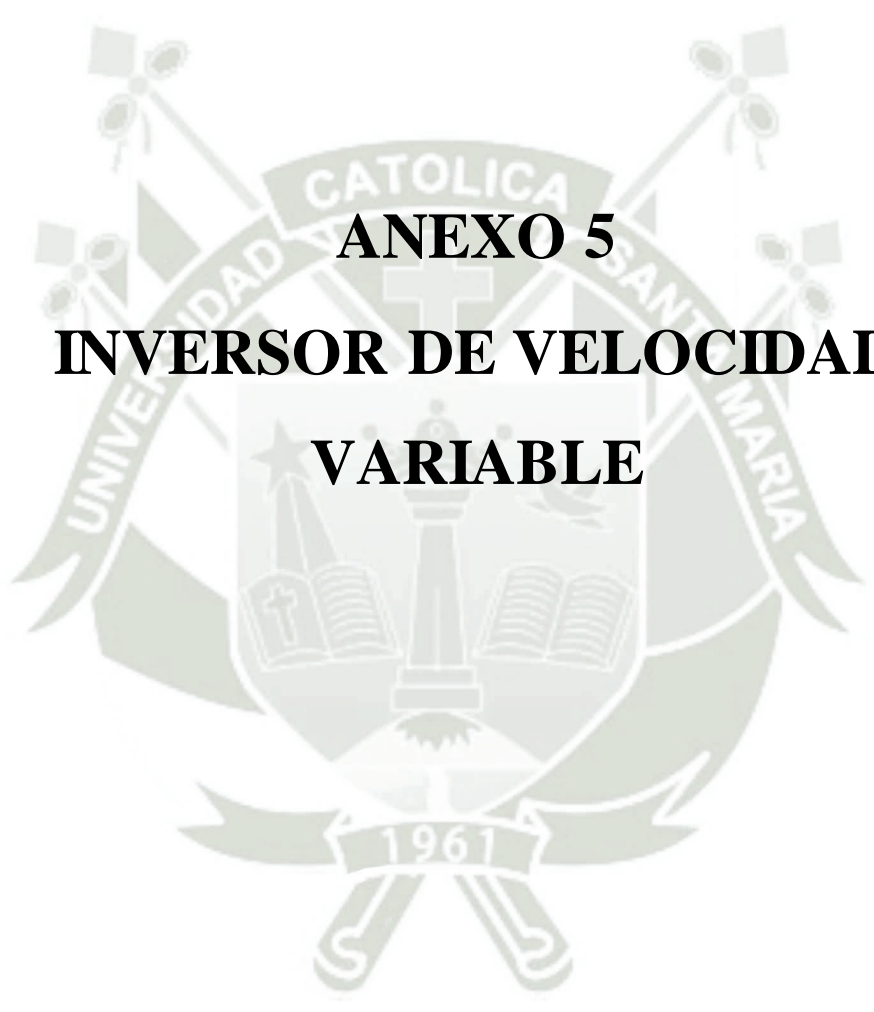
## Dimension of PV Module (mm)



**ECO GREEN ENERGY**  
Building a Greener World



Specifications included in this datasheet are subject to change without prior notice.  
Refer to our website for further information or contact one of our sales staff.  
[www.eco-greenenergy.com](http://www.eco-greenenergy.com)



**ANEXO 5**  
**INVERSOR DE VELOCIDAD**  
**VARIABLE**

**El VASCO Solar - VARIable Speed COntroller es un variador que permite de convertir los sistemas de bombeo tradicional en sistemas de bombeo accionados mediante energía solar, renovable y amigables con el medio ambiente,** utilizando las bombas existentes con motor trifasico de AC, significando esto un importante ahorro de energía y disponiendo de un sistema sustentable.

El dispositivo convierte el voltaje DC de los paneles fotovoltaicos en voltaje AC para accionar cualquier bomba con motor asíncrono trifásico.

La velocidad de la bomba se adapta en todo momento a la radiación solar disponible, maximizando la cantidad de agua bombeada y funcionando incluso en condiciones de baja radiación solar.

El dispositivo ofrece un protección total de la bomba contra sobrevoltaje, sobrecargas y funcionamiento en seco.



## Diseñado para resistir

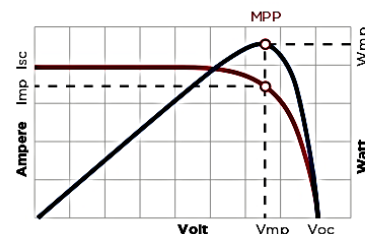
El dispositivo está completamente fabricado en aluminio para asegurar la máxima refrigeración y durabilidad. Todas las partes metálicas son fabricadas en acero inoxidable AISI 304 siendo altamente resistente a la corrosión y a factores climáticos.

La protección IP65 que posee permite instalarlo en exteriores. Dos ventiladores externos independientes y uno interno proporcionan una óptima refrigeración incluso en los climas más extremos. El funcionamiento de los mismos está controlado en función de la temperatura ambiente permitiendo así una larga vida de servicio.

## MPPT: siempre la potencia máxima disponible

En la aplicación con paneles fotovoltaicos, el MPPT (seguimiento del punto de energía máxima) maximiza la energía recibida por los paneles adecuando la cantidad de agua bombeada en función a las condiciones de radiación y temperatura.

Cuando la radiación se incrementa, la bomba aumenta su velocidad de rotación y por ende aumenta el flujo de agua. Cuando la radiación disminuye (paso de nubes o diferentes horas del día), la bomba reduce la frecuencia y por lo tanto el flujo pero sigue proporcionando agua hasta que la radiación cae por debajo de un mínimo necesario para garantizar el funcionamiento.



## Monitoreo de parámetros

El dispositivo está equipado con una pantalla alfanumérica retroiluminada diseñada para visualizar los principales parámetros eléctricos, como la tensión de entrada, potencia, corriente, factor de potencia del motor y frecuencia.

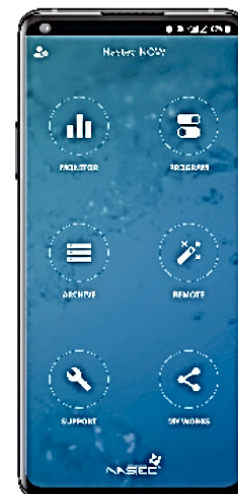
También es posible conectar un sensor de presión o caudal visualizando los valores suministrados. En el menú de diagnóstico se registran las estadísticas de las horas de funcionamiento del variador y del motor y las últimas ocho alarmas.

Los menús de programación están protegidos por contraseña para evitar modificaciones no deseadas.

## Experiencia de usuario inigualable

Gracias a la App Nastec NOW, es posible comunicarse con todos los dispositivos Nastec Bluetooth® SMART para:

- Monitoreo de múltiples parámetros de operación en la amplia y colorida pantalla de un Smartphone o Tablet.
- Obtener estadísticas de consumo energético y revisar el historial de alarmas.
- Programar, archivar, copiar a varios dispositivos e incluso compartir programaciones con múltiples usuarios.
- Realizar reportes con la posibilidad de insertar notas e imágenes, enviarlas vía email o archivarlas en una carpeta digital.
- Controlar y operar de manera remota, vía Wi-Fi o GSM, un dispositivo Nastec Bluetooth® SMART, utilizando un Smartphone conectado como modem.



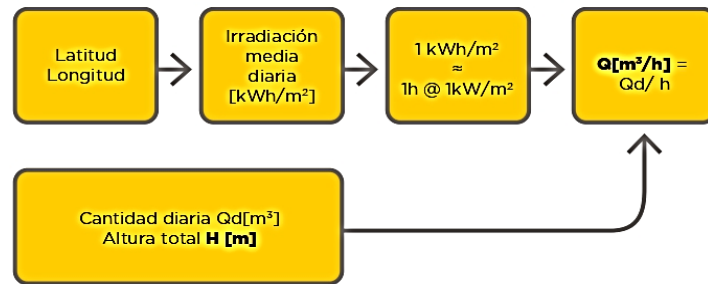
## Dimensionamiento del sistema

El sistema de bombeo debe ser diseñado teniendo en cuenta el caudal diario de agua requerido, la altura total y el lugar de instalación.

En particular, la elección de la bomba debe llevarse a cabo teniendo en cuenta la radiación media diaria.

Una vez determinada la bomba requerida, se necesita conocer:

- Potencia nominal (P2).
- Potencia eléctrica (P1).  
P1 se puede determinar dividiendo P2 por el rendimiento del motor.
- Corriente nominal.
- Tensión nominal:  
3 x 230 VAC  
3 x 400 VAC



El modelo de inversor a utilizar, se determina considerando la corriente y la tensión nominal del motor.

Para garantizar el máximo rendimiento de la instalación fotovoltaica, deberemos considerar 1 o más hileras de paneles solares conectados en serie, que deberán proporcionar:

### Potencia eléctrica nominal del motor (P1)

La potencia fotovoltaica ( $W_p$ ) debe ser al menos igual a la potencia del motor eléctrico (P1). Teniendo en cuenta la

típica pérdida de eficiencia de los paneles debido a la temperatura, se recomienda incrementar la potencia  $W_p$  un 15% respecto a P1.

### Tensión nominal del motor

La tensión nominal de cada hilera fotovoltaica ( $V_{mp}$ ) debe ser al menos igual a la tensión nominal del motor multiplicado por el factor de 1,4.

### La tensión de circuito abierto (Voc)

de cada hilera ( $V_{oc}$ ) debe ser inferior a la tensión de servicio máxima del inversor.

## Ejemplo:

### Placa de la bomba:

- Potencia nominal:  
P2 = 3 kW
- Potencia eléctrica:  
P1 = 4 kW
- Corriente nominal:  
8.3 A
- Tensión nominal:  
3 x 400 VAC

### Selección del modelo

Siendo la tensión nominal del motor 400 VAC y la corriente nominal de 8.3 A, el modelo más adecuado para la aplicación es el VS409.

### Dimensionamiento del sistema PV:

Paneles utilizados:

- $W_p = 240$  W
- $V_{mp} = 30$  VDC
- $V_{oc} = 37$  VDC
- $I_{mp} = 8$  A

Partiendo de un P1 = 4 kW y teniendo en cuenta la pérdida de rendimiento debido a la temperatura, la potencia eléctrica requerida se incrementa de 15%, por lo que la  $W_p = 4.6$  kW.

Para suministrar 4.6 kW serán necesarios 19 paneles de 240  $W_p$ .  $V_{mp} = 19 \times 30 = 570$  VDC es mayor que la tensión nominal del motor multiplicada por 1,4 ( $400 \times 1,4 = 560$  VDC) y  $V_{oc} = 19 \times 37 = 703$  VDC es menor que la tensión máxima del VS409 (850 VDC).

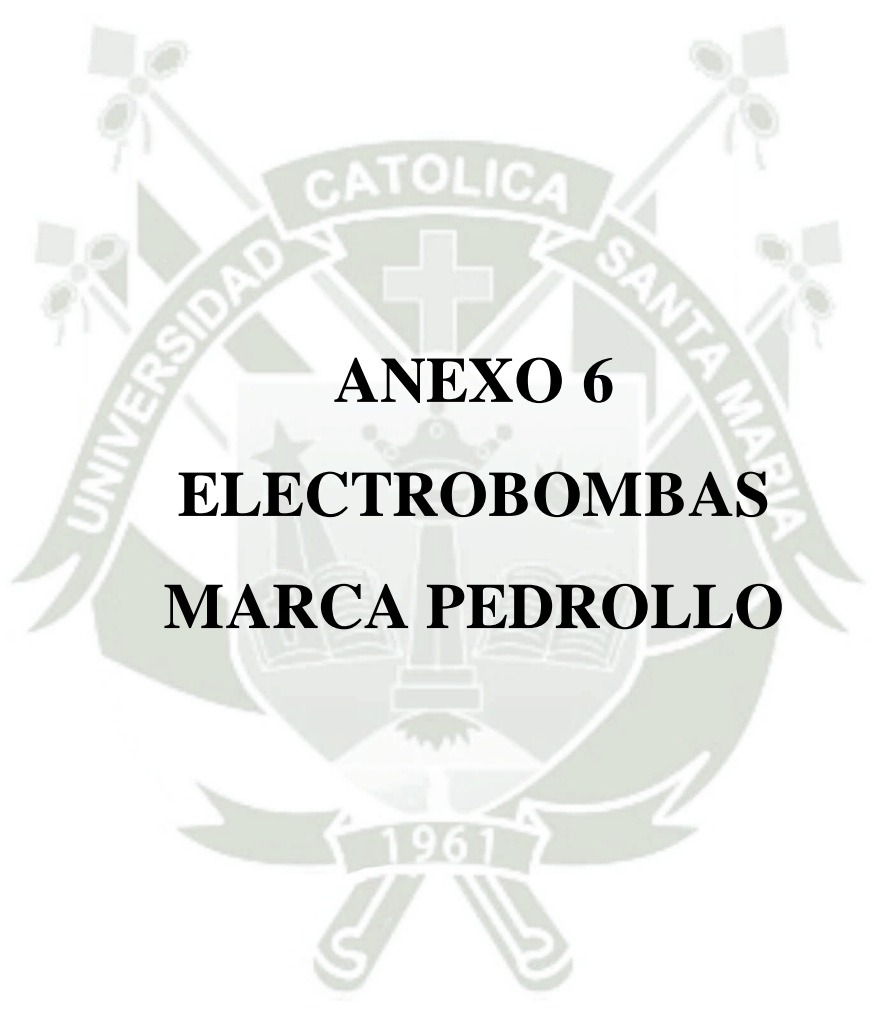
Teniendo en cuenta los cálculos anteriores se necesita una sola cadena de 19 paneles fotovoltaicos.

**Nastec srl**  
Via della Tecnica 8  
36048 Barbarano Mossano  
Vicenza - Italy

tel +39 0444 886289  
fax+39 0444 776099  
info@nastec.eu

**nastec.eu**

  
**NASTEC**<sup>®</sup>  
> we move it faster >



**ANEXO 6**  
**ELECTROBOMBAS**  
**MARCA PEDROLLO**

# 6SR



60 Hz | 6SR

## Electrobombas sumergidas de 6"



Agua limpia  
(Contenido de arena  
máximo 100 g/m<sup>3</sup>)



Uso civil



Uso agrícola



Uso industrial

### CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **1200 l/min** (72 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta **381 m**

### LÍMITES DE USO

- Temperatura máxima del fluido hasta **+35 °C**
- Contenido de arena máximo **100 g/m<sup>3</sup>**
- Profundidad de uso hasta **200 m** bajo el nivel del agua
- Funcionamiento:
  - en vertical
  - en horizontal con los siguientes límites:  
hasta **7 etapas** o hasta **11 kW**
- Arranques/hora: **20** a intervalos regulares
- Flujo de enfriamiento mínimo **16 cm/s** (50 cm/s para 30 kW)
- Funcionamiento continuo **51**

### EJECUCIÓN Y NORMAS DE SEGURIDAD

#### MOTOR ELÉCTRICO

- Trifásica 380 V - 60 Hz

Cable de alimentación de **4 m**

EN 60335-1  
IEC 60335-1  
CEI 61-150

EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3



### CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV  
ISO 9001: CALIDAD

### USOS E INSTALACIONES

Se aconsejan para bombear agua limpia con contenido de arena no superior a **100 g/m<sup>3</sup>**. Debido a su alto rendimiento y fiabilidad se indican para usos en el campo civil, agrícola e industrial, para la distribución del agua en acoplamiento con autoclaves, para riegos, para aumentos de presión y para instalaciones anti-incendio, etc.

### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

### EJECUCIÓN BAJO PEDIDO

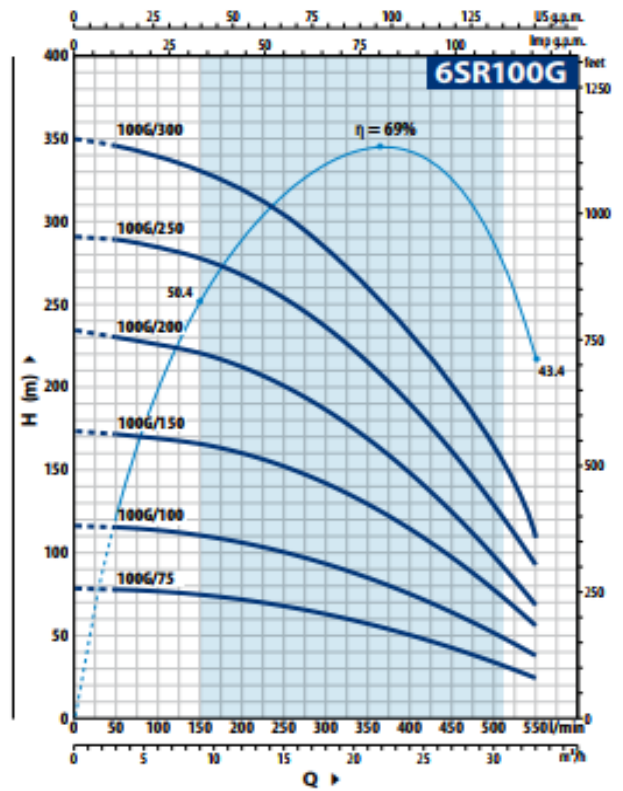
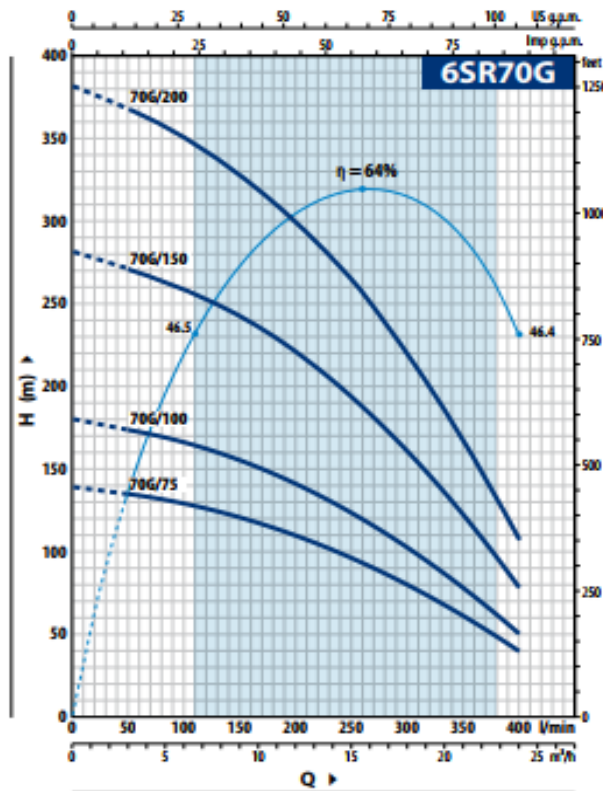
- Cuerpo bomba con bocas roscadas ISO 228/1
- Otros voltajes
- Kit camisa de enfriamiento completo con filtro y soportes



CAMISA DE ENFRIAMIENTO

CAMPO DE PRESTACIONES

60 Hz n = 3450 min<sup>-1</sup>



**6SR70G**

MODELO	N. ETAPAS	POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	H metros												
		kW	HP		m <sup>3</sup> /h	0	3	6	9	12	15	18	21	24			
Trifásica				l/min	0	50	100	150	200	250	300	350	400				
6SR 70G/75	7	5.5	7.5		140	135	130	122	110	98	80	60	40				
6SR 70G/100	9	7.5	10		182	174	168	155	140	125	104	80	50				
6SR 70G/150	14	11	15		281	270	260	240	220	198	162	122	78				
6SR 70G/200	19	15	20		381	365	351	325	300	265	220	168	108				

**6SR100G**

MODELO	N. ETAPAS	POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	H metros												
		kW	HP		m <sup>3</sup> /h	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
Trifásica				l/min	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	
6SR 100G/75	4	5.5	7.5		80	79	77	75	72	68	63	58	52	44	38	25	
6SR 100G/100	6	7.5	10		118	117	114	110	105	100	95	88	78	68	58	38	
6SR 100G/150	9	11	15		177	173	170	166	160	152	142	130	118	100	85	56	
6SR 100G/200	12	15	20		235	230	225	220	213	202	190	170	150	133	110	69	
6SR 100G/250	15	18.5	25		292	290	284	275	265	252	238	218	195	167	140	92	
6SR 100G/300	18	22	30		350	345	339	333	320	305	285	260	230	200	168	110	

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

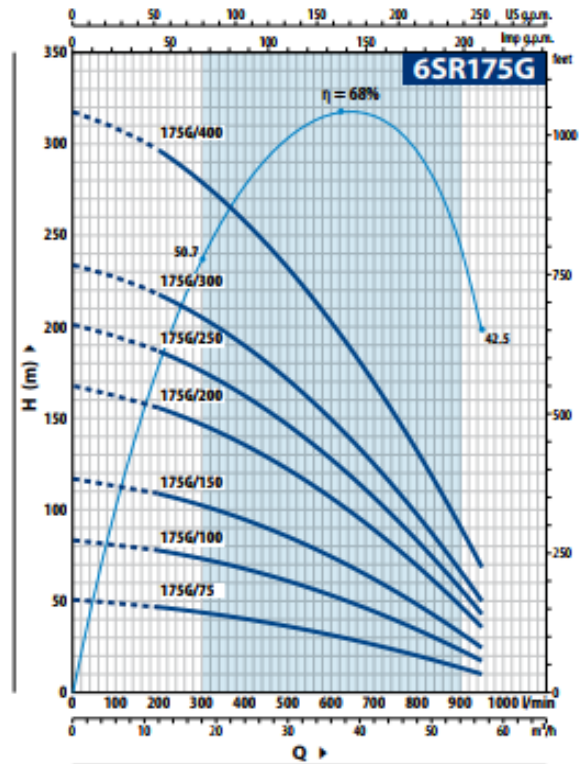
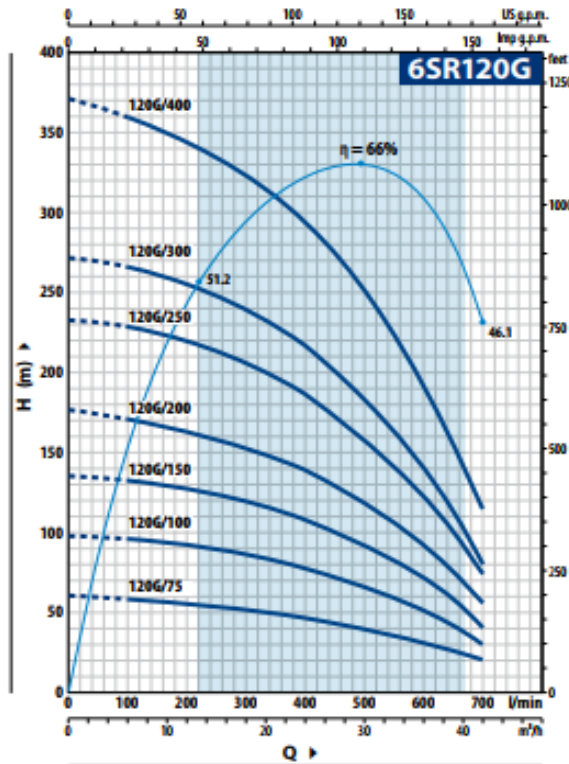
6SR | 60 Hz



## Electrobombas sumergidas de 6"

### CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n = 3450 min<sup>-1</sup>



#### 6SR120G

MODELO	N. ETAPAS	POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	H metros									
		kW	HP		0	6	12	18	24	30	36	42		
Trifásica					0	100	200	300	400	500	600	700		
6SR 120G/75	3	5.5	7.5	0	61	58	55	52	46	40	31	20		
6SR 120G/100	5	7.5	10	0	98	95	91	85	78	66	52	30		
6SR 120G/150	7	11	15	0	136	132	128	120	108	92	73	45		
6SR 120G/200	9	15	20	0	177	170	163	155	140	120	94	56		
6SR 120G/250	12	18.5	25	0	233	230	220	205	188	159	125	75		
6SR 120G/300	14	22	30	0	272	267	255	240	218	185	143	80		
6SR 120G/400	19	30	40	0	372	360	345	325	295	253	195	115		

#### 6SR175G

MODELO	N. ETAPAS	POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	H metros									
		kW	HP		0	12	18	24	30	36	42	48	54	57
Trifásica					0	200	300	400	500	600	700	800	900	950
6SR 175G/75	3	5.5	7.5	0	50	47	44	40	36	32	27	21	14.5	10
6SR 175G/100	5	7.5	10	0	83	78	73	67	60.5	53	45	35.5	24.5	17
6SR 175G/150	7	11	15	0	116	109	102.5	94	84.5	74.5	63	49.5	34.5	24
6SR 175G/200	10	15	20	0	166	156	146.5	134.5	121	106.5	90.5	71	49.5	35
6SR 175G/250	12	18.5	25	0	200	187	176	161.5	145	128	108.5	85	59	42
6SR 175G/300	14	22	30	0	233	218	205.5	188.5	169.5	149.5	126.5	99.5	69	49
6SR 175G/400	19	30	40	0	316	297	279	256	230	203	172	135	94	67

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

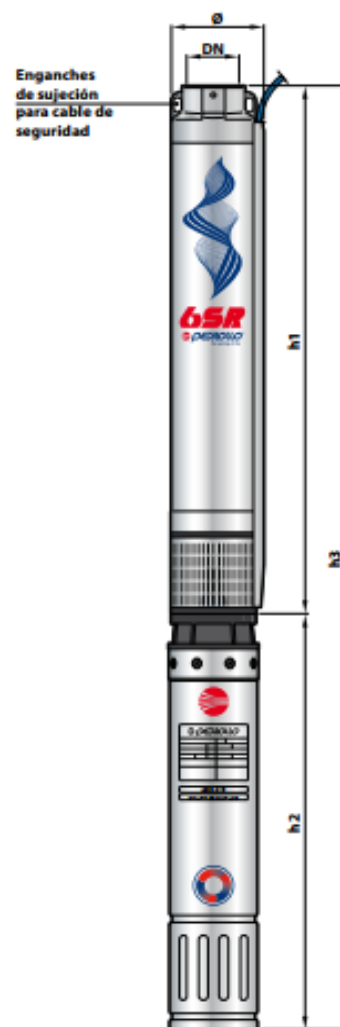
60 Hz | 6SR



## Electrobombas sumergidas de 6"

**DIMENSIONES Y PESOS** (Bombas combinadas con motores sumergibles 6PD)

MODELO Trifásica	BOCA DN	N° ETAPAS	DIMENSIONES mm			kg 3~	
			Ø	h1	h2		h3
6SR 70G/75 - PD	3" NPT	7	149.5	676	625	1301	55.0
6SR 70G/100 - PD		9		763	660	1423	60.5
6SR 70G/150 - PD		14		1025	765	1790	77.5
6SR 70G/200 - PD		19		1241	820	2061	89.0
6SR 100G/75 - PD		4		545	625	1170	51.6
6SR 100G/100 - PD		6		632	660	1292	56.6
6SR 100G/150 - PD		9		807	765	1572	75.5
6SR 100G/200 - PD		12		938	820	1758	83.6
6SR 100G/250 - PD		15		1068	883	1951	92.6
6SR 100G/300 - PD		18		1198	953	2151	117.6
6SR 120G/75 - PD		3		530	625	1155	46.5
6SR 120G/100 - PD		5		636	660	1296	56.5
6SR 120G/150 - PD		7		742	765	1507	69.8
6SR 120G/200 - PD		9		891	820	1711	80.2
6SR 120G/250 - PD		12		1051	883	1934	91.6
6SR 120G/300 - PD		14		1157	953	2110	115.9
6SR 120G/400 - PD		19		1422	1098	2520	125.8
6SR 175G/75 - PD		3		710	625	1335	56.0
6SR 175G/100 - PD		5		936	660	1596	63.1
6SR 175G/150 - PD		7		1162	765	1927	80.1
6SR 175G/200 - PD		10		1501	820	2321	91.2
6SR 175G/250 - PD		12		1726	883	2609	107.5
6SR 175G/300 - PD		14		1952	953	2905	135.0
6SR 175G/400 - PD		19		2517	1098	3615	147.0
6SR 225G/75 - PD		2		597	625	1222	54.5
6SR 225G/100 - PD		3		710	660	1370	59.0
6SR 225G/150 - PD		5		936	765	1701	74.1
6SR 225G/200 - PD		7		1162	820	1982	87.1
6SR 225G/250 - PD	9	1388	883	2271	100.0		
6SR 225G/300 - PD	10	1501	953	2454	124.5		
6SR 225G/400 - PD	14	1952	1098	3050	139.0		



6PD = motor en baño de aceite rebobinable

**DIMENSIONES Y PESOS (SOLO HIDRÁULICA)**

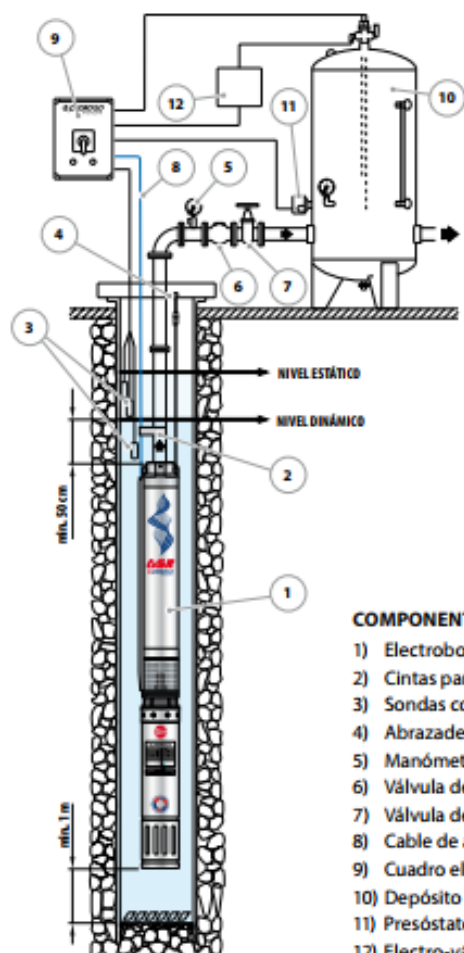
MODELO Bomba	BOCA DN	N° ETAPAS	DIMENSIONES mm		kg
			Ø	h1	
6SR 70G/75 -HYD	3" NPT	7	149,5	676	19.0
6SR 70G/100 -HYD		9		763	21.5
6SR 70G/150 -HYD		14		1025	27.5
6SR 70G/200 -HYD		19		1241	32.0
6SR 100G/75 -HYD		4		545	15.6
6SR 100G/100 -HYD		6		632	17.6
6SR 100G/150 -HYD		9		807	25.5
6SR 100G/200 -HYD		12		938	26.6
6SR 100G/250 -HYD		15		1068	27.6
6SR 100G/300 -HYD		18		1198	30.6
6SR 120G/75 -HYD		3		530	10.5
6SR 120G/100 -HYD		5		636	17.5
6SR 120G/150 -HYD		7		742	19.8
6SR 120G/200 -HYD		9		891	23.2
6SR 120G/250 -HYD		12		1051	26.6
6SR 120G/300 -HYD		14		1157	28.9
6SR 120G/400 -HYD		19		1422	34.8
6SR 175G/75 -HYD		3		710	20.0
6SR 175G/100 -HYD		5		936	24.1
6SR 175G/150 -HYD		7		1162	30.1
6SR 175G/200 -HYD		10		1501	34.2
6SR 175G/250 -HYD		12		1726	42.5
6SR 175G/300 -HYD		14		1952	48.0
6SR 175G/400 -HYD		19		2517	56.0
6SR 225G/75 -HYD		2		597	18.5
6SR 225G/100 -HYD		3		710	20.0
6SR 225G/150 -HYD		5		936	24.1
6SR 225G/200 -HYD		7		1162	30.1
6SR 225G/250 -HYD		9		1388	35.0
6SR 225G/300 -HYD		10		1501	37.5
6SR 225G/400 -HYD		14		1952	48.0





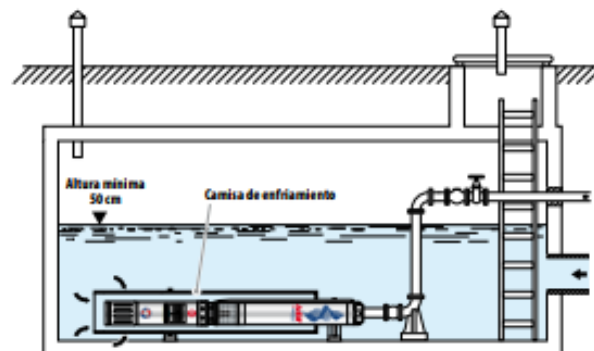
## Electrobombas sumergidas de 6"

### EJEMPLO DE INSTALACIÓN



#### COMPONENTES

- 1) Electrobomba sumergida
- 2) Cintas para fijar
- 3) Sondas control nivel contra la marcha en seco
- 4) Abrazadera de anclaje
- 5) Manómetro
- 6) Válvula de retención
- 7) Válvula de compuerta del caudal
- 8) Cable de alimentación eléctrica
- 9) Cuadro eléctrico
- 10) Depósito autoclave
- 11) Presóstato
- 12) Electro-válvula/electro-compresor



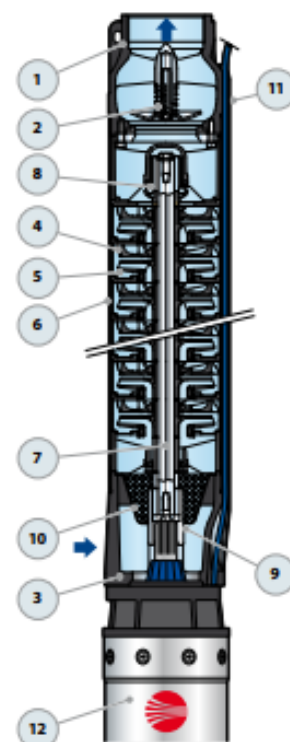
#### Camisa de enfriamiento

Cuando la electrobomba se instala en depósitos de acumulación, ríos o lagos, es necesario instalar una camisa externa para crear un flujo de agua de enfriamiento que evite el recalentamiento del motor.

➔ La instalación de las electrobombas **6SR** es apta para pozos con un diámetro no inferior a 6" (150 mm). La electrobomba sumergida se baja al pozo mediante el tubo de impulsión hasta una profundidad tal que garantice su total inmersión (min, 50 cm y por lo menos 1 metro desde el fondo del pozo) incluso mientras funciona, cuando se aprecia una disminución del líquido en el pozo. Cuando la electrobomba sumergida se instala en un pozo, se aconseja asegurarla con un cable de acero inoxidable para conectarla a los específicos enganches de la boca de impulsión.

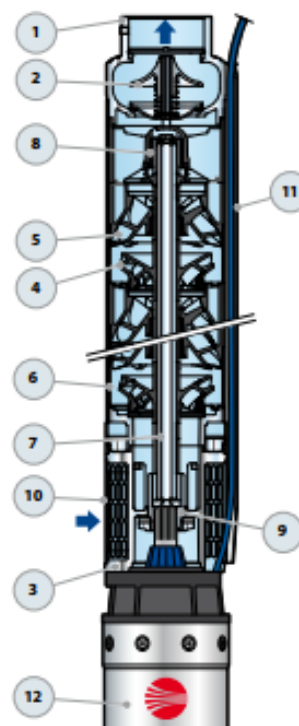
### 6SR 70G - 100G - 120G (Rodetes radiales)

POS. COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS
1 CUERPO DE IMPULSION	Hierro fundido niquelado con tratamiento de cataforesis con boca de impulsión roscada NPT ANSI B 1.20.1
2 VÁLVULA DE RETENCIÓN	Acero inoxidable AISI 304
3 SOPORTE	Hierro fundido niquelado con tratamiento de cataforesis con dimensiones según norma NEMA
4 RODETES	Noryl y cubiertas de goma especial
5 DIFUSORES	Noryl
6 CAJA PORTA DIFUSOR	Acero inoxidable AISI 304
7 EJE BOMBA	Acero inoxidable AISI 304
8 RODAMIENTOS BOMBA	Parte fija en elastómero especial y parte rotatoria en acero inoxidable AISI 316 revestida de óxido de cromo para resistir a la arena
9 CASQUILLO	Acero inoxidable AISI 420
10 FILTRO	Acero inoxidable AISI 304
11 PROTECTOR CABLE	Acero inoxidable AISI 304
12 MOTOR 6"	6PD = motor en baño de aceite rebobinable



### 6SR 175G - 225G (Rodetes semiaxiales)

POS. COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS
1 CUERPO DE IMPULSION	Acero inoxidable AISI 304 con boca de impulsión roscada NPT ANSI B 1.20.1
2 VÁLVULA DE RETENCIÓN	Acero inoxidable AISI 304
3 SOPORTE	Hierro fundido niquelado, con dimensiones según norma NEMA
4 RODETES	Noryl y cubiertas de goma especial
5 DIFUSORES	Noryl
6 CAJA PORTA DIFUSOR	Acero inoxidable AISI 304
7 EJE BOMBA	Acero inoxidable AISI 304
8 RODAMIENTOS BOMBA	Parte fija en tecnopolímero especial y parte rotatoria en acero inoxidable AISI 316 revestida de óxido de cromo para resistir a la arena
9 CASQUILLO	Acero inoxidable AISI 420
10 FILTRO	Acero inoxidable AISI 304
11 PROTECTOR CABLE	Acero inoxidable AISI 304
12 MOTOR 6"	6PD = motor en baño de aceite rebobinable



6SR | 60 Hz

# 6PD

## Motores sumergidos de 6" PEDROLLO



-  Uso civil
-  Uso agrícola
-  Uso industrial

### PRESTACIÓN

- Potencia de 4 a 37 kW

### LÍMITES DE USO

- Temperatura máxima del fluido hasta +35 °C
- Profundidad de uso hasta 200 m bajo el nivel del agua
- Arranques/hora: 30 con intervalos regulares
- Flujo de enfriamiento mínimo 10 cm/s
- Funcionamiento continuo S1

### MOTOR ELÉCTRICO

- Motor eléctrico de 2 polos, 60 Hz (n ~ 3450 min<sup>-1</sup>)
- Tensión trifásica:
  - 220 V hasta 22 kW
  - 380 V
  - 460 V
- Aislamiento: clase F
- Protección: IP 68

### EJECUCIÓN Y NORMAS DE SEGURIDAD

- Motores sumergidos **rebobinables** en baño de aceite de tipo alimentario).
- **Camisa: acero inox AISI 316**
- **Eje motor: acero inox "DUPLEX"**
- Dimensiones de acople bridas según estandar **NEMA**.
- Completos de cable de alimentación de:
  - 3 m para potencias hasta 15 kW
  - 4 m para potencias de 18.5 a 37 kW.

EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3



### CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV  
ISO 9001: CALIDAD

### EJECUCIÓN BAJO PEDIDO

- Motores con doble tensión 380/660 V (estrella/triángulo)
- Otros voltajes

### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

**DATOS DE PRESTACIÓN**

MODELO Trifásica 380 V / 60 Hz	Potencia nominal P <sub>2</sub>		Carga axial N	Rev. min <sup>-1</sup>	Corriente arranque Corriente nominal	Rendimiento η	Factor de potencia cos φ	Par nominal Nm	Par Arranque Par Nominal	h mm	Peso kg
	kW	HP									
6PD / 5.5	4	5.5	10000	3435	4.6	75	0.81	11.1	1.65	595	33
6PD / 7.5	5.5	7.5		3440	5.1	78	0.78	15.3	1.75	625	35
6PD / 10	7.5	10		3435	5.3	79	0.84	20.9	1.75	660	38
6PD / 12.5	9.2	12.5		3455	5.4	81	0.79	25.4	2.0	700	40
6PD / 15	11	15	20000	3450	5.7	80	0.81	30.5	2.15	765	44
6PD / 20	15	20		3435	6.0	81	0.81	41.7	2.2	820	52
6PD / 25	18.5	25		3445	5.9	82	0.78	51.3	2.2	883	62
6PD / 30	22	30		3450	6.2	83	0.81	60.9	2.25	953	67
6PD / 40	30	40	20000	3445	6.2	84	0.82	83.2	2.2	1098	83
6PD / 50	37	50		3440	6.0	84	0.83	102.8	2.15	1233	92

**CONSUMO EN AMPERIOS**

MODELO Trifásica	TENSIÓN (Trifásica)					
	220 V		380 V		460 V	
	S.F. = 1	S.F. = 1.15	S.F. = 1	S.F. = 1.15	S.F. = 1	S.F. = 1.15
6PD / 5.5	16.1	16.9	9.7	10.1	7.9	9.1
6PD / 7.5	23.7	26.4	13.2	15.3	11.3	12.7
6PD / 10	28.4	32.9	17.3	19.3	14.7	16.6
6PD / 12.5	34.6	36.2	19.9	22.1	19.7	22.2
6PD / 15	38.4	46.7	25.8	29.6	21.2	24.3
6PD / 20	54.1	60.8	33.8	37.2	27.8	30.9
6PD / 25	66.5	75.5	40.1	45.9	35.7	38.5
6PD / 30	79.1	89.0	46.2	53.8	43.1	46.0
6PD / 40	-	-	65.1	74.2	55.2	61.2
6PD / 50	-	-	82.2	93.5	74.3	77.0



**6PD / 60 HZ**

## FCR 15-30

### Electrobombas centrífugas multicelulares

-  Agua limpia
-  Uso civil
-  Uso industrial



#### CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **900 l/min** (54 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta **123 m**

#### LÍMITES DE USO

- Altura de aspiración manométrica hasta **7 m**
- Temperatura del líquido de **-15 °C** hasta **+90 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C**
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba **12 bar**
- Funcionamiento continuo **S1**

#### USOS E INSTALACIONES

Por la silenciosidad y el bajo consumo energético, se aconsejan para el suministro y la presurización hídrica, para la distribución del agua acopladas a tanques de presurización, para aplicaciones industriales, sistemas de irrigación, ecc.

Prestaciones muy elevadas, gracias a un diseño fluidodinámico refinado. Todos los componentes de la electrobomba son en acero inoxidable estampado con superficies lisas que reducen las pérdidas por fricción aumentando el rendimiento.

La construcción con diversos estadios hace que sea muy silenciosa durante el funcionamiento. El nuevo motor eléctrico, proyectado para trabajar también con variador de velocidad, tiene un funcionamiento equilibrado y silencioso. Clase de eficiencia IE3, aislamiento clase F y protección IP 55.

Los componentes de la electrobomba son en acero inoxidable estampado de elevado espesor. El sello mecánico en GRAFITO-CERAMICA-NBR permite un funcionamiento confiable y regular durante un largo periodo de tiempo.

#### EJECUCIÓN Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1  
IEC 60335-1  
CEI 61-150


EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3



#### CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV  
ISO 9001: CALIDAD

#### EJECUCIÓN BAJO PEDIDO

- Otros voltajes.
- Bomba en acero inoxidable AISI 316.
- Para líquidos con temperaturas más elevadas o más bajas.
- Bocas del cuerpo bomba con rosca NPT ANSI B 1.20.1
- Electrobombas certificadas WRAS 
- Suministro de bridas ISO 228/1 para las bocas de aspiración y de impulsión en acero inox AISI 304.



#### GARANTIA

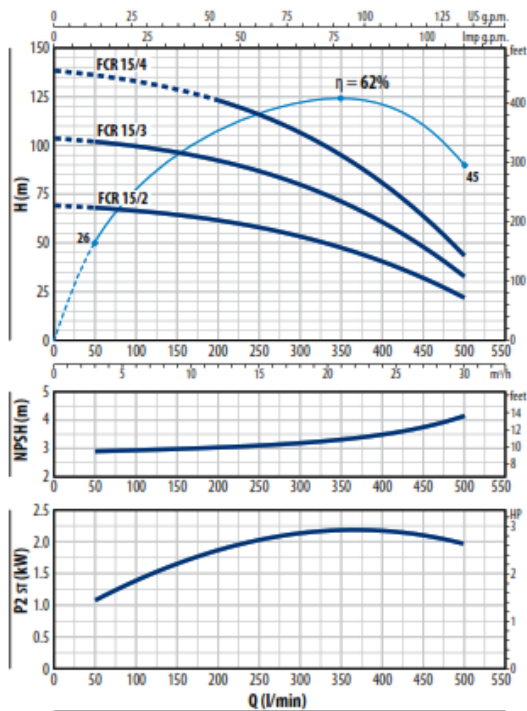
2 años según nuestras condiciones generales de venta

60 Hz | FCR 15-30

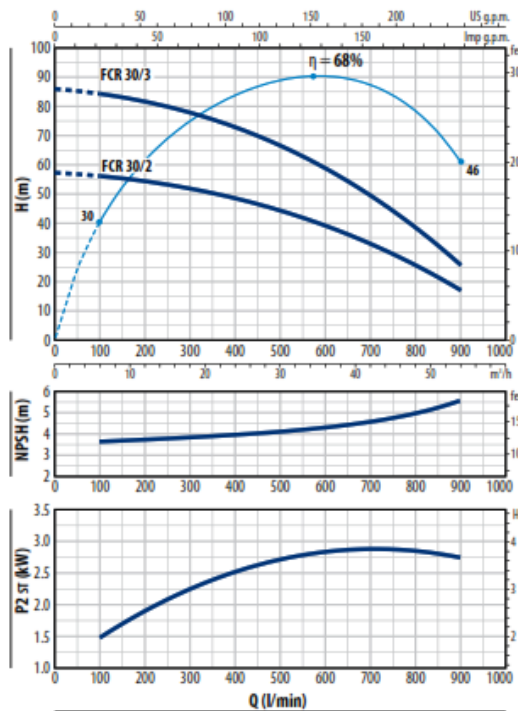
CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min<sup>-1</sup> HS= 0 m

**FCR 15**



**FCR 30**



**FCR 15**

MODELO	POTENCIA (P <sub>2</sub> )		▲	Q	0	3	6	12	18	24	30
	kW	HP			0	50	100	200	300	400	500
Trifásica				l/min							
FCR 15/2	5.5	7.5	IE3	H metros	69	68	66.5	61.5	53	40.5	21.5
FCR 15/3	7.5	10			104	102	100	92	80	60.5	32.5
FCR 15/4	9.2	12.5			-	-	-	123	106	81	43.5

**FCR 30**

MODELO	POTENCIA (P <sub>2</sub> )		▲	Q	0	6	12	21	30	39	48	54
	kW	HP			0	100	200	350	500	650	800	900
Trifásica				l/min								
FCR 30/2	7.5	10	IE3	H metros	57.5	56.5	54.5	50.5	44.5	36	25.6	17
FCR 30/3	9.2	12.5			86	84	82	76	66.5	54.5	38.5	25.5

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

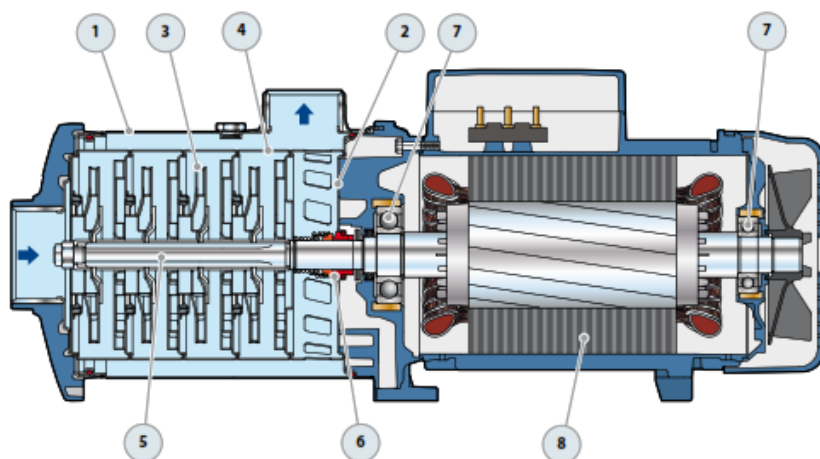
▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

FCR 15-30 | 60 Hz

## FCR 15-30

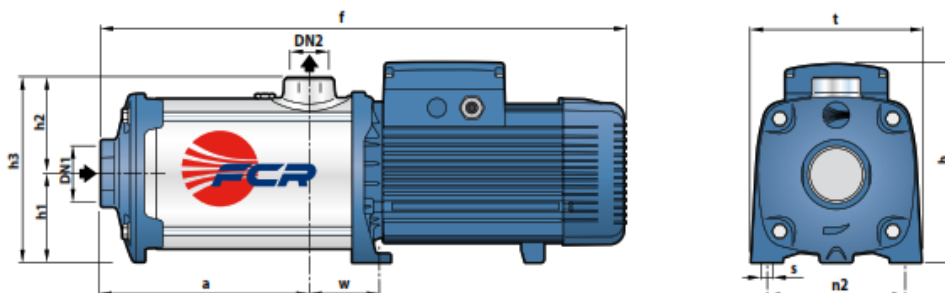
### POS. COMPONENTES CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

1	<b>CUERPO BOMBA</b>	Acero inox AISI 304, con bocas roscadas ISO 228/1			
2	<b>TAPA</b>	Acero inox AISI 304			
3	<b>RODETES</b>	Acero inox AISI 304			
4	<b>DIFUSORES</b>	Acero inox AISI 304			
5	<b>EJE DE LA BOMBA</b>	Acero inox AISI 316L			
6	<b>SELLO MECANICO</b>	<i>Sello</i> <i>Modelo</i> FN-KU-24 ISO 3069 EN 12756	<i>Eje</i> <i>Diámetro</i> Ø 24 mm	<i>Anillo fijo</i> Grafito	<i>Materiales</i> <i>Anillo rotante</i> Cerámica <i>Elastómero</i> NBR
7	<b>RODAMIENTOS</b>	6307 ZZ - C3 / 6206 ZZ - C3			
8	<b>MOTOR ELÉCTRICO</b>	Trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz. ⇒ Las electrobombas trifásicas están equipadas con motores de alto rendimiento en clase IE3 (IEC 60034-30-1) - Isolamento: classe F - Protezione: IP 55			



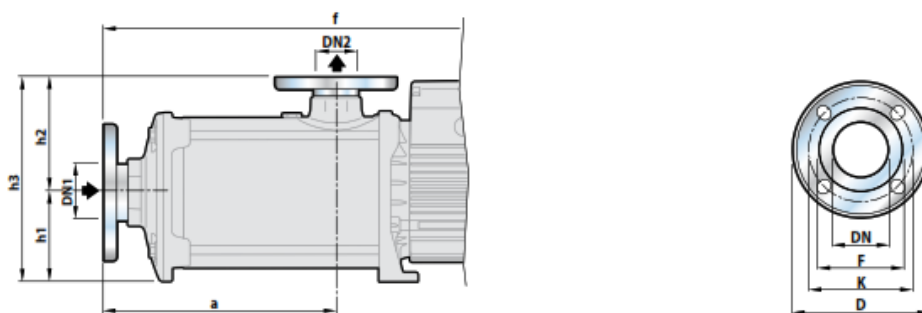
**DIMENSIONES Y PESOS**

CON BOCAS ROSCADAS



MODELO	BOCAS		DIMENSIONES mm									kg	
	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	t	n2	w		s
Trifásica													3~
FCR 15/2	2½"	2"	155	533	271	120	132	252	234	190	96	12	33.9
FCR 15/3			199	627									39.5
FCR 15/4			243	671									49.4
FCR 30/2			155	583									36.9
FCR 30/3			199	627									44.3

CON BOCAS BRIDADAS




MODELO	BOCAS		DIMENSIONES mm				
	DN1	DN2	a	f	h1	h2	h3
Trifásica							
FCR 15/2	65	50	189	566	120	162	285
FCR 15/3			233	660			
FCR 15/4			277	704			
FCR 30/2			189	616			
FCR 30/3			233	660			

BRIDAS	F	K	D	ORIFICIOS	
				N°	Ø (mm)
50	165	125	99	4	18
65	185	145	118	4	18

**CONSUMO EN AMPERIOS**

MODELO	TENSION			
	220 V	380 V	220 V	440 V
Trifásica				
FCR 15/2	18.6 A	10.8 A	17.8 A	10.5 A
FCR 15/3	25.2 A	14.6 A	22.5 A	14.7 A
FCR 15/4	32.3 A	18.7 A	30.5 A	18.3 A
FCR 30/2	23.7 A	13.7 A	20.7 A	11.7 A
FCR 30/3	32.3 A	18.7 A	30.5 A	18.3 A

FCR 15-30 | 60 Hz



**ANEXO 7**  
**ASPERSORES**

**Cañones Nelson®**



Los Cañones Nelson® están reconocidos en el mundo entero como los líderes del mercado de los aspersores de alto caudal, debido a su calidad, rendimiento y servicio técnico. Están diseñados y fabricados con la máxima precisión para brindar una alta calidad a toda prueba y garantizar una excelente durabilidad. Cada Cañón Nelson® está minuciosamente probado según las normas de control más estrictas de la industria—incluyendo, entre otras cosas, una prueba hidráulica individual en la fábrica.

**"El único cañón de altura,  
hora tras hora,  
año tras año."**



**Cañones**

No. de Parte	Diámetro de Entrada		Ángulo	Descripción	Peso
F75-2.0	2.0"	50 mm	24°	Nelson Big Gun 75 Círculo Completo sin Boquilla 2"	4.6 kg
F100-2.0	2.0"	50 mm	24°	Nelson Big Gun 100 Círculo Completo sin Boquilla 2"	5.7 kg
F100-2.5	2.5"	64 mm	24°	Nelson Big Gun 100 Círculo Completo sin Boquilla 2.5"	5.9 kg
SR100-2.0	2.0"	50 mm	24°	Nelson Big Gun 100 Círculo Parcial sin Boquilla 2"	8.1 kg
SR100-2.5	2.5"	64 mm	24°	Nelson Big Gun 100 Círculo Parcial sin Boquilla 2.5"	8.3 kg
F150	3.0"	75 mm	24°	Nelson Big Gun 150 Círc. Completo sin Boquilla y Adaptador	11.0 kg
SR150	3.0"	75 mm	24°	Nelson Big Gun 150 Círculo Parcial sin Boquilla	11.3 kg

**Boquillas**

No. de Parte	Diámetro
100T.50	0.50"
100T.55	0.55"
100T.60	0.60"
100T.65	0.65"
100T.70	0.70"
100T.75	0.75"
100T.80	0.80"
100T.85	0.85"
100T.90	0.90"
100T.95	0.95"
100T.1	1.00"
100R	Anillos

**Cañón Nelson® Serie 75 — 24° — Boquilla Cónica (Flujo y Radio)**

kg/cm <sup>2</sup>	0.40"		0.45"		0.50"		0.55"		0.60"		0.65"		0.70"		0.75"		0.80"	
	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m
1.75	-	-	-	-	-	-	2.64	22.0	3.17	24.0	3.72	24.5	4.30	25.5	4.91	27.0	5.59	28.0
2.0	-	-	-	-	2.33	24.0	2.82	24.0	3.39	25.5	3.98	26.0	4.59	28.0	5.25	29.0	5.97	29.5
2.5	-	-	2.11	23.5	2.61	25.0	3.16	26.5	3.79	27.5	4.45	29.0	5.14	30.0	5.87	31.0	6.68	32.0
3.0	1.83	23.5	2.32	25.0	2.86	26.5	3.46	28.5	4.15	29.5	4.88	30.5	5.63	31.5	6.43	33.0	7.32	34.5
3.5	1.98	24.5	2.50	26.0	3.09	28.5	3.74	30.0	4.48	31.0	5.27	32.0	6.08	33.5	6.95	35.0	7.90	36.5
4.0	2.11	25.0	2.67	27.0	3.30	29.5	3.99	31.0	4.79	32.5	5.63	33.5	6.50	35.5	7.43	36.5	8.45	38.0
4.5	2.24	26.0	2.84	28.5	3.50	31.0	4.24	33.0	5.08	34.0	5.97	35.5	6.89	37.5	7.88	39.0	8.96	40.0
5.0	2.36	26.5	2.99	30.0	3.69	32.0	4.46	34.0	5.35	35.0	6.30	37.0	7.26	39.0	8.30	40.0	9.45	42.0
5.5	2.48	27.5	3.13	31.0	3.87	33.0	4.68	35.0	5.61	36.5	6.60	38.5	7.62	40.5	8.71	41.5	9.90	43.0
6.0	2.59	28.0	3.27	31.5	4.04	34.0	4.89	36.0	5.86	37.0	6.90	39.5	7.96	42.0	9.09	42.5	10.30	43.5

**Cañón Nelson® Serie 100 — 24° — Boquilla Cónica (Flujo y Radio)**

kg/cm <sup>2</sup>	0.50"		0.55"		0.60"		0.65"		0.70"		0.75"		0.80"		0.85"		0.90"		1.00"	
	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m
3.5	3.00	29.8	3.72	31.3	4.33	33.1	5.08	33.4	5.83	35.7	6.69	37.3	7.64	38.8	8.75	39.8	9.67	40.7	11.89	44.1
4	3.39	32.2	4.25	33.9	5.00	35.9	5.86	37.4	6.83	38.9	7.72	40.5	8.67	41.4	10.06	43.2	11.22	44.3	13.75	47.4
5	3.78	34.5	4.72	36.4	5.58	38.2	6.56	40.1	7.64	42.2	8.67	43.4	9.69	45.2	11.25	46.3	12.56	47.4	15.44	51.5
6	4.17	36.7	5.14	38.7	6.14	40.4	7.19	42.5	8.36	44.4	9.53	45.9	10.61	47.4	12.36	48.9	13.75	50.5	16.81	54.5
7	4.53	38.8	5.53	40.8	6.61	42.5	7.75	44.7	9.03	46.5	10.28	48.1	11.47	49.5	13.33	51.1	14.86	52.5	18.19	56.5
8	4.89	40.9	5.83	42.9	7.08	44.7	8.25	46.6	9.67	48.7	10.94	49.9	12.25	51.5	14.22	52.9	15.89	54.5	19.50	58.0

**Cañón Nelson® Serie 100 — 24° — Juego de Anillos (Flujo y Radio)**

kg/cm <sup>2</sup>	16 mm		17 mm		18 mm		19 mm		20 mm		21 mm		22 mm		23 mm		24 mm	
	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m
3.5	4.83	34.5	5.47	35.5	6.22	37.0	7.06	38.5	7.89	39.5	8.92	41.0	9.75	41.5	10.86	43.0	11.86	44.5
4.0	5.19	36.0	5.89	37.5	6.64	38.5	7.53	40.0	8.44	41.5	9.58	42.5	10.44	43.5	11.64	44.5	12.72	46.0
4.5	5.47	37.5	6.22	39.0	7.03	40.0	7.97	41.5	8.97	43.0	10.14	44.0	11.08	45.0	12.31	46.5	13.47	48.0
5.0	5.78	38.5	6.56	40.0	7.39	41.5	8.42	43.0	9.47	44.0	10.69	45.5	11.67	46.5	12.97	48.0	14.22	49.5
5.5	6.06	39.5	6.86	41.0	7.78	42.5	8.83	44.0	9.92	45.5	11.19	47.0	12.28	48.0	13.61	49.5	14.94	51.5
6.0	6.33	40.5	7.19	42.0	8.14	44.0	9.22	45.5	10.39	46.5	11.72	48.0	12.78	49.0	14.22	50.5	15.61	52.5
6.5	6.61	42.0	7.50	43.5	8.47	45.0	9.58	46.5	10.83	48.0	12.19	49.0	13.33	50.5	14.83	52.0	16.22	53.5
7.0	6.86	43.0	7.78	44.5	8.78	46.0	9.94	47.5	11.22	49.0	12.64	50.5	13.86	51.5	15.39	53.0	16.83	54.5
7.5	7.08	44.0	8.06	45.5	9.06	47.0	10.33	48.5	11.58	50.0	13.11	51.5	14.31	52.0	15.89	54.0	17.42	55.5

**Cañón Nelson® Serie 150 — 24° — Boquilla Cónica (Flujo y Radio)**

kg/cm <sup>2</sup>	0.70"		0.80"		0.90"		1.00"		1.10"		1.20"		1.30"	
	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m
3.5	6.39	38.0	8.28	41.0	10.50	44.0	13.03	47.5	15.86	50.5	18.97	52.5	22.25	55.0
4	6.83	39.8	8.86	42.8	11.22	45.8	13.92	48.9	16.94	52.0	20.28	54.5	23.81	57.0
5	7.64	42.7	9.92	45.8	12.56	49.3	15.56	52.5	18.94	55.5	22.69	58.5	26.61	60.5
6	8.36	44.9	10.86	48.4	13.75	52.0	17.03	55.0	20.75	58.5	24.86	61.5	29.17	64.0
7	9.03	47.5	11.72	50.5	14.86	54.0	18.42	57.0	22.42	61.0	26.83	64.0	31.39	67.0
8	9.67	49.7	12.53	52.5	15.89	56.0	19.67	59.0	23.97	63.0	28.61	66.0	33.61	69.0
9	10.25	52.0	13.31	55.0	16.83	58.5	20.86	61.5	25.42	65.5	30.56	68.5	35.83	71.5

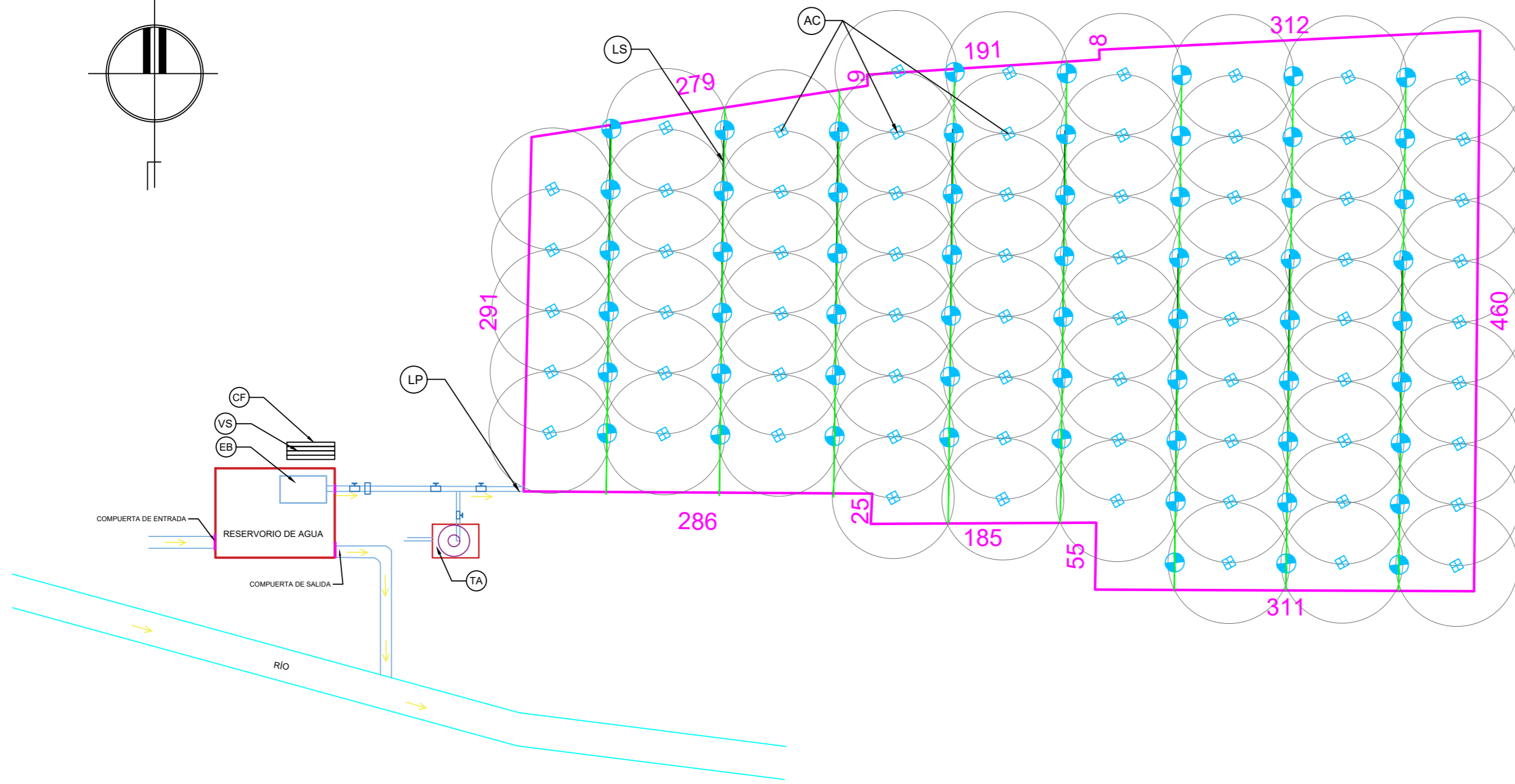
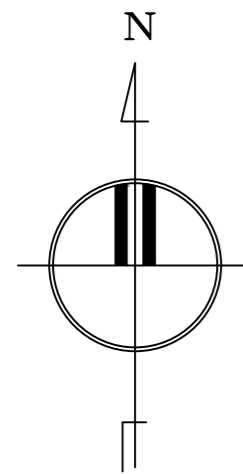
**Cañón Nelson® Serie 150 — 24° — Juego de Anillos (Flujo y Radio)**

kg/cm <sup>2</sup>	22 mm		24 mm		26 mm		28 mm		30 mm		32 mm		34 mm	
	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m	LPS	m
3.5	8.67	41.5	10.53	44.0	12.56	46.5	14.94	49.0	17.58	51.0	20.47	53.5	23.69	55.0
4.0	9.28	43.0	11.22	45.5	13.42	48.0	15.97	50.5	18.86	53.5	21.92	55.5	25.36	57.5
4.5	9.81	45.0	11.92	47.5	14.19	49.5	16.94	52.5	19.97	55.0	23.25	57.5	26.89	59.0
5.0	10.31	46.0	12.56	49.0	14.97	51.5	17.89	54.0	21.06	56.5	24.50	59.0	28.33	61.0
5.5	10.81	47.5	13.17	50.5	15.72	53.0	18.78	55.5	22.08	58.5	25.69	61.0	29.72	62.5
6.0	11.33	48.5	13.78	51.5	16.42	54.0	19.61	57.0	23.06	60.0	26.86	62.5	31.11	64.5
6.5	11.81	49.5	14.31	53.0	17.11	55.0	20.42	58.5	24.00	61.0	28.06	64.0	32.22	65.5
7.0	12.25	50.5	14.83	54.0	17.78	56.5	21.17	59.5	24.89	62.5	28.89	65.0	33.61	67.0
7.5	12.67	52.0	15.39	55.0	18.36	57.5	21.92	60.5	25.78	63.5	30.00	66.0	34.72	68.0
8.0	13.08	53.0	15.86	56.0	18.97	58.5	22.61	62.0	26.61	64.5	31.11	67.5	35.83	69.5



# ANEXO 8

## PLANOS



Área 30.02502367 Ha.  
Perímetro 2413.0135 ml.

TABLA			
ITEM	CÓDIGO	Nº DE VECES	NOMBRE
1	CF	32	Celda Fotovoltaica
2	VS	1	Inversor y Variador de Frecuencia
3	EB	1	Electrobomba Centrífuga
4	TA	1	Tanque PVC 1100 L
5	LP	73	Tubería de Aluminio Ø 4"
6	LS	737	Tubería de Aluminio Ø 3"
7	AC	68	Aspersor Tipo Cañón

**PANELES SOLARES**

Marca: Peimar  
Módulo: Monocristalino  
Potencia Nominal Por Panel: 420 Wp  
Número de Módulos en Serie: 16  
Número de Módulos en Paralelo: 2

**INVERSOR Y VARIADOR DE FRECUENCIA**

Marca: Nastec  
Modelo: VS430  
Potencia: 15 kW  
Grado de Protección: IP65  
Peso: 8.7 kg

**ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA SUMERGIBLE**

Marca: Pedroli  
Modelo: 6SR 100G/75  
Caudal: 18.7 m<sup>3</sup>/h  
Altura Dinámica: 61.5 m  
Potencia Nominal: 5.5 kW  
Número de Etapas: 4  
Motor Eléctrico: Trifásico 380 V - 60 Hz

**TANQUE AUXILIAR**

Volumen: 1100 L  
Material: PVC  
Acero Estructural: ASTM A-36  
Acero Corrugado: ASTM A-615

**LÍNEAS TUBERÍAS**

Línea Principal: - Material: Aluminio Grado 6061  
- Diámetro Nominal: 4"  
- Espesor Tubería: ASTM B241 Sch 10  
- Longitud: 871 m  
  
Línea Secundaria: - Material: Aluminio Grado 6061  
- Diámetro Nominal: 3"  
- Espesor Tubería: ASTM B241 Sch 10  
- Longitud: 8844 m

**ASPERSORES**

Marca: Nelson  
Modelo: Series 100  
Radio de Alcance: 50m  
Presión: 3.5 - 7.5 kg/cm<sup>2</sup>

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	KEVIN MÁLAGA DISEÑADO POR	24.09.2022 FECHA	DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO HÍDRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA RIEGO POR ASPERSIÓN EN 30 HECTÁREAS DEL CENTRO EXPERIMENTAL LA RAYA - UNA - PUNO
	KEVIN MÁLAGA DIBUJADO POR	24.09.2022 FECHA	
NOTA: TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN METROS SALVO INDICACIÓN CONTRARIA	ING. MARIO VALENCIA REVISADO POR	24.09.2022 FECHA	PLANO: DISTRIBUCIÓN DE HIDRANTES
	ING. MARIO VALENCIA APROBADO POR	24.09.2022 FECHA	
CÓDIGO DE PLANO ORIGINAL	REVISIÓN	1	ESCALA: INDICADA
			AUT-E-BG-01

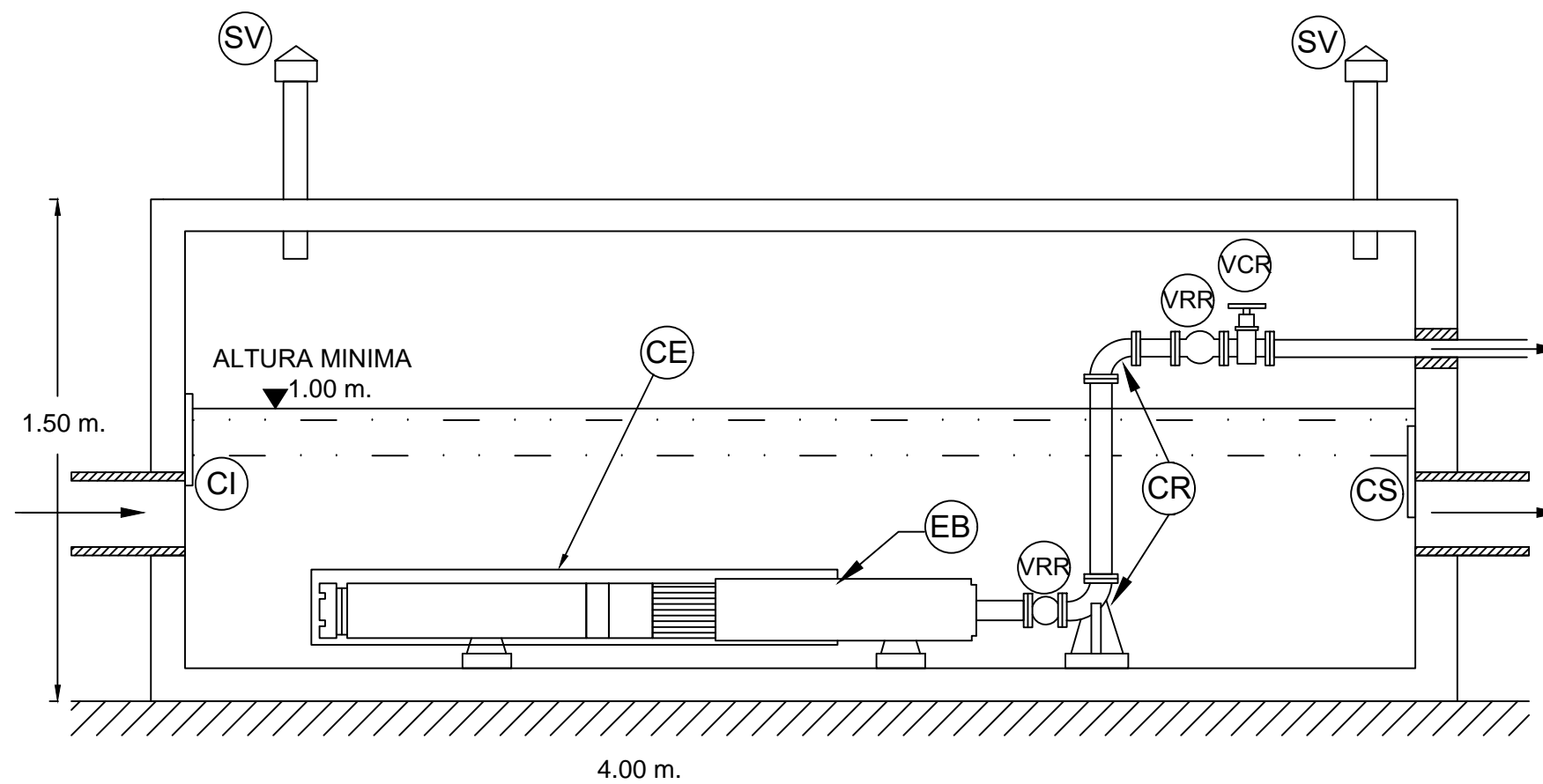


TABLA			
ITEM	CÓDIGO	Nº DE VECES	NOMBRE
1	CI	1	Compuerta de Ingreso
2	CS	1	Compuerta de Salida
3	SV	2	Sombrero de Ventilación
4	EB	1	Electrobomba Centrífuga
5	CE	1	Camisa de Enfriamiento
6	TR	5	Tubería de Aluminio $\phi$ 4"
7	CR	2	Codo de 90° $\phi$ 4"
8	VCR	1	Válvula de Compuerta $\phi$ 4"
9	VRR	2	Válvula de Retención $\phi$ 4"

#### ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA SUMERGIBLE

Marca: Pedrollo  
 Modelo: 6SR 100G/75  
 Caudal: 18.7 m<sup>3</sup>/h  
 Altura Dinámica: 61.5 m  
 Potencia Nominal: 5.5 kW  
 Número de Etapas: 4  
 Motor Eléctrico: Trifásico 380 V - 60 Hz


#### COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO

**Tubería:** - Material: Aluminio Grado 6061  
 - Diámetro Nominal: 4"  
 - Espesor Tubería: ASTM B241 Sch 10  
 - Longitud: 2.5 m

**Codo de 90°:** - Material: Aluminio Grado 6061  
 - Diámetro Nominal: 4"

**Válvula de Compuerta:** - Material: Aluminio Grado 6061  
 - Diámetro Nominal: 4"

**Válvula de Retención:** - Material: Aluminio Grado 6061  
 - Diámetro Nominal: 4"

 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	KEVIN MÁLAGA DISEÑADO POR FECHA	24.09.2022 FECHA	DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO HÍDRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA RIEGO POR ASPERSIÓN EN 30 HECTÁREAS DEL CENTRO EXPERIMENTAL LA RAYA -UNA - PUNO
	KEVIN MÁLAGA DIBUJADO POR FECHA	24.09.2022 FECHA	
<b>NOTA:</b> TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN METROS SALVO INDICACIÓN CONTRARIA	ING. MARIO VALENCIA REVISADO POR FECHA	24.09.2022 FECHA	<b>PLANO:</b> RESERVORIO Y ELECTROBOMBA
	ING. MARIO VALENCIA APROBADO POR FECHA	24.09.2022 FECHA	
<b>CÓDIGO DE PLANO ORIGINAL</b>	REVISIÓN	1	<b>ESCALA:</b> INDICADA
			AUT-E-BG-01

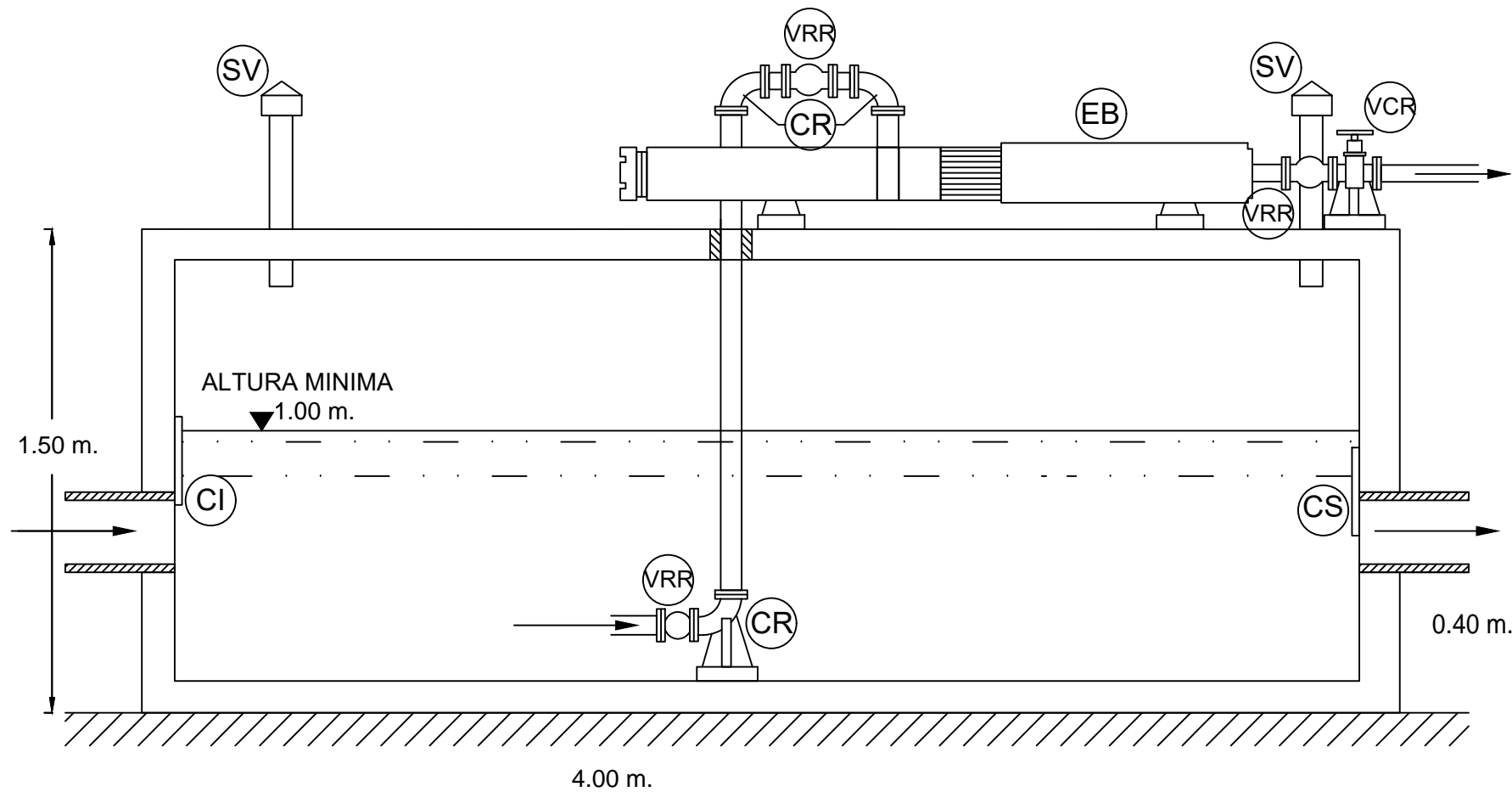


TABLA			
ITEM	CÓDIGO	Nº DE VECES	NOMBRE
1	CI	1	Compuerta de Ingreso
2	CS	1	Compuerta de Salida
3	SV	2	Sombrero de Ventilación
4	EB	1	Electrobomba Centrífuga
6	TR	5	Tubería de Aluminio $\phi$ 4"
7	CR	3	Codo de 90° $\phi$ 4"
8	VCR	1	Válvula de Compuerta $\phi$ 4"
9	VRR	3	Válvula de Retención $\phi$ 4"

#### ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA DE SUPERFICIE

Marca: Pedrollo  
 Modelo: FCR 15/2  
 Caudal: 18.7 m<sup>3</sup>/h  
 Altura Dinámica: 53 m  
 Potencia Nominal: 5.5 kW  
 Motor Eléctrico: Trifásico 380 V - 60 Hz


#### COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO

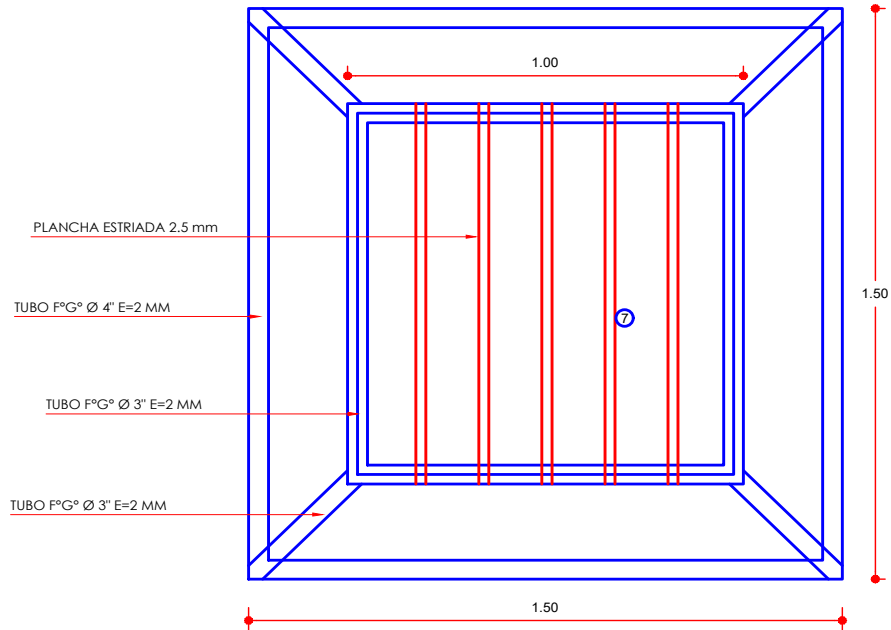
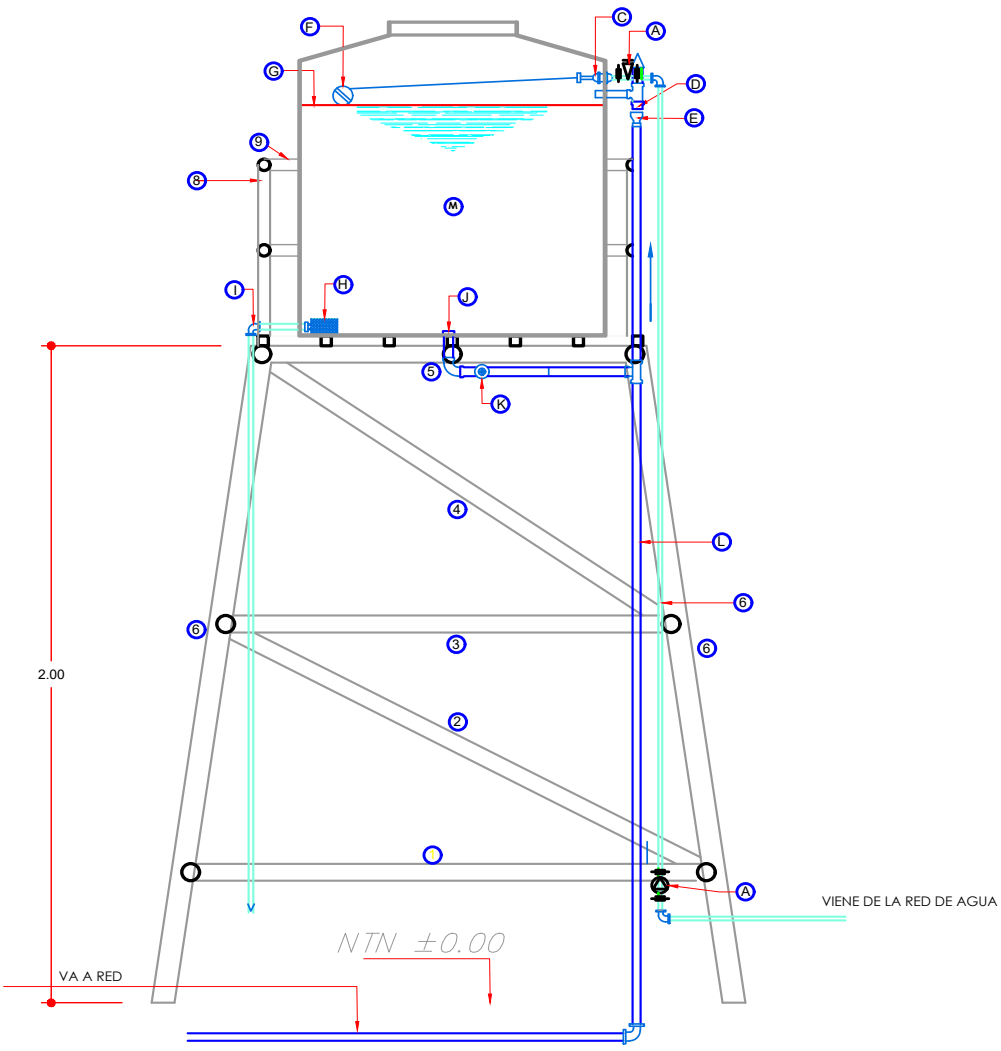
**Tubería:** - Material: Aluminio Grado 6061  
 - Diámetro Nominal: 4"  
 - Espesor Tubería: ASTM B241 Sch 10  
 - Longitud: 2.5 m

**Codo de 90°:** - Material: Aluminio Grado 6061  
 - Diámetro Nominal: 4"

**Válvula de Compuerta:** - Material: Aluminio Grado 6061  
 - Diámetro Nominal: 4"

**Válvula de Retención:** - Material: Aluminio Grado 6061  
 - Diámetro Nominal: 4"

 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	KEVIN MÁLAGA DISEÑADO POR FECHA	24.09.2022 FECHA	DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO HÍDRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA RIEGO POR ASPERSIÓN EN 30 HECTÁREAS DEL CENTRO EXPERIMENTAL LA RAYA -UNA - PUNO
	KEVIN MÁLAGA DIBUJADO POR FECHA	24.09.2022 FECHA	
<b>NOTA:</b> TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN METROS SALVO INDICACIÓN CONTRARIA	ING. MARIO VALENCIA REVISADO POR FECHA	24.09.2022 FECHA	<b>PLANO:</b> RESERVORIO Y ELECTROBOMBA DE SUPERFICIE
	ING. MARIO VALENCIA APROBADO POR FECHA	24.09.2022 FECHA	
<b>CÓDIGO DE PLANO ORIGINAL</b>	REVISIÓN	1	<b>ESCALA:</b> INDICADA
			AUT-E-BG-01



ESTRUCTURAS METALICAS			
CODIGO	N° VECES	MEDIDAS	NOMBRE
1	4	2.60 m	TUBO F°G° Ø 3" E=2 MM
2	4	2.60 m	TUBO F°G° Ø 3" E=2 MM
3	4	2.20 m	TUBO F°G° Ø 3" E=2 MM
4	4	2.40 m	TUBO F°G° Ø 3" E=2 MM
5	4	2.00 m	TUBO F°G° Ø 3" E=2 MM
6	4	3.50 m	TUBO F°G° Ø 3" E=2 MM
7	5	2.00 m	TUBO F°G° Ø 1" E=2 MM
8	4	2.00 m	BARANDA F°G° Ø 2" E=2MM
9	8	2.00 m	BARANDA F°G° Ø 2" E=2MM

INSTALACIONES SANITARIAS			
CODIGO	N° VECES	MEDIDAS	NOMBRE
A	2	-	VALVULA CHECK Ø 1/2"
B	1	4.60 m	SUBE TUBO DE IMPULSION
C	1	-	LLEGA AGUA TUB. DE IMPULSION Ø 3/4"
D	1	-	TUB.FVC Ø 2" REBOSE
E	1	-	TRAMPA TIPO P
F	1	-	VÁLVULA FLOTADOR
G	1	-	NIVEL MÁX. DE AGUA
H	1	-	FILTRO CANASTILLA DE AGUA
I	1	-	TUBERIA F°G° Ø 3/4" DE ALIMENTACIÓN
J	1	-	BAJA TUBERIA DE LIMPIEZA F°G° Ø 2"
K	1	-	VALVULA DE INTERRUPCION
L	1	-	BAJA TUBERIA DE LIMPIEZA DE TANQUE ELEVADO F°G° DE Ø 2"
M	1	-	TANQUE DE DE 1100 LT.

**ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA ESTRUCTURA DE ACERO**

**NORMAS Y CODIGOS APLICABLES:**

- MATERIALES : AMERICAN SOCIETY FOR TESTIN AND MATERIAL- ASTM
- ACERO : AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION - AISC
- PINTURA : STEEL STRUCTURES PAINTING COUNCIL - SSPC
- SOLDADURA : AMERICAN WELDING SOCIETY - AWS

**ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA FABRICACION Y MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DE ACERO AISC-LFRD 99 ULTIMA EDICION :**

- ACERO ESTRUCTURAL : ASTM A-36 (fy = 36 ksi / fy 2520 kg/cm<sup>2</sup>) PLANCHAS Y PERFILES
- A-325 PERNOS DE ANCLAJE
- ACERO CORRUGADO : ASTM A-615 (G-60 - 4.200 kg/cm<sup>2</sup>)
- SOLDADURA ELECTRODOS AWS-A 5.1 SERIE E - 60 XX
- ELECTRODOS AWS-A 5.1 SERIE E - 70 XX (PARA ACERO AL CARBONO) EN CORDONES CONTINUOS ALREDEDOR DE LAS UNIONES, SALVO INDICACION.

LA CALIDAD Y TRABAJA DE LA SOLDADURA CONFORMARA CON EL CODIGO DE SOLDADURA AWS D1.0-89 DE LA SOCIEDAD AMERICANA DE SOLDADURA (AMERICAN WELDING SOCIETY).

LA SOLDADURA DE LAS UNIONES DEBERA DESARROLLAR LA CAPACIDAD EN TRACCION DE CADA ELEMENTO CONCURRENTE Y DEBERA USARSE EL DIAMETRO (Ø) DE LA VARILLA DE SOLDADURA QUE SE ESPECIFICA EN LOS PLANOS.

EL TRABAJO DE LA SOLDADURA DEBERA SER EFECTUADO POR ESPECIALISTAS CON EXPERIENCIA, PARA QUE EL CORDON DE COSTURA DE LA SOLDADURA SEA NORMAL Y EVITAR REQUEMADURAS EN LAS PARTES A SOLDARSE, EL ESPECIALISTA ANTES DE EFECTUAR EL TRABAJO DEBERA REVIZAR TODOS LOS ELEMENTOS CONFORMANTES REPASANDO CON ESCOBILLA DE ALAMBRE DE ACERO EN LAS ZONAS DE LAS PARTES A SOLDARSE Y DE ESTA MANERA EFECTUAR UNA UNION SOLDADA LIMPIA.

EL CONTRATISTA DE LA ESTRUCTURA DE ACERO DEBERA SOMETER AL PROYECTISTA PLANOS DE FABRICACION EN LOS QUE SE MUESTRE EN DETALLE LAS UNIONES SOLDADAS DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS IMPORTANTES QUE CONFORMA LA ESTRUCTURA DE ACERO.

EL FABRICANTE DE LA ESTRUCTURA DE ACERO DEBERA PRESENTAR EN OBRA TODOS LOS EQUIPOS MECANICOS NECESARIOS PARA EFECTUAR EL MONTAJE DE ACUERDO CON LAS NORMAS TECNICAS DE MONTAJE, SEGURIDAD Y PREVISION

**PROTECCION:** LA ESTRUCTURA DE ACERO SE PROTEGERA CON PINTURA ANTICORROSIVA LA QUE CONSTARA DE LAS SIGUIENTES CAPAS:

A) PREPARACION DE LA SUPERFICIE: ARENADO CON METAL BLANCO SPC-SP6

B) IMPRIMANTE

C) ANTICORROSIVO EPÓXICO DE ALTO CONTENIDO DE SÓLIDOS, 1 CAPA DE 4 MILS DE ESPESOR MÍN. DE PELÍCULA SECA.

D) ACABADO: POLIURETANO 1 CAPA DE ESPESOR MÍN. 2 MILS DE PELÍCULA SECA.

Contraflecha para elementos estructurales horizontales 1/100 de la luz

En las columnas rectangulares usar Acero ASTM A-500, Grado B fy=317 Mpa

<p align="center">UNIVERSIDAD CATÓLICA</p>	<p>KEVIN MÁLAGA DISEÑADO POR</p>	<p>24.09.2022 FECHA</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO HÍDRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA RIEGO POR ASPERSIÓN EN 30 HECTÁREAS DEL CENTRO EXPERIMENTAL LA RAYA -UNA - PUNO</p>
	<p>KEVIN MÁLAGA DIBUJADO POR</p>	<p>24.09.2022 FECHA</p>	
<p>NOTA: TODAS LAS MEDIDAS ESTAN EN METROS SALVO INDICACIÓN CONTRARIA</p>	<p>ING. MARIO VALENCIA REVISADO POR</p>	<p>24.09.2022 FECHA</p>	<p>PLANO: TANQUE AUXILIAR Y SISTEMA DE BOMBEO</p>
	<p>ING. MARIO VALENCIA APROBADO POR</p>	<p>24.09.2022 FECHA</p>	
<p>CÓDIGO DE PLANO ORIGINAL</p>	<p>REVISIÓN</p>	<p>1</p>	<p>ESCALA: INDICADA</p>
			<p>AUT-E-BG-01</p>