



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y
MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**



TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO
PARA RIEGO POR GOTEO EN LA FINCA SAN JOSE –
CASERIO LA COLORADA – DISTRITO DE MORROPE –
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRONICO**

**ELABORADO POR:
Bach. Yarlaque Santisteban Richard Milton.
Bach. Flores Cruz Efrain.**

**ASESOR:
Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez.**

**LAMBAYEQUE – PERÚ
-2019-**

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO
PARA RIEGO POR GOTEO EN LA FINCA SAN JOSE –
CASERIO LA COLORADA – DISTRITO DE MORROPE –
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”**

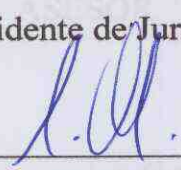
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRONICO**

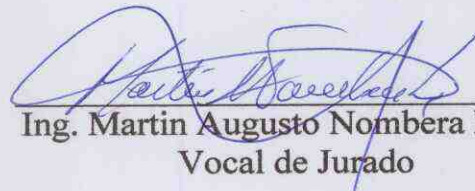
**SUSTENTADO Y APROBADO ANTE LOS SIGUIENTES MIEMBROS
DEL JURADO**

APROBADO POR:


Ing. Manuel Javier Ramírez Castro

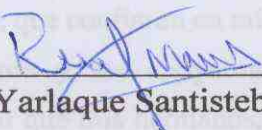
Presidente de Jurado


Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera
Secretario de Jurado

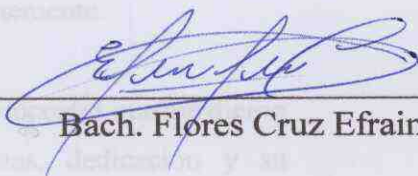

Ing. Martín Augusto Nombera Lossio
Vocal de Jurado

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO
PARA RIEGO POR GOTEO EN LA FINCA SAN JOSE –
CASERIO LA COLORADA – DISTRITO DE MORROPE –
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”**

AUTORES

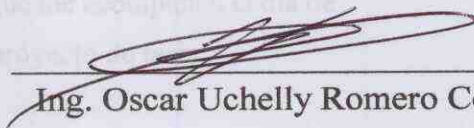


Bach. Yarlaque Santisteban Richard Milton



Bach. Flores Cruz Efrain

ASESOR



Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez

DEDICATORIA

A Dios por las enormes bendiciones brindadas, por la gran cantidad de oportunidades y desafíos que puso en mi camino, camino que sin él me hubiese sido difícil de recorrer, porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar adelante.

A mis padres, Jorge e Isabel por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, que siempre creyeron que podía lograrlo, que confiaron en mí sin dudar un solo momento y me apoyaron incondicionalmente, al igual que mis hermanos, Jimmy, Jorge y Milleny quienes de una u otra forma me ayudan constantemente.

A todos y cada uno de los docentes que me dieron clase; por sus enseñanzas, dedicación y su tiempo; en especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ing. Electrónica; entre ellos Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez, Ing. Manuel Javier Ramírez Castro, Ing. Martín Augusto Nombera Lossio y Ing. Carlos Oblitas Vera.

A todas las personas que me acompañan el día de hoy que presento mi proyecto de tesis.

Richard Milton Yarlaque Santisteban

Agradecer a Dios por darme salud y vida. A mis padres por su apoyo incondicional y amor, que me dieron el valor para asumir retos y no renunciar a mis sueños.

A mis amigos de la universidad que con su alegría y dedicación me inspiraron a ser mejor persona cada día. A mis profesores por su talento, su confianza, su paciencia y por todos los momentos vividos, entre ellos los ingenieros: Ing. Manuel Javier Ramírez Castro, Ing. Martín Augusto Nombera Lossio, Ing. Carlos Oblitas Vera.

De forma muy especial al Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez que me apoyo en sacar adelante esta tesis. Finalmente, a la Escuela profesional de Ingeniería electrónica de la UNPRG, por acogerme y ser parte de esta gran familia, por las alegrías y tristezas que me ayudaron a mejorar personal como profesionalmente, siempre buscando la excelencia de nuestra especialidad. Gracias a todos.

Efrain Flores Cruz

RESUMEN

La presente tesis es una propuesta que está empeñada en mejorar la calidad de vida de la Finca San José - Caserío La Colorada; presentando una solución a la problemática de falta de agua para riego en una zona específica del Perú, alimentando equipos de bombeo con energía renovable y así poder sustraer agua de un cierto pozo, para luego almacenarla en tanques elevados, y así proporcionar agua para el riego; controlando el sistema por medio de un controlador PID con un PLC S7 200 y un variador de frecuencia ALTIVAR11.

Por lo tanto, se elegirá el equipo de bombeo y sus partes que lo conforman para el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego por goteo en el caserío la colorada - Morrope – Lambayeque; usando fuentes renovables de energía, para lo cual se determinó que la potencia diaria necesaria para alimentar los equipos de bombeo y de control es de 3,030.30 W/día, usando 8 paneles solares de 100 Wp conectados en paralelo, almacenando la energía en 5 baterías de 24v 130Ah, para alimentar 1 electrobomba sumergible de la marca Pedrollo 4 Block y un Inversor 4000W 24VDC/230VAC, los cuales nos servirán para bombear agua a un tanque elevado de capacidad de 274.63 m³ y controlar el riego desde un tablero.

También se determinó que el caudal de agua necesario para 3 hectáreas de cultivo, durante el día más seco del año, es de aproximadamente 2.82 l/s, por lo que se necesitaría bombear un volumen de 270.4 m³ al día; por otro lado, se definió que el tipo de riego más adecuado para la zona es el de goteo.

Por lo expuesto antes, según el diseño fotovoltaico, los requerimientos de caudal y presión para el sistema de riego se seleccionó la bomba Pedrollo 4Block como el equipo de bombeo para la zona de estudio, además se determinó que el producto en generar mayor utilidad es el pallar.

Aplicando el uso del sistema fotovoltaico, el costo del proyecto para el equipo de bombeo solar y del sistema de riego es aproximadamente S/ 100,551.59.

ABSTRACT

This thesis is a proposal that is committed to improving the quality of life of the San José Farm - La Colorada Farm; presenting a solution to the problem of lack of water for irrigation in a specific area of Peru, feeding pumping equipment with renewable energy and thus be able to subtract water from a certain well, and then store it in elevated tanks, and thus provide water for irrigation ; controlling the system by means of a PID controller with a PLC S7 200 and an ALTIVAR11 frequency inverter.

Therefore, the pumping equipment and its parts that make it up will be chosen for the design of a photovoltaic pumping system for drip irrigation in La colorada - Morrope - Lambayeque farmhouse; using renewable sources of energy, for which it was determined that the daily power needed to power the pumping and control equipment is 3,030.30 W / day, using 8 solar panels of 100 Wp connected in parallel, storing the energy in 5 batteries of 24v 130Ah, to feed 1 submersible electric pump of the Pedrollo 4 Block brand and a 4000W 24VDC / 230VAC inverter, which will be used to pump water to a high capacity tank of 274.63 m³ and control irrigation from a board

It was also determined that the flow of water needed for 3 hectares of crop, during the driest day of the year, is approximately 2.82 l / s, which would require pumping a volume of 270.4 m³ per day; On the other hand, it was defined that the best type of irrigation for the area is the drip

Due to the above, according to the photovoltaic design, the flow and pressure requirements for the irrigation system, the Pedrollo 4Block pump was selected as the pumping equipment for the study area, and it was determined that the product in generating the greatest utility is the pallar

Applying the use of the photovoltaic system, the cost of the project for the solar pumping equipment and the irrigation system is approximately S / 100,551.59.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
INDICE DE CONTENIDO	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	2
ANÁLISIS DEL PROBLEMA	2
1.1 Necesidades de bombeo:.....	3
1.2 Recursos naturales aprovechables:	3
1.3 Ubicación de estudio de caso en Perú:.....	4
1.4 Antecedentes:.....	5
1.5 Formulación del problema científico:.....	8
1.6 Hipótesis	8
1.7 Objetivos:.....	8
1.7.1 Objetivo general:.....	8
1.7.2 Objetivos específicos.....	8
1.8 Justificación e importancia:	8
CAPÍTULO 2	9
ANTECEDENTES DE BOMBEO SOLAR	9
2.1 Breve historia del bombeo solar	9
2.1.1 El bombeo solar no fotovoltaico	9
2.1.2 El bombeo solar fotovoltaico	16
2.2 Estado del arte de los sistemas de bombeo fotovoltaicos	18
2.2.1 Energía solar fotovoltaica.....	18
2.2.2 Bombas solares para agua.....	19
2.2.3 Comparación con otros sistemas de elevación de agua.	22
2.2.4 Configuraciones de sistemas de bombeo alimentado por energía solar.....	24
2.2.4.1 Sistemas de bombeo solar acoplado con baterías.....	24
2.2.4.2 Sistema de bombeo solar con acoplamiento directo.	26
2.3 Estado del arte de los sistemas fotovoltaicos.....	28
2.3.1 Radiación Solar.....	28
2.3.1.1 Geometría Solar.....	31

2.3.1.1 Coordenadas celestes horarias.	32
2.3.1.3 Recorrido solar.	33
2.3.1.4 Horas sol pico.	34
2.3.2 Panel Fotovoltaico.	34
2.3.2.1 Célula fotovoltaica.	36
2.3.2.2 Parámetros característicos.	38
2.3.2.3 Curva características.	38
2.3.2.4 Efecto sombra.	40
2.3.2.5 Voltaje de Instalación.	41
2.3.2.6 Numero de módulos.	41
2.3.3 Componentes de un sistema fotovoltaico.	42
2.3.3.1 Batería o Acumulador.	43
2.3.3.2 Unidad de control o regulador.	46
2.3.3.3 Inversores o Convertidores.	47
2.3.3.4 Elementos de protección.	49
2.3.3.5 Cables.	49
2.3.3.6 Estructura de soporte.	49
2.3.4 CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES PLC.	51
2.3.4.1 Componentes básicos de los PLC.	51
2.3.4.2 El Controlador Lógico Programable Simatic S7-200.	53
2.3.4.3 PANELES DE OPERACIÓN.	58
2.3.4.4 DIAGRAMAS DE CONEXIÓN.	60
2.3.4.5 SISTEMA DE RIEGO COMBINADO POR GOTEO.	61
2.3.5 Tendencias actuales.	61
CAPÍTULO 3	64
DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA RIEGO POR GOTEO EN LA FINCA SAN JOSE	64
3.1 Estimación del nivel de radiación solar.	64
3.2 Dimensión de los componentes.	66
3.2.1 Voltaje de Instalación.	66
3.2.2 Paneles Solares.	67
3.2.3 Regulador de carga.	69
3.2.3.1 Instalación del equipo.	70
3.2.4 Batería.	72
3.2.5 Inversor.	73
3.3 FUNCION DE TRANSFERENCIA CON MATLAB.	74
3.3.1 funcion de transferencia para el sistema de control de nivel.	74

3.3.2 Programación PLC.	81
3.4 SIMULACION DEL SISTEMA DE BOMBEO con labview.....	84
3.5 Sistema de puesta a tierra.....	86
3.6 Diagrama unifilar.	87
3.7 Diagrama de soporte.	88
3.8 ELECCIÓN DE EQUIPOS	89
3.8.1 Tipo de bomba	89
3.8.2 Bombas pedrollo	90
CAPÍTULO 4	95
RIEGO POR GOTEO.....	95
4.1 Características del agua de riego.....	96
4.2 Diseño Agronómico.	97
4.3 Cultivo.	99
4.4 Marco de Plantación.	100
4.5 Parámetros de operación del sistema.	101
4.6 Tolerancia de caudales.....	102
4.6.1 Cálculo de tolerancia de caudales.....	102
4.6.2 Cálculo de tolerancia de presiones.	102
4.6.3 La matriz y submatriz de riego.	103
4.6.4 Diseño del sector o unidad de riego.....	106
4.6.5 Diseño de la subunidad de riego.	106
4.6.6 Diseño del cabezal de riego.....	107
4.7 Análisis de caudal necesario para riego.	108
4.7.1 Evapotranspiración potencial (ETP).	108
4.7.1.1 Métodos o Fórmulas Empíricas.....	108
4.7.2 Ejemplo de aplicación para el caso de distrito de Morrope.	110
PRESUPUESTO TOTAL	116
ANALISIS FINANCIERO.....	120
CONCLUSIONES:.....	123
RECOMENDACIONES:	124
BIBLIOGRAFIA Y LINKOGRAFIA:.....	125

ISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Fig.1.1: Vista satelital sector La Colorada-Morrope-Lambayeque.

Capítulo 2

Fig.2.1: Espejo incendiario de Hoesen.

Fig.2.2: Maquina solar de Mouchot en la exposición universal de París de 1878.

Fig 2.3: Dibujo del segundo motor solar de Aubrey Eneas, 1899. Con el objeto de seguir el desplazamiento estacional del sol, este espejo troncocónico podía alzarse o bajarse sobre el carril existente en la torre tras él.

Fig.2.4: Instalación solar de Tellier.

Fig.2.5: Primer prototipo de la máquina de Shuman instalada en Tacony.

Fig.2.6: Planta solar del Maadi, Egipto.

Fig.2.7: Diagrama de composición de células solares en módulos (centro) y panel (der.)

Fig.2.8: Ejemplos de los tipos comerciales de módulos: a) amorfos (de Unisolar) b) monocristalinos (de Sharp) y c) policristalinos (de Matrix)

Fig.2.9: Bomba sumergible que usa un rotor de hélice y un motor sin escobillas.

Fig.2.10: Ejemplos de bombas superficiales.

Fig.2.11: Ejemplos de bombas flotantes.

Fig.2.12: Sistema de bombeo solar acoplado con baterías.

Fig.2.13: Sistema de bombeo solar con acoplamiento directo.

Fig.2.14: Esquema de distribución de radiación.

Fig.2.15: Mapa irradiación horizontal de Latinoamérica y el Caribe.

Fig.2.16: Programa RETScreen Expert.

Fig.2.17: Datos del Programa RETScreen Expert.

Fig.2.18: Geometría solar.

Fig.2.19: Coordenadas celestes horarias.

Fig.2.20: Valores referenciales de Aire-Masa en función de la altura solar.

Fig.2.21: Concepto de Horas Sol Pico.

Fig.2.22: Fabricación de la célula y el panel fotovoltaico.

Fig.2.23: Funcionamiento célula silicio

Fig.2.24: Árbol de tecnologías fotovoltaicas

Fig.2.25: Tecnologías fotovoltaicas más comunes.

Fig.2.26: Curva I vs V/P vs V

Fig.2.27: Efecto de la temperatura.

Fig.2.28: Efecto de radiación en panel 50 Wp EverExceed

Fig.2.29: Distanciamiento entre Filas de módulos fotovoltaicos

Fig.2.30.a: Sistema fotovoltaico aislado.

Fig.2.30.b: Sistema fotovoltaico aislado.

Fig.2.30.c: Sistema fotovoltaico aislado.

Fig.2.31: Partes de una batería.
 Fig.2.32: Funcionamiento de batería plomo-ácido.
 Fig.2.33: Tensiones en la batería 12V.
 Fig.2.34: Estructura Fija
 Fig.2.35: Instalación de seguidor solar.
 Fig.2.36: Detalle de componentes adicionales para seguidor solar
 Fig.2.37: Micro-PLC S7-200.
 Fig.2.38: Ajuste de la velocidad de transmisión.
 Fig.2.39: Visualizadores de texto T200.
 Fig.2.40: Paneles táctiles TP070.
 Fig.2.41: Conexión de entradas a PLC.
 Fig.2.42: Conexión de salidas a PLC.
 Fig.2.43: Paneles fotovoltaicos como ventanas en edificio de Philadelphia.
 Fig.2.44: Paneles solares en una ladera de la comunidad de Topanga, en Los Ángeles, California (EE UU).
 Fig.2.45: Variación de potencia en relación a tensión de trabajo
 Fig.2.46: Concentrador Solar instalado por Solar Systems en Australia.

Capítulo 3

Fig.3.1: Índice del sol en Lambayeque.
 Fig.3.2: Morrope en RETScreen Expert.
 Fig.3.3: Especificaciones técnicas de nuestro panel solar EGE-100M-36.
 Fig.3.4: Panel solar EGE-100M-36.
 Fig.3.5: Regulador LEO20.
 Fig.3.6: Conexión regulador con batería.
 Fig.3.7: Pantalla del regulador LEO20.
 Fig.3.8: Conexión regulador con panel solar.
 Fig.3.9: Conexión regulador con consumo.
 Fig.3.10: Funcion PID.
 Fig.3.11: Programación en Microwin s7-200.
 Fig.3.12: Tanque vacío.
 Fig.3.13: Tanque llenando al 55%.
 Fig.3.14: Tanque lleno al 98%.
 Fig.3.15: Tanque estabilizado según el set point.
 Fig.3.16: Diagrama de puesta a tierra.
 Fig.3.17: Selección del tipo de bomba.

Capítulo 4

Fig.4.1: Diagrama agronómico.
 Fig.4.2: Granos de pallar
 Fig.4.3: Principales Regiones Productoras
 Fig.4.4. Diseño del sector o unidad de riego.
 Fig.4.5. Diseño de la subunidad de riego

LISTA DE TABLAS

Capítulo 2

Tabla.2.1: Comparación de sistemas de bombeo de agua.

Tabla.2.2: Declinaciones características mensuales.

Tabla.2.3: Eficiencia de células fotovoltaicas.

Capítulo 3

Tabla.3.1: Irradiación media diaria.

Tabla.3.2: Y_{max} ($m^2 \times 10^{-3}$).

Tabla.3.3: Características técnicas del regulador de carga.

Tabla.3.4: Bomba Pedrollo.

Tabla.3.5: Datos de prestaciones

Tabla.3.6: Dimensionamiento, pesos y consumo en amperios

Tabla.3.7: Elección de equipos para el diseño de bombeo fotovoltaico.

Capítulo 4

Tabla.4.1: Datos meteorológicos obtenidos en un promedio de 11 años.

Tabla.4.2: Valores normales de un agua de riego.

Tabla.4.3: Valores de E_a en climas áridos.

Tabla.4.4: Intervalo Máximo de riego por goteo.

Tabla 4.5: Operaciones mecanizadas, tiempo requeridos (horas/ha) INIA – 2007.

Tabla 4.6: Elaboración Propia.

Tabla 4.7: Sector o unidad de riego

Tabla 4.8: Subunidades y unidades de riego

Tabla 4.9: Datos brindados por el programa RETScreen Expert.

Tabla 5.0: Factor de evotranspiración potencial.

Tabla 5.1: Coeficiente de cultivo en etapa de maduración.

Tabla 5.2: Eficiencias de diseño para diferentes tipos de riego.

Tabla 5.3: Elección de materiales para el diseño de riego por goteo.

TABLA 5.4: van, tir y flujo de caja.

INTRODUCCIÓN

Las estadísticas del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), indican que en el Perú alrededor de la tercera parte de la población vive en las zonas rurales, cuyos ingresos dependen del 50% de la agricultura, además se estima que el área de riego en el país está representado por un 70% bajo secano, 26.9% bajo riego por gravedad, 2% bajo riego tecnificado y 0,7% a través de la explotación de las aguas subterráneas mediante pozos, bajo estas circunstancias alrededor de 10 millones de peruanos aplican una tecnología de bombeo y riego.

Actualmente, las granjas y sembríos al lado del Río Motupe son productivos todo el año, debido a que tiene acceso a grandes cantidades de agua, mientras que las tierras más alejadas como es el sector de La Colorada solo producen en época de lluvia, afectando su desarrollo.

Frente a esta situación, en la presente tesis se diseñará un **“SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA RIEGO POR GOTEO EN LA FINCA SAN JOSE – CASERIO LA COLORADA – DISTRITO DE MORROPE –DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”**, aprovechando la existencia de un pozo cercano a la zona de diseño, de modo que satisfaga la necesidad de dicha finca.

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Actualmente la zona poblada del Caserío La Colorada, Provincia de Lambayeque, Departamento de Lambayeque, es una zona agricultora y ganadera por lo que necesita usar diversas fuentes de agua y debido a que su geografía no permite que todos los pobladores sean beneficiados igualmente con el recurso hídrico del Río Motupe que atraviesa este caserío; se ven en la necesidad de realizar viajes diarios desde los alrededores para conseguir agua.

Actualmente, las granjas y sembríos al lado del Río Motupe son productivos todo el año, debido a que tiene acceso a grandes cantidades de agua, mientras que las tierras más alejadas como es el sector de La Colorada solo producen en época de lluvia o aumento caudal del agua, afectando su desarrollo y progreso.

En el caso del sector de La Colorada, existe un pozo natural de agua de 1.4 x 1.4 metros durante el periodo de sequía y se encuentra a una altura de 18 m.s.n.m. pero debido a sus dimensiones y al nivel de agua respecto del suelo, este no satisface la demanda de los pobladores del sector.



Fig.1.1: Vista satelital sector La Colorada-Morrope-Lambayeque.

Fuente: Google Earth.

1.1 NECESIDADES DE BOMBEO:

En la zona se necesita bombear agua a un tanque elevado para después ser utilizado en los regadíos de la finca san José, por lo cual se seleccionará equipos de bombeo adecuados para elevar agua de modo que cumpla con los requerimientos necesarios para el uso en regadío.

Se buscará beneficiar a una familia residente de la zona, para un riego de 3 hectáreas de cultivo.

Para electrificar los equipos de riego se utilizará energía renovable, ya que el poste de alumbrado público está muy alejado de la zona de riego.

1.2 RECURSOS NATURALES APROVECHABLES:

Recurso Solar: Según el servicio nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI) se obtuvo que la energía solar incidente diaria en la provincia de Lambayeque del departamento de Lambayeque, clasificado por meses, es el siguiente:

Febrero: 4.0 – 6.0 kW.h/m² día.

Mayo: 4.0 – 5.5 kW.h/m² día.

Agosto: 4.5 – 6.0 kW.h/m² día.

Noviembre: 6.0 – 6.5 kW.h/m² día.

Recurso Hídrico: Para mejor información de la presente tesis se tomará en cuenta el recurso hídrico para la estación de sequía, debido a que durante esta época del año se necesitará mayor cantidad de agua para el riego de los cultivos.

- ✓ Respecto al pozo: El pozo de agua tiene un área de 1.4 metros por 1.4 metros en época secas (abril - octubre) con una profundidad de 8 metros y mantiene su nivel de agua constante cuando es utilizado, pero en época de lluvia (diciembre - marzo) sobrepasa el nivel del suelo generando una pequeña laguna de 12 metros por 12 metros con una profundidad de 0.6 metros.

1.3 UBICACIÓN DE ESTUDIO DE CASO EN PERÚ:

El Diseño de un Sistema de bombeo fotovoltaico para riego por goteo se realizará en la finca San José, caserío la colorada, distrito de Morrope, departamento de Lambayeque.

Distrito de Morrope:

Ubicación: Está ubicado en la provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque, situado al lado derecho de la nueva carretera Panamericana a 33.5 km al Norte de la ciudad de Chiclayo, a 25.5 km de la ciudad de Lambayeque y a 18 m.s.n.m ubicado en la parte norte y occidental de la provincia de Lambayeque y cuenta con una extensión territorial de 1,041 Km².

Limites:

Norte : Sechura y Olmos.

Sur : Lambayeque y San José.

Este : Mochumí, Túcume, Illimo, Pacora, Jayanca y Motupe.

Oeste : Océano Pacífico.

Relieve: Suelo llano, desértico, con abundantes dunas en cercanías al mar. Se ubica a los 23m.s.n.m. y es irrigado por los ríos del valle chancay y valle la leche.

Vías de Acceso:

- Terrestre: La ciudad de Mórrope se ubica a 33.5 km de la capital regional Chiclayo, para llegar a Mórrope es necesario hacer el siguiente recorrido: Chiclayo – Mórrope, por carretera asfaltada en buen estado de conservación con un recorrido aproximado de 33.5 km, en un tiempo estimado de media hora.
- Marítima: No existe infraestructura portuaria.
- Aérea: De lima a la Ciudad de Chiclayo y después por vía terrestre.

Clima: Se caracteriza por ser una zona muy seca, debido a las cercanías de grandes arenales, el régimen de precipitaciones es estacional, muy ligeras lluvias en el verano y ausentes el resto del año; con la presencia del Fenómeno “El Niño”, las lluvias se intensifican y en algunos casos se presentan acompañadas de tormentas eléctricas que caracterizan a las nubes conectivas de gran desarrollo vertical. Temperatura promedio de: verano 29°C y 22°C en invierno.

1.4 ANTECEDENTES:

Se han encontrado los siguientes trabajos relacionados:

- **Título:** “ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPO ÓPTIMO DE BOMBEO EN MUSKARUMI - PUCYURA - CUSCO USANDO FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA”

Autor: Dany Franco Auccacusi Montejo.

Año: 2014.

Universidad: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Resumen: Se realizó el análisis técnico y económico para la selección del equipo óptimo de bombeo en Muskarumi - Pucyura – Cusco usando fuentes renovables de energía, para lo cual se determinó que el caudal de agua necesario para 3 hectáreas de cultivo, durante el día más seco del año, es de aproximadamente 3 l/s por lo que se necesitaría bombear un volumen de 282 m³ al día; por otro lado, se definió que el tipo de riego más adecuado para la zona es el de aspersión. Entonces eligiendo los aspersores a utilizar se determine que se necesita en promedio de 3.5 bar de presión, lo cual nos da la referencia de la altura en la cual se debe ubicar el tanque de agua.

Conclusiones: Al término de la presente tesis, se puede concluir que, mediante un sistema de bombeo que usa energía renovable se puede mejorar la producción del sector de Muskarumi en dos veces, en vez de una, al año, por otro lado, se nota que las capacidades de este tipo de bombas son limitadas a comparación de las que usan energía eléctrica o diésel.

Recomendaciones: Para mejorar la eficiencia de la bomba solar los paneles solares deben ser limpiados una vez al mes para mejorar la captación de la radiación solar.

- **Título:** “Bombeo de Agua para riego en Cerro Cálan utilizando Energía Solar Fotovoltaica”

Autor: Emilio Javier Aqueveque Medina.

Año: 2009.

Universidad: Universidad de Chile.

Resumen: Los pasos a seguir en el presente informe serán la determinación del caudal de diseño de la impulsión, el diseño de los paneles solares, la elección de las bombas y el diseño de las obras tales como cámara de

captación, cámara de impulsión, diámetro de la impulsión, tipo de tubo y uso de la infraestructura existente en el cerro. El presente informe incluye además una simulación horaria de bombeo solar, el presupuesto de los materiales y obras respectivas y los planos del proyecto, con los cuales se contempla la materialización de éste para el año 2010.

Conclusiones: Se concluye que la elección de tres bombas Lorentz HR-07 e instalación de 3000 Wp de potencia en paneles es suficiente para el proyecto.

Recomendaciones: Después de la instalación de la bomba solar se puede compartir las experiencias en cuanto al manejo y administración del agua, de esta manera extender los beneficios a otros.

- **Título:** “Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP”

Autor: Paulo Daniel Valdiviezo Salas.

Año: 2014.

Universidad: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Resumen: El principal objetivo de la tesis es fomentar el interés e investigación en energía renovable por parte de la comunidad con estudios superiores, mediante el diseño de un sistema fotovoltaico aislado para abastecer a 15 computadoras portátiles en la PUCP.

Se dimensiona la cantidad de baterías, paneles fotovoltaicos, inversores y controladores a emplear. Se obtiene el siguiente arreglo, al iterar varias veces:

- 12 baterías 250 Ah/12V (3 ramales de 2 paralelo y 2 en serie).
- 24 paneles de 150 wp. (3 ramales de 4 paralelo y 2 en serie).
- 3 controladores de 50A y 24 V.
- 1 inversor 24V/230V-1200w.

Conclusiones: Los resultados económicos muestran que, si no se toman en cuenta incentivos económicos gubernamentales o institucionales por generación de energía limpia, el proyecto no será rentable económicamente.

Recomendaciones: Se requerirá una inversión inicial de cerca de S/. 70'000.00 tener operativa una instalación fotovoltaica aislada que sea capaz de suministrar suficiente energía eléctrica para 15 computadoras portátiles o su equivalente, en la PUCP.

- **Título:** “Automatización de un Sistema de Riego Agrícola por Técnica de Goteo y Aspersión”

Autor: Daniel Gutiérrez, Paul Muñoz, Arturo Suarez.

Año: 2015.

Universidad: Universidad Ricardo Palma - Perú.

Resumen: El sistema consiste en la instalación de un sistema de riego doméstico subterráneo, que va a ser controlado por un circuito lógico mediante la gestión del flujo de agua, siendo la salida del circuito de control aplicado a un elemento actuador electro-mecánico. Para ello, una válvula reguladora accionada mecánicamente permanecerá abierta en el nivel requerido. El circuito mide las horas necesarias para la activación, y el riego se realiza en horas de la noche. Por esa razón, se diseña un temporizador digital con el fin de controlar las horas de apertura. Se incluye también un sistema sensorial que mide la intensidad de la luz y la humedad de la tierra para regular el cierre de la llave secundaria que realiza el avance del flujo de agua a través del sistema de tuberías con aberturas suficientemente pequeñas para mantener el riego por goteo.

Conclusiones: El riego por goteo, controlado electrónicamente permite mejorar notablemente el mantenimiento de jardines, plantas y cultivos. Se logra el beneficio de ahorro de poco más del 70% de agua de riego, que equivalen aproximadamente a 40 litros diarios de agua en un jardín promedio. Con el ahorro del agua en un solo hogar se podría satisfacer a 2 familias en su consumo diario.

1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA CIENTÍFICO:

¿En qué forma satisface la necesidad de riego para los cultivos el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego por goteo en la Finca San José – Caserío La Colorada – Distrito de Morrope – Departamento de Lambayeque?

1.6 HIPÓTESIS

Si se diseña un sistema de bombeo fotovoltaico para riego por goteo en la Finca San José – Caserío La Colorada – Distrito de Morrope – Departamento de Lambayeque; se logrará satisfacer la necesidad de riego para los cultivos.

1.7 OBJETIVOS:

1.7.1 OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para riego por goteo en la Finca San José – Caserío la colorada – Distrito de Morrope – Departamento de Lambayeque.

1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Conocer los componentes y el funcionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico.
- ✓ Conocer los distintos tipos de instalaciones solares de bombeo fotovoltaico.
- ✓ Determinar el volumen de agua necesario para los cultivos, así como la presión necesaria para el riego.
- ✓ Seleccionar la bomba que usa energía renovable es la más adecuada para cumplir con los requerimientos de bombeo.
- ✓ Plantear el diseño en base en una metodología del sistema fotovoltaico.

1.8 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA:

Una de las grandes preocupaciones de la población del Caserío La Colorada es la escasa producción de sus cultivos debido a que estos solo producen cuando hay lluvias o aumento de caudal de agua para un pozo natural de 1.4 x 1.4 metros y esto afecta al desarrollo de los pobladores, ocasionando pérdidas económicas en los ingresos de la población. En la presente tesis proponemos como solución electrificar equipos de bombeo mediante la energía renovable que en este caso sería con paneles solares y así poder bombear agua a un tanque elevado de 274.63 m³ de capacidad, para luego regar las 3 hectáreas por riego por goteo.

En vista de esto el presente trabajo enmarcará dentro de sus lineamientos “Diseño de un Sistema de Bombeo Fotovoltaico para riego por goteo en la Finca San José, Caserío La Colorada, Distrito de Morrope, Departamento de Lambayeque”; con la finalidad de satisfacer la necesidad de riego para los cultivos y así aumentar la producción en dicha zona.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES DE BOMBEO SOLAR

En este capítulo se revisará la historia del bombeo solar destacando los hechos puntuales más importantes que condujeron al estado del arte actual en sistemas de bombeo fotovoltaicos. Se comparará el bombeo fotovoltaico con otros sistemas de elevación de agua y se explicarán las configuraciones básicas para instalar un sistema de bombeo fotovoltaico en terreno.

2.1 BREVE HISTORIA DEL BOMBEO SOLAR

2.1.1 EL BOMBEO SOLAR NO FOTOVOLTAICO

En la antigua Grecia, la escuela de los llamados mecánicos griegos, encabezados por Herón de Alejandría, utilizaron la energía solar para producir vapor, y con éste, movían pequeños autómatas, órganos o silbatos, fuentes de agua, artilugios todos ellos con un objetivo lúdico y espectacular, sin pretensiones de usar este género de técnicas en el mundo de la industria, de la construcción o de la guerra. En Roma, China y también en Grecia se desarrollaron espejos curvados que podían concentrar los rayos del Sol sobre un objeto con intensidad suficiente como para hacerlo arder en pocos segundos. Se trataba de reflectores solares a base de plata, cobre o bronce pulimentado.

Estos estudios cayeron en el olvido (salvo en forma de mitos, como el que se atribuye a Arquímedes, por el que, supuestamente, utilizó espejos incendiarios para destruir los barcos de los invasores romanos en Siracusa) hasta el Renacimiento, momento en el que se retoman los fundamentos geométricos y se alcanza el nivel tecnológico que permite la construcción de espejos de mayor diámetro. En el siglo XVIII Peter Hoesen construye un reflector formado por numerosos y pequeños espejos planos, fáciles de montar sobre un armazón con la forma deseada, alcanzando así la marca de tres metros de diámetro (ver fig.2.1)

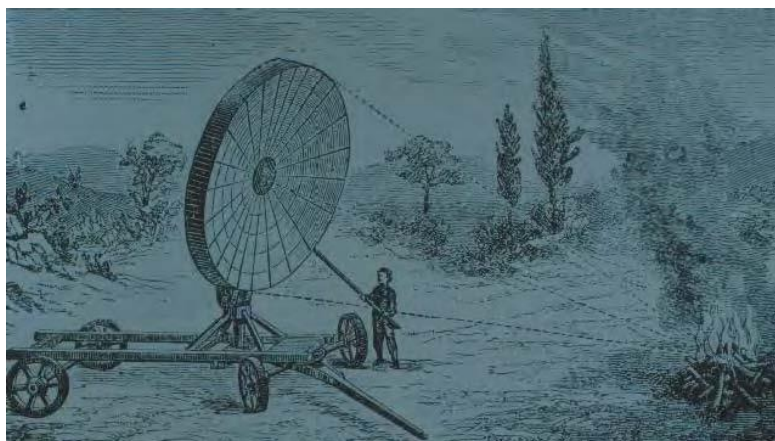


Fig.2.1: Espejo incendiario de Hoesen.

El ingeniero francés Agustín Bernard Mouchot, profesor de la escuela de ingeniería de Tours, Francia, comenzó sus estudios sobre la energía solar en 1860 preocupado por la dependencia que su país tenía del carbón. Consideraba este recurso como algo finito, y le preocupaba sobremanera la manera de sustituirlo cuando llegase a su fin. Recogió sus experiencias en un libro titulado “La Chaleur solaire”.

En él, hacía una revisión de todas las experiencias conocidas relacionadas con el aprovechamiento del calor del sol, como introducción y después describía con todo detalle sus ideas y las realizaciones prácticas llevadas a cabo por él mismo. Sus experimentos buscaban la capacidad calorífica de los rayos solares para evaporar el agua en recipientes cerrados, de manera que se elevase la presión en su interior y aprovechar ésta para generar movimiento.

En los días de Mouchot la máquina de vapor era ya un invento extendido por occidente, e, inevitablemente, el primer objetivo de Mouchot fue sustituir el calor que la movía, proveniente de la quema de carbón o leña en sus calderas, por el calor solar. Disponía para ello de un reflector cónico en cuyo fondo había una caldera cubierta con un vidrio. Dado que utilizaba este rudimentario concentrador solar, necesitaba también contar con un sistema de seguimiento.

Finalmente, en lo que fue declarado por un testigo como “un día extremadamente caluroso”, el sistema de Mouchot fue capaz de mover una máquina de vapor de medio caballo de potencia. En la prueba, la máquina fue utilizada, precisamente, para bombear agua a razón de 2.000 litros por hora. El gobierno de Francia fue testigo de este logro, y en seguida encontró que el ingenio de Mouchot podría prestar estupendos servicios en el protectorado argelino de Francia, una región bendecida con una irradiación solar abundante pero maldecida por una clara necesidad de agua.

Se hicieron un gran número de experimentos con el sistema de Mouchot para mover máquinas de vapor, en los que se intentaba mejorar la concentración para conseguir presiones de vapor más altas, pero en el tiempo que duraron estas experiencias el escenario global se tornó menos favorable a la energía solar.

Las tensas relaciones entre Francia e Inglaterra, que hacían temer el suministro de carbón y que gravaban su precio, se relajaron notablemente. Asimismo, el sistema de transporte del carbón por parte de Francia fue mejorado. Todo junto provocó una pérdida de interés, y en consecuencia apoyo, a los experimentos de Mouchot, de manera que se terminaron por abandonar. Mouchot, que se había trasladado a Argelia para dirigir los trabajos, regresó a su puesto docente en Francia. Hubo otros intentos dirigidos a hacer funcionar máquinas de vapor a base de calor solar, y todos tenían el bombeo de agua como objetivo final.

Es de destacar el caso de Williams Adams encargado del registro civil en Bombay, por la modificación introducida en el captador solar con respecto al utilizado por Mouchot. Utilizó espejos planos colocados de manera que reflejaban el sol sobre un punto común en el que se alcanzaban elevadas temperaturas.

Esta configuración también necesitaba de un seguimiento del sol, circunstancia resuelta por Williams gracias al concurso de un operario que tenía la misión de mover los espejos “tres o cuatro veces al día”, en palabras de Adams, o más frecuentemente si se quería aumentar el rendimiento.

Esta idea es la empleada en las actuales centrales térmicas a base de calor solar (con la excepción hecha del sistema de seguimiento, por supuesto). El resultado mejoró el de Mouchot consiguiendo mover una máquina de vapor de dos caballos y medio de potencia.

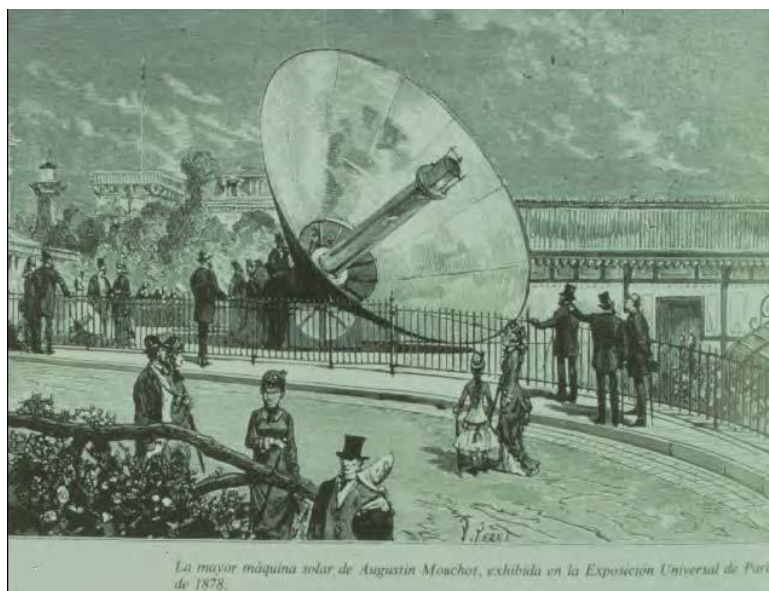


Fig.2.2: Máquina solar de Mouchot en la exposición universal de París de 1878.

Mouchot no fue el único, otros ingenieros intentaron poner el calor solar al servicio del hombre, y en casi todos los casos la primera aplicación beneficiada de ello fue el bombeo de agua. Uno de estos hombres es, por ejemplo, Aubrey Eneas, originario de Boston y creador de la empresa Solar Motor Company of Boston.

El objetivo principal de la empresa era la venta de equipos de bombeo al sudoeste de los EEUU, donde los combustibles convencionales como la madera y el carbón eran escasos y caros. Basándose y mejorando el diseño de Mouchot, Eneas construyó, en 1899, un sistema con un diámetro de 10 metros en la boca del reflector, que estaba formado por más de 1.800 pequeños espejos de vidrio plateado.

Distintos mecanismos y artefactos de relojería permitían orientar el espejo hacia el Sol a lo largo del día y según las estaciones, sin excesivo esfuerzo. El conjunto pesaba más de 4 toneladas. En 1901, el motor quedó instalado en la primera granja de avestruces de los EEUU, en Pasadena, después de haber viajado desde Nueva Inglaterra hasta Denver (donde se hicieron los primeros ensayos), antes de alcanzar su destino final.

Los avestruces eran visitados por el público, que pudieron contemplar también (por el mismo precio) el motor solar de Eneas en acción. En esencia (según las crónicas de la

época) el motor solar accionaba una bomba capaz de irrigar 120 hectáreas de cítricos extrayendo 6.400 litros de agua por minuto de un pozo situado a 5 metros de profundidad (es decir, una potencia de unos 5kW).

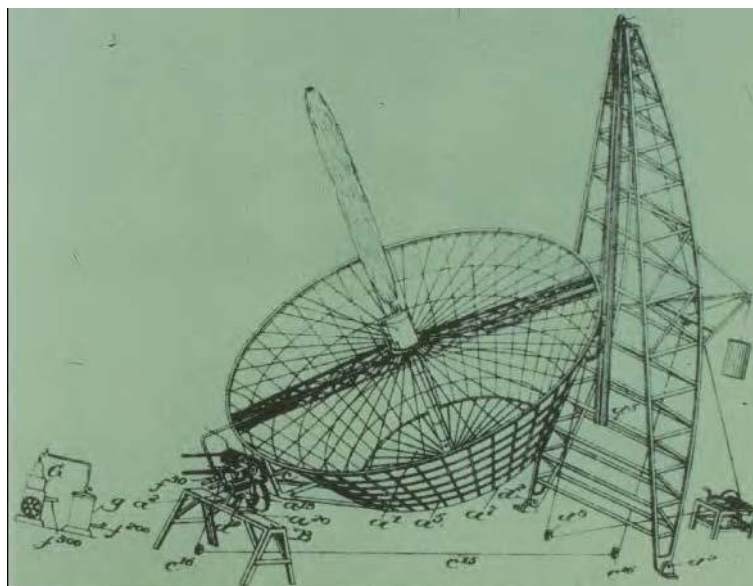


Fig.2.3: Dibujo del segundo motor solar de Aubrey Eneas, 1899. Con el objeto de seguir el desplazamiento estacional del sol, este espejo troncocónico podía alzarse o bajarse sobre el carril existente en la torre tras él.

Hasta 1904 Solar Motor Company vendió e instaló cinco motores solares. El último en la granja de John May consiguió bombear 6.700 litros de agua por minuto, pero desafortunadamente los espejos del reflector fueron destruidos por una tormenta de granizo. Otro de los modelos instalados con anterioridad fue destruido por un vendaval. Competidores sin escrúpulos en el negocio solar contribuyeron a ensuciar la reputación de Eneas. Aparte de la maledicencia de sus competidores, la importancia de la fiabilidad en aplicaciones de este tipo queda de manifiesto ya en los orígenes del bombeo solar. Con todo, el principal obstáculo a la comercialización de los motores solares era su costo: de dos a cinco veces el costo de una planta de vapor convencional. Aun cuando tras el desembolso inicial no existieran gastos de combustible, el elevado precio inicial desalentaba a los compradores.

En su afán de sustituir la caldera de madera o carbón de las “todopoderosas” máquinas de vapor, los motores solares desarrollados tanto por Mouchot como por Eneas estaban basados en el empleo de reflectores para concentrar los rayos del sol y alcanzar las elevadas temperaturas requeridas. Desgraciadamente estos énfasis puestos en las altas temperaturas conducían a problemas de difícil resolución en la época: las elevadas temperaturas en el interior del colector (parte fundamental de estas máquinas) originaban inevitablemente fuertes pérdidas de calor y, además, los reflectores utilizados para obtener altas temperaturas debían ser grandes, complejos y costosos.

Una vez instalados resultaban vulnerables a vientos fuertes y a las inclemencias del tiempo. Para empeorar la cuestión, debían mirar siempre al sol, lo que exigía un operario a tiempo completo o un delicado mecanismo capaz de mover automáticamente los reflectores. Y cuando no había soleamiento directo en días de bruma o nubosos, los colectores concentradores dejaban totalmente de funcionar.

Sin embargo, en un motor solar desarrollado para trabajar a baja temperatura, estos problemas prácticamente desaparecían. Entre los ejemplos de esta alternativa, destaca la bomba solar del ingeniero francés Charles Tellier. En vez de agua utilizó hidrato de amoníaco que hierve a 33°C o el dióxido de azufre que lo hace a 10°C. Tellier conocía las aplicaciones de los líquidos de bajo punto de ebullición fruto de sus investigaciones acerca de la congelación de alimentos, labor por la cual es más conocido.

En su bomba solar, el colector solar estaba construido con simples láminas de metal oscuro, entre medias de las cuales circulaba el líquido para ser evaporado. La chapa metálica inferior se aislaba a fin de reducir las pérdidas por conducción. La presión del amoníaco alcanzaba las 2,7 atmósferas y la bomba podía impulsar unos 1.300 litros de agua por hora. Estimó que en un clima con más horas solares que el francés se podrían alcanzar los 3.600 litros de agua por hora.

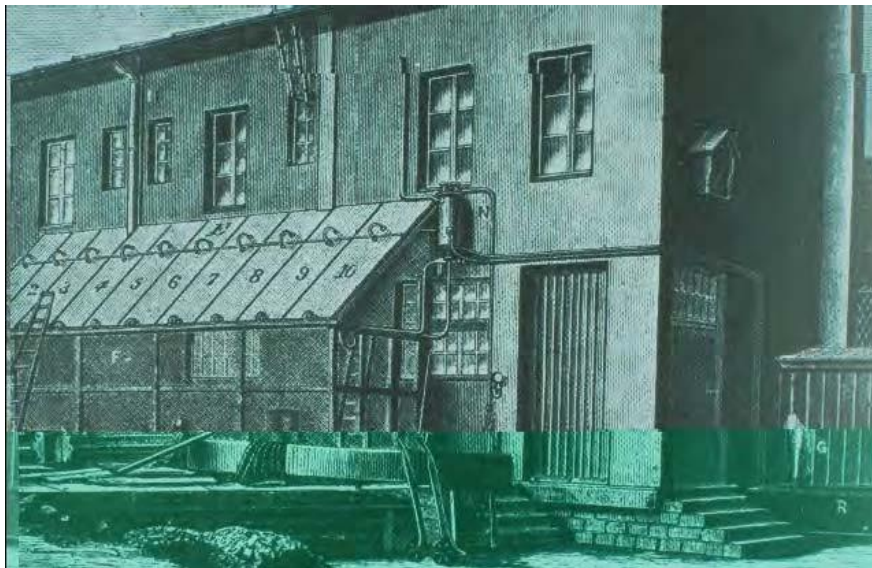


Fig.2.4: Instalación solar de Tellier.

Willsie y Boyle, dos ingenieros americanos, en 1908 mejoraron el diseño de Tellier. Usaban agua en la caja caliente, que trasladaba su energía al dióxido de azufre mediante un intercambiador. El vapor de dióxido era finalmente el encargado de mover el motor. De este modo, los circuitos en la caja caliente no debían soportar grandes presiones, quedando estas limitadas al circuito, más pequeño, que unía el motor con el intercambiador. Además, acumulaban calor en depósitos aislados que contenían agua, lo que permitió a sus plantas funcionar 24 horas ininterrumpidas. A pesar de su rentabilidad económica (se amortizaban en dos años), dos años después la máquina productora de gas era introducida en el Sudoeste de los EEUU: quemaba carbón para producir gas artificial,

y los motores que consumían gas artificial eran de dos a cuatro veces más eficientes que los convencionales basados en la combustión.

De esta manera, el motor solar perdió parte de su atractivo económico cuando el transporte del carbón bajó de precio, y dejó de fabricarse. Otro ingeniero autodidacta exploraba también el empleo de colectores de caja caliente para impulsar máquinas de baja temperatura: Frank Shuman. Después de revisar la obra de los que le habían precedido se inclinó por continuar con la misma línea de bajas temperaturas de Willsie y Boyle, salvo que utilizó éter como líquido colector en la caja caliente. Con un modelo pequeño para demostraciones y con un buen talento como propagandista, Shuman consiguió atraer un número suficiente e inversionistas como para crear la Sun Power Company. Para una primera demostración práctica a escala real, la compañía escogió Egipto. Sin embargo, la planta habría de construirse primero en EEUU, probarla, desmontarla después y volverla a montar en su emplazamiento definitivo. La planta se alzó sobre 2.700 metros cuadrados cerca de la casa de Shuman en Tacony, Pennsylvania. Uno de los objetivos primordiales era incrementar la cantidad de calor recibida y capturada por los colectores. Para ello añadió a las cajas calientes sendos espejos laterales que reflejaban la luz sobre la caja caliente. Además, un mecanismo permitía ajustar la orientación de los colectores.



Fig.2.5: Primer prototipo de la máquina de Shuman instalada en Tacony.

Shuman también mejoró el motor, haciéndole trabajar a baja temperatura y baja presión, evaporando agua a temperatura menor de 100 grados. Este motor generaba más potencia que cualquier otra máquina solar construida anteriormente.

Además, sustituyó los colectores concentradores por un único reflector de sección parabólica, en cuyo foco se suspendía una larga caldera recubierta de vidrio. Este sistema, conectado a una bomba, podía elevar 12.000 litros de agua por minuto a una altura de 10 metros (una potencia de unos 20 kW).

Casi el 30 por ciento de la energía solar incidente sobre los colectores era transformada en calor útil, produciendo una potencia máxima de 30 caballos de vapor y una media de 14 en un día de sol normal.

Se construyeron cinco reflectores solares en Maadi, a 20 kilómetros de El Cairo, Egipto (ver fig. 1.6), cada uno de 60 metros de largo por 4 de ancho y separados 8 metros entre sí. Además, la planta de Maadi podía funcionar las 24 horas del día. El excedente de agua calentada se guardaba en un gran depósito aislado, similar al utilizado por Willsey y Boyle, para su uso durante la noche o en días cubiertos y lluviosos.

El motor podía así impulsar una bomba convencional ininterrumpidamente, aumentando todavía más la eficiencia de la planta. En la inauguración, en julio de 1913, el ingenio alcanzó los 55 caballos de potencia y la bomba elevó 27.000 litros de agua por minuto. El dispositivo de absorción captó el 40 por ciento de la energía solar disponible, un resultado muy superior al obtenido por la planta de Tacony.

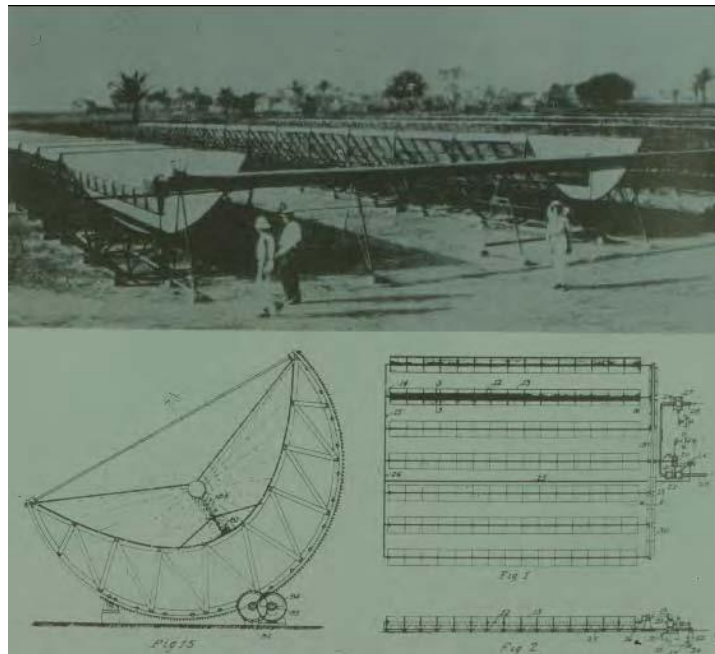


Fig.2.6: Planta solar del Maadi, Egipto.

Las potencias coloniales europeas mostraron su interés por la máquina de Shuman, ante lo cual, Shuman amplió el ámbito de sus planes. Siendo un idealista, esperaba construir 52.600 Km² de reflectores en el Sahara, proporcionando al mundo "a perpetuidad los 270 millones de caballos necesarios para igualar todo el combustible extraído en 1909". Pero su sueño se desintegró con el comienzo de la Primera Guerra Mundial. Los ingenieros de la planta de Maadi dejaban África para ocuparse de trabajos de guerra en sus respectivos países. Shuman regresaba a los EEUU, donde moriría antes de concluir la guerra. Además, las potencias europeas empezaban a interesarse por el uso de una nueva forma de energía en sustitución del carbón: el petróleo. Ya en 1919, los ingleses habían

invertido más de 20 millones de libras en la Anglo-Persian Oil Company. Se producían nuevos descubrimientos de petróleo y gas en numerosas partes del mundo (California, Iraq, Venezuela e Irán).

Casi todos eran lugares soleados donde resultaba difícil obtener carbón, áreas pensadas por Shuman, y por el mismo Mouchot, como emplazamientos privilegiados para las plantas solares. El petróleo y el gas enterraron así las experiencias de bombeo solar, que no se retomarían significativamente hasta la crisis del petróleo de 1973.

2.1.2 EL BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO

No es hasta la segunda mitad del siglo XX cuando se dan las condiciones necesarias para que la nueva tecnología solar fotovoltaica encuentre su oportunidad dentro del panorama energético en general, y en el de su utilización para el bombeo de agua en particular. La crisis petrolífera mencionada al final del apartado anterior fue la que hizo que algunos ingenieros buscaran otras fuentes de energía. En esta época, ya existían una producción de módulos fotovoltaicos, y éstos eran utilizados en campos de la industria muy restringidos como por ejemplo la alimentación de sistemas de señalización: boyas en las costas ó balizas en las vías públicas.

En este escenario, Dominique Campana, ingeniera francesa y apasionada por los problemas medioambientales (que empezaban a surgir con fuerza en estos años), enseguida se preocupó del problema del abastecimiento de agua en zonas aisladas. Su interés general por el entorno le condujo a la energía solar como medio para resolver este problema. En esta época, ya había intentos de bombear agua con motores impulsados por energía solar térmica como los descritos en el apartado anterior, pero perfeccionados con las tecnologías y los materiales de la segunda mitad del siglo XX. Sin embargo, resultaban caros, pesados, voluminosos, tremendamente ineficientes y necesitados de mantenimiento continuo.

Gracias a conversaciones con expertos en el mundo de la energía solar fotovoltaica, Campana pensó en la modalidad fotovoltaica de la energía solar para hacer funcionar bombas de agua. Con la colaboración del fabricante de bombas Guinard, líder en Francia, y Philips como suministrador de módulos, llevó a cabo su idea poniendo en marcha el primer sistema de bombeo fotovoltaico del mundo.

Guinard colaboró fabricando un prototipo de bomba para el sistema de Campana sustituyendo el motor de corriente alterna por uno especial de corriente continua, como la generada por los módulos, y además mejorando el rendimiento de la bomba, con lo que el número de módulos necesarios se redujo. El prototipo fue instalado en una granja en la isla francesa de Córcega, residencia habitual de Campana, y allí fue puesto a punto por ella misma. El resultado fue excelente y sirvió para suministrar agua a la granja en sus necesidades diarias.

Mientras tanto, en Mali, años antes de la exitosa experiencia de Dominique Campana, el padre Bernard Verspieren, al frente de una misión católica, era testigo de la dura sequía que sufría el país, y contra la que luchaba mediante una red de bombas manuales instaladas en su área de influencia. No sin esfuerzo, había convencido a las autoridades locales para confiarle fondos con los que costear estas bombas y su mantenimiento.

Existen numerosos testimonios suyos, en los que se lamentaba del deficiente suministro de agua que estas bombas eran capaces de dar.

La fiabilidad de las mismas dejaba mucho que desear y obligaban a tener un grupo de técnicos que no daban abasto para mantenerlas en funcionamiento. En estas condiciones, Verspieren supo del prototipo instalado por Campana, y se las ingenió para visitar las montañas corsas y ver en acción el invento. Según palabras suyas “fue un amor a primera vista”. Sabedor de los problemas sobre el terreno existentes en Mali, casi siempre relacionados con el alejamiento de carreteras de calidad, de la disponibilidad de personal cualificado, y también conocedor de las bombas de agua accionadas por diesel y por el calor solar, en seguida se dio cuenta de que lo que tenía delante era la solución para los problemas de agua que anhelaba resolver.

Con gran esfuerzo consiguió financiamiento en Europa y pudo realizar la primera instalación de bombeo fotovoltaica en Nabasso, la ciudad en donde vivía en Mali. La instalación resultó un éxito y el acontecimiento en seguida fue conocido en gran parte del país, y, en consecuencia, el padre Verspieren recibió una gran cantidad de solicitudes para replicar su sistema. La gran visión de este hombre, que conocía de primera mano los problemas reales sobre el terreno, le hizo tomar una serie de precauciones que él consideraba necesarias para garantizar un suministro fiable de agua. Básicamente se trata de un concepto, ampliamente aceptado ahora en el mundo de la cooperación, que consiste en hacer que los beneficiarios se ocupen en buena medida de la gestión de los sistemas. Para extender los sistemas de bombeo, imponía como condición que el pueblo costeara los trabajos de alumbramiento del pozo o sondeo, y los materiales. Obligaba a la creación de una estructura social encargada de la gestión del sistema cuyas tareas principales eran: la recolección sistemática de dinero pagado por los usuarios por el servicio para cubrir los gastos de mantenimiento, la realización de un cuidado no técnico (básicamente la limpieza de los paneles y del emplazamiento del sistema) y a mantener lejos de los cables y las bombas a la población general. A cambio, la organización “Mali Aqua Viva”, fundada por él en los orígenes para gestionar las bombas manuales, se encargaría de los posibles problemas técnicos. Suscribimos las palabras del Padre Verspieren cuando dijo: “Para mí el coste es secundario. Lo que es de vital importancia es la fiabilidad porque de ella depende la supervivencia de nuestra gente” En los años subsiguientes, y gracias al apoyo de agencias de desarrollo internacional, se llevaron a cabo programas de bombeo fotovoltaico de diferentes tamaños. Entre 1990 y 1994, la agencia de cooperación alemana (GTZ) llevó a cabo un proyecto de instalación de 90 sistemas de bombeo, totalizando una potencia de 180 kWp, con el objetivo de demostrar la viabilidad de esta tecnología y los costos reales que conllevaba. Los sistemas se instalaron en varios países: Argentina, Brasil, Filipinas, Indonesia, Túnez, Jordania y Zimbawe, en colaboración con las agencias locales encargadas del suministro de agua de cada país.

Siguiendo el camino abierto por la experiencia en Mali del padre Verspieren, los países integrantes del Comité Permanente Inter-estados en lucha contra la sequía (CILSS, en sus siglas en Francés) (Burkina Faso, Cabo Verde, Gambia, Guinea-Bisau, Nigeria, Senegal, Chad y Mali) lanzaron el Programa Regional Solar (PRS), financiado por la Unión Europea, con el objetivo de mejorar el suministro de agua en emplazamientos seleccionados empleando criterios de disponibilidad de agua, alejamiento de las vías principales, número de habitantes y grados de compromiso entre otros para la selección de los emplazamientos. La gran novedad que supuso el PRS fue la implantación de un control de calidad en la parte del sistema que va desde el pozo hasta la entrada al depósito.

Para conseguirlo, se diseñaron unas especificaciones técnicas y se implantó un control de calidad llevado a cabo en laboratorios independientes consiguiendo como resultado una importante mejora en la fiabilidad de los equipos.

2.2 ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO FOTOVOLTAICOS

2.2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Las células solares o fotovoltaicas (o PV cells en inglés) están hechas de materiales semiconductores que pueden convertir la luz del sol directamente en electricidad. La luz incidente en las células desaloja y libera electrones dentro del material, los cuales se mueven para producir una corriente eléctrica directa (DC). Esto es hecho sin partes móviles.



Fig.2.7: Diagrama de composición de células solares en módulos (centro) y panel (der.)

Las células fotovoltaicas se combinan para hacer módulos, los cuales se encierran en vidrio o plástico transparente. Los módulos se juntan para componer un panel, cuyo tamaño varía según la aplicación específica (fig.2.7). La mayoría de las células fotovoltaicas comerciales están hechas de sílice y vienen en tres tipos generales: monocristalinas, multicristalinas y amorfas (fig.2.8). Las células monocristalinas se componen de secciones de un único cristal de silicio que son reconocibles por su forma circular o rectangular. Este tipo de célula es la más eficiente, con aproximadamente 15% de eficiencia (eficiencia se define como la fracción de la energía del sol que es convertida a energía eléctrica), pero al mismo tiempo es la más cara de producir.

Las células multicristalinas o policristalinas están hechas de silicio fundido que posteriormente solidifica y cristaliza en lingotes. El tamaño de los cristales está determinado en mayor parte por la tasa a la cual el lingote es enfriado. Se tendrán granos más grandes si el enfriamiento es lento. Las células se obtienen cortando el lingote en finas láminas. Las células multicristalinas son menos caras de producir que las monocristalinas, debido a que el proceso de manufactura es más simple y la pureza de la materia prima es menor. Sin embargo, éstas son ligeramente menos eficientes, con eficiencias promedio bordeando el 12%.

Las células fotovoltaicas amorfas están hechas de una delgada capa de silicio no cristalino puesto en una base rígida o flexible. Éstas son relativamente fáciles de fabricar y son menos caras que las células monocristalinas y policristalinas, pero sus eficiencias bordean el 6%. Su bajo costo hace que ellas sean la mejor opción donde la alta eficiencia y el espacio no son factores importantes.

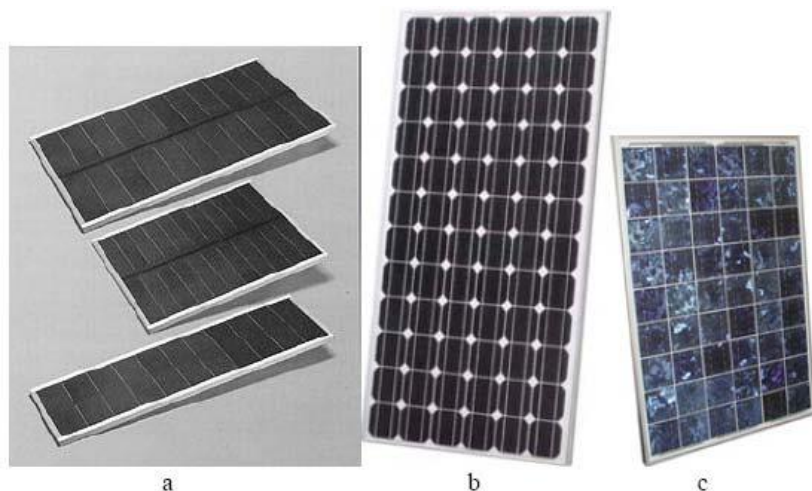


Fig.2.8: Ejemplos de los tipos comerciales de módulos: a) amorfos (de Unisolar)

b) monocristalinos (de Sharp) y c) policristalinos (de Matrix)

Los módulos fotovoltaicos han existido por más de 50 años y su producción masiva existe desde 1979. Debido a mejoras en la tecnología de manufactura y a economías de escala, el costo de las células fotovoltaicas ha disminuido en un 90% desde comienzos de los años 70. Los módulos fotovoltaicos se pueden encontrar en una amplia gama de tamaños y son fabricados por muchas compañías de renombre. Su confiabilidad es buena y pueden durar más de 30 años.

Los paneles fotovoltaicos son instalados de modo que maximicen la cantidad de exposición directa al sol. Esto significa instalarlas en áreas libres de sombras de edificios y árboles, con orientación hacia el norte en el hemisferio sur (hacia el sur en el hemisferio norte) e inclinadas en un ángulo igual a la latitud del lugar. Si los paneles se usan estacionalmente, así como muchos de los sistemas de bombeo solar que actualmente existen, entonces se puede usar un tracker para inclinar el panel en la medida que el sol se mueve en el cielo. Esto puede incrementar el volumen de agua bombeado en un 40% en verano y en un 5 – 10% en invierno comparado con un panel fijo. Con un sistema de tracking se puede usar una bomba más pequeña o menor área de paneles para reducir el costo total. Los trackers pueden ser activos o pasivos. El tracking funciona mejor en tiempos soleados y despejados y no debería usarse en áreas con mucho viento.

2.2.2 BOMBAS SOLARES PARA AGUA

Un sistema de bombeo alimentado por energía solar está compuesto de dos componentes básicas. La primera, son los paneles fotovoltaicos que proporcionan la potencia. Cada panel está compuesto por varias células solares las que producen corriente directa (DC) cuando se exponen a la luz. Esta corriente DC es recolectada por el cableado en el panel. Luego, es abastecida a una bomba DC que bombea agua mientras el sol brille, o almacenada en baterías para su posterior uso por las bombas. También puede usarse un convertidor de frecuencia DC/AC para usar una bomba con un motor de inducción de corriente alterna.

Los fabricantes de paneles normalmente miden el voltaje (Volts) y la corriente de salida (Amperes) de los paneles bajo condiciones de potencia peak. La potencia peak (Watts = Volts x Amperes) es la máxima potencia que se puede obtener del panel fotovoltaico con una radiación solar de 1000 W/m² y una temperatura de 25°C.

Un panel fotovoltaico individual puede ser conectado en serie o en paralelo con otros similares para obtener el voltaje o corriente requeridos para hacer funcionar la bomba. El voltaje de salida de paneles conectados en serie es la suma de todos los voltajes producidos en cada uno de los paneles.

El voltaje y corriente de salida de paneles conectados en paralelo es el opuesto de los paneles conectados en serie. La corriente de salida es la suma de todas las corrientes (amps) de cada uno de los paneles y el voltaje de salida es igual al voltaje producido por un panel individual.

La otra componente principal de estos sistemas es la bomba. Las bombas eléctricas que se conectan a la red eléctrica con corriente alterna (AC), normalmente no están hechas para operar en forma muy eficiente porque no hay limitación de la potencia disponible. Las bombas solares están diseñadas para usar la corriente directa (DC) proporcionada por un panel fotovoltaico o un conjunto de baterías, aunque algunas versiones más nuevas usan un motor de corriente alterna con frecuencia variable y un controlador de corriente alterna de tres fases que les permite ser alimentadas directamente por los paneles solares. Debido a que los paneles fotovoltaicos son caros y su generación de potencia puede ser variable, las bombas solares tienen que ser en lo posible muy eficientes, esto es, tienen que maximizar los litros de agua bombeados por watt o unidad de electricidad usada. También deben ser capaces de bombear durante condiciones de baja luz (baja potencia).

Existen dos tipos de bombas usadas en aplicaciones solares: las bombas centrífugas y las bombas de desplazamiento positivo. Las bombas centrífugas usan un impulsor rotatorio que pone el agua en movimiento. Una bomba centrífuga multi-etapa tiene una serie de impulsores apilados y cámaras. Las bombas centrífugas comienzan a trabajar gradualmente y su flujo de salida se incrementa con la cantidad de corriente. Por esta razón, éstas pueden ser conectadas directamente al panel fotovoltaico sin incluir baterías. Sin embargo, cuando es operada a baja potencia (debido a menor intensidad de luz) la cantidad de agua bombeada por las bombas centrífugas se reduce dramáticamente. Es por esto que las bombas centrífugas se usan en aplicaciones solares normalmente con tracking en los paneles. En general, las bombas centrífugas son recomendadas para caudales altos (necesidad diaria de agua) y alturas dinámicas bajas. El otro tipo de bombas usadas en aplicaciones solares son las bombas de desplazamiento positivo, las cuales traen el agua dentro de una cámara para luego forzarla hacia arriba mediante un pistón o tornillo helicoidal. Estos tipos de bombas bombean de forma más lenta la bomba centrífuga (caudales más bajos), pero tienen buen desempeño bajo condiciones de baja potencia y pueden alcanzar gran altura. Su diseño les permite mantener su capacidad de elevación durante todo el día con condiciones de velocidad cambiantes que resultan de condiciones cambiantes de luz.

Hay disponibles bombas solares de tipo sumergible y superficiales. Una bomba sumergible se coloca bajo el nivel de agua, por ejemplo, dentro de un pozo (fig.2.9). Una bomba de este tipo tiene la ventaja de no presentar problemas de congelamiento ni de

aplicación de cebado. Una bomba superficial (fig.2.10) se monta al nivel de agua, ya sea adyacente a la fuente de agua o, en el caso de una bomba flotante, por encima del agua (fig.2.12). Las bombas superficiales son menos caras que las bombas sumergibles, pero no son aptas para succión ya que no pueden ubicarse a más de 20 pies verticales desde la fuente de agua (ya que podrían generar eventualmente problemas de cavitación). Las bombas superficiales son excelentes para empujar agua a grandes distancias horizontales.



Fig.2.9: Bomba sumergible que usa un rotor de hélice y un motor sin escobillas.

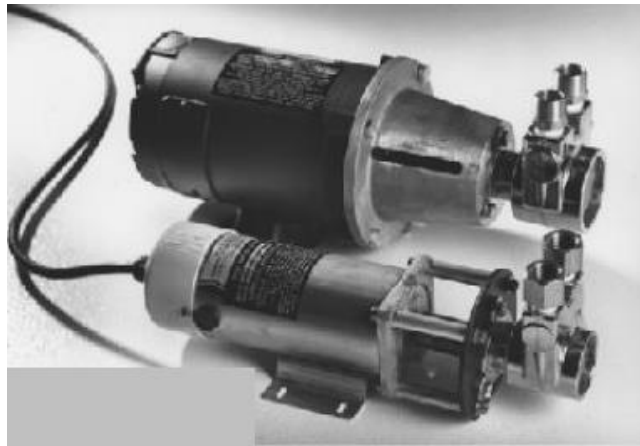


Fig.2.10: Ejemplos de bombas superficiales.



Fig.2.11: Ejemplos de bombas flotantes.

2.2.3 COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS DE ELEVACIÓN DE AGUA.

Existen otras opciones para bombear agua en zonas remotas. Éstas, sus ventajas y desventajas están listados en la tabla.2.1.

La clave de un sistema fotovoltaico es el poco trabajo que requiere y el bajo costo de mantenimiento comparado con otras opciones, lo que a largo plazo lo convierte en el sistema más conveniente, excepto donde la alimentación por gravedad está disponible. Un estudio hecho por la Oficina de Administración del Suelo en Battle Mountain, Nevada, EE.UU. comparó bombeo solar con bombeo mediante generador diésel. Para un caudal de bombeo de 3,8 gal/min (0,23 l/s) con una altura de bombeo de 275 pies (84 m), el costo del sistema fotovoltaico a lo largo de 20 años fue igual al 64% del costo del sistema con generador en 10 años, además que la cantidad de horas de trabajo invertidas en el primero fue el 14% de las horas invertidas en el segundo. Otro estudio mostró que el bombeo solar en zonas alejadas o rurales en la mayoría de las veces más conveniente que el bombeo mediante generadores. El costo inicial de los generadores es menor, pero requieren constante mantenimiento y tienen una vida útil de 1500 horas.

Un sistema de bombeo solar pequeño y de mediano tamaño cuesta menos que un motor – generador durable de baja velocidad.

Tabla.2.1: Comparación de sistemas de bombeo de agua.

TIPO DE BOMBA	Ventajas	Desventajas
Solar	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo mantenimiento. • No hay costo por uso de petróleo, ni derrames. • Fácil de instalar. • Simple y confiable. • Operación desatendida. • Sistema puede hacerse móvil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo inicial. • Baja potencia de salida en tiempo nublado. • Deben tener buena exposición solar entre 9AM y 3PM.
Diésel (o gas)	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de capital moderados. • Puede ser portable. • Mucha experiencia. • Fácil de instalar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita mantenimiento y reemplazo de piezas. • La mantención inadecuada reduce la vida útil. • Combustible a menudo caro y de suministro intermitente. • Ruidoso, sucio y contaminante.
Molino de viento	<ul style="list-style-type: none"> • Son de larga duración. • Trabaja bien en lugares de mucho viento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita mantenimiento. Reparación costosa. • Difícil de encontrar partes. • Desventajas estacionales. • Necesita herramientas especiales para instalación. • Requiere un trabajo intensivo. • Si no hay viento, no hay potencia.
Gravedad	<ul style="list-style-type: none"> • Muy bajo costo. • Bajo mantenimiento. • No hay costo por uso de petróleo ni derrames. • Fácil de instalar. • Simple y confiable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Práctico sólo en pocos lugares.
Ariete	<ul style="list-style-type: none"> • Muy bajo costo. • Bajo mantenimiento. • No hay costo por uso de petróleo ni derrames. • Fácil de instalar. • Simple y confiable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mover agua para su recuperación.

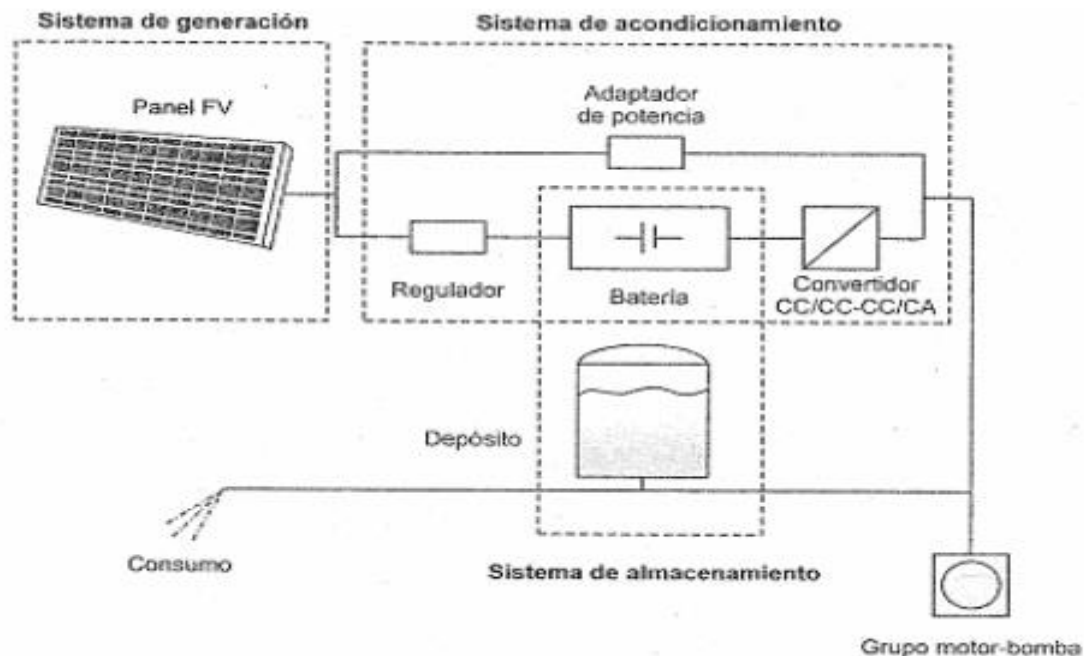
Las ventajas de la energía solar para bombeo de agua hacen de este sistema el más idóneo para dicha función:

- Se da una excelente coincidencia entre la mayor radiación solar existente con el periodo de mayor necesidad de riego.
- Extrae el agua sin gastos energéticos y no requiere apenas mantenimiento.
- Funciona con total fiabilidad y de una forma especialmente cómoda para el usuario.
- No emite ninguna contaminación al medio.
- La duración de un panel fotovoltaico supera los 40 años de vida.

2.2.4 CONFIGURACIONES DE SISTEMAS DE BOMBEO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR.

Existen dos tipos básicos de sistemas de bombeo activados por energía solar. Éstos son: acoplado con baterías y directamente acoplado. Varios factores deben considerarse para determinar cuál de estos sistemas es el óptimo para una situación particular. El primero de ellos se basa en el almacenamiento de energía mientras el segundo se basa en el almacenamiento de agua.

2.2.4.1 SISTEMAS DE BOMBEO SOLAR ACOPLADO CON BATERÍAS.



Este sistema consta de paneles fotovoltaicos, regulador de carga, baterías, controlador de bomba, interruptor de presión, tanque de presión y bomba DC (fig.2.12). La corriente eléctrica producida por los paneles durante las horas de sol carga las baterías, las que luego abastecen de poder a la bomba para bombear agua cuando se necesita. El uso de baterías extiende el bombeo por un largo período de tiempo, proveyendo un voltaje de

operación constante al motor DC de la bomba. Por lo tanto, durante la noche y días de poca luz, el sistema puede proveer un caudal de agua constante.

Fig.2.12: Sistema de bombeo solar acoplado con baterías.

El uso de baterías tiene algunas desventajas. Primero, éstas pueden reducir la eficiencia del sistema completo debido a que el voltaje de operación es controlado por las baterías y no por los paneles. Dependiendo de su temperatura y de cuan bien están cargadas, el voltaje abastecido por las baterías puede ser de uno a cuatro Volts menor que el voltaje producido por los paneles durante condiciones de máxima luz solar lo cual se traduce en menor energía proporcionada. Esta eficiencia reducida puede ser minimizada con el uso de un apropiado controlador de bomba que impulsa el voltaje de la batería a la bomba.

COMPONENTES

Controlador de bomba: la función primaria de este dispositivo es impulsar el voltaje que entrega el banco de baterías para ajustar el voltaje de entrada que necesita la bomba. Sin un controlador de bomba, el voltaje de operación de los paneles fotovoltaicos es controlado por el banco de baterías, el cual es menor al voltaje que se alcanza cuando se opera la bomba acoplada directamente con los paneles. Por ejemplo, bajo carga, dos paneles fotovoltaicos conectados en serie producen entre 30 y 34 Volts, mientras dos baterías cargadas completamente conectadas en serie producen un poco más de 26 Volts. Una bomba con un voltaje óptimo de operación de 30 Volts bombearía más agua si estuviera conectada directamente a los paneles que si estuviera conectada a las baterías. En el caso de esta bomba particular, un controlador de bomba con una entrada de 24 Volts aumentaría el voltaje de salida a 30 Volts, lo cual aumentaría la cantidad de agua bombeada por el sistema.

Regulador de carga: los paneles solares que se conectan directamente con las baterías pueden producir niveles de voltaje que pueden sobrecargar las baterías. Un regulador de carga debe instalarse entre los paneles y las baterías para prevenir el exceso de carga de estas últimas. Los reguladores de carga permiten que la corriente producida por los paneles fluya en su totalidad a las baterías hasta que éstas alcancen cierto umbral de carga. Una vez alcanzado este umbral, el regulador de carga se activa disminuyendo la corriente y enviándola en pequeñas cantidades hasta que la batería quede completamente cargada. El regulador instalado debería ser testeado con el voltaje del sistema (i.e. 12 Volt, 24 Volt) y la cantidad máxima de amperes que el panel puede producir. Además de proteger de la sobrecarga, el regulador previene el daño a las baterías por descarga rápida de éstas. Un relé ubicado en el regulador actúa como un interruptor automático que se activa desconectando la bomba antes que el voltaje de la batería baje de cierto umbral de bajo voltaje y se desactiva cuando el voltaje de la batería sube hasta alcanzar un umbral de reconexión. La mayor parte de los proveedores de equipos fotovoltaicos ofrecen reguladores de carga que combinan ambas funciones mencionadas con el objeto de proteger las baterías.

Baterías: las baterías más comunes usadas en sistemas fotovoltaicos son las baterías de plomo-ácido. La familiar batería marina de ciclo profundo es un buen ejemplo. Éstas son recargables, fáciles de mantener, relativamente baratas, disponibles en varios tamaños y

la mayoría resiste descargas diarias de hasta un 80% su capacidad nominal. Un nuevo tipo de baterías de plomo-ácido usa un tipo de gel especial que contiene un aditivo que convierte el electrolito en un gel no derramable. Dado que vienen selladas, estas baterías pueden ser montadas de lado o incluso boca abajo si es necesario.

Otro tipo de batería que puede ser usada en los sistemas fotovoltaicos es la batería con cátodos de níquel cadmio (Ni-Cd). Su costo inicial es mucho más alto que las de plomo-ácido, pero para algunas aplicaciones el costo del ciclo de vida puede ser menor. Algunas ventajas de estas baterías incluyen su larga duración, poco mantenimiento, y su capacidad para resistir condiciones extremas. Además, la batería Ni-Cd es más tolerante a la descarga. Es conveniente elegir una buena batería con una capacidad de almacenamiento de 100 amp-hora. Las baterías de ciclo poco profundo (o baterías de automóvil) no deberían ser usadas para aplicaciones fotovoltaicas. Estas baterías son más livianas, menos caras y están diseñadas para producir una corriente alta en un corto periodo de tiempo (la cual puede producirse en frío) para luego ser recargadas rápidamente.

Generalmente, las baterías de ciclo poco profundo no deben ser descargadas más del 25% de su capacidad nominal. Normalmente se usan bancos de baterías para sistemas fotovoltaicos. Estos bancos son instalados ya sea conectando las baterías individuales en serie o en paralelo para obtener así el voltaje o corriente deseados para la operación. El voltaje alcanzado por una conexión en serie es la suma de los voltajes de todas las baterías, mientras la corriente alcanzada es igual a la de la batería más pequeña. Por ejemplo, dos baterías de 12 Volt conectadas en serie producen el voltaje equivalente a una batería de 24 Volt con la misma cantidad de corriente que una batería individual. Cuando se conectan baterías en paralelo, la corriente es la suma de las corrientes de todas las baterías y el voltaje es el mismo de una batería individual.

2.2.4.2 SISTEMA DE BOMBEO SOLAR CON ACOPLAMIENTO DIRECTO.

En estos sistemas, la corriente generada en los paneles fotovoltaicos es enviada directamente a la bomba. Este sistema está diseñado para bombear agua sólo durante el día. La cantidad de agua bombeada depende directamente de la cantidad de luz solar incidente en los paneles y el tipo de bomba. Debido a que la intensidad de luz y el ángulo en el cual incide en los paneles cambian durante el día, la cantidad de agua bombeada también cambia durante el día. Por ejemplo, durante periodos de óptima luz solar (desde las últimas horas de la mañana hasta las primeras horas de la tarde en días soleados y radiantes) la bomba opera cercana o en su 100% de eficiencia con un caudal máximo de agua. Sin embargo, durante las primeras horas de la mañana y las últimas horas de la tarde, la eficiencia de la bomba puede disminuir en un 25% o más bajo esas condiciones de baja luz. Durante días nublados, la eficiencia de la bomba disminuirá aún más. Para compensar estas variables se requerirá tomar en cuenta un buen diseño.

Los sistemas de bombeo solar con acoplamiento directo se diseñan para almacenar agua extra en días soleados de manera que quede disponible para los días nublados y en la noche. El agua es almacenada en un estanque de regadío más grande de lo que se requiere o en un estanque de almacenamiento separado que luego alimenta por gravedad a los estanques de regadío más pequeños. Un dispositivo flotante apaga la bomba cuando el estanque de almacenamiento está lleno y la prende cuando el estanque ha disminuido su nivel de agua por debajo de un umbral crítico. La capacidad de almacenamiento de agua

es importante en este sistema de bombeo. Se requiere una capacidad de almacenamiento de dos a cinco días, dependiendo del clima y el uso que se le da al agua.

La gran ventaja de este sistema es que es más simple y barato que un sistema de bombeo acoplado con baterías. Algunas desventajas de este sistema es que puede haber considerables pérdidas por evaporación si el agua es almacenada en estanques abiertos, además que el agua almacenada en el estanque puede congelarse en climas muy fríos.

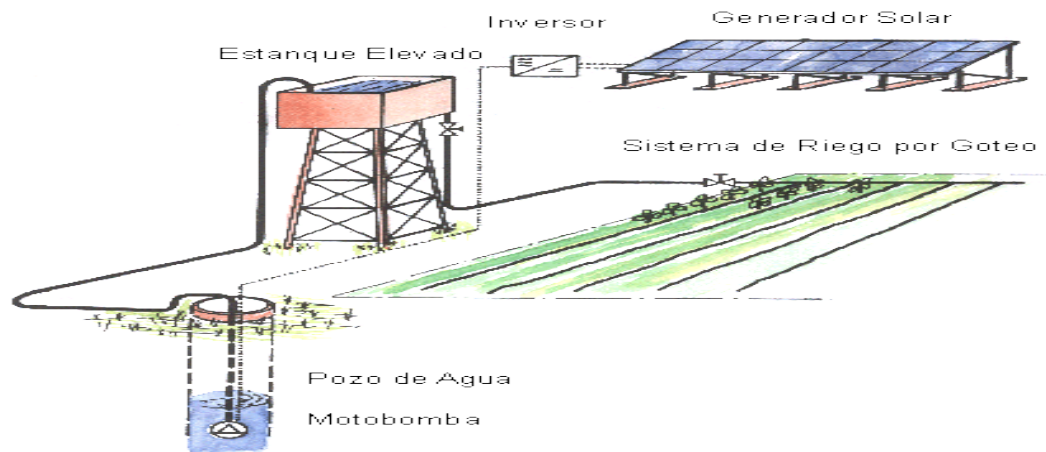


Fig.2.13: Sistema de bombeo solar con acoplamiento directo.

COMPONENTES

Controladores de poder o de bomba: la eficiencia de un sistema de bombeo acoplado directamente es sensible al enlace entre la bomba y el sistema fotovoltaico.

Los paneles fotovoltaicos producen un voltaje más o menos constante mientras la intensidad de la luz cambia durante el día; sin embargo, el amperaje cambia dramáticamente con la intensidad de la luz. Durante momentos de baja luz, el panel puede producir 30 Volts a 1 Ampere. El motor de la bomba necesita corriente para partir; sin embargo, puede correr a un voltaje menor. Un controlador de poder intercambia voltaje por corriente, lo que le permite a la bomba partir y correr en periodos de baja intensidad de luz. Un controlador puede incrementar la cantidad de agua bombeada de un 10 a un 15%.

2.3 ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

2.3.1 RADIACIÓN SOLAR.

La radiación solar absorbida por la atmósfera terrestre no es aprovechada al 100%. Según el Instituto Geofísico del Perú, en términos generales, el 24% de la radiación llega directamente, el 21% de la radiación no llega directamente. Mientras que el 29% se pierde en el espacio.

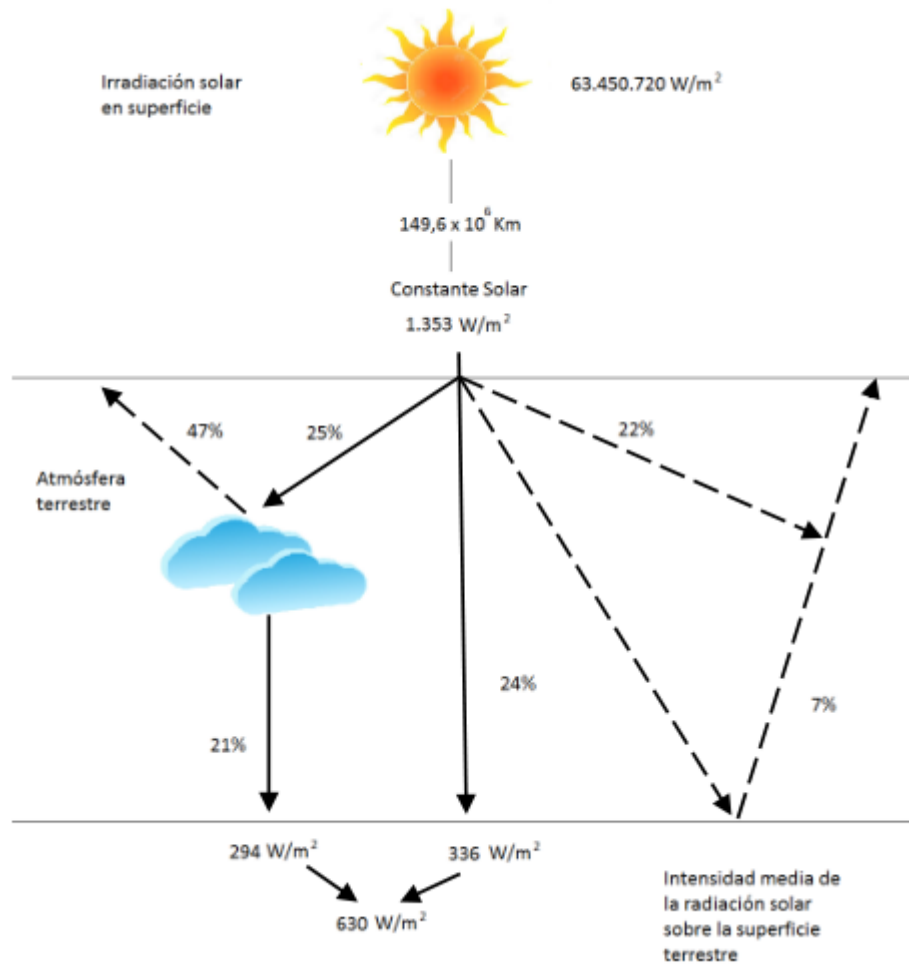


Fig.2.14: Esquema de distribución de radiación.

Existen tres componentes de la radiación solar:

- Directa: Es la que proviene del sol, sin desviar su paso por la atmósfera.
- Difusa: Sufre cambios debidos a la reflexión difusión en la atmósfera.
- Albedo: Es la que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas, puede ser directa o difusa.

La radiación directa es la mayor y la más importante en el diseño de un sistema fotovoltaico. El Perú es uno de los países que cuenta con mayor radiación solar en el mundo, por ello cuenta con un gran potencial de desarrollo en el sector de energía fotovoltaica. Dentro de la región, solo Chile lo supera. Esto se puede observar en la Figura 2.15.



Fig.2.15: Mapa irradiación horizontal de Latinoamérica y el Caribe.

Para poder hallar el nivel de radiación en la zona de Morrope utilizamos el programa RETScreen Expert.



Fig.2.16: Programa RETScreen Expert.

El cual nos ayuda a encontrar la incidencia de sol y los niveles de radiación solar y datos necesarios para poder definir y construir nuestro diseño fotovoltaico, esto lo haremos sabiendo en un lugar definido por sus coordenadas.

Irradiación: Es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m² o, en caso de un día, en Wh/m²/día o unidades equivalentes.

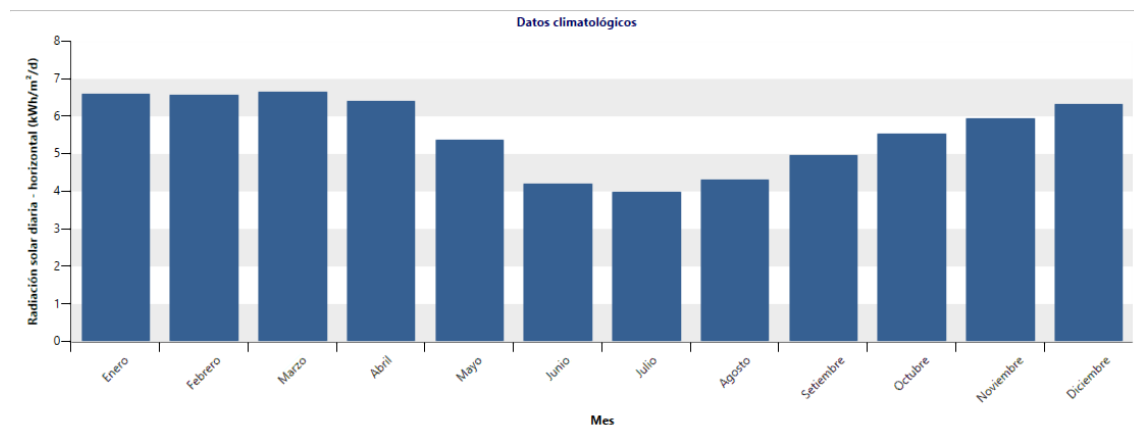


Fig.2.17: Datos del Programa RETScreen Expert.

Para cada uno de los meses del año, se calcula el cociente entre el consumo medio total diario de energía eléctrica, E_{real} y promedio de la radiación diaria disponible en el lugar de ubicación de los módulos fotovoltaicos, HS .

$$Y = \frac{E_{real}}{HS} \dots [1]$$

Viene expresada en (Wh/día) / (Kw/m²*día) = (W) / (Kw/m²). Es decir, “Y” tiene unidades de superficie, de manera que si el valor de “Y” obtenido se divide por 1000 da como resultado una superficie en m² (las unidades de “Y” serían directamente m², si E_{real} y HS se expresan ambas en Wh o en kWh). El cociente “Y”, expresado en m², representa 1000 veces la superficie necesaria para que la energía media diaria de la radiación solar incidente sobre ésta sea igual a la energía diaria consumida por los receptores, o lo que es lo mismo, el cociente “Y”, expresado en m², representa 1000 veces la superficie que debería tener un módulo fotovoltaico ideal, de rendimiento igual al 100%, para satisfacer las necesidades diarias de energía eléctrica de la instalación receptora.

2.3.1.1 Geometría Solar.

Conocer la geometría solar es fundamental para poder estimar la cantidad de energía que se pueda aprovechar por un panel fotovoltaico y la disposición óptima del mismo. La orientación se define mediante el ángulo Azimut (Ψ), como se observa en la figura 2.19, el Azimut se define como el ángulo que forma la dirección sur con el objeto. (Positivo hacia el oeste).

La altura del sol (α) varía de acuerdo a las estaciones, este parámetro es importante, ya que aporta en la creación de sombras y en la irradiación recibida por el módulo. Se mide apartir del horizonte, con un valor de 0° y es positivo en el cenit.

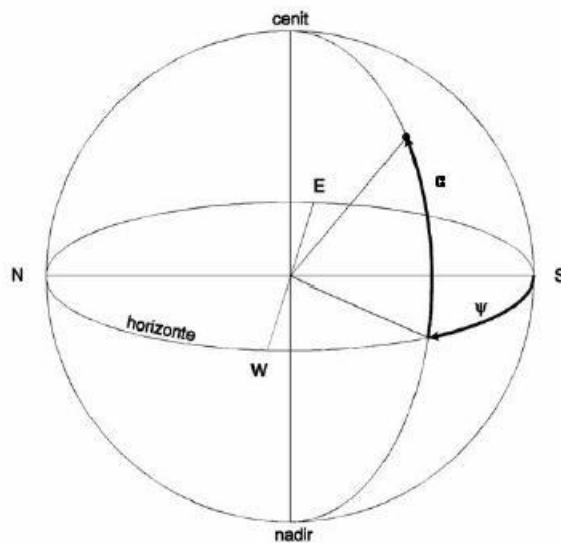


Fig.2.18: Geometría solar.

2.3.1.1 Coordenadas celestes horarias.

Debido a los movimientos de rotación y traslación de la Tierra, se debe dar un seguimiento al sol a lo largo de los días, ya que su posición relativa varía.

Se deben definir dos parámetros importantes:

- **Ángulo Horario**, ω , se mide sobre el ecuador a partir del punto de intersección entre el meridiano superior del lugar y aquel, de 0° a $\pm 180^\circ$, positivamente hacia el oeste.
- **Declinación**, δ , es el arco del círculo horario que pasa por el sol, comprendido entre el ecuador y éste. Se cuenta a partir del ecuador de 0° a $\pm 90^\circ$, positivamente hacia el polo Norte y negativamente hacia el polo Sur.

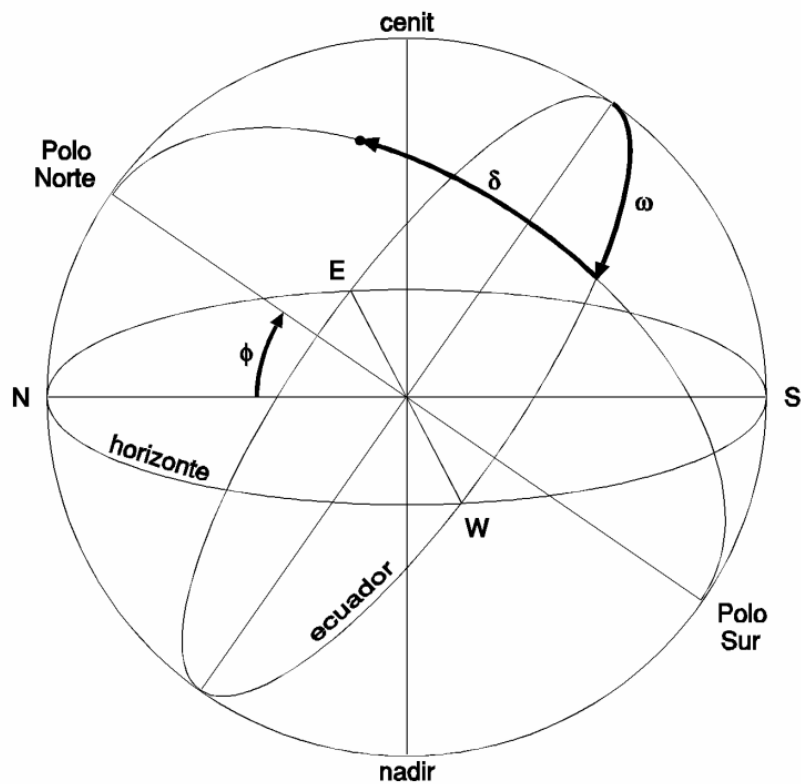


Fig.2.19: Coordenadas celestes horarias.

En la Tabla 2.2, se muestra una declinación típica para cada mes. Esta es válida en todo el mundo y se ha tomado basada en un día, el cual se indica en la otra columna.

Tabla.2.2: Declinaciones características mensuales.

Mes	Día del año	Declinación
Enero	17	-20,084
Febrero	45	-13,032
Marzo	74	-2,040
Abril	105	+9,046
Mayo	135	+18,078
Junio	161	+23,004
Julio	199	+21,011
Agosto	230	+13,028
Septiembre	261	+1,097
Octubre	292	-9,084
Noviembre	322	-19,002
Diciembre	347	-23,012

2.3.1.3 Recorrido solar.

Es evidente que mientras menor sea la distancia del sol, mayor será la radiación solar. Esto ocurre cuando el sol se encuentra más cerca de la Tierra, es decir, $\alpha = 90^\circ$.

Es necesario definir el concepto de masa de aire (AM), es una medida de la distancia que recorre la radiación al atravesar la atmósfera.

Se obtiene la masa de aire mediante la siguiente fórmula: $AM = \frac{1}{\cos 90^\circ - \alpha}$

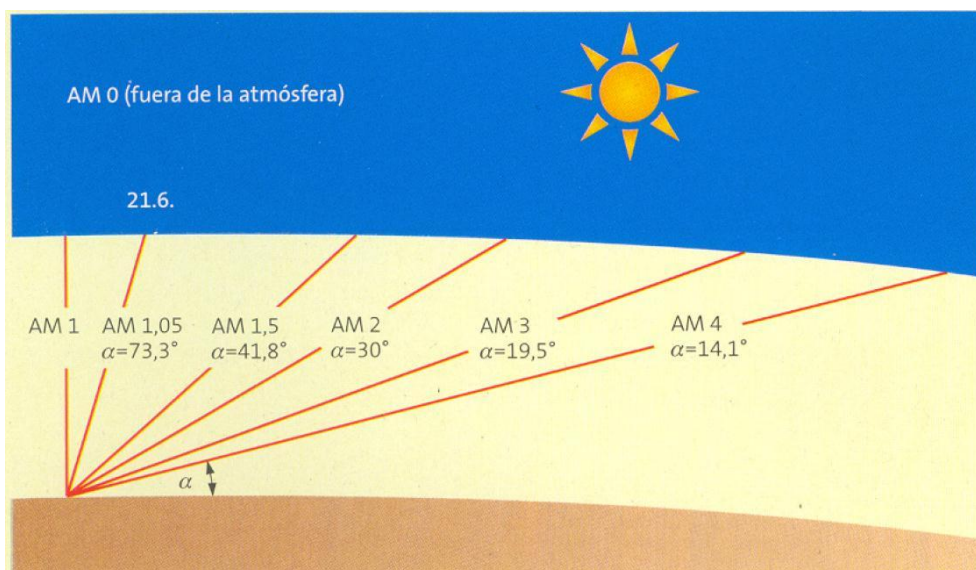


Fig.2.20: Valores referenciales de Aire-Masa en función de la altura solar.

2.3.1.4 Horas sol pico.

Las horas de sol pico son las horas se definen como el número de horas al día con una irradiación hipotética de 1000 W/m^2 que sumen la misma irradiación total que la real ese día.

Se puede notar que cuando la irradiación se expresa en Kw-h/m^2 es numéricamente similar a las H.S.P. Este concepto es importante, ya que junto con un factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos. La distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas pico de sol se muestran en la figura 2.22.

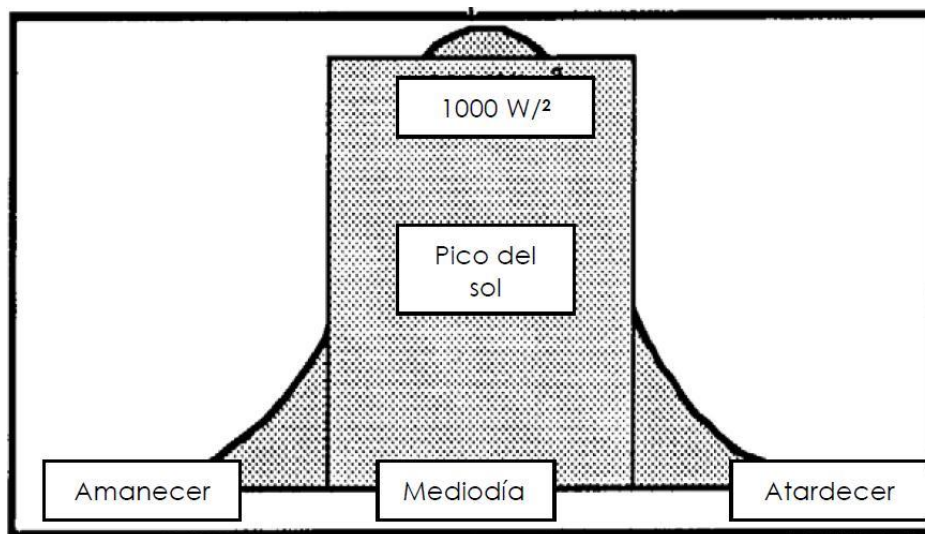


Fig.2.21: Concepto de Horas Sol Pico.

2.3.2 PANEL FOTOVOLTAICO.

Un panel fotovoltaico es la conexión de varias células en paralelo y/o en serie, se conectan en serie para aumentar la corriente y en paralelo para incrementar el voltaje.

Para ensamblar un panel fotovoltaico, se cuenta con plantas que deben estar certificadas con altos estándares de calidad sobretodo en soldadura. Se utilizan principalmente, metales (buenos conductores) y vidrios.

En la figura 2.22, se muestra la composición de la célula fotovoltaica a la izquierda y el panel fotovoltaico a la derecha.

Es un requisito que los módulos se fabriquen de acuerdo a la norma internacional IEC-61215 “Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Cualificación del diseño y aprobación de tipo” o equivalente.

Dicha norma establece las pruebas necesarias para evaluar los siguientes aspectos:

- Diagnostico.
- Requerimientos eléctricos.
- Parámetros de rendimiento.
- Requerimientos térmicos.
- Requerimientos de irradiación.
- Requerimientos de ambientales.
- Requerimientos de mecánicos.
- Protecciones.

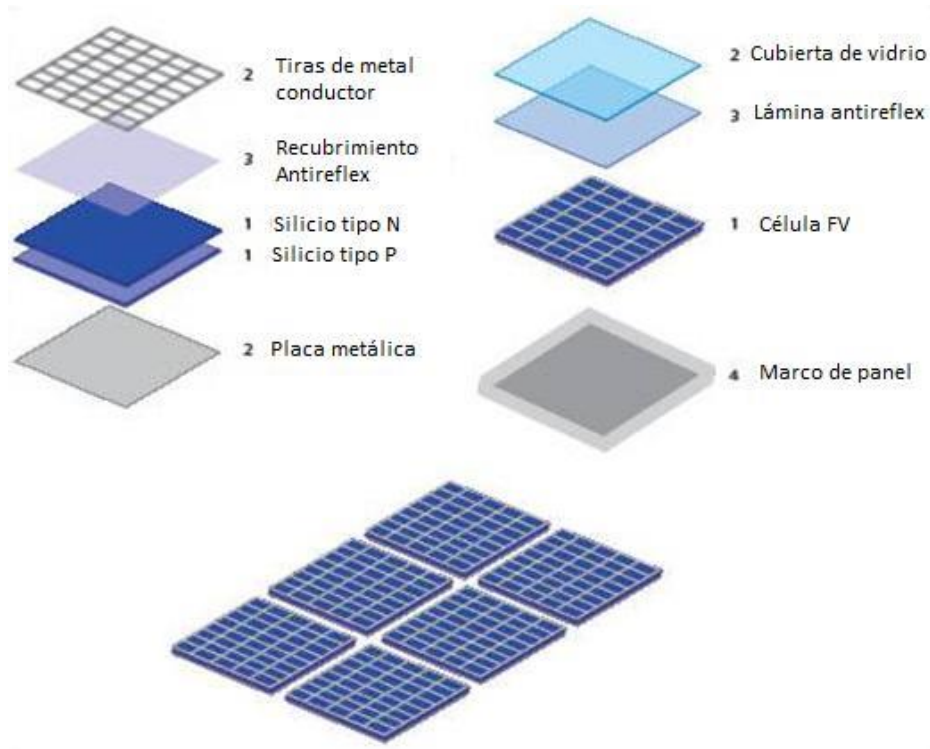


Fig.2.22: Fabricación de la célula y el panel fotovoltaico.

2.3.2.1 Célula fotovoltaica.

El componente principal de los paneles fotovoltaicos es la célula, su funcionamiento es el que hace posible la obtención de electricidad a partir de luz solar.

Las células fotovoltaicas son sensibles a la luz, están hechas de un material semiconductor, silicio en la mayoría de los casos, el cual se excita ante la presencia de radiación (aumento de temperatura) y los electrones pueden fluir del tipo P (positivo) al tipo N (negativo), esto ocasiona un voltaje interno, el cual ante la presencia de una resistencia se produce una corriente.

Debido a que la instalación se realizará en la costa, cada módulo debe contener un mínimo de 36 células fotovoltaicas.

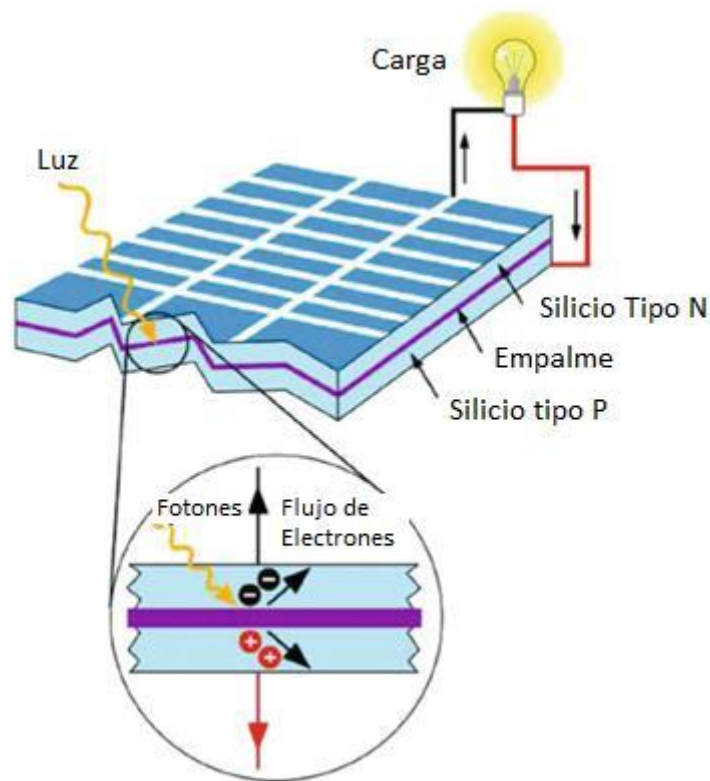


Fig.2.23: Funcionamiento célula silicio.

En la actualidad, existen varios tipos de células fotovoltaicas con diversas tecnologías, cada una de ellas tiene diferentes propiedades y se debe escoger la más apropiada dependiendo de los siguientes factores:

- **Cristalinidad:** Indica el grado de orden en la estructura cristalina de los átomos de silicio. Puede ser: monocristalino, policristalino o amorfo.
- **Coeficiente de absorción:** Indica como la luz puede penetrar antes de ser absorbida por el material. Esto depende del material de la célula y de la longitud de onda de la luz.

- Costo y complejidad de fabricación: Depende de un gran grupo de factores, número de pasos implicados, necesidad de ambiente especial, cantidad y tipo de material, necesidad de mover las células, entre otros.

En la figura 2.24, se muestra un esquema de las tecnologías actuales en el desarrollo de células fotovoltaicas.

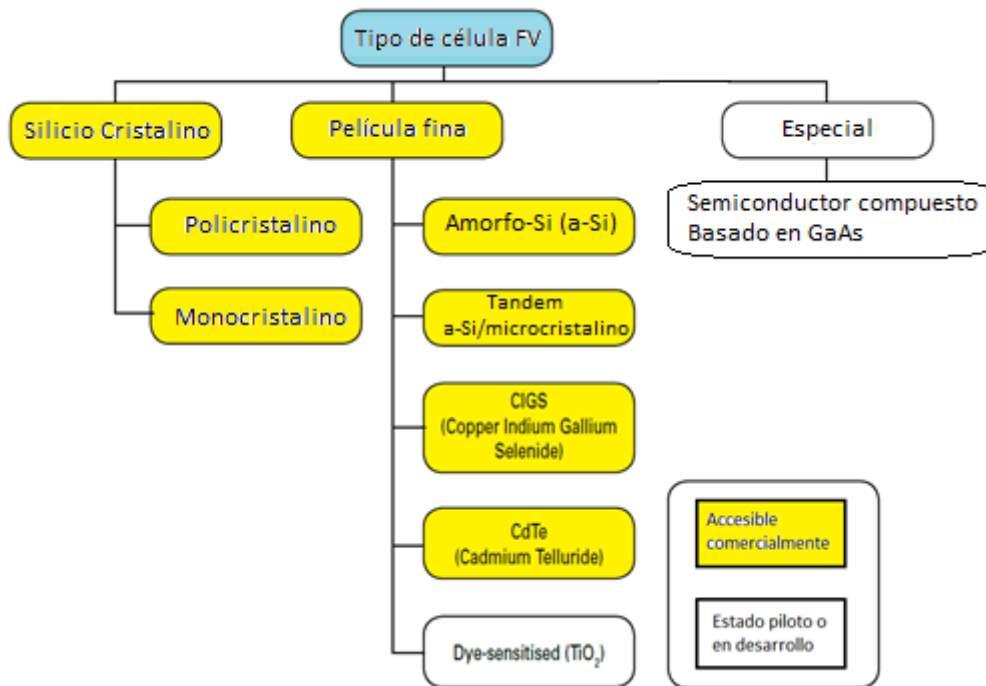


Fig.2.24: Árbol de tecnologías fotovoltaicas.

La imagen de las tecnologías más utilizadas se muestra en la figura 2.25.

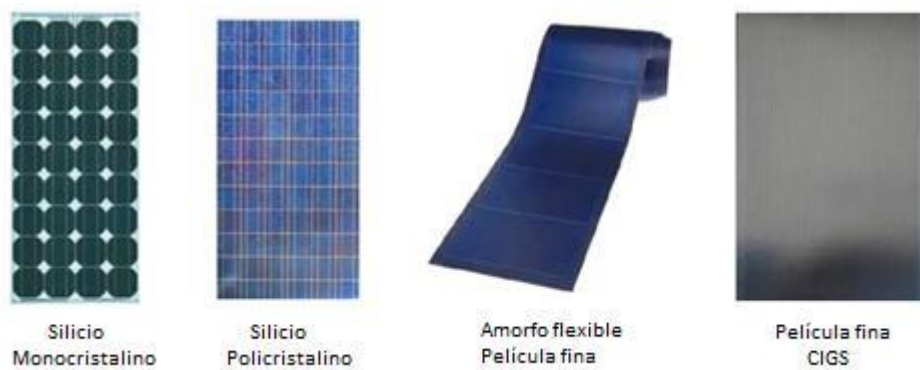


Fig.2.25: Tecnologías fotovoltaicas más comunes.

Tabla.2.3: Eficiencia de células fotovoltaicas.

Tecnología	Eficiencia del Módulo
Mono-crystalline Silicon	12.5-15%
Poly-crystalline Silicon	11-14%
Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)	10-13%
Cadmium Telluride (CdTe)	9-12%
Amorphous Silicon (a-Si)	5-7%

Podemos notar que la eficiencia de la célula de Silicio monocristalina es la más alta, es por eso que la mejor opción es la de utilizar la tecnología monocristalina.

2.3.2.2 Parámetros característicos.

En las fichas técnicas los paneles muestran datos de eficiencia, voltaje y amperaje bajo condiciones estándares, las cuales son llamadas STC (Standard Testing Condition). Estos parámetros son los siguientes:

- Irrigación 1000 W/m²
- Temperatura del módulo 25° C
- AM 1.5

El voltaje y la intensidad producida por los paneles fotovoltaicos depende de diversos factores, los más importantes son la irradiación y la temperatura a la cual se encuentre el módulo.

2.3.2.3 Curva características.

Los paneles fotovoltaicos tienen curvas características en las cuales se muestra el funcionamiento de los paneles y cuál es el efecto antes cambios en la temperatura o radiación.

- **Curvas Intensidad vs Tensión y Potencia vs Tensión**

La figura 2.26 muestra puntos característicos en los catálogos de paneles, usualmente se expresa la potencia del panel en el Punto de Máxima Potencia (PMP), aunque para el cálculo del cableado es recomendable utilizar el punto de corto circuito (Icc).

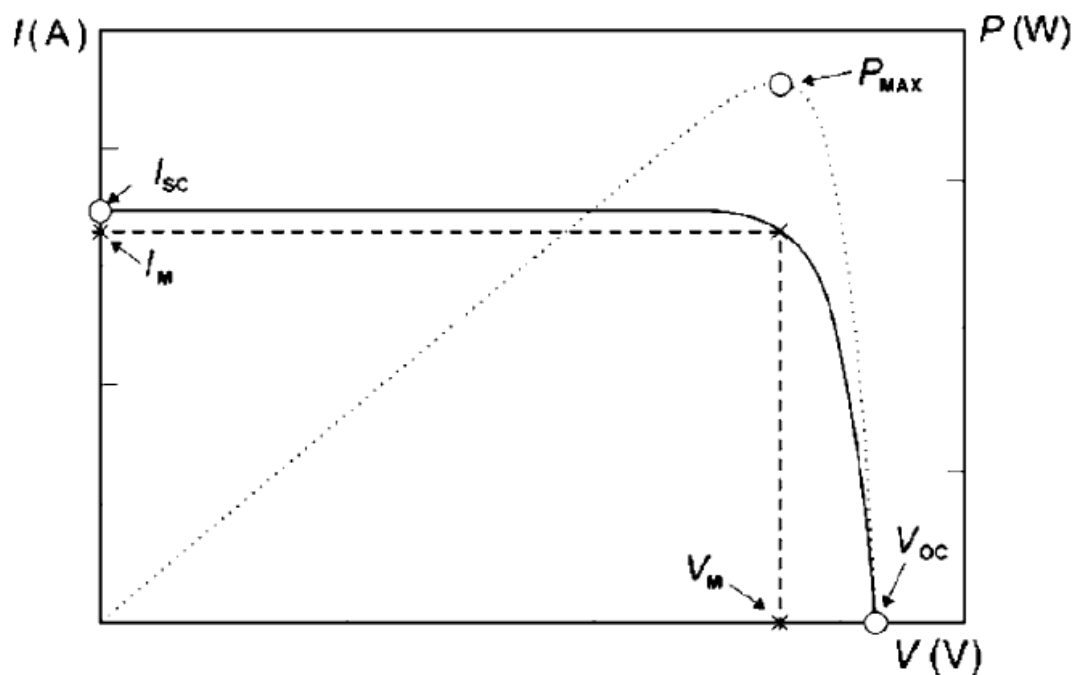


Fig.2.26: Curva I vs V/P vs V.

- **Efecto de la temperatura**

En la figura 2.27 podemos notar que conforme disminuye la temperatura, aumenta la tensión de salida (también la potencia), y la corriente se mantiene casi constante. Este efecto se debe a que las propiedades del silicio varían con la temperatura.

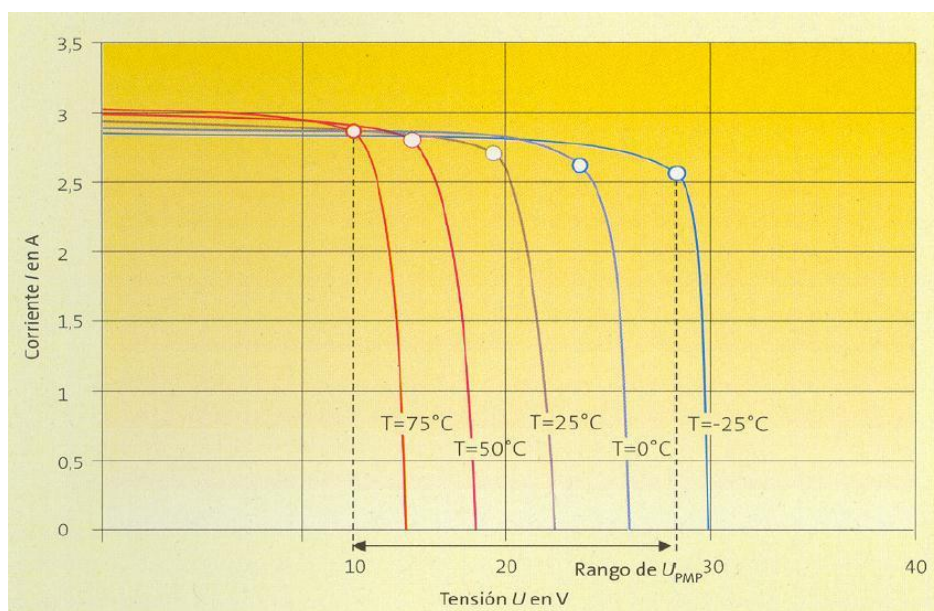


Fig.2.27: Efecto de la temperatura.

- **Efecto de la radiación**

Es evidente que, a mayor radiación, el panel produzca una potencia mayor. Este efecto se muestra en la figura 2.28.

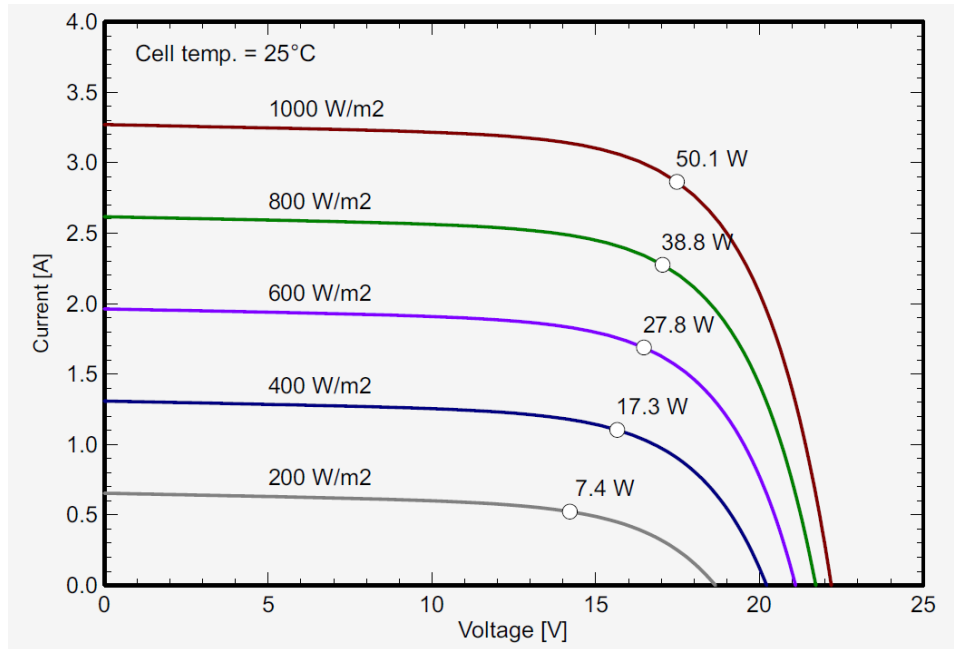


Fig.2.28: Efecto de radiación en panel 50 Wp EverExceed.

2.3.2.4 Efecto sombra.

Las sombras pueden ser muy perjudiciales tanto para la potencia entregada como para la vida útil de los paneles fotovoltaicos. Es siempre recomendable evitar sombras en los paneles.

Como recomendación, la distancia mínima que debe existir entre un muro, árbol o panel y un panel solar debe ser la siguiente:

$$d_{\min} = \tan^{-1} \frac{H}{d}.$$

Donde:

- d: Distancia entre el panel fotovoltaico y cualquier objeto causante de sombra.
- H: Altura de objeto causante de sombra sobre el panel fotovoltaico.

Lo cual garantiza que los paneles se encuentren libres de sombras durante por lo menos 8 horas diarias, centradas al mediodía, y a lo largo de todo el año.

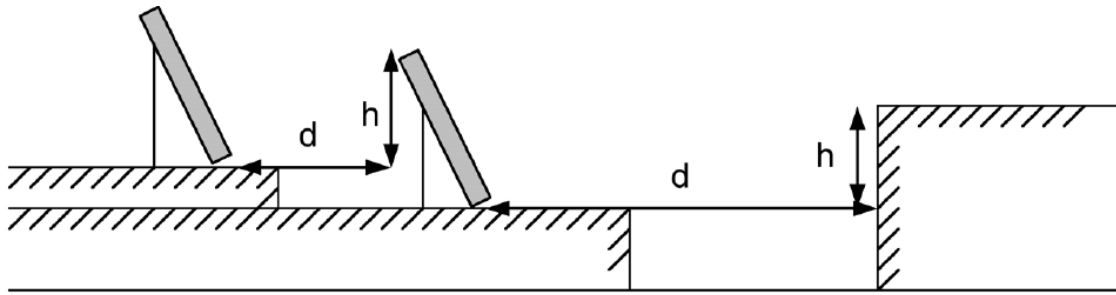


Fig.2.29: Distanciamiento entre Filas de módulos fotovoltaicos.

2.3.2.5 Voltaje de Instalación.

La energía diaria teórica requerida (carga diaria) se calculó sumando el producto entre la potencia de cada aparato o elemento de consumo por el tiempo medio diario de funcionamiento de cada uno. Normalmente no es suficiente con determinar el valor medio mensual del consumo diario, lo que equivale a suponer un valor de la carga diaria en Wh para cada mes. Se suelen separar los consumos en corriente continua de los consumos en corriente alterna, pues están afectados de factores de pérdidas distintos. La energía real necesario, E_{real} , se calcula teniendo en cuenta las eficiencias de los distintos subsistemas y las pérdidas. De este modo:

$$E_{real} = \frac{E_{TCC}}{n_b} + \frac{E_{TCA}}{n_b \times n_{inv}} \dots [2]$$

Donde:

ETCC: carga diaria en corriente continua.

ETCA: carga diaria en corriente alterna.

n_b : eficiencia carga/descarga de la batería.

n_{inv} : eficiencia media diaria del inversor.

Para este diseño se utilizará el valor $n_b=0.88$ y $n_{inv}=0.9$.

2.3.2.6 Numero de módulos.

El número de paneles N_{mod} , necesarios para cubrir las necesidades diarias de los receptores viene dado por la siguiente ecuación:

$$N_{mod} = \frac{1.1 Y_{max} \left[\frac{\frac{Wh}{día}}{\frac{kWh}{m^2} * día} \right]}{P_{mod}(Wp)} \dots [3]$$

El coeficiente 1.1 es un factor de seguridad para hacer frente a imprevistos y a la depreciación de las prestaciones de los diferentes componentes del sistema fotovoltaico por diferentes causas (depreciación debida al envejecimiento, pérdida de rendimiento debida a que los valores nominales suelen ser referidos por el fabricante para una

temperatura de los módulos de 25°C mientras que, frecuentemente, éstos trabajan a temperaturas superiores a 40°C, etc). Equivale a un sobredimensionamiento del 10%.

a) Numero de Módulos en Serie:

El número de módulos fotovoltaicos que deben de conectarse en serie N_{smod} , se determina, primeramente, fijando la tensión de trabajo nominal del sistema fotovoltaico V_{Tacu} de tal manera que la tensión de salida del campo fotovoltaico (tensión nominal de modulo fotovoltaico V_{mod} normalmente 24 V) iguale a la tensión de las baterías, siendo el numero entero superior al cociente entre la tensión nominal del sistema y la tensión nominal del módulo.

$$N_{smod} = \frac{V_{Tacu}}{V_{Nmod}} \dots [4]$$

El voltaje o tensión nominal del módulo no debe confundirse con el voltaje o tensión de circuito abierto; ya que la mayoría de los módulos de 36 células tienen un voltaje nominal de 24V.

b) Numero de Módulos en Paralelo:

El número de módulos conectados en paralelo, N_{pmod} (en realidad, N_{pmod} es el número de ramas o conjuntos de N_{smod} módulos conectados en serie que deben conectarse en paralelo), puede hallarse como:

$$N_{pmod} = \frac{\frac{N_{mod} P_{mod}}{V_{Nmod}}}{I_{pmod}} \dots [5]$$

2.3.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Se cumplirá la demanda utilizando únicamente la energía generada por los paneles solares, es decir, el sistema fotovoltaico será aislado.

Los sistemas fotovoltaicos aislados se subdividen en tres tipos:

- Directamente conectados a una carga: Es el más simple y eficiente, se utiliza cuando se alimenta un sistema de corriente continua de manera discreta.

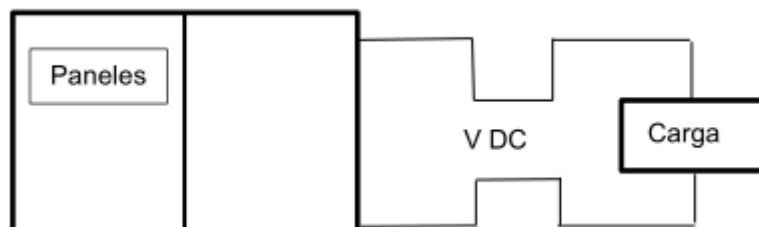


Fig.2.30.a: Sistema fotovoltaico aislado.

- Sistema con regulador y batería: Las baterías alimentan a la carga en corriente continua y los reguladores cuando el buen funcionamiento de las baterías.

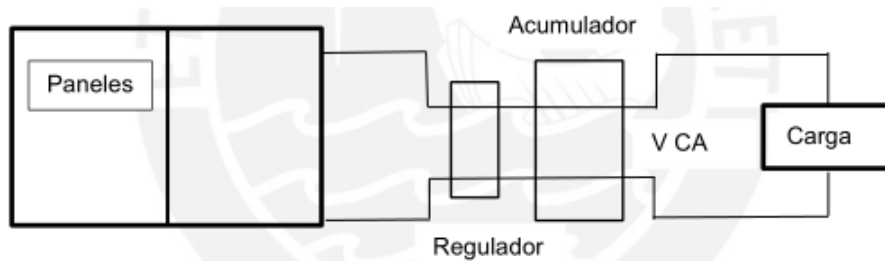


Fig.2.30.b: Sistema fotovoltaico aislado.

- Sistema con regulador, batería e inversor: Este tipo de sistema es necesario cuando se requiere alimentar una carga en corriente alterna.

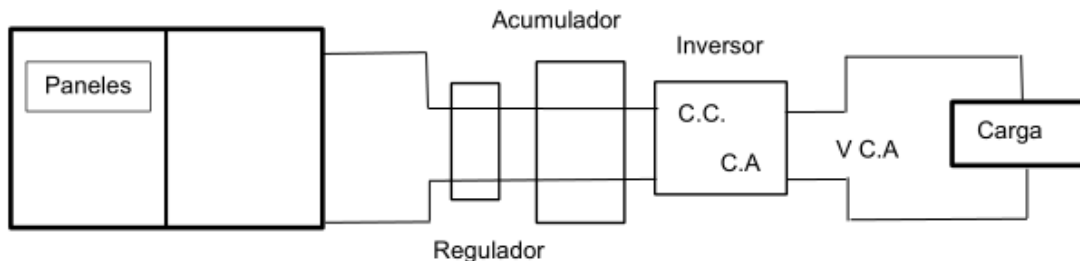


Fig.2.30.c: Sistema fotovoltaico aislado.

2.3.3.1 Batería o Acumulador.

La batería o acumulador es un dispositivo electroquímico capaz acumular energía en forma química y transformarla en energía eléctrica. La batería utilizada para aplicaciones fotovoltaicas es la recargable.

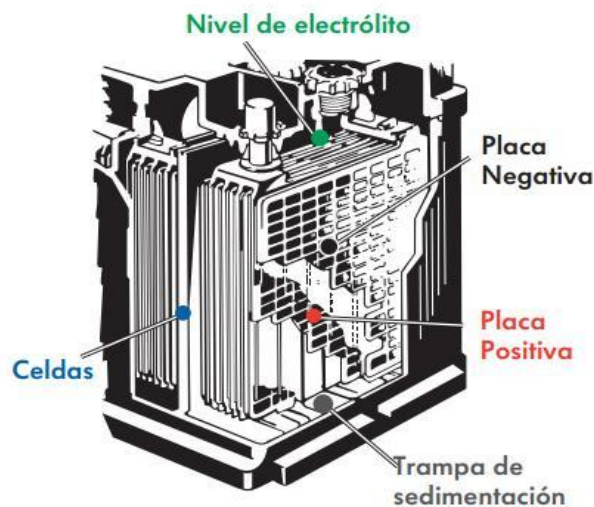


Fig.2.31: Partes de una batería.

Las partes esenciales para explicar su funcionamiento son las siguientes:

- Placas: Son conductores metálicos de diferente polarización, con lo cual permiten un flujo de electrones.
- Electrólito: Puede ser líquido, sólido o en pasta, es un conductor iónico que se descompone al pasar la corriente eléctrica.

El voltaje o la tensión de la batería es función del número de celdas electroquímicas, siendo el voltaje de cada celda de 2V.

Los principales parámetros que determinan el comportamiento de la batería son:

- Capacidad de descarga (Ah): Es el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que actúa. Se expresa en Amperios Hora.
- Profundidad de la descarga: Es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga. Para aplicaciones fotovoltaicas es común utilizar baterías de descarga profunda, es decir, descargas entre 60% - 80%.
- Vida útil en ciclos: Se expresa en ciclos, es decir, la cantidad de cargas/descargas que llega a tener la batería. La vida útil depende del espesor de las placas, concentración de electrolito y principalmente de la profundidad de descarga.

La nomenclatura usual es XX Ah Cyy, donde XX es la capacidad de la batería e yy es el tiempo de descarga de la misma. Estos parámetros deben ser indicados por el fabricante.

Los principales tipos de batería disponibles en el mercado son los mencionados a continuación:

- a) **Plomo-Ácido:** Las baterías para aplicaciones en las cuales el peso y el tamaño no son factores decisivos.

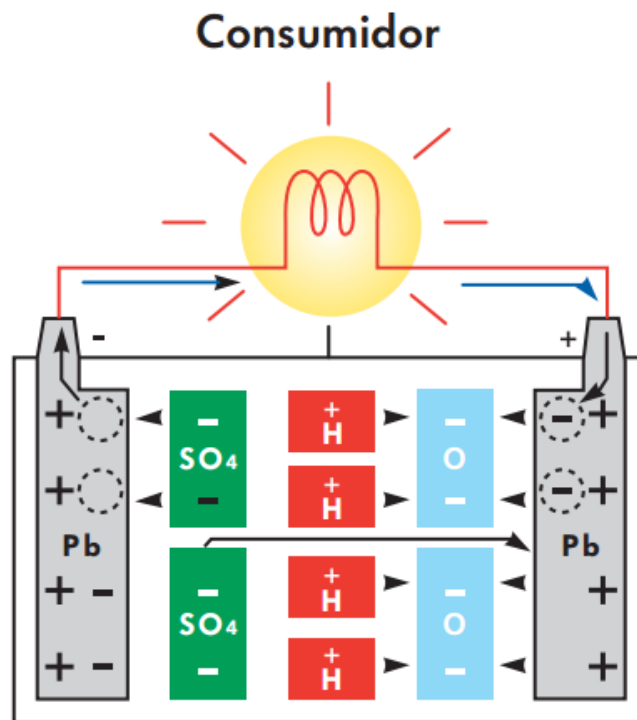


Fig.2.32: Funcionamiento de batería plomo-ácido.

Las capacidades de servicio típicas son de 1-10,000 Ah. Requieren mantenimiento considerable y se debe tener proporcionar una adecuada ventilación y protección contra ambientes corrosivos, debido al electrolito (ácido).

Existen tipos de baterías de plomo que permiten colocar las baterías en cualquier posición, estas son las selladas y de electrolito absorbido.

Se subdividen en tres tipos de categoría plomo-ácido:

- Plomo-Calcio.
- Plomo-Selenio.
- Plomo-Antimonio.

Siendo la última la más utilizada.

- b) **Níquel-Cadmio:** Se caracterizan por tener un electrolito alcalino, bajo coeficiente de auto descarga, alto rendimiento de absorción de carga (mayor a 80%) y alto costo comparativo.

El espesor de cada placa debe exceder 2mm y la cantidad de electrolito debe exceder 1,15 dm³/celda y por cada 100 A.h de capacidad nominal en 20 horas.

La densidad del electrolito no debe exceder 1,25 g/cm³.

- c) **Gel:** En estas baterías se añade al electrolito un compuesto de silicona, lo que genera que el líquido se convierta en una masa sólida como gelatina, de ahí su nombre; lo cual nunca puede haber ningún tipo de derrame si se volcase la batería por accidente, como si podría ocurrir con una batería de ácido-plomo convencional. Al igual que las AGM, las baterías de gel vienen en un envase sellado que no requiere de mantenimiento ya que el gas de su interior se recombina evitándose la pérdida de agua.

Para diseñar la capacidad de las baterías de acumulación, primero tendremos de establecer la autonomía deseada en caso de tener días desfavorables sin insolación por abundante nubosidad.

Para ello utilizaremos la siguiente ecuación [6]:

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{\text{energía necesaria} \times \text{días de autonomía}}{\text{Voltaje} \times \text{profundidad de descarga de la batería}}$$

La profundidad de descarga depende del tipo de batería elegido. Estos valores oscilan entre 0,5 a 0,8. Podemos consultar estos valores en las características técnicas para cada modelo y fabricante.

Después de esto buscaremos las baterías más comerciales, dividiremos la capacidad de la batería que es resultado de la ecuación [6] y la batería comercial en nuestro país y así hallaremos el número de baterías la cual dependiendo de si son de 12V o 24V se mantendrá o duplicará la cantidad de baterías respectivamente.

2.3.3.2 Unidad de control o regulador.

El regulador evita la descarga de las baterías sobre los paneles, para ello utiliza un diodo. Asimismo, cuida la vida útil de la batería, para ello monitorea la tensión de la batería, como se observa en figura 2.33, se desconecta al llegar a 14.8 V y se debe recargar al llegar al valor de 10.8 V.

Se utilizará un regulador de dos etapas, es decir, controlará la carga y descarga de la batería.

El regulador quedará definido conociendo la tensión del sistema y la corriente máxima que deberá manejar.

La unidad de control puede estar equipada con un microprocesador que permite adaptar las características de producción del campo fotovoltaico a las exigencias de la carga de tal manera que el panel trabaje siempre con la máxima potencia, es decir con un seguidor de máxima potencia (MPPT).

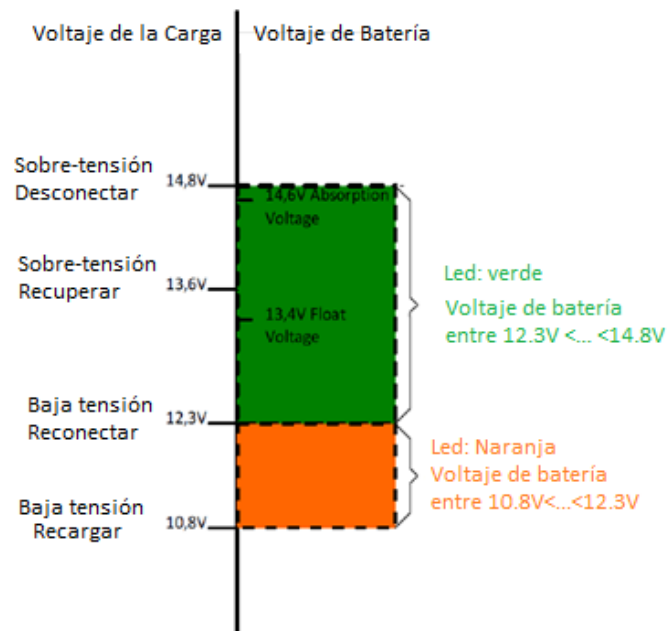


Fig.2.33: Tensiones en la batería 12V.

Si se utilizan relés electromecánicos, la reposición de la carga debe retardarse entre 1 y 5 minutos.

Las tensiones de desconexión, reconexión y alarma deben tener una precisión de $\pm 0,5 \%$ ($\pm 10 \text{ mV/celda}$, o $\pm 60 \text{ mV/batería de 12}$).

Las cajas de los reguladores de carga deben como mínimo proveer protección IP 32.

Para hallar el regulador de carga es importante saber la cantidad de paneles solares y la corriente que proporciona cada uno de los paneles solares, entonces para eso utilizaremos la siguiente ecuación:

$$R_c = N_{mod} \times I_{mod} \dots [7]$$

Con esta ecuación podemos buscar un regulador de carga que pueda tener las características necesarias para nuestro sistema recordando que es depende también del voltaje de los paneles.

2.3.3.3 Inversores o Convertidores.

Los inversores transforman la corriente continua en corriente alterna. Se basan en dispositivos electrónicos que permiten interrumpir y conmutar su polaridad.

Para las aplicaciones de una instalación aislada, deben ser autoconmutados, es decir, no utilizan energía de una fuente exterior.

Debido a que se alimentarán cargas del tipo electrónico, es recomendable utilizar un inversor que genere una onda senoidal pura, es decir, muy similar a la de la red eléctrica.

De acuerdo al Reglamento técnico “Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp”, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- La distorsión armónica total en tensión del inversor debe ser inferior a 5% en relación a la tensión fundamental RMS.
- La frecuencia nominal se debe mantener entre $\pm 5\%$ del valor nominal.
- La caja del inversor debe cumplir con un índice de protección de IP 54.

Deben arrancar y operar todas las cargas específicas en la instalación y entregar la potencia nominal de salida; mientras que las pérdidas diarias por el inversor no deberán exceder el 5% del consumo total diario.

El inversor se debe proteger antes las siguientes circunstancias:

- Tensión de entrada fuera del rango de operación.
- Desconexión de las baterías.
- Cortocircuito en la salida de corriente alterna.
- Sobrecargas que excedan la duración y límites permitidos.

La superficie del inversor debe ser de material inoxidable o en su defecto, arenado y pintados al horno, con doble base anticorrosiva (epóxica) o similar.

Por último, para el cálculo del inversor, únicamente hemos de calcular la suma de las potencias de las cargas de alterna y aplicar un margen de seguridad del 20%. Así pues, la ecuación [8] es:

$$P_i = 1.2 \times P_{AC} \dots [8]$$

Para seleccionar nuestro inversor, sabemos que en el mercado podemos encontrar inversores de onda senoidal pura (PWM) y de onda senoidal modificada (MSW). Mi recomendación es utilizar, siempre que sea posible, los de onda senoidal pura pues, aunque son algo más caros, nos evitarán más de un problema que nos podrían ocasionar los de onda modificada con aparatos con motores.

2.3.3.4 Elementos de protección.

Además de los sistemas de protección inherentes a la unidad de control, se puede contar con sistemas de protección externos, los cuales pueden ser desconectadores térmicos (fusibles o relés), protección contra altas tensiones tanto para corriente alterna como para corriente continua y diodos.

Los fusibles deben elegirse de modo tal que la máxima corriente de operación este en el rango del 50 al 80 % de la capacidad nominal del fusible (I_{nom}).

2.3.3.5 Cables.

Los cables para la instalación deben contar con el aislamiento adecuado, la selección de los mismos depende de la aplicación y del tipo de canales utilizados. Para realizar los cálculos se seguirán las indicaciones de la Norma Técnica Peruana (NTP) y del Código Nacional de Electricidad (CNE).

Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3% entre el generador fotovoltaico y el regulador de carga, inferiores al 1% entre la batería y el regulador de carga, e inferiores al 5% entre el regulador de carga y las cargas. Todos estos valores corresponden a la condición de máxima corriente.

Los cables expuestos a la intemperie deberán cumplir la norma internacional IEC 60811: “Métodos de ensayo comunes para materiales de aislamiento y cubierta de cables eléctricos”.

2.3.3.6 Estructura de soporte.

El tipo de estructura depende de las condiciones climatológicas, la aplicación y los requerimientos específicos de cada proyecto. Para nuestro caso, analizaremos si se debe utilizar seguidores solares o un sistema fijo.

- **Sistema Fijo**

Este sistema está fijo y para ello se debe realizar un estudio de determinación de la inclinación adecuada. El mantenimiento es mínimo, es la estructura que genera menor eficiencia, pero es la más económica.

El sistema fijo tiene mayor duración y casi no requiere mantenimiento. Debido a que no puede variar la inclinación, se debe considerar la lluvia y efecto de sombras en la elección de inclinación.



Fig.2.34: Estructura Fija.

- **Seguidores Solares**

Especialmente en cielos despejados, con alto efecto de radiación directa (nubosidad baja), se suele utilizar seguidores solares. Estos incrementan los costos iniciales, ya que se necesitan sistemas de control para modificar la inclinación (seguir al sol), un motor, engranajes y demás elementos mecánicos. Además, se necesitan realizar un mantenimiento a estos equipos mecánicos. Sin embargo, al seguir al sol en su trayectoria, suelen incrementar las potencias generadas. Existen diversos tipos de seguidores solares en la actualidad.

- ✓ **Seguidores de un solo eje: Horizontal, vertical, polar.**
- ✓ **Seguidores doble eje.**



Fig.2.35: Instalación de seguidor solar.



Fig.2.36: Detalle de componentes adicionales para seguidor solar.

2.3.4 CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES PLC.

Son computadores digitales industriales utilizados en el control de procesos, mejoran el sistema de control convencional, es programable dicha lógica en la memoria. Esta cualidad permite que el equipo pueda ser utilizado en una gran diversidad de procesos, ofreciendo a la industria.

2.3.4.1 Componentes básicos de los PLC.

- **Entradas:** Son borneras donde se deben colocar los cables con las señales que provienen de los transductores, están conformadas por circuitos electrónicos que acoplan esas señales a las especificaciones de señales que el PLC puede manipular, se clasifican en:

✓ Entradas digitales:

Reciben señales cuantizadas de los sensores de campo, varían sólo entre dos estados. Las señales provienen de transductores como: interruptores, botoneras, sensores de fin de carrera, etc.

✓ Entradas analógicas:

Reciben señales analógicas de los transductores de campo, provienen de sensores que miden el valor instantáneo de una variable física. La señal analógica se transforma en una señal digital con una resolución con que se realiza en el interior del PLC. La resolución es la cantidad valores cuantizados disponibles para representar una señal analógica. Si se tiene sólo dos valores cuantizados para representar una señal que varía de 0 a 5 V, se dice que se

tiene una resolución de dos. La resolución depende de las características de la entrada. La cantidad de valores cuantizados es igual a 2^n , con n el número de bits del registro donde se almacena la variable digital que resulta de la transformación. En los controladores se asocia un registro de 16 bits a cada una de las entradas analógicas, con lo que se tiene una resolución de 2^{16} .

- **Salidas:**

Interna son circuitos electrónicos que realizan el acople entre las señales digitales utilizadas por el PLC y las señales analógicas o cuantizadas que utilizan los actuadores. Externa es una bornera donde se realizan las conexiones entre el PLC y los actuadores. Las salidas digitales se aplican a actuadores como bobinas de contactores, electroválvulas, etc. Pueden ser de voltaje y de relé. Las salidas de voltaje asignan una magnitud de voltaje, que depende del fabricante, al estado 1 lógico y de 0 V al estado 0 lógico. Las salidas de relé consisten en un contacto seco que se cierra en el estado 1 y se abre en el estado 0. Las salidas analógicas, los valores de salida están entre 0 V *de* a 10 V *de* para las salidas de voltaje y de 4 mA a 10 mA para las de corriente, aunque estos valores varían según el fabricante. Estas señales comandan actuadores como válvulas.

- **Unidad central de proceso:**

Una vez digitalizadas, las señales de entrada son pasadas al CPU, el cual les aplica el algoritmo de control para generar las salidas. El algoritmo de control está almacenado en la memoria interna del PLC en forma de un programa, el cual es creado y almacenado por el usuario. Además de ejecutar el programa, el CPU realiza acciones como verificación del sistema, actualización de las imágenes de entrada y salida y la medición del tiempo de ejecución de programa.

- **Memoria del PLC:**

Lugar físico donde residen el sistema operativo, el programa, los datos de ejecución y las imágenes de entrada y salida. El sistema operativo es un programa que utiliza el PLC para iniciar su operación y realizar las configuraciones propias de su funcionamiento. La memoria se clasifica en:

- ✓ **EEPROM:**

Memoria de sólo lectura que puede ser escrita por medios electrónicos. No necesita de una fuente de poder para mantener sus datos. Por su característica no volátil, se utiliza para guardar datos esenciales, tal como el sistema operativo y el programa.

- ✓ **RAM:**

Memoria reescribible de acceso aleatorio que se utiliza para guardar los datos generados mientras se ejecuta el programa. Es volátil, por lo que los datos almacenados se pierden si se le suspende la alimentación.

2.3.4.2 El Controlador Lógico Programable Simatic S7-200.

- **Características Técnicas:**

Son Micro-PLCs, con diseño compacto, capacidad de ampliación, bajo costo y amplio juego de operaciones; son apropiados para solucionar tareas de automatización. con diversos tamaños y fuentes de alimentación de las CPUs ofrecen flexibilidad para solucionar las tareas de automatización. El S7-200 vigila las entradas y cambia el estado de las salidas conforme al programa de usuario, Incluye operaciones de lógica booleana, operaciones con contadores y temporizadores, operaciones aritméticas complejas, así como comunicación con otros aparatos inteligentes. La CPU S7-200 contiene un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, como se indica en la figura 3.5, tras haber cargado el programa en el S7-200, éste contendrá la lógica necesaria para observar y controlar los aparatos de entrada y salida de la aplicación. Siemens ofrece diferentes modelos de CPUs S7-200 que incorpora una gran variedad de funciones y prestaciones para crear soluciones efectivas de automatización destinadas a numerosas aplicaciones. se encuentra algunas de las funciones de la CPU. Un micro PLC S7-200 puede comprender una CPU S7-200 sola o conectada a diversos módulos de ampliación adicionales.

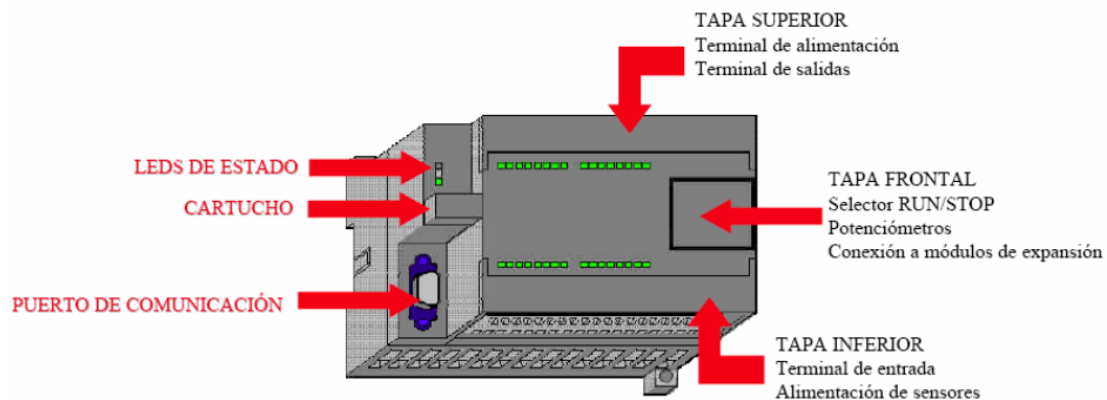
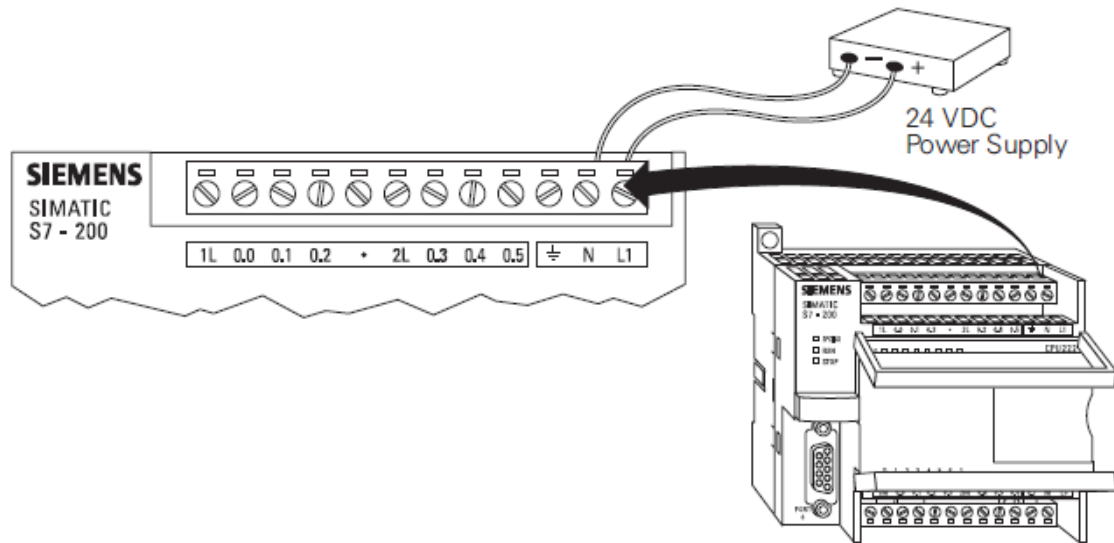
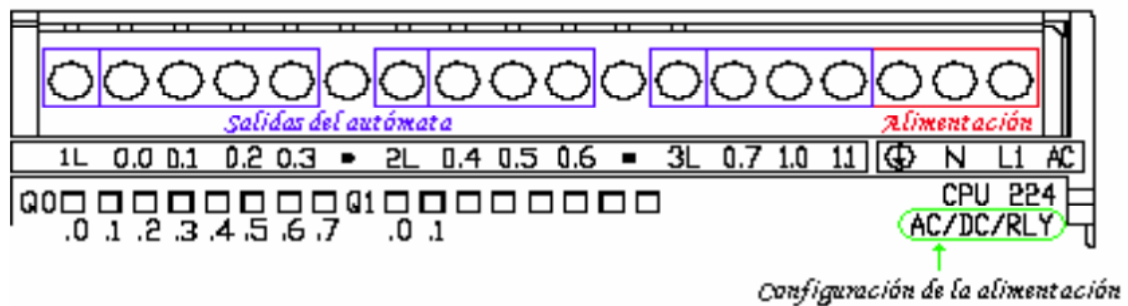


Fig.2.37: Micro-PLC S7-200.

- ✓ Un AC/DC Relay S7-200 se conectaría a un 120 ó 220 Fuente de alimentación VCA.

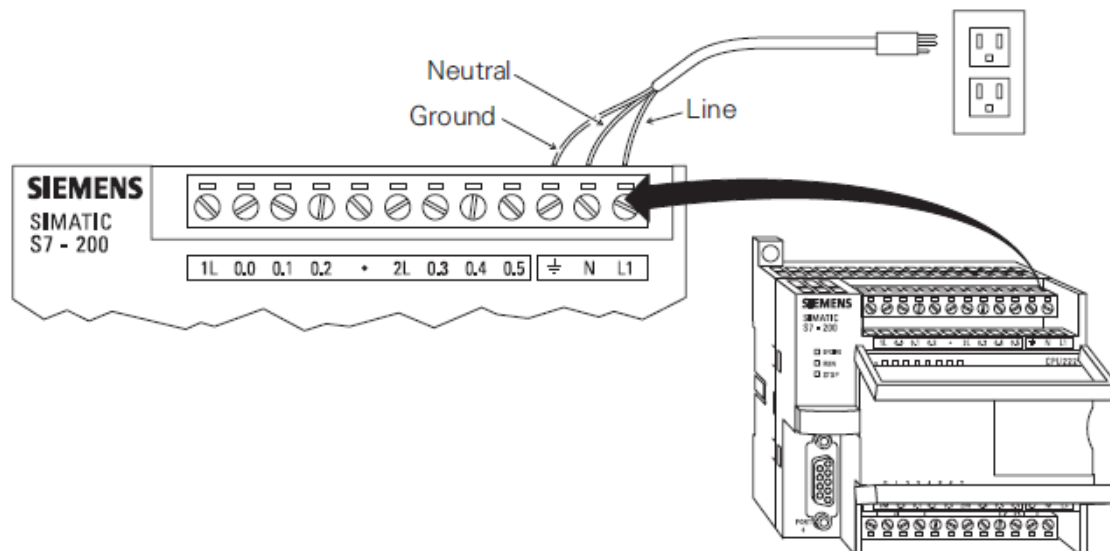


- ✓ Tapa Superior.



- ✓ Fuente de Alimentación.

A partir de una tensión externa, proporciona los niveles de tensión necesarios para el correcto funcionamiento de los distintos circuitos electrónicos del autómata (en este caso la CPU únicamente). La alimentación de la CPU requiere 220 V de corriente alterna, lo cual viene indicado en el extremo derecho de la tapa superior.



Tierra Neutro Línea Corriente alterna

	N	L1	AC
--	---	----	----

Respecto a la memoria y las interfaces, es la propia CPU la que las alimenta a través del bus interno.

➤ Características de la Alimentación del Autómata.

En la tapa superior vemos la siguiente inscripción:

AC/DC/RLY

Esto significa que el autómata se alimenta con una tensión alterna AC, posee una salida de continua DC y las salidas tienen conexión de relé o contacto libre de potencial RLY.

▪ Salidas.

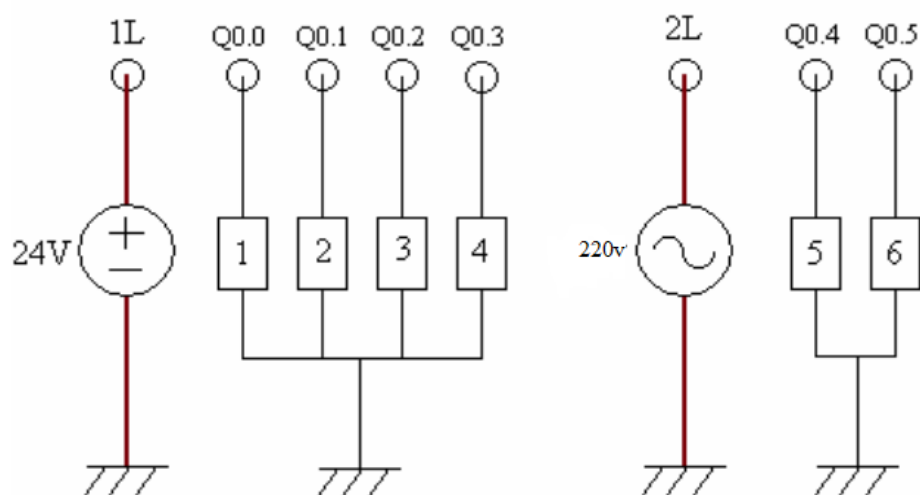
En el caso de la CPU-224, las salidas tienen conexión por relé (contacto libre de potencial). Debido a esto, la tensión con la que debemos alimentar los comunes (1L, 2L, 3L) de las salidas debe coincidir exactamente con la tensión nominal de la carga que se encuentre conectada a la salida. Esta tensión puede ser:

- 24V de corriente continua.
- De 24 V a 220V de corriente alterna

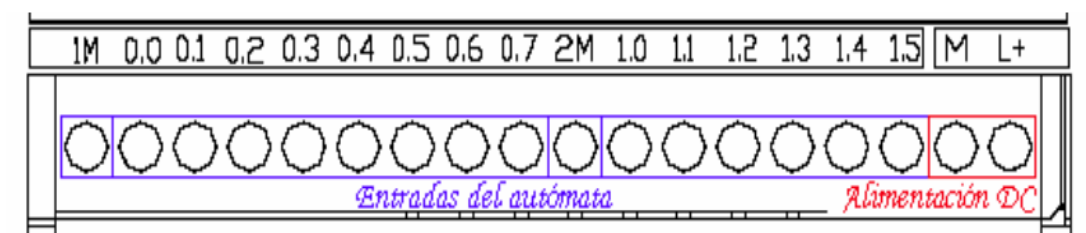
Puesto que normalmente disponemos de varias cargas que requieren distintos niveles de tensión, deberemos conectar todas aquellas cargas que precisen la misma tensión a las salidas pertenecientes a un mismo común,

y alimentar dicho común con la tensión nominal que necesiten dichas cargas.

Las cargas 1 - 4 necesitan una tensión de 24V de continua, mientras que las cargas 5 y 6, requieren 220V de alterna.

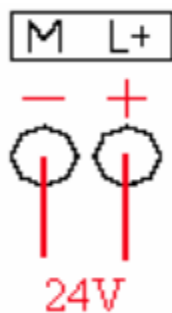


▪ Tapa Inferior.



▪ Alimentación DC.

En el caso del autómata S7-200, existe una salida de tensión de 24V de continua que se puede utilizar para alimentar las entradas del autómata.



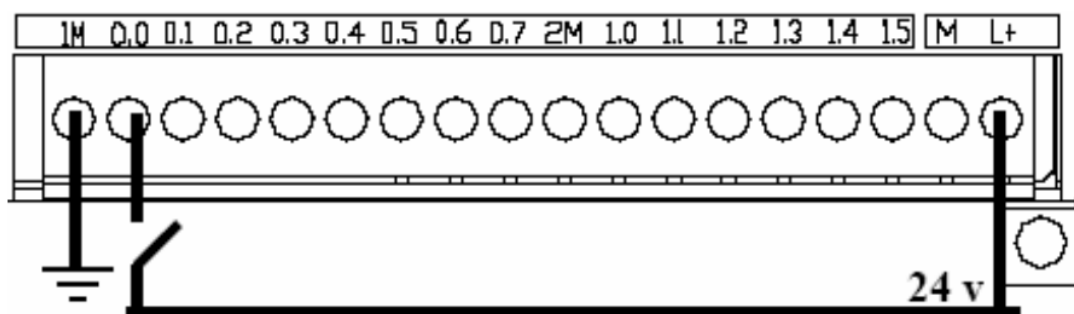
▪ **Entradas.**

Las características de las entradas son las siguientes:

- Necesitan una tensión de entrada de 0V ó 24V de corriente continua para activarse.
- Tienen una separación galvánica vía optoacoplador. De esta forma, si a la entrada llega un pico de tensión, la circuitería interna de la CPU-224 permanece intacta.

Para activar las entradas se deben hacer dos cosas:

1. Conectar a las entradas comunes 1M, 2M una tensión de 0V o de 24V de continua.
 2. Dependiendo de qué tensión hayamos aplicado a los comunes, tendremos que introducir a las entradas I0.0, I0.1, etc., 0V ó 24V para provocar una diferencia de tensión y activarlas.
- Si queremos que las entradas se activen al aplicar 24V, debemos introducir 0V al común al que pertenezca dicha entrada:



- **Velocidad de Transmisión.**

El cable PC/PPI conecta el PC con el PLC S7-200.

- En el PC, utilizar la interface serie por ejemplo COM2.
- El S7-200 emite y recibe datos a una velocidad de 9600 bits/s.

Hacer el ajuste de la velocidad de transmisión en el cable PC/PPI de acuerdo a la figura 2.38 a continuación, conectar el cable PCIPPI en el PC y el PLC

- Para alimentar el PC y el PLC utilizar la misma fase, para evitar así diferencias de potencial. Conectar el PLC (luce el LEO STOP o RUN).

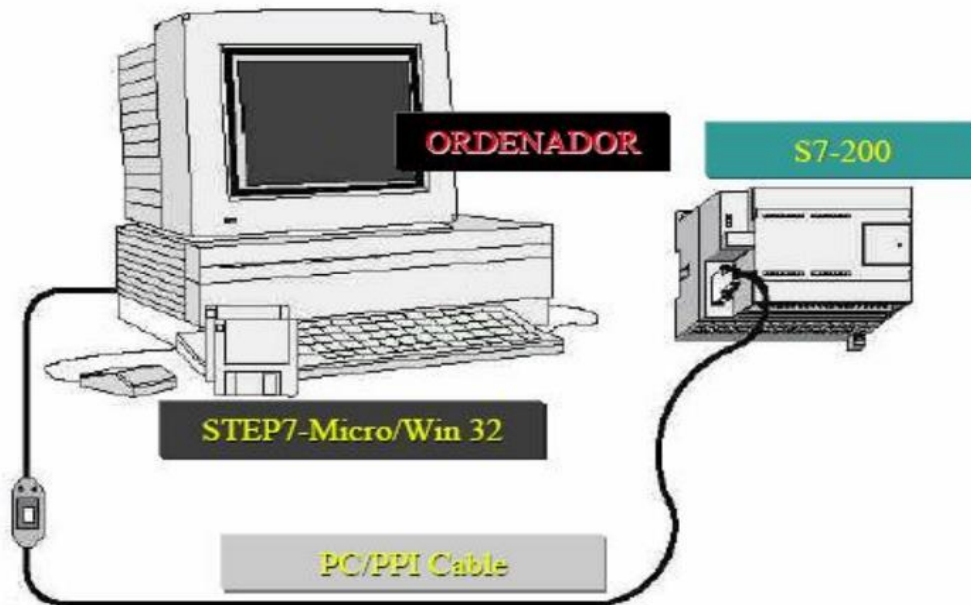


Fig.2.38: Ajuste de la velocidad de transmisión.

2.3.4.3 PANELES DE OPERACIÓN.

VISUALIZADORES DE TEXTOS (TD 200 Y TD 200C)

El TD 200 y el TD 200C son visualizadores de textos de 2 líneas de 20 caracteres cada una que se pueden conectar al S7-200. El asistente del TD 200 sirve para programar el S7-200 de manera que se visualicen mensajes de texto y otros datos pertinentes a la aplicación.

El TD 200 y el TD 200C son aparatos de bajo coste que permiten visualizar, observar y cambiar las variables del proceso de la aplicación. Para más información sobre los visualizadores de textos, consulte el Manual del visualizador de textos (TD) SIMATIC en el CD de documentación de STEP 7--Micro/WIN.

El asistente de configuración del TD 200 incorporado en STEP 7-Micro/WIN le ayuda a configurar los mensajes del TD 200 de forma rápida y sencilla. Para iniciar el asistente, elija el comando de menú Herramientas > Asistente del TD 200.



Fig.2.39: Visualizadores de texto T200.

PANELES TÁCTILES TP070 Y TP170 MICRO

El TP070 y el TP170 micro son paneles táctiles que se pueden conectar al S7-200 y que permite personalizar la interfaz de usuario.

En estos equipos, de fácil manejo, se pueden visualizar gráficas personalizadas, barras deslizantes, variables de aplicación, botones personalizados, etc.

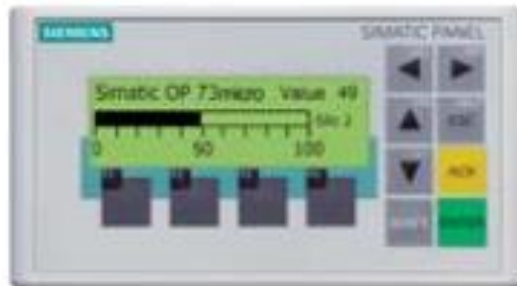


Fig.2.40: Paneles táctiles TP070.

ACCEDER A LOS DATOS EN LAS ÁREAS DE MEMORIA IMAGEN DEL PROCESO DE LAS ENTRADAS I

El S7-200 lee las entradas físicas al comienzo de cada ciclo y escribe los correspondientes valores en la imagen del proceso de las entradas. A ésta última se puede acceder en formato de bit, byte, palabra o palabra doble:

Bit: I[direcc. del byte].[direcc. del bit] I0.1

Byte, palabra o palabra doble: I[tamaño][direcc. del byte inicial] IB4

Imagen del proceso de las salidas Q

Al final de cada ciclo, el S7-200 copia en las salidas físicas el valor almacenado en la imagen del proceso de las salidas. A ésta última se puede acceder en formato de bit, byte, palabra o palabra doble:

Bit: Q[direcc. del byte].[direcc. del bit] Q0.1

Byte, palabra o palabra doble: Q[tamaño][direcc. del byte inicial] QB5

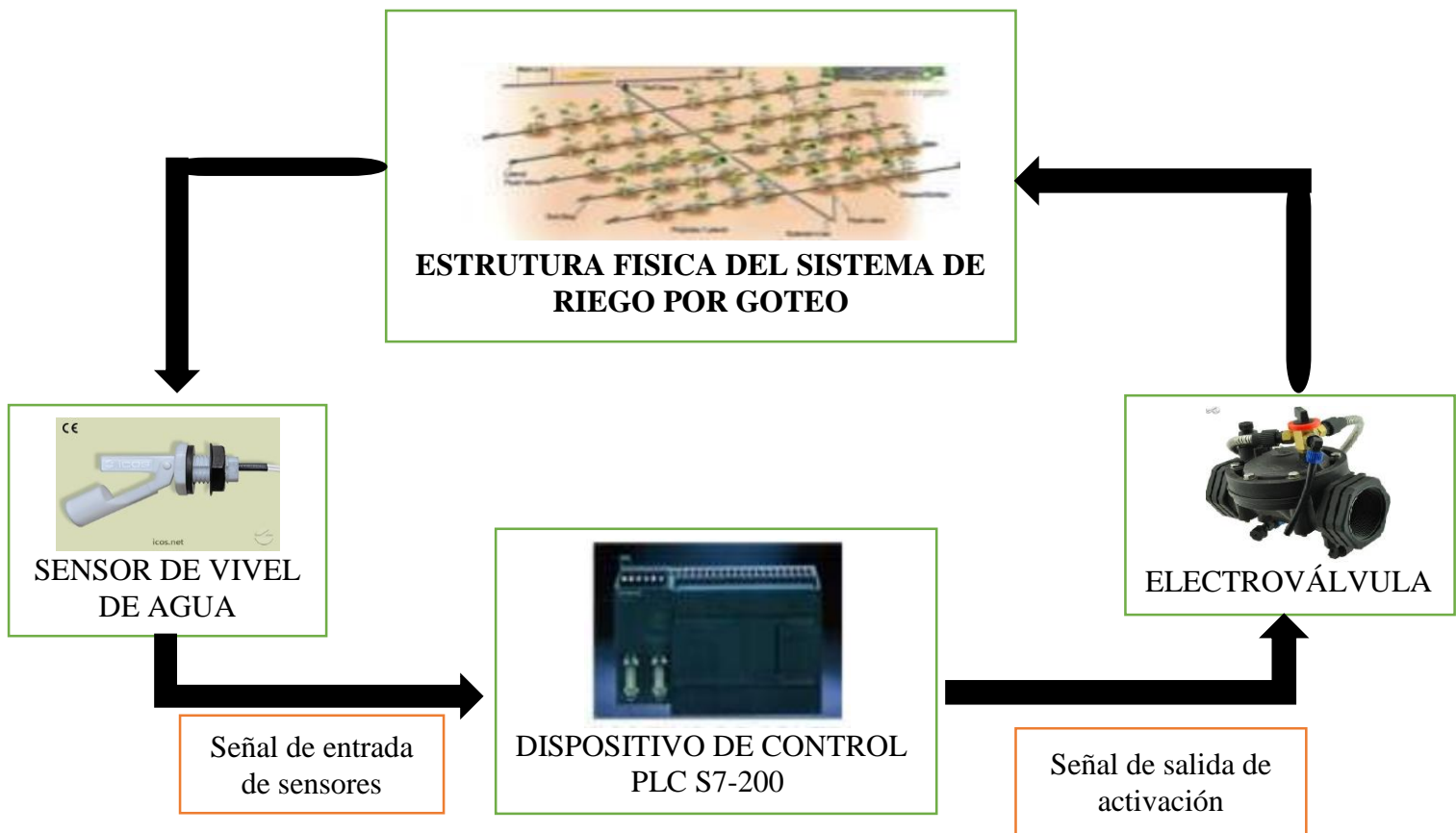
Memoria de variables V

La memoria de variables (memoria V) se puede utilizar para depositar los resultados intermedios calculados por las operaciones en el programa. La memoria V también permite almacenar otros datos que pertenezcan al proceso o a la tarea actuales. A la memoria V se puede acceder en formato de bit, byte, palabra o palabra doble:

Bit: V[direcc. del byte].[direcc. del bit] V10.2

Byte, palabra o palabra doble: V[tamaño][direcc. del byte inicial] VW100

2.3.4.5 SISTEMA DE RIEGO COMBINADO POR GOTEO.



2.3.5 TENDENCIAS ACTUALES.

Las aplicaciones para los sistemas fotovoltaicos son muy diversas, no solo variando el tipo de tecnología celular fotovoltaica, sino variando los elementos que acompañan al sistema fotovoltaico.

Las aplicaciones más actuales de sistemas fotovoltaicos en las ciudades, se muestran en las siguientes imágenes, últimamente los diseñadores se han esforzado mucho en la estética y la versatilidad para colocar los paneles fotovoltaicos.

Las imágenes a continuación muestran algunos de los ejemplos de los sistemas utilizados en la actualidad.



Fig.2.43: Paneles fotovoltaicos como ventanas en edificio de philadelphia.



Fig.2.44: Paneles solares en una ladera de la comunidad de Topanga, en Los Ángeles, California (EE UU).

Asimismo, no solo hay nuevas tendencias en la forma de los paneles o lugar de colocación, sino que existen elementos que pueden ser adquiridos comercialmente, y que mejoran considerablemente la eficiencia global del sistema fotovoltaico en general.

- MTPP (Maximum tracking Power Point)

El seguidor de potencia pico máxima (MTPP) es un aparato electrónico, puede estar incluido en el controlador, que regula la resistencia, de tal manera que el voltaje de operación del panel varíe y este ofrezca el máximo valor posible.

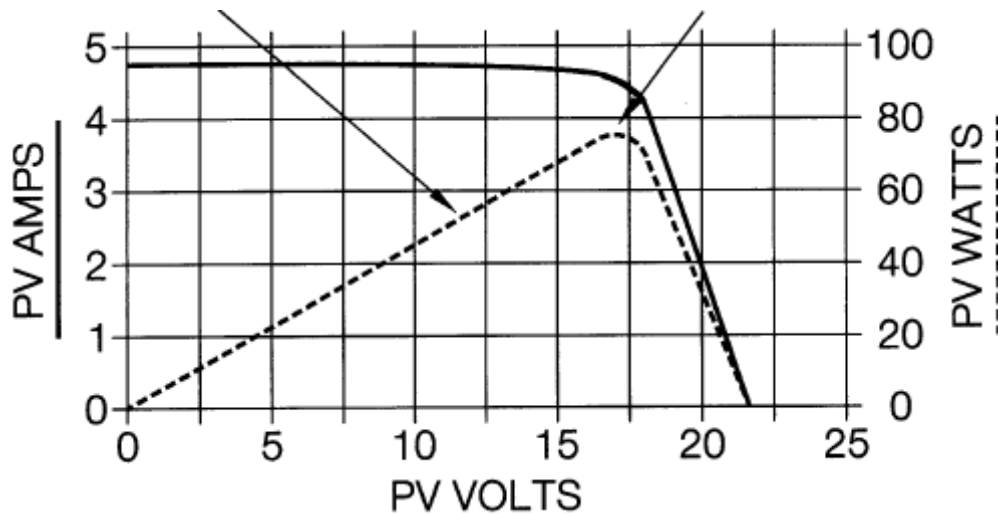


Fig.2.45: Variación de potencia en relación a tensión de trabajo.

- **Concentrador Solar**

Un concentrador solar es un sistema de concentración de energía solar que se utilizan para convertir la energía solar en energía térmica. Su funcionamiento se basa en la explotación de la reflexión de los rayos solares obtenidos a través de superficies reflectantes (sustancialmente de espejos), con el fin de concentrarse en un receptor de tamaño contenida. Similar a una lupa enfocando su luz en un punto, los concentradores reflejan la luz solar por medio de un arreglo de espejos alineados hacia un objetivo capaz de captar dicha energía para su aprovechamiento.



Fig.2.46: Concentrador Solar instalado por Solar Systems en Australia.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA RIEGO POR GOTEO EN LA FINCA SAN JOSE

El área total de los paneles debe poder entregar la energía suficiente para regar los 270.4 m³/día requeridos para el proyecto. Como datos se tomará la información meteorológica que nos brinda el programa RETScreen Expert. De estos datos obtenido se extraerán la radiación global horizontal (W/m²) y la temperatura ambiental (°C) como variables relevantes para el proyecto. Los datos obtenidos son mediciones de la Finca San José gracias al software Google Earth (Lat.: -6.496880°, Long: -79.995112°).

3.1 ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE RADIACIÓN SOLAR.

La energía media diaria de la radiación disponible para cada mes, expresada en kWh/m²*día o lo que es lo mismo en H.S.P (Hora solar pico).

Según el sistema nacional de la región Lambayeque; los niveles de radiación están dados por la siguiente gráfica que muestra mensualmente el índice de radiación por cada mes para ello seguiremos la siguiente grafica en nuestro diseño.

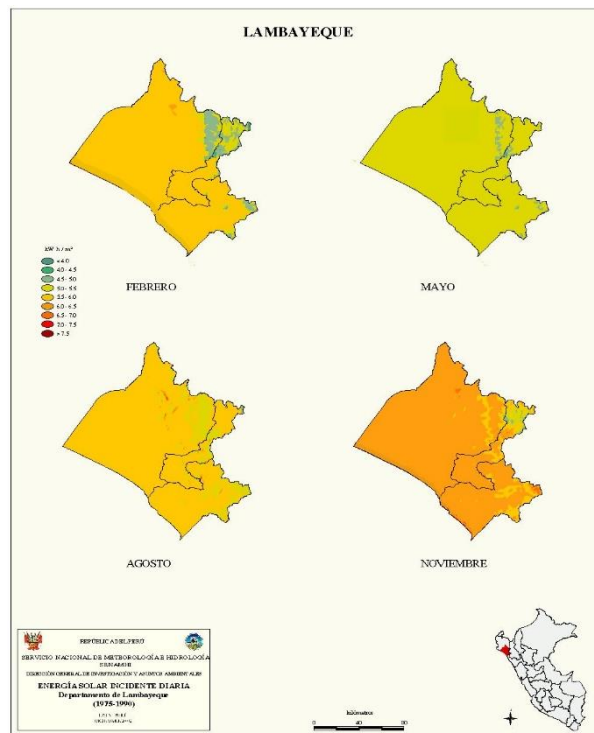


Fig.3.1: Índice del sol en Lambayeque.

Utilizando el programa RETScreen Expert el cual nos ayudara para poder elaborar las tablas necesarias para nuestro diseño.

Los datos de irradiación que se obtuvieron al utilizar el programa RETScreen Expert son los siguientes:

Mes	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Precipitación mm	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m ² /d	Presión atmosférica kPa	Velocidad del Viento m/s	Temperatura del suelo °C	Días-grado de calentamiento 18 °C °C-d	Días-grado de enfriamiento 10 °C °C-d
Enero	23.7	66.2%	26.42	6.62	97.3	2.8	28.0	0	425
Febrero	24.7	67.1%	49.62	6.59	97.2	2.8	28.1	0	412
Marzo	24.9	66.6%	57.56	6.66	97.2	2.7	28.4	0	462
Abril	24.5	63.3%	20.41	6.42	97.2	3.0	28.1	0	435
Mayo	23.8	58.8%	12.46	5.40	97.3	3.3	27.0	0	428
Junio	23.1	55.3%	10.66	4.21	97.4	4.0	25.7	0	393
Julio	22.6	52.3%	8.39	4.01	97.4	4.0	25.3	0	391
Agosto	22.2	52.3%	5.33	4.34	97.4	3.7	25.6	0	378
Setiembre	22.0	55.4%	6.18	4.99	97.4	3.6	26.2	0	360
Octubre	21.5	59.4%	11.04	5.54	97.4	3.2	26.6	0	357
Noviembre	21.5	62.4%	8.50	5.96	97.4	3.0	26.6	0	345
Diciembre	22.6	64.7%	15.59	6.34	97.3	2.9	27.6	0	391
Anual	23.1	60.3%	232.16	5.58	97.3	3.2	26.9	0	4,775
Fuente	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Medido a	<div> <div>m</div> <div>10</div> <div>0</div> </div>								

Fig.3.2: Morrope en RETScreen Expert.

Irradiación media de la radiación global de una superficie a distintos meses.

Tabla.3.1: Irradiación media diaria.

Meses	Irradiación
Enero	6.62 kw/m2*día
Febrero	6.59 kw/m2*día
Marzo	6.66 kw/m2*día
Abril	6.42 kw/m2*día
Mayo	5.40 kw/m2*día
Junio	4.21 kw/m2*día
Julio	4.01 kw/m2*día
Agosto	4.34 kw/m2*día
Setiembre	4.99 kw/m2*día
Octubre	5.54 kw/m2*día
Noviembre	5.96 kw/m2*día
Diciembre	6.34 kw/m2*día
Anual	5.58 kw/m2*día

3.2 DIMENSIÓN DE LOS COMPONENTES.

3.2.1 VOLTAJE DE INSTALACIÓN.

De la ecuación [2]: En este caso utilizaremos equipos que trabajen en CA.

$$E_{\text{real}} = \frac{2237.8 \text{ W/día}}{0.792}$$

$$E_{\text{real}} = 2,825.51 \text{ W/día}$$

Al revisar los datos obtenidos en la tabla 3.1, observamos que el promedio anual de irradiación es de 5.58 Kw/m²*día.

Para determinar el peor mes del año, según la radiación solar y el consumo de la instalación a diseñar, a un Angulo de inclinación determinado para los módulos, se procede de la siguiente forma:

Para el mes de enero tenemos HS=6.62 Kw/m²*día.

De la ecuación [1]:

$$Y = \frac{2,825.51 \text{ W/día}}{6.62 \text{ Kw/m}^2 \times \text{día}} = 426.81 \text{ m}^2 \times 10^{-3}$$

NOTA: De igual forma se procede para los demás meses del año.

Tabla.3.2: Ymax(m²x10⁻³).

Meses	Irradiación	Consumo teórico Wh/día	Ymax
Enero	6.62 kw/m ² *día	2,825.51	426.81
Febrero	6.59 kw/m ² *día	2,825.51	428.76
Marzo	6.66 kw/m ² *día	2,825.51	424.25
Abril	6.42 kw/m ² *día	2,825.51	440.11
Mayo	5.40 kw/m ² *día	2,825.51	523.24
Junio	4.21 kw/m ² *día	2,825.51	671.14
Julio	4.01 kw/m ² *día	2,825.51	704.62

Agosto	4.34 kw/m2*día	2,825.51	651.04
Setiembre	4.99 kw/m2*día	2,825.51	566.23
Octubre	5.54 kw/m2*día	2,825.51	510.02
Noviembre	5.96 kw/m2*día	2,825.51	474.08
Diciembre	6.34 kw/m2*día	2,825.51	445.66
Anual	5.58 kw/m2*día	2,825.51	506.36

Como podemos observar en la tabla 3.2; el peor mes es julio ya que en ese mes los receptores deben consumir la energía diaria de $704.62 \text{ m}^2 \times 10^{-3}$, comprobando lo discutido anteriormente.

3.2.2 PANELES SOLARES.

Todos los cálculos y el dimensionado que se desarrollan a partir de aquí, se refieren al peor mes y se realizan con los datos correspondientes de dicho mes.

$$Y_{\max} = 704.62 \text{ m}^2 \times 10^{-3}$$

$$Y_{\text{mod}} = 100 \text{ Wp}$$

De la ecuación [3]:

$$N_{\text{mod}} = \frac{1.1 \times 704.62 \text{ m}^2 \times 10^{-3}}{100 \text{ Wp}}$$

$$N_{\text{mod}} = 7.75 \text{ módulos} = 8 \text{ módulos.}$$

Para nuestro diseño, realizaremos estos cálculos los cuales son necesarios.

Si la tensión de trabajo del subsistema de acumulación tendrá un $V_{T,acu}=12\text{V}$ y la tensión nominal o pico de cada módulo fotovoltaico es $V_{Nmod}=18.3\text{V}$, entonces para hallar el número de módulos en serie utilizaremos la siguiente ecuación.

De la ecuación [4]:

$$N_{s,mod} = \frac{12\text{V}}{18.3\text{V}}$$

$$N_{s,mod} = 0.65$$

$$N_{s,mod} = 1 \text{ modulo serie}$$

Ahora para hallar el número de módulos en paralelo utilizaremos la siguiente ecuación.

De la ecuación [5]:

$$N_{P,mod} = \frac{8 \times \frac{100Wp}{18.3Vn}}{5.46A}$$

$$N_{P,mod} = \frac{43.72}{5.46}$$

$$N_{P,mod} = 8 \text{ módulos en paralelo}$$

Características técnicas de la superficie de captación:

Los módulos fotovoltaicos que se van a utilizar en esta aplicación son de silicio monocristalino, con potencia pico mayor-igual a 100 Wp.

La elección del módulo se realizó según costo y disponibilidad tecnológica en Perú; ya que el costo de un módulo depende de la potencia, calidad y fabricante.

A continuación, se presentan las especificaciones del módulo que se utilizara en el diseño fotovoltaico.

Number of cells	36(4x9)
Maximum Power(Wp)	100W
Tolerance of Power(%)	±3%
Open circuit Voltage(Voc)	22.7V
Short circuit Current(Isc)	5.79A
Maximum Power Voltage(Vm)	18.3V
Maximum Power Current(Imp)	5.46A
Maximum Series Fuse	10A
Number of Diode	2
Cable type and Length	2.5mm²,60cm
Standard Test Conditions	1000W/M²,25 °C ,AM1.5
Maximum System Voltage	1000V/DC
Temperature-Coefficient Isc	+0.08558%/°C
Temperature-Coefficient Uoc	-0.29506%/°C
Temperature-Coefficient Pmpp	-0.38001%/°C
Normal Operating Cell Temperature	45 °C
Module efficiency	14.6%
Product Certificate	TUV(IEC 61215,IEC 61730),CE,ROHS
Company Certificate	ISO9001,ISO14001,ISO18001



Fig.3.3: Especificaciones técnicas de nuestro panel solar EGE-100M-36.

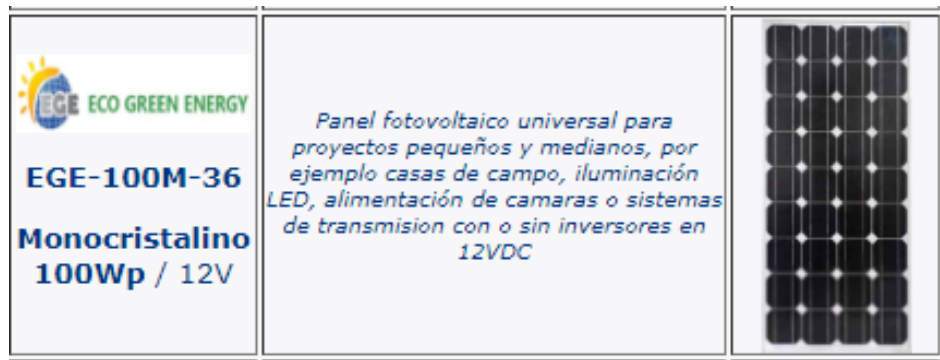


Fig.3.4: Panel solar EGE-100M-36.

3.2.3 REGULADOR DE CARGA.

Para saber qué tipo de regulador utilizaremos será necesario utilizar la siguiente ecuación.

De la ecuación [7]:

$$R_c = 8 \times 5.46$$

$$R_c = 43.68 \text{ A}$$

Sabiendo que nuestro regulador alcanza como máximo 50A entonces solo necesitaremos 1 regulador para los 8 paneles en paralelo.



Fig.3.5: Regulador LEO20.

3.2.3.1 Instalación del equipo.

- 1) Conectar un cable desde la borna negativa (-) del regulador a la borna negativa del acumulador.
- 2) Conectar un cable desde la borna positiva (+) del regulador a la borna positiva del acumulador.

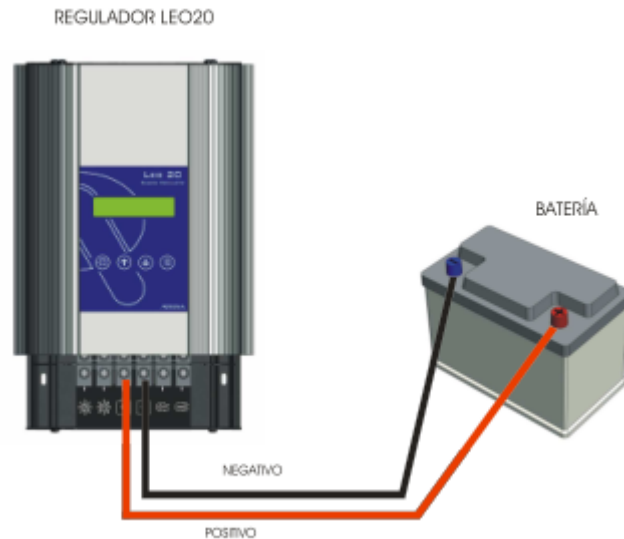


Fig.3.6: Conexión regulador con batería.

- 3) Si la polaridad es correcta el equipo emitirá tres pitidos.
- 4) Se mostrará en el display durante 3 segundos el modelo del regulador LEO20 y la versión firmware.
- 5) Durante 3 minutos aprox. Aparece la pantalla de configuración rápida, (tipo de batería, tensión del sistema, capacidad de batería).
 - Si la información mostrada es correcta, pulsar “SI” (tecla derecha).
 - Si hay que cambiar algún parámetro, pulsar “NO” (tecla izquierda) y seguir las instrucciones del aparato Menú de inicio.

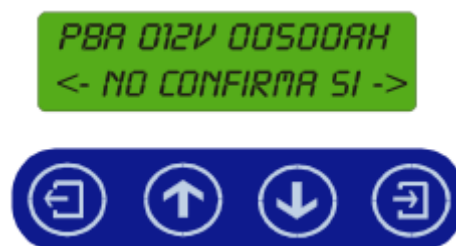


Fig.3.7: Pantalla del regulador LEO20.

- 6) Proceder a conectar los cables de entrada de paneles y salida de consumo.



Fig.3.8: Conexión regulador con panel solar.



Fig.3.9: Conexión regulador con consumo.

Tabla.3.3: Características técnicas del regulador de carga.

Tensión Nominal (V)(*)	12 /24
Tensión máx Trabajo (V)	45
Consumo medio regulador (mA)	10
Corriente máx. Paneles Constante (A) I_N (**)	50
Corriente max. Consumo Constante (A) I_N	50
Corriente máx. Paneles durante 1 minuto (A) $1.2 \cdot I_N$	60
Corriente max. Consumo durante 1 minuto (A) $1.2 \cdot I_N$	60
Corriente de cortocircuito en paneles (A)	50
Corriente de cortocircuito en consumo (A)	300
Tiempo de detección de cortocircuito	< 500 μ s
Rango de Temperatura de funcionamiento	-20..+40 °C
Rango de Temperatura de almacenamiento	-20..+75 °C
Precisión Medida Tensión	2 % FS + 2 dígitos
Resolución interna de la Tensión	0.1 V
Resolución de la Corriente	0.01 A
Teclado 4 teclas	SÍ
Display LCD bajo consumo	SÍ
Humedad relativa (sin condensaciones)	< 90%
Máx. Sección admisible en las bornas (mm ²)	25
Altura máxima de trabajo (***)	2500m

3.2.4 BATERÍA.

Al igual que sucede con los módulos fotovoltaicos, los acumuladores o baterías deben conectarse adecuadamente para conseguir los requerimientos eléctricos de conexión con el resto del sistema fotovoltaico.

En nuestro caso, elegimos una batería que tolere una descarga de hasta un 60% (0,6).

De la ecuación [6]:

$$\text{Capacidad de acumulación} = \frac{2,825.51w/dia \times 3días}{24v \times 0.6}$$

$$\text{Capacidad de acumulación} = 588.65 \text{ Ah}$$

La selección del sistema de acumulación requiere de diferentes comprobaciones para que el sistema dure y tenga un óptimo rendimiento. Los sistemas de acumulación necesitan una mínima intensidad de carga para asegurar que las baterías carguen correctamente y evitar que tengan una vida útil más corta de la esperada.

Teniendo en cuenta la capacidad de acumulación de la batería que es de 588.65 Ah, sabiendo esto usaremos baterías comerciales en Perú la cual tiene como capacidad de 130 Ah.

Entonces para saber el número de baterías a utilizar:

$$N_{bat} = \frac{\text{capacidad de acumulacion}}{130 \text{ Ah}}$$

$$N_{bat} = \frac{588.65 \text{ Ah}}{130 \text{ Ah}}$$

$$N_{bat} = 4.53 \approx 5 \text{ Baterias}$$

3.2.5 INVERSOR.

En este caso utilizaremos la ecuación [8] para calcular el inversor a utilizar en nuestro diseño:

$$P_i = 1.2xP_{AC}$$

La potencia AC es de 3,030.30 de acuerdo a los datos obtenidos en la medición de equipos.

$$P_i = 1.2x2,825.51 \text{ w}$$

$$P_i = 3,390.612 \approx 4000 \text{ w}$$

3.3 FUNCION DE TRANSFERENCIA CON MATLAB.

Para determinar la función de transferencia del sistema se utilizará la herramienta IDENT del software MATLAB. Esta herramienta permite determinar la función de un sistema en base a datos experimentales obtenidos en campo.

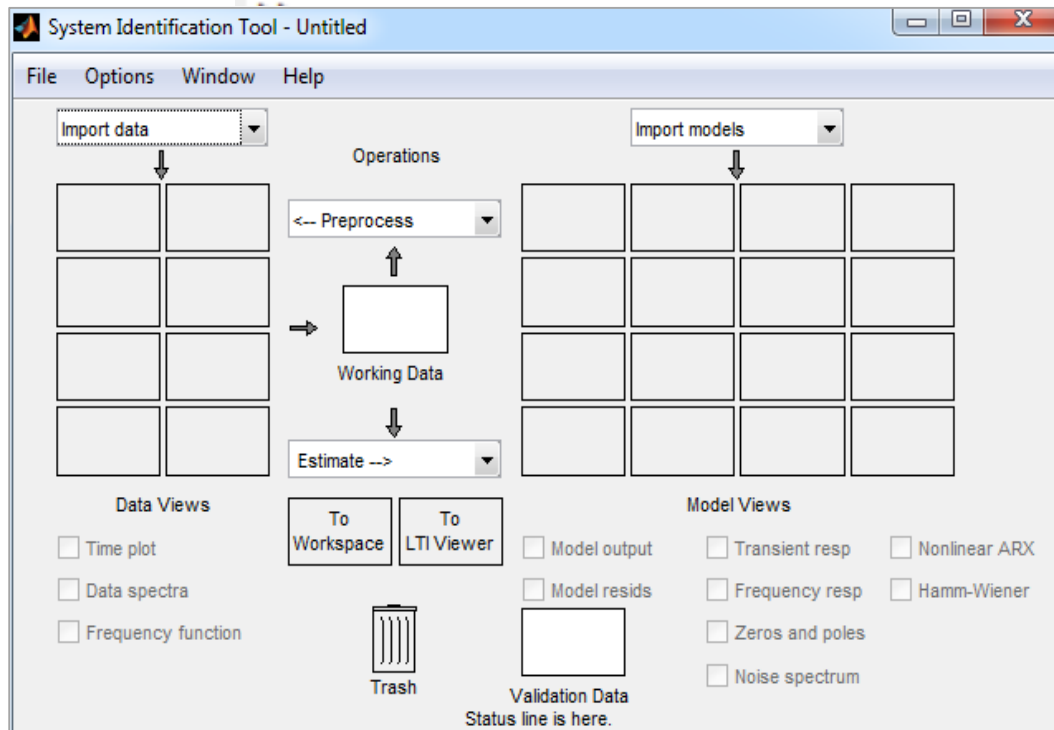
3.3.1 FUNCION DE TRANSFERENCIA PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL.

- 1) Escribir el comando “ident” en la Ventana de Comandos de MATLAB.


```
Command Window
>> ident
Opening System Identification Tool ..... done.
fx >>
```

- 2) Crear dos vectores vacíos y luego importar los datos experimentales.

```
>> ident
>> FRECUENCIA= [];
>> NIVEL= [];
```



Frecuencia(hz) ▾	Nivel(m) ▾
30	1.2
32	1.5
34	1.8
36	2.1
38	2.7
40	3.2
42	3.6
44	4.1
46	4.5
48	4.8
50	5.1
52	5.25
54	5.5
56	6.05
58	6.25
60	6.5

 Import Data

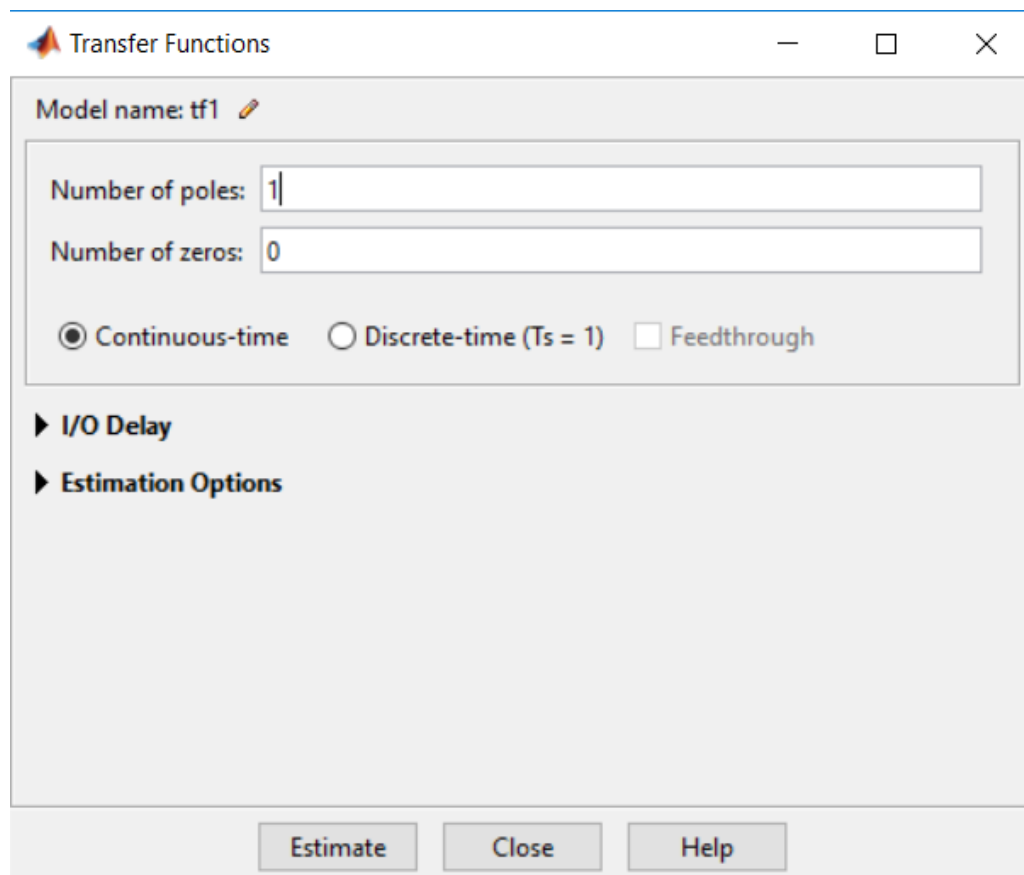
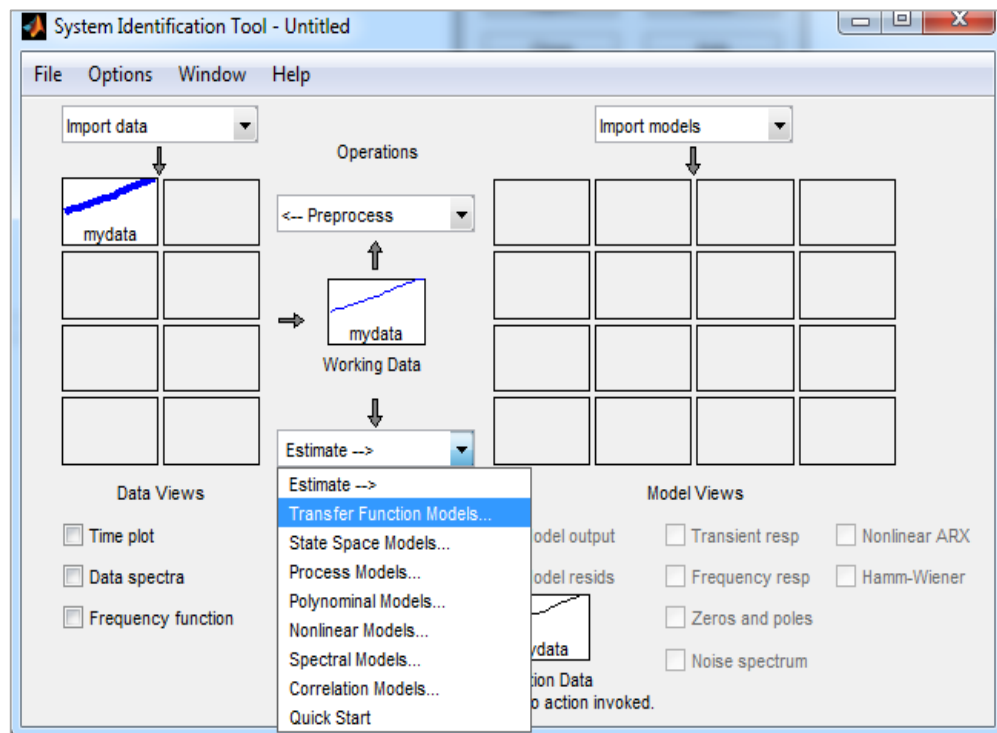
Data Format for Signals
 Time-Domain Signals ▾

Workspace Variable
 Input: FRECUENCIA
 Output: NIVEL

Data Information
 Data name: mydata
 Starting time: 1
 Sample time: 1
 More

Import
 Reset
 Close
 Help

3) Determinar la Función de Transferencia como un sistema de primer orden.



```

tf1 =

    From input "u1" to output "y1":
    0.02294
    -----
    s + 0.1578

Name: tf1
Continuous-time identified transfer function.

```

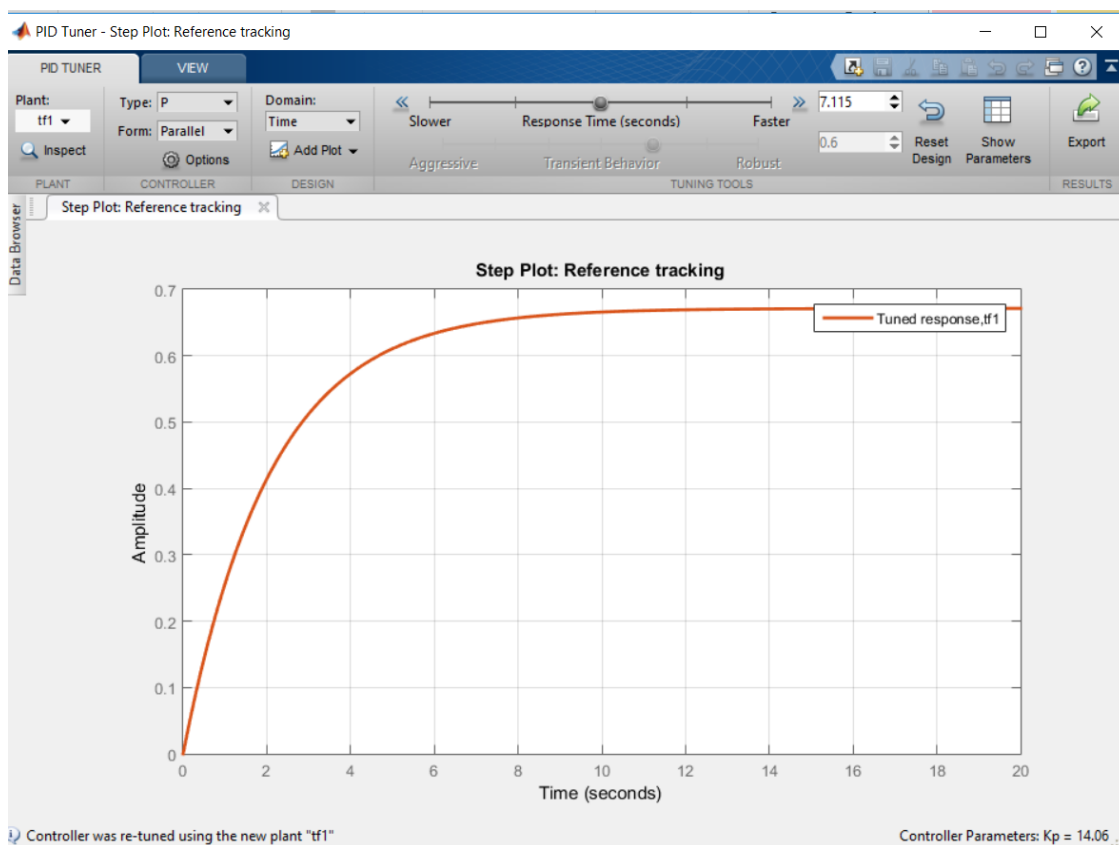
4) Determinar los parámetros del controlador PID

- Una vez ya determinada la función de transferencia usamos el PIDTOOL

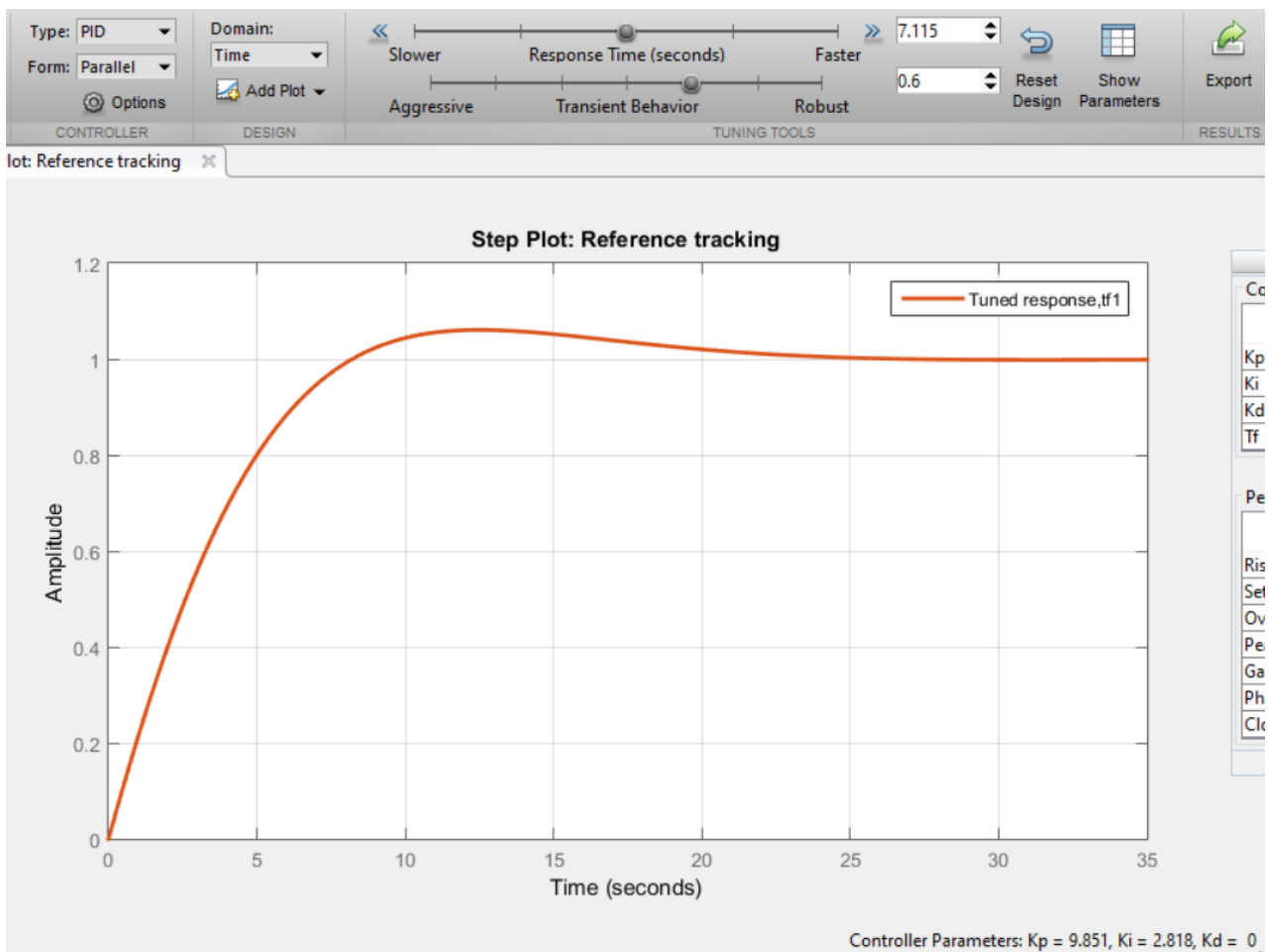
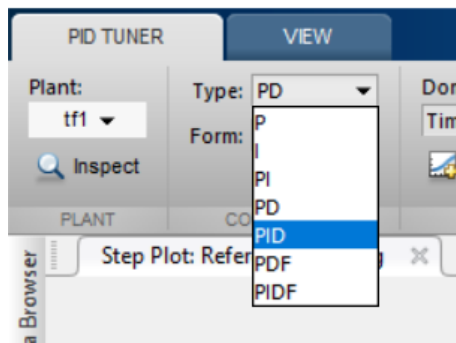
```

>> pidtool
>>

```



PID Tuner - Step Plot: Reference tracking



Controller Parameters	
	Tuned
K_p	9.8506
K_i	2.8181
K_d	0
T_f	

Command Window

New to MATLAB? See resources for [Getting Started](#).

num =

0.0229

den =

1.0000 0.1578

Gp =

0.02294

s + 0.1578

Continuous-time transfer function.

H =

1

M =

0.02294

s + 0.1807

Continuous-time transfer function.

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

Kp =

    9.8506

Ki =

    2.8181

Kd =

    0

Gc =

      1
Kp + Ki * ----
           s

with Kp = 9.85, Ki = 2.82

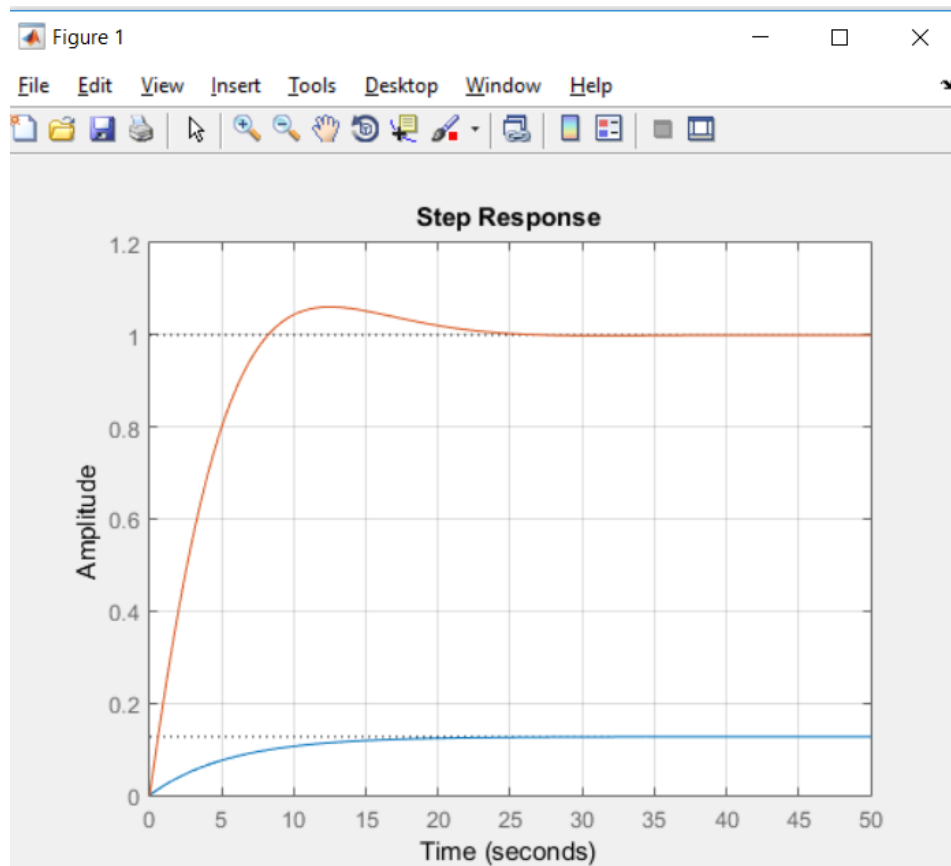
Continuous-time PI controller in parallel form.

Mc =

    0.226 s + 0.06465
-----
    s^2 + 0.3838 s + 0.06465

```

Fig.3.10: Función PID.



3.3.2 PROGRAMACIÓN PLC.

Asistente de operaciones PID (Configuración PID para 0)

Diagrama de un PLC con una lógica de escalera que incluye un temporizador T1 y una bobina de salida.

Escalar consigna del lazo

Indique cómo se debe escalar la consigna del lazo. Esta consigna es un parámetro que se debe transferir a la subrutina que generará el asistente.

Indique el límite inferior de la consigna del lazo:

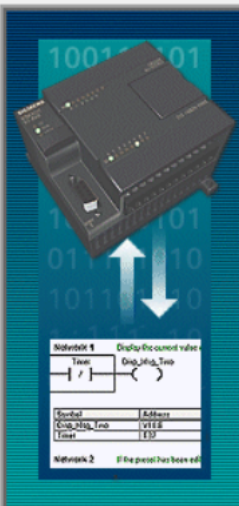
Indique el límite superior de la consigna del lazo:

Parámetros del lazo

Ganancia Tiempo de acción integral min.

Tiempo de muestreo seg. Tiempo de acción derivativa min.

<Atrás Siguiente> Cancelar



Opciones de la entrada del lazo

Indique cómo se debe escalar la variable del proceso del lazo (PV). Esta variable es un parámetro que se debe transferir a la subrutina que generará el asistente.

Escalamiento

☐ Utilizar offset de 20%

Límite inferior
 Límite superior

Opciones de la salida del lazo

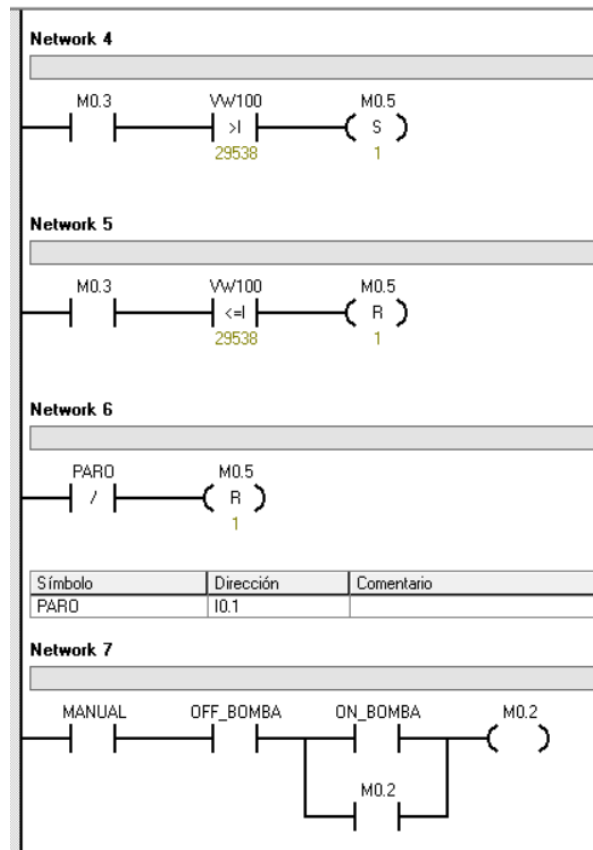
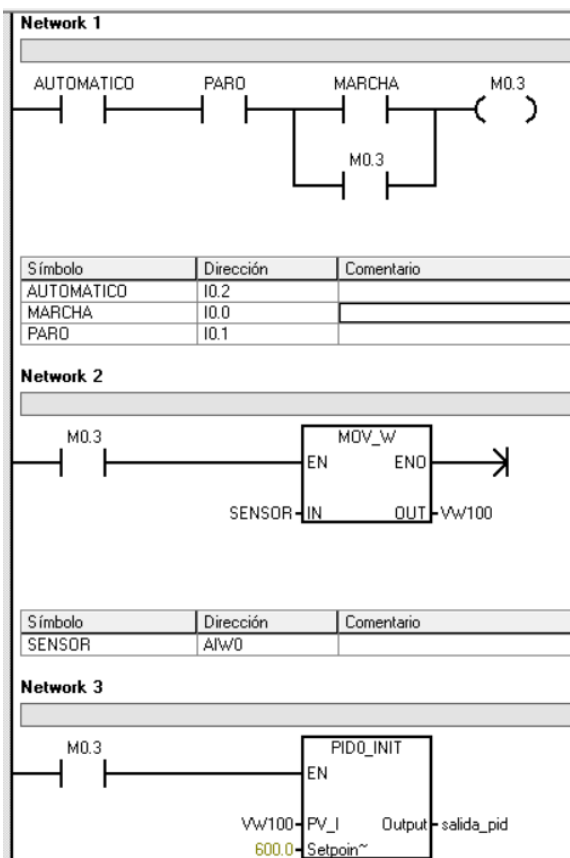
Indique cómo se debe escalar la salida del lazo. Esta salida es un parámetro que se debe transferir a la subrutina que generará el asistente.

Tipo de salida Escalamiento

☐ Utilizar offset de 20%

Límite inferior
 Límite superior

<Atrás
Siguiendo>
Cancelar



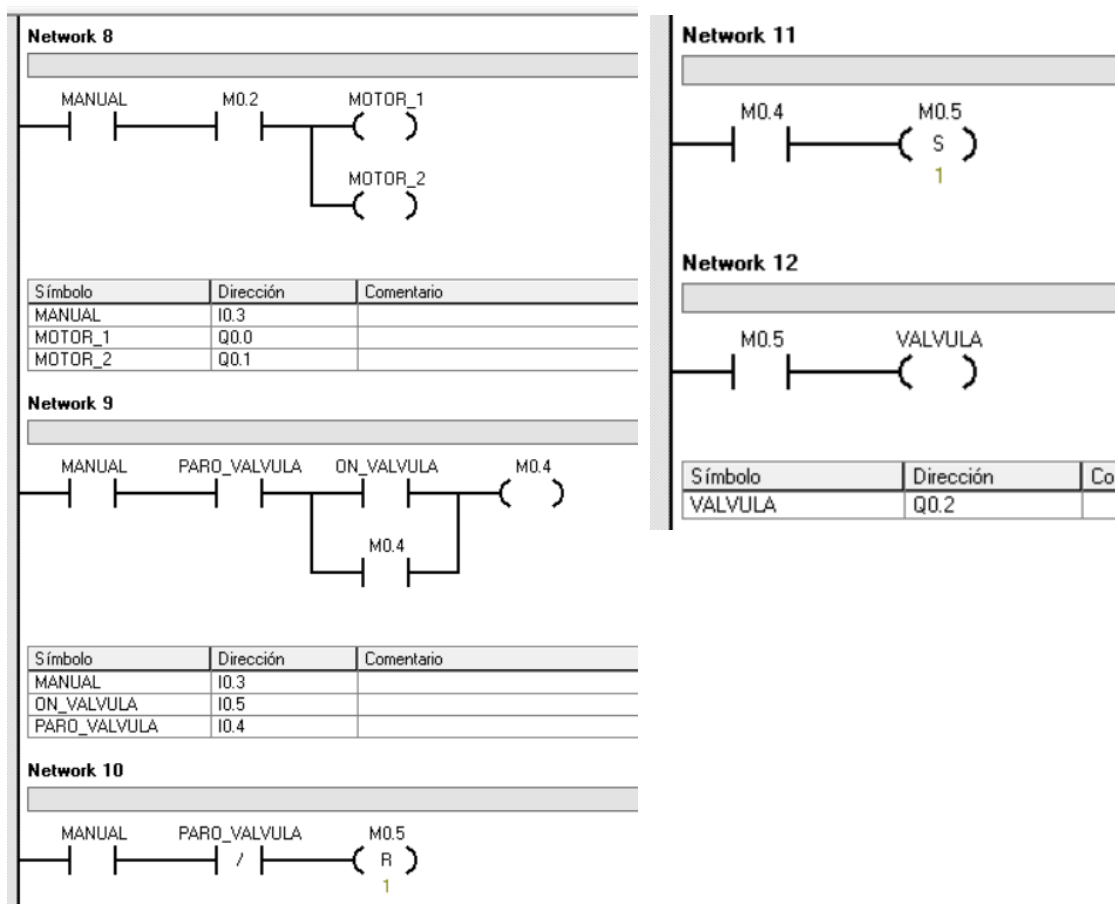


Fig.3.11: Programacion en Microwin s7-200.

3.4 SIMULACION DEL SISTEMA DE BOMBEO CON LABVIEW.

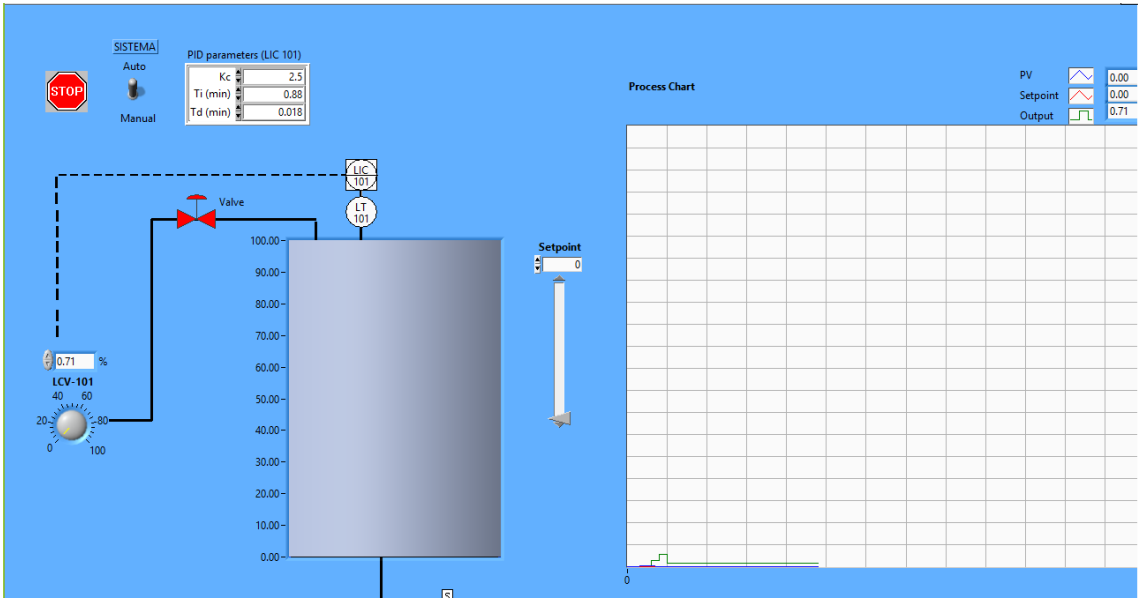


Fig.3.12: Tanque vacío.

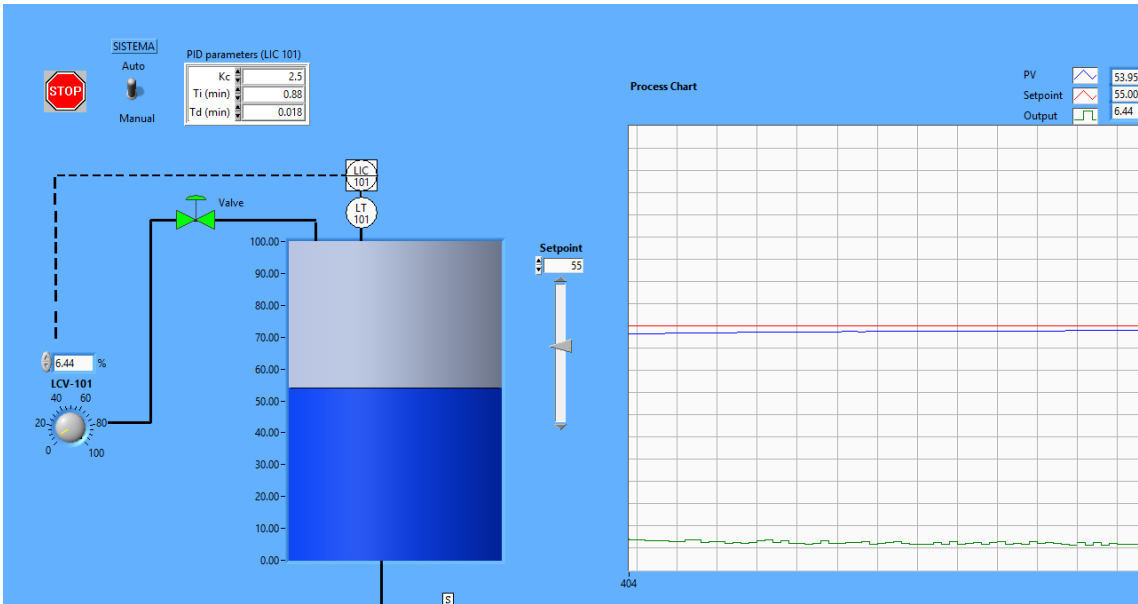


Fig.3.13: Tanque llenando al 55%.

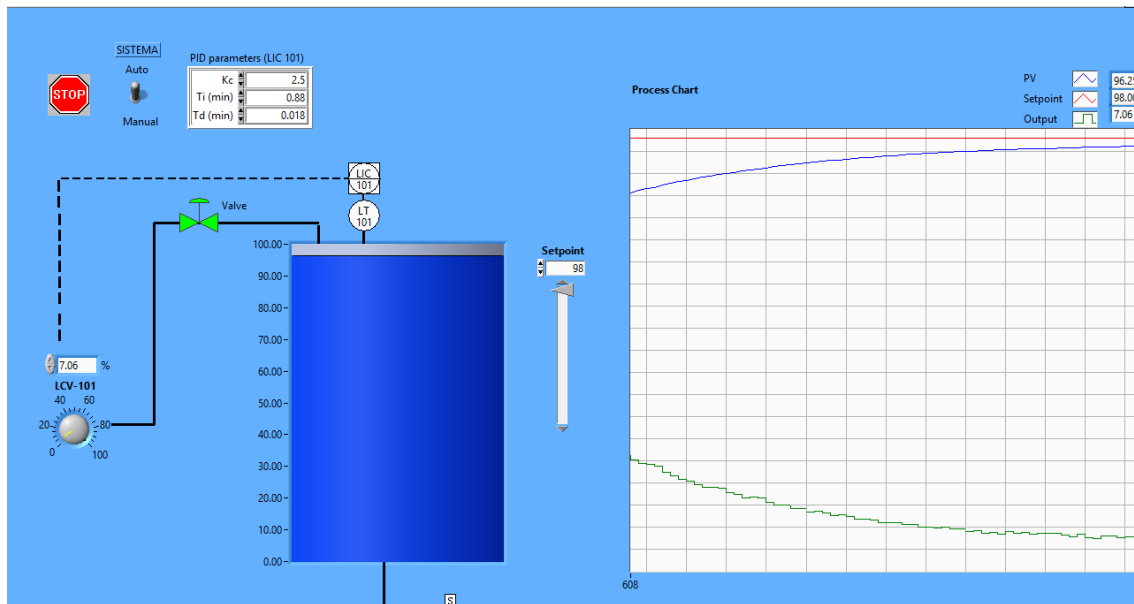


Fig.3.14: Tanque lleno al 98%.

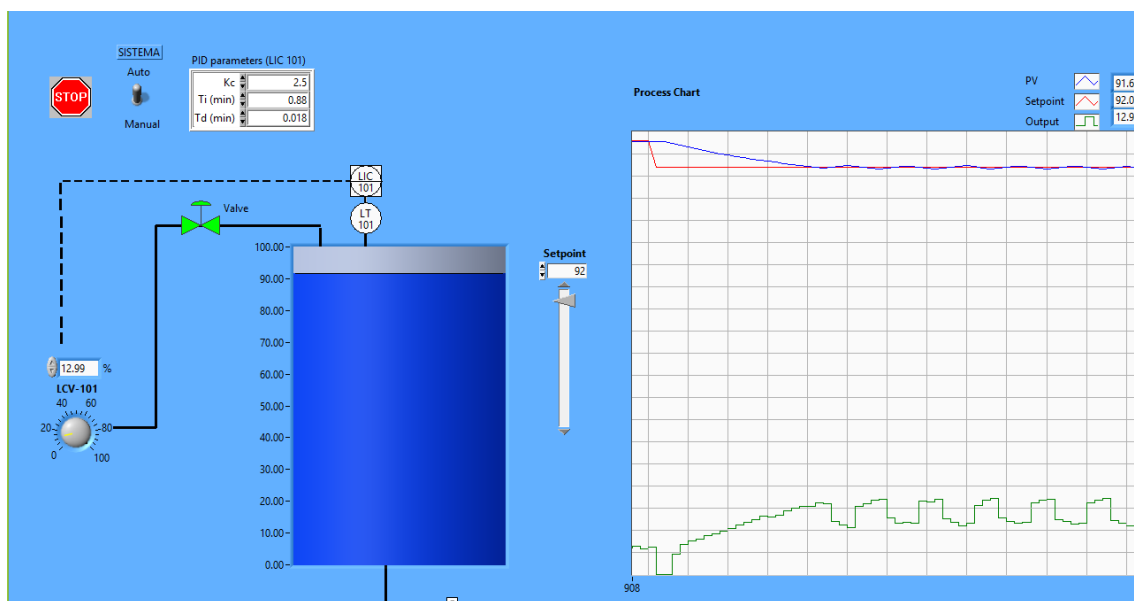


Fig.3.15: Tanque estabilizado según el set point.

3.5 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

Por razones de seguridad para el usuario, debemos evitar que el cuerpo humano sea conductor y pueda sufrir algún daño fatal.

Se debe conocer el tipo de la puesta a tierra, la sección del Cu en los equipos y en el sistema en general.

La sección mínima de la línea principal de tierra es de 10mm² según el CNE, y esta será la utilizada.

El tipo de sistema de puesta a tierra será el de varilla, esto es debido a la baja potencia y, por ende, bajo amperaje. Las dimensiones serán como se muestra en la siguiente figura 3.15.

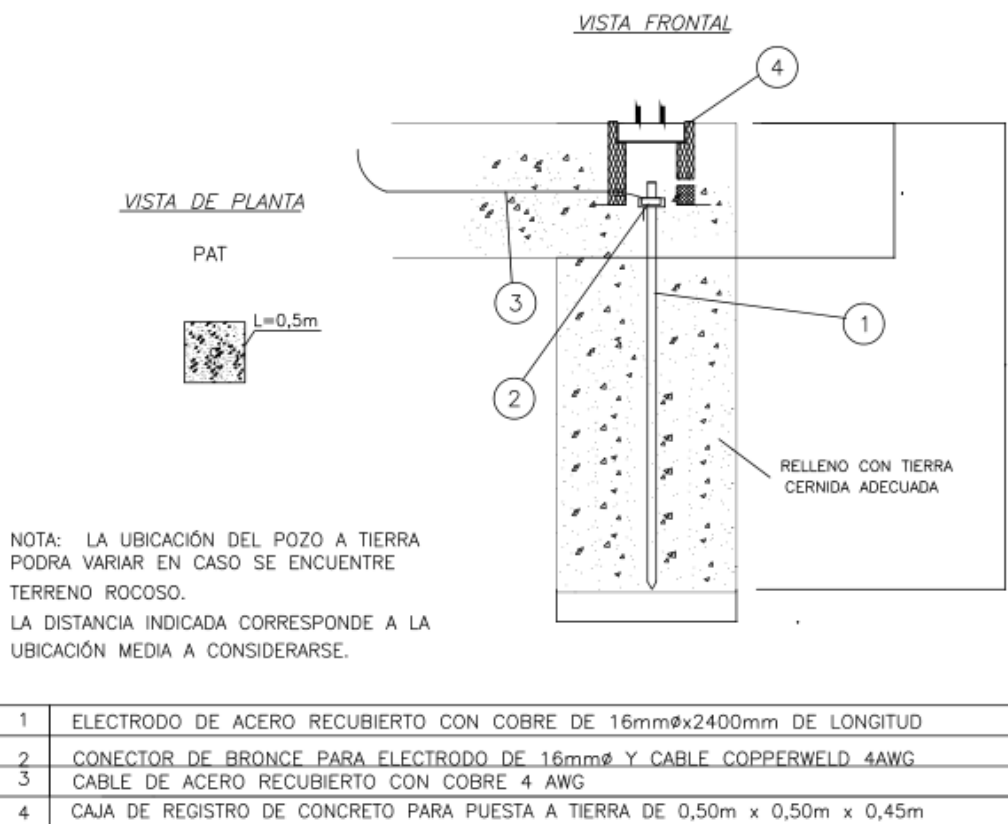
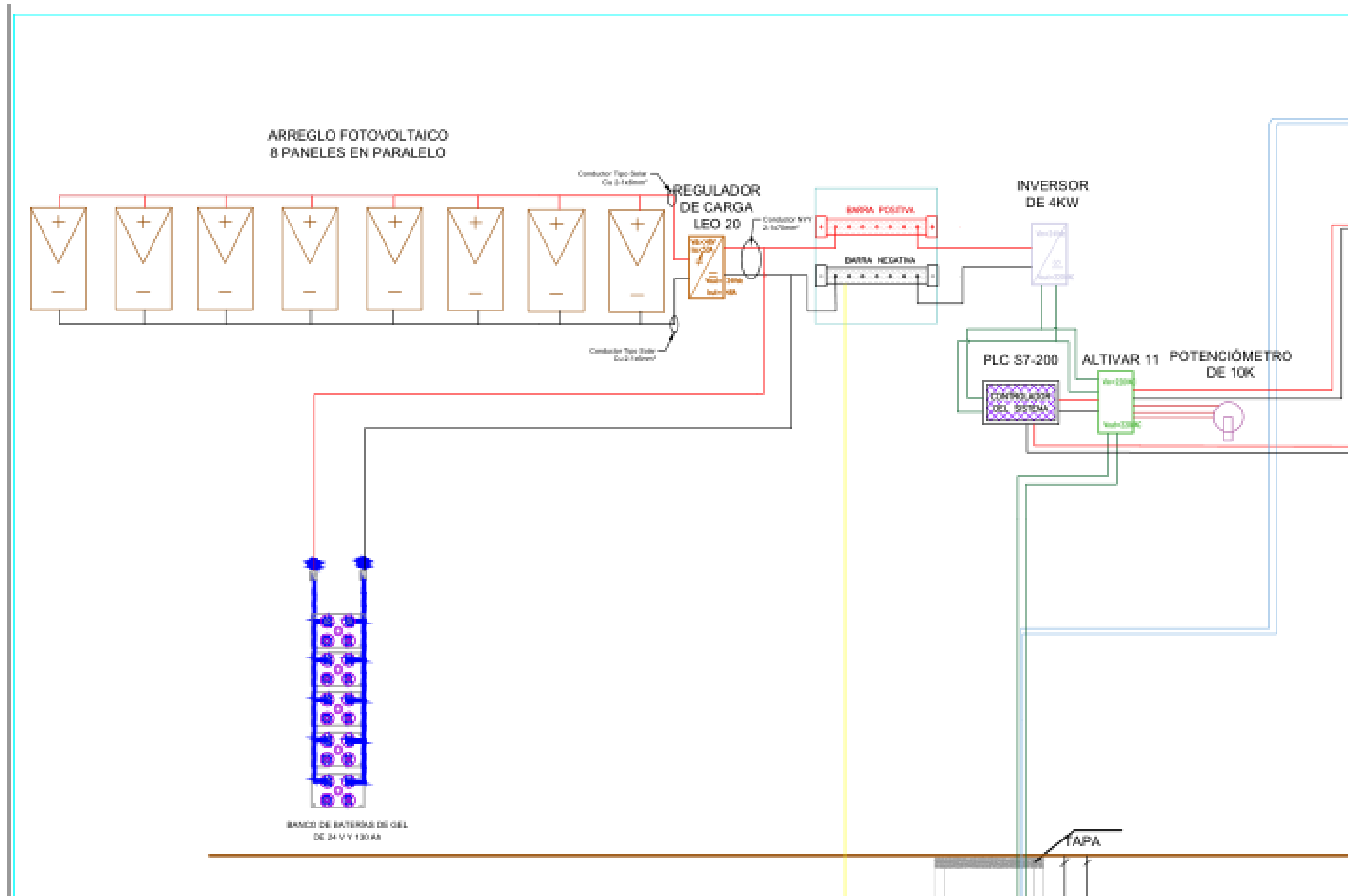
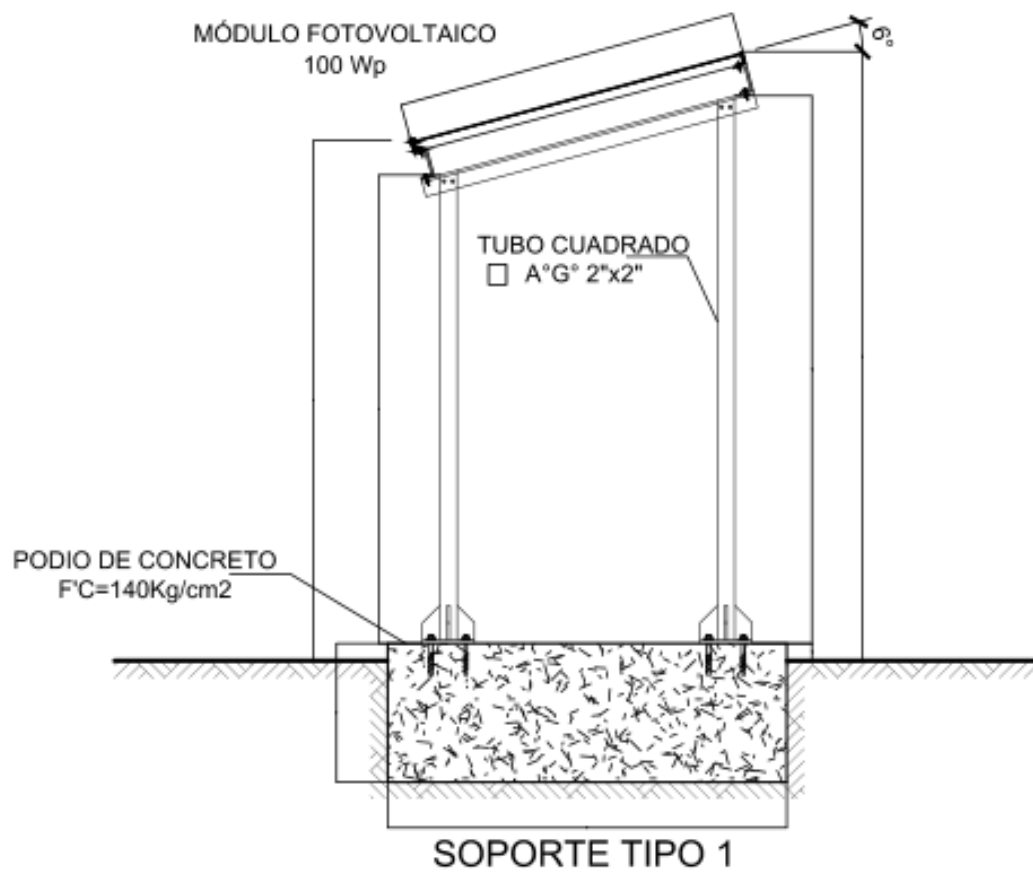


Fig.3.15: Diagrama de puesta a tierra.

3.6 DIAGRAMA UNIFILAR.



3.7 DIAGRAMA DE SOPORTE.



3.8 ELECCIÓN DE EQUIPOS

3.8.1 Tipo de bomba

El tipo de motor que impulsará la bomba será de corriente alterna debido que usaremos equipos que controlaran a la bomba que trabajan en CA. Respecto al tipo de bomba, la siguiente figura sugiere las posibles elecciones de bomba en función del requerimiento diario de agua y de la altura de elevación.

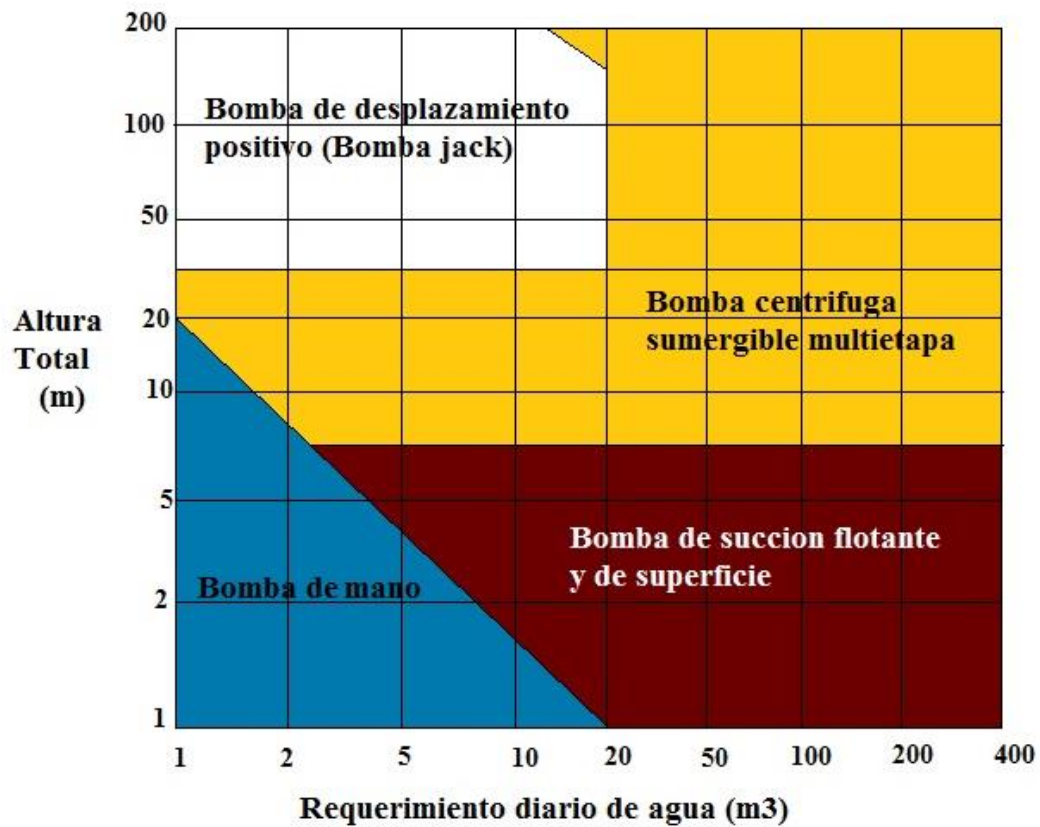


Fig.3.17: Selección del tipo de bomba.

3.8.2 BOMBAS PEDROLLO

Somos una empresa peruana con más de 20 años de experiencia. Nuestra razón social es Hidráulica La Molina Servicios Técnicos Generales E.I.R.L. con la cual proveemos gran variedad de productos de la marca Pedrollo, para ello contamos con un amplio stock. Nos dedicamos íntegramente a solucionar problemas de abastecimiento de agua. En el ámbito doméstico, industrial y agrícola

Nuestro centro de operaciones se encuentra ubicado en el distrito de La Molina, donde gustosamente lo atenderemos, además, le brindaremos asesoramiento para cubrir sus necesidades.

Estas bombas son especialmente creadas para aplicaciones rurales tales como abastecimiento de agua potable, abastecimiento de agua para ganado, riego, etc. La serie de bombas Pedrollo considerada para el proyecto en estudio es la serie 4BLOCK que consiste en un sistema de bombeo alimentado con AC. Las bombas pertenecientes a esta serie pueden elevar agua hasta una altura de 128 m, pueden bombear a una tasa 12 m³/h, tienen una instalación simple, no requieren mantenimiento, tienen una alta confiabilidad y esperanza de vida y tienen un costo que a largo plazo es menor comparado con otras alternativas de bombeo. Un sistema de bombeo alimentado por energía solar está compuesto de dos componentes básicas. La primera, son los paneles fotovoltaicos que proporcionan la potencia. Cada panel está compuesto por varias células solares las que producen corriente directa (DC) cuando se exponen a la luz. Esta corriente DC es recolectada por el cableado en el panel. Luego, es abastecida a un banco de baterías y estas a una bomba AC que bombea agua mientras el sol brille. Los fabricantes de paneles normalmente miden el voltaje (Volts) y la corriente de salida (Amperes) de los paneles bajo condiciones de potencia peak. La potencia peak (Watts = Volts x Amperes) es la máxima potencia que se puede obtener del panel fotovoltaico con una radiación solar de 100 W/m² y una temperatura de 30°C.

Algunas de las características de sus componentes y su rendimiento se muestran en las tablas siguientes:

Tabla.3.4: Bomba Pedrollo.

CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **200 l/min** (12 m³/h)
- Altura manométrica hasta **128 m**

LIMITES DE UTILIZO

- Temperatura máxima del fluido hasta **+35 °C**
- Contenido de arena máximo **150 g/m³**
- Profundidad de utilizo hasta **60 m** bajo el nivel del agua (con cable de alimentación de longitud adecuada)
- Funcionamiento en vertical y horizontal
- Arranques/hora: **20** con intervalos regulares
- Funcionamiento continuo **S1**

EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



REGLAMENTO (UE) N. 547/2012

UTILIZOS E INSTALACIONES

Se aconsejan para el abastecimiento de pozos de agua limpia, incluso con presencia de arena (hasta 150 g/m³).

Por su elevado rendimiento y fiabilidad se aconsejan para el uso en el sector doméstico, para la distribución automática del agua acoplada a equipos hidroneumáticos, para riegos, etc.

PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Patente n° EP2300717 - EP2419642

EJECUCION BAJO PEDIDO

- Cable de alimentación de **30 metros**
- Otros voltajes o frecuencia 60 Hz

GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD
ISO 14001: AMBIENTE



Tabla.3.5: Datos de prestaciones.

MODELO	POTENCIA (P ₂)		Q	m ³ /h l/min	0	0.6	1.2	1.5	2.4	3.6	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
	kW	HP			0	10	20	25	40	60	75	100	125	150	175	200
4BLOCKm 2/10	0.55	0.75	H metros	60	65	60	57	46	20							
4BLOCKm 2/13	0.75	1		86	85	79	75	60	26							
4BLOCKm 2/20	1.1	1.5		128	125	118	113	91	39							
4BLOCKm 4/7	0.55	0.75		46	–	44	43	40	35	29.5	17					
4BLOCKm 4/9	0.75	1		60	–	56	55	52	45	37.5	23					
4BLOCKm 4/14	1.1	1.5		92	–	88	87	81	70	58	35					
4BLOCKm 6/4	0.55	0.75		28	–	–	26	25	23.5	22	19	15	11			
4BLOCKm 6/6	0.75	1		40	–	–	38	37	35	33	29	24	17			
4BLOCKm 6/9	1.1	1.5		61	–	–	58	56	52.5	50	44	35	26			
4BLOCKm 8/4	0.75	1		26.5	–	–	–	26	25	24	22	19.5	16.2	12.5	7.5	
4BLOCKm 8/7	1.1	1.5		46	–	–	–	45	44	42	39	34	28.5	21.5	13	

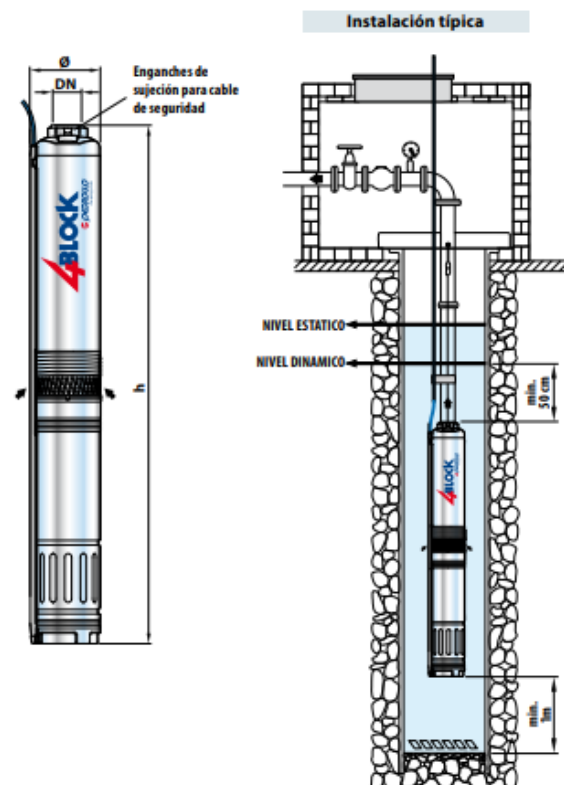
Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

Tabla.3.6: Dimensionamiento, pesos y consumo en amperios.

DIMENSIONES Y PESOS

MODELO	BOCA	DIMENSIONES mm			kg
Monofásica	DN	N° ETAPAS	Ø	h	1~
4BLOCKm 2/10	1½"	10	100	705	12.5
4BLOCKm 2/13		13		786	14.3
4BLOCKm 2/20		20		986	17.8
4BLOCKm 4/7		7		674	12.1
4BLOCKm 4/9		9		743	13.8
4BLOCKm 4/14		14		925	17.0
4BLOCKm 6/4		4		641	10.7
4BLOCKm 6/6		6		725	13.3
4BLOCKm 6/9		9		887	16.5
4BLOCKm 8/4		4		665	13.8
4BLOCKm 8/7		7		827	17.0







CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSION	
	230 V	240 V
4BLOCKm – 0.55 kW	5.0 A	4.8 A
4BLOCKm – 0.75 kW	6.0 A	5.8 A
4BLOCKm – 1.1 kW	8.0 A	7.8 A

Para esta parte elegiremos los equipos que reúnan las características del diseño o datos que hemos obtenido anteriormente:

Tabla.3.7: Elección de equipos para el diseño de bombeo fotovoltaico.

Sensor	Grafica	Nombre	Amper	Voltaje
Panel Solar		Monocristalino 100Wp	5.95A	12VDC
Regulador de carga		Controlador de carga Leo20 50 A 12/24V Basico	50	24VDC
Bateria o Acumulador		BATERIA DE GEL 24V 130 AH- SONNENSCHEIN S12-130	130 A	24VDC
Inversor		Inversor 4000 W	4000w	24VDC/230 VAC

Sensor de nivel		Sensor Nivel Tipo Boya , Interruptor, Flotador.		24VDC
PLC S7 200		PLC S7 200 CPU 224		220VAC
Cable para PLC S7 200		Cable Para Plc S7 200 Siemens ,usb - Rs485.		
Altivar 11		Altivar 11 E347	10A	220VAC
Electrobomba sumergible Pedrollo		Pedrollo 4BLOCK	8A	220VAC

CAPÍTULO 4

RIEGO POR GOTEO

Este sistema ha supuesto un importantísimo avance al conseguir la humedad en el sistema radicular aportando gota a gota el agua necesaria para el desarrollo de la planta. A diferencia del riego tradicional y de la aspersión, aquí el agua se conduce desde el depósito o la fuente de abastecimiento a través de tuberías y en su destino se libera gota a gota justo en el lugar donde se ubica la planta. El agua se infiltra en el suelo produciendo una zona húmeda restringida a un espacio concreto. Espacio que funciona en vertical y horizontal formando lo que se ha venido en llamar por su forma bulbo de humedad. El auténtico avance del Riego por Goteo ha sido conseguir mantener la humedad necesaria en la zona radicular de cada planta, y sólo en esa zona.

Tabla 4.1: Datos meteorológicos obtenidos al programa RETScreen Expert.

Mes	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Precipitación mm	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m ² /d	Presión atmosférica kPa	Velocidad del Viento m/s	Temperatura del suelo °C	Días-grado de calentamiento 18 °C °C-d	Días-grado de enfriamiento 10 °C °C-d
Enero	23.7	66.2%	26.42	6.62	97.3	2.8	28.0	0	425
Febrero	24.7	67.1%	49.62	6.59	97.2	2.8	28.1	0	412
Marzo	24.9	66.6%	57.56	6.66	97.2	2.7	28.4	0	462
Abril	24.5	63.3%	20.41	6.42	97.2	3.0	28.1	0	435
Mayo	23.8	58.8%	12.46	5.40	97.3	3.3	27.0	0	428
Junio	23.1	55.3%	10.66	4.21	97.4	4.0	25.7	0	393
Julio	22.6	52.3%	8.39	4.01	97.4	4.0	25.3	0	391
Agosto	22.2	52.3%	5.33	4.34	97.4	3.7	25.6	0	378
Setiembre	22.0	55.4%	6.18	4.99	97.4	3.6	26.2	0	360
Octubre	21.5	59.4%	11.04	5.54	97.4	3.2	26.6	0	357
Noviembre	21.5	62.4%	8.50	5.96	97.4	3.0	26.6	0	345
Diciembre	22.6	64.7%	15.59	6.34	97.3	2.9	27.6	0	391
Anual	23.1	60.3%	232.16	5.58	97.3	3.2	26.9	0	4,775
Fuente	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Medido a					m	10	0		

4.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE RIEGO.

Un agua será de buena calidad para el riego agrícola cuando cumpliendo con sus funciones básicas hacia la planta de manera que garantice un rendimiento óptimo, no produzca efectos perjudiciales al suelo. La calidad del agua para el riego por tanto está ligada a la terna suelo-agua-planta, porque además de considerar el efecto sobre la nutrición de la planta, se debe de considerar el efecto que la calidad del agua produce en el equilibrio del suelo. Los parámetros que un agua debe de reunir y los valores normales que debe de tener se obtienen de los numerosos estudios FAO sobre riego y drenaje.

Tabla 4.2: Valores normales de un agua de riego.

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valores normales en aguas de riego
SALINIDAD			
<u>Contenido en sales</u>			
Conductividad eléctrica	CE _a	dS/m	0 – 3
Total sólidos en solución	TSD	mg/l	0 – 2000
<u>Cationes y aniones</u>			
Calcio	Ca ²⁺	meq/l	0 – 20
Magnesio	Mg ²⁺	meq/l	0 – 5
Sodio	Na ⁺	meq/l	0 – 40
Carbonatos	CO ₃ ²⁻	meq/l	0 – 0'1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq/l	0 – 10
Cloro	Cl ⁻	meq/l	0 – 30
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	meq/l	0 – 20
NUTRIENTES			
Nitrato-nitrógeno	NO ₃ -N	mg/l	0 – 10
Amonio-nitrógeno	NO ₄ -N	mg/l	0 – 5
Fosfato-fósforo	PO ₄ -P	mg/l	0 – 2
Potasio	K ⁺	mg/l	0 – 2
VARIOS			
Boro	B	mg/l	0 – 2
Acidez o basicidad	pH	1-14	6 – 8'5
Relación de absorción de sodio	RAS	meq/l	0 - 15

Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego>

4.2 DISEÑO AGRONÓMICO.

- ✓ Elección de cultivo: En cuanto a la elección del cultivo, se deben de tener en cuenta:
 - Compatibilidad con las características edafológicas y climatológicas de la parcela.
 - Tolerancia a las características químicas del agua que abastecerá el sistema de riego.
 - Compatibilidad con el sistema de riego en el mercado.
- ✓ Elección del marco de plantación: La elección del marco adecuado de plantación (distancia entre plantas en la hilera por la distancia entre hileras de plantas) tienen una gran importancia económica. La disposición de la plantación condiciona el número de plantas por hectárea o densidad. Esto no sólo repercute en los costos directos de la plantación, sino que influye en los cuidados necesarios y la protección posterior, el coste de los aprovechamientos y la calidad de los productos finales.
- ✓ Eficiencia de aplicación “Ea”: Valor que depende del tipo de clima, la profundidad de raíces y la textura del suelo. Según el cuadro siguiente.

Tabla 4.3: Valores de Ea en climas áridos.

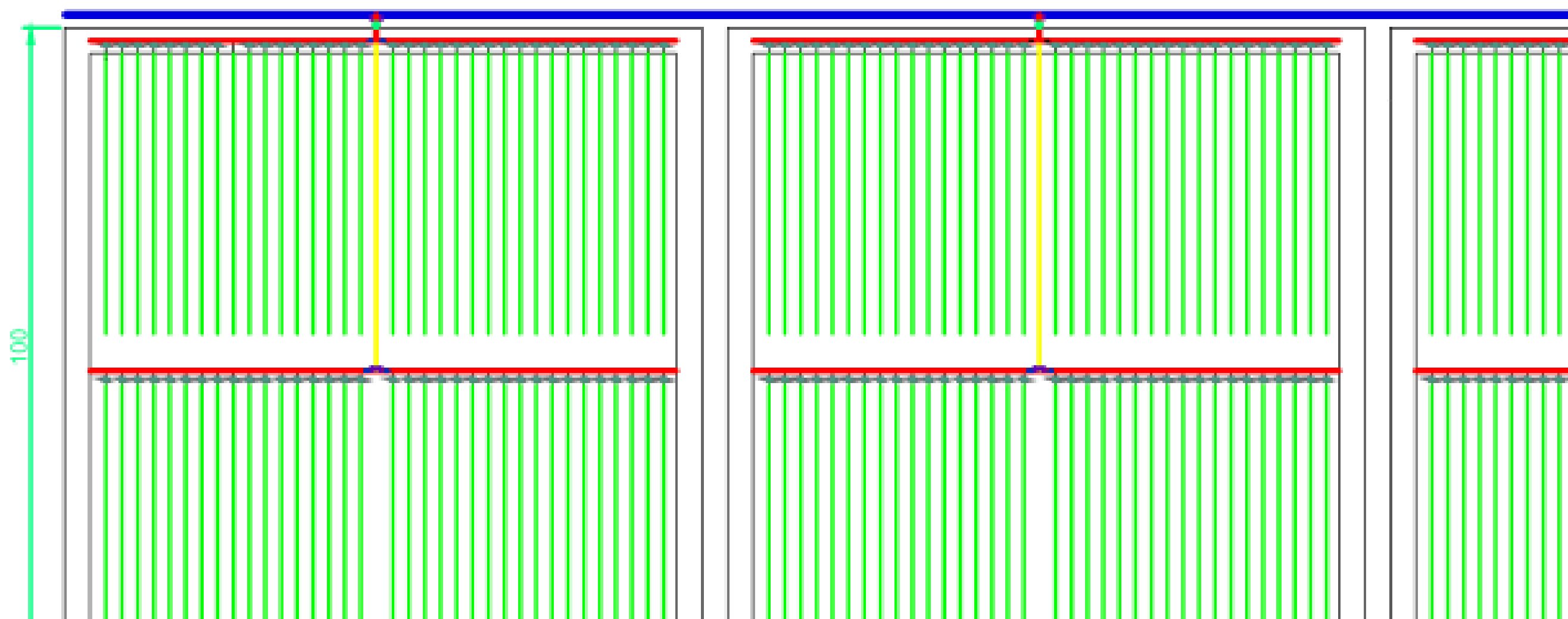
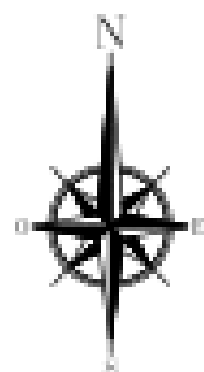
PROFUNDIDAD DE RAÍCES (m)	TEXTURA			
	Muy Porosa (grava)	Arenosa	Media	Fina
< 0.75	0.85	0.90	0.95	0.95
0.75 – 1.50	0.90	0.90	0.95	1.00
> 1.50	0.95	0.95	1.00	1.00

- ✓ Frecuencia de riego: Es el intervalo de tiempo que se requiere para volver aplicar un riego. Es la variable menos rígida y por tanto la que más se puede modificar. No existe un valor mínimo de intervalo de riego, como valores máximos se pueden tomar los siguientes.

Tabla 4.4: Intervalo Máximo de riego por goteo.

TEXTURA DE SUELO	INTERVALO MÁXIMO (días)
Textura ligera	3
Textura media	4
Textura pesadas	5

SISTEMA DE RIEGO POR GOT



4.3 CULTIVO.

El sistema de riego por goteo mencionado es para el cultivo de pallar, es una planta herbácea de hábito rastrero y rápido crecimiento que llega a desarrollar un tallo alargado de donde emergen varios tallos laterales con hojas de color verde oscuro, en cuyas bases se forman pequeños grupos de flores de color crema a blanquecino con manchas lilas, que dan lugar a vainas anchas en cuyo interior se desarrollan granos blancos y grandes en forma de riñón; dependiendo de cultivar y las condiciones climáticas, la planta puede alcanzar un tamaño de 350 – 400 cm. La parte comestible de la planta son los granos en estado inmaduro (verde) o maduro (seco).

Las mejores condiciones ambientales para su crecimiento se presentan en climas templado-cálidos (donde las temperaturas mínimas son de 16°C y las máximas de 24°C.), es decir en otoño y primavera. Durante el verano las plantas sufren el ataque gusanos comedores de hojas y de vainas, lo que reduce su calidad.

Como el producto a cosechar es el grano en vaina se va a requerir de abundante cantidad agua durante todo el cultivo, en especial durante la floración y llenado de vainas, debido a que la carencia de este elemento puede reducir el número de vainas y de granos; sin embargo, se debe evitar el contacto directo entre el agua y la base de la planta porque esta última es susceptible a pudriciones y una posterior muerte.

Cosecha:

Empieza aproximadamente a los 80 - 90 días desde la siembra, dependiendo del cultivar sembrado y las condiciones climáticas; las vainas con los granos llenos empiezan a variar de color de verde a amarillo. El momento de cosecha depende del criterio o gusto del cosechador, pues algunas personas prefieren consumir los granos cuando todavía están verdes y otros esperan a que estén maduros y secos.



Fig.4.2: Granos de pallar

- Perú: Principales regiones productoras de Pallar Grano Seco
(2016 = 11 291 t)

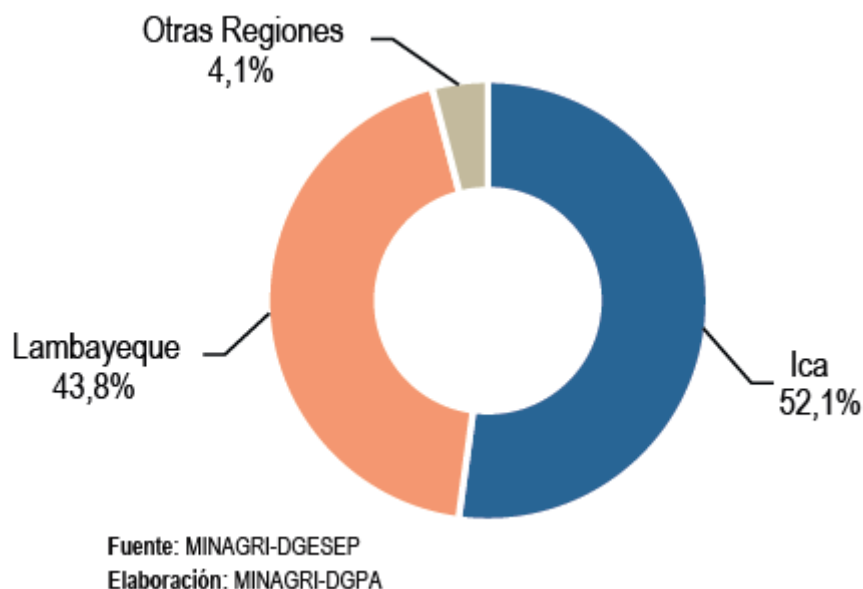


Fig.4.3: Principales Regiones Productoras

4.4 MARCO DE PLANTACIÓN.

Para la siembra se debe depositar 3 semillas por golpe a una profundidad de 4 a 6 cm. y a un distanciamiento entre surcos de 0.80 m. y de 0.20 m. entre planta y planta. La cantidad de semilla que se tiene que sembrar por hectárea, depende del tamaño del grano, la distancia entre surcos y plantas, del porcentaje de germinación de las semillas.

Tabla 4.5: Operaciones mecanizadas, tiempo requeridos (horas/ha) INIA – 2007

Operaciones en Campo	Labranza Tradicional (Convencional)		Labranza Mínima (Usada en INIA)	
	Hora	Soles	Horas	Soles
Subsolado	-	-	2.5	250
Rastra	2.5	250		
Rufa	1.5	150	1.0	100 *
Surcado	1.0	100	1.0	100
Aporque	1.0	100	-	
Total	6.0	600	3.5	450

Nota: Se refiere al suelo, si antes no se ha sembrado ningún cultivo que haya requerido de surcos.

En el presente proyecto se ha propuesto como marco de plantación:

Distanciamiento entre plantas "Sp" (m): 0.20 m

Distanciamiento entre hileras "Sh" (m): 0.80 m

4.5 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.

- a) Tiempo de riego por turnos:** Según resultados, el tiempo de riego diario por turno es de 690 minutos, es decir 11 horas 30 minutos.
- b) Número de Turnos de riego:** Se ha diseñado para regar en un tiempo máximo de 11 h 30min/d durante el día (desde 2:00 am hasta 13:30 pm), por lo que la parcela quedará dividida en 3 turnos de riego.
- c) Dosis de riego:** La dosis de riego que se aplicará para cubrir las necesidades hídricas del cultivo, será de 8.12 litros por m²
- d) Área de la Unidad de riego:** cada turno de riego atenderá a cada hectárea.
- e) Caudal del Sistema:** el caudal módulo del sistema es de 2.82 l/s.

Tabla 4.6: Elaboración Propia.

Total de agua para riego	11,266.70	l/h
Total de plantas	75,900	
Cantidad de agua por planta	0.15	l/h
Total de la parcela	3 hectáreas	
Total de horas de riego	11 h y 30 min	690 min
Turnos de riego	3	turnos
Número de horas por turno	3h 50 min	230 min
Horas de riego diario	2am	01:30 p.m.

4.6 TOLERANCIA DE CAUDALES.

4.6.1 CÁLCULO DE TOLERANCIA DE CAUDALES.

El coeficiente de uniformidad de caudales "CU" recomendable para el sistema de riego por goteo es 90%. El Caudal mínimo del emisor qns es:

$$CU = \left[1 - \frac{1.27 * CV}{\sqrt{e}} \right] * \frac{qns}{qa}$$

CV: coeficiente de variación del emisor, según el fabricante 0.04

e: número de goteros por m² : 1 m²/(0.9m x 0.80m) => e: 0.72 goteros

qa: caudal nominal del emisor, 1.6 l/h

qns: caudal mínimo del emisor (l/h)

$$0.90 = \left[1 - 1.27 * \frac{0.04}{\sqrt{0.72}} \right] * qns / 1.6$$

qns=1.48 l/h

4.6.2 CÁLCULO DE TOLERANCIA DE PRESIONES.

En base a los datos de qa, qns y la ecuación del emisor, se han determinado las presiones media y mínima:

$$q = kh^2 = 0.381p^{0.48}$$

Constante de flujo del gotero, según fabricante: 0.381

Exponente de flujo del gotero, según fabricante: 0.48

p: presión (m)

q: caudal del gotero (l/h)

Presión nominal de línea de goteo, según fabricante: 2.0 bar

Determinando la presión media o nominal "h", se tiene:

$$1.6 \frac{l}{h} = 0.381p^{0.48} \quad p = 19.88m \sim 2bar$$

El resultado de ha=19,88 m se aproxima con los datos proporcionados por el fabricante de presión nominal 2.0 bar.

4.6.3 LA MATRIZ Y SUBMATRIZ DE RIEGO.

En el sistema de riego, se han trazado dos redes de tuberías: Matriz y Submatriz:

Matriz: es la tubería principal encargada de transportar los mayores caudales. Conduce el agua desde el centro de control hasta los puntos de desviación hacia los diferentes subsectores de riego.

Submatriz: se origina de la matriz, corresponden a las tuberías que alimentan a los laterales dentro de cada subsector de riego.

Para el diseño hidráulico se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

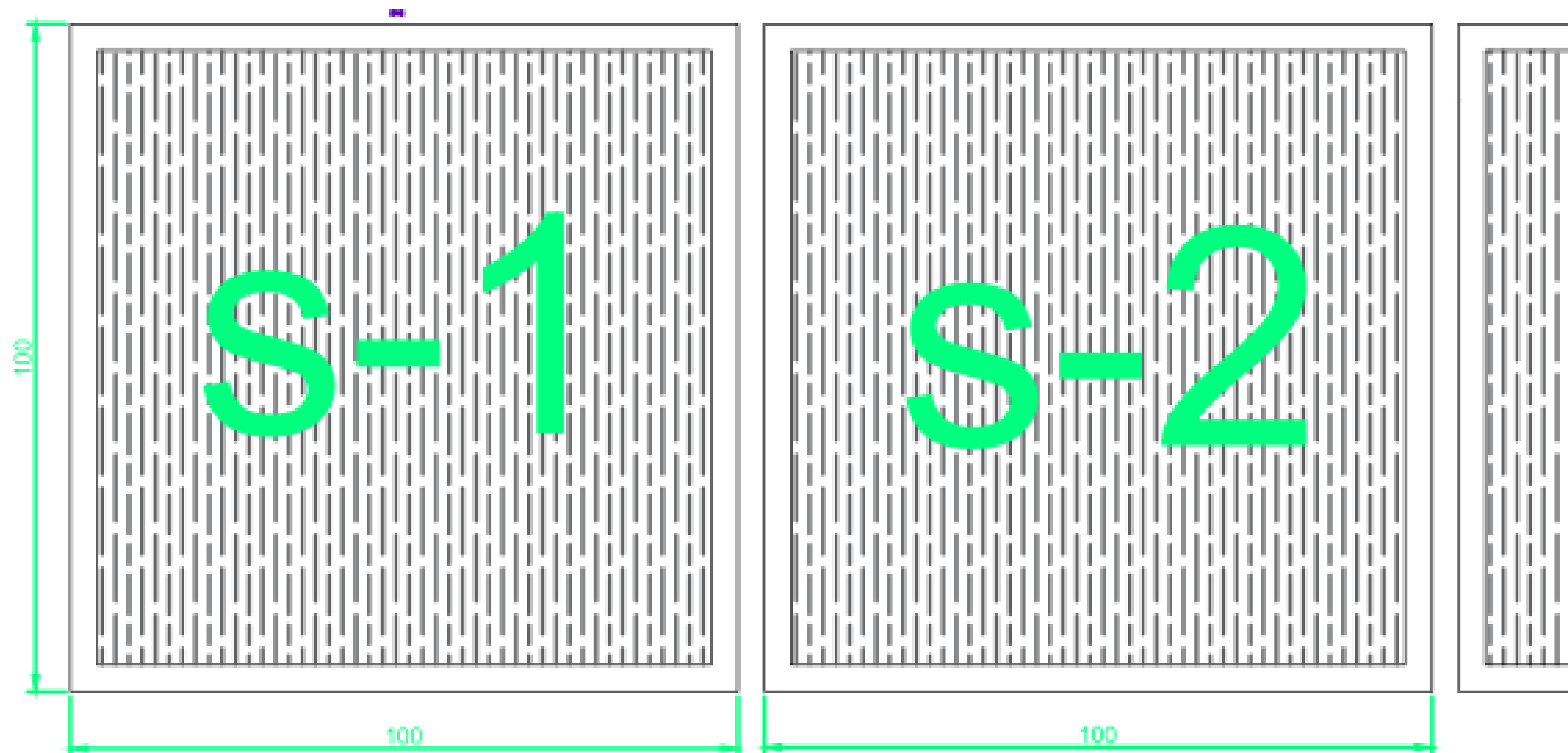
Como se observa en el Plano siguiente; Sectores y Subsectores del Diseño de Riego, se ha dividido el terreno en tres áreas que corresponden a los 3 Sectores de riego.

En cuanto a la proyección de las tuberías de submatriz, se ha tenido por finalidad buscar semejanza entre las áreas de las subunidades de riego. Asimismo, por ser tubería porta lateral, su trazo debe ser perpendicular al sentido de los laterales, según la orientación del cultivo, que en el caso del pallar es de Norte - Sur.

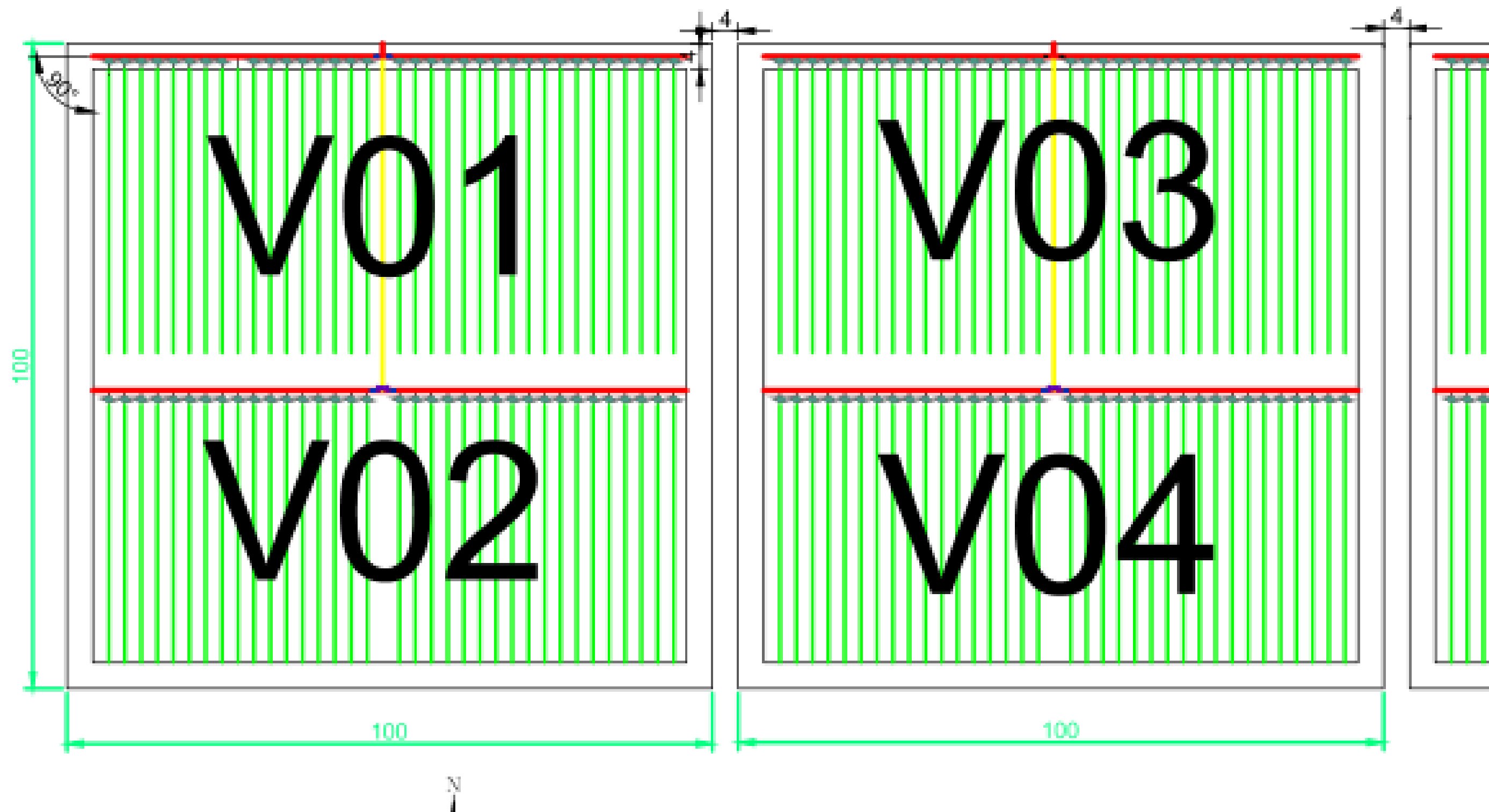
Se ha tratado de trazar en una misma línea la matriz y submatriz, de tal forma que se aprovecha una misma zanja para ambas tuberías.

En cuanto al diseño de los caminos, se han trazado alrededor de los sectores de riego, con un ancho de 4 metros. Asimismo, existen caminos interiores de 4 metros por cada unidad de riego, con el fin de comunicar los sectores.

SECTOR 0 UNIDAD DE RIEGO



DISEÑO DE LA SUBUNIDAD DE RIEGO



4.6.4 DISEÑO DEL SECTOR O UNIDAD DE RIEGO.

- Según La Fig.4.4 las áreas de las unidades de riego, sin considerar los caminos internos y pasillos, son las siguientes:

Tabla 4.7: Sector o unidad de riego.

SECTOR O UNIDAD DE RIEGO	ÁREA BRUTA
S-1	1 ha
S-2	1 ha
S-3	1 ha
Total	3ha

Fuente: Elaboración propia

4.6.5 DISEÑO DE LA SUBUNIDAD DE RIEGO.

Los sectores de riego se han dividido en subunidades, las cuales serán controladas independientemente por una Válvula hidráulica, como se observa en la **Fig 4.5**.

Tabla 4.8: Subunidades y unidades de riego

SECTOR DE RIEGO	SUBUNIDAD DE RIEGO	ÁREA NETA	ÁREA
S-1	vo1	1/2ha	1ha
	vo2	1/2ha	
S-2	vo3	1/2ha	1ha
	vo4	1/2ha	
S-3	vo5	1/2ha	1ha
	vo6	1/2ha	
Total			3 ha

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior se presentan los sectores de riego (tres), sus subunidades (seis) y las válvulas hidráulicas (seis) con sus respectivas áreas netas de riego.

En La **Fig 4.5** se ha indicado el sentido de siembra, el cual corresponde a la orientación de los laterales. Las cintas de riego se conectan perpendicularmente a la submatriz mediante los bigotes.

También se han localizado las válvulas hidráulicas, cada una de éstas forma parte de un Arco de riego, en el que se conecta la tubería de matriz con la tubería de submatriz.

4.6.6 DISEÑO DEL CABEZAL DE RIEGO.



4.7 ANÁLISIS DE CAUDAL NECESARIO PARA RIEGO.

Para poder analizar la necesidad de agua de los cultivos debemos tomar en cuenta la evapotranspiración de éstos, el cual es un proceso que resulta del efecto combinado de la evaporación del agua de un suelo húmedo y la transpiración del correspondiente cultivo en activo crecimiento.

La transpiración es la pérdida de agua por la planta, fundamentalmente a través del sistema foliar. El agua es captada del suelo a través del sistema radicular y circula por la estructura de la planta hasta salir al exterior.

4.7.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP).

Es la cantidad de agua evaporada y transpirada por el cultivo de tamaño corto, como los pastos, que cubre toda la superficie en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo de agua; para la “Sociedad Americana de Ingenieros Civiles” (ASCE) se utiliza a la alfalfa como pasto estándar para la evapotranspiración potencial con el objetivo de hallar una relación cuantificada entre el pasto estándar y el cultivo real; existen diferentes métodos para poder determinar la ETP pero los más prácticos y conocidos son:

- Método del lisímetro.
- Método de tanque de evaporación.
- Métodos o Formulas empíricas.

Para efectos de investigación y disposición de datos de la zona se optó usar el método de fórmulas empíricas, debido a que es el más utilizado para proyectos en etapa de evaluación.

4.7.1.1 Métodos o Fórmulas Empíricas.

Consiste en fórmulas o ecuaciones deducidas por diversos investigadores y están basados en aplicación de variables meteorológicas como factores que afectan la tasa de la evapotranspiración potencial y que han sido desarrolladas para zonas con características propias; las formulas empíricas más conocidas son:

- Método de Penman.
- Método de Blaney.
- Método de Radiación.
- Método de Hargreaves.
- Método de Christiansen.
- Método de Jensen – Hais.
-

El método de mayor aplicación es el Método de Hargreaves y será usado para la evaluación de este proyecto.

Método de Hargreaves:

En este método se analizan dos casos: En base a la radiación y en base a la temperatura; pero debido a la poca investigación sobre niveles de radiación solar durante todo el año en la zona específica de estudio, Se optará, por usar el método en base a la temperatura.

✓ En base a la temperatura. - la ecuación es la siguiente:

$$\mathbf{ETP = MF \times TMF \times CH \times CE \quad (4.1)}$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial [mm/mes].

MF: Factor mensual de latitud.

TMF: Temperatura media mensual [°F].

CH: Factor de corrección para la humedad relativa.

CE: Factor de corrección para la altura o elevación del lugar.

$$\mathbf{CH = 0.166 * \sqrt{100 - HR} \quad (4.2)}$$

Dónde:

HR: Humedad Relativa media mensual [%].

La fórmula anterior se emplea para valores de HR mayores de 52%, pero para HR <64%.

$$\mathbf{CE = 1 + 0.04 * \frac{E}{2000} \quad (4.3)}$$

Dónde:

E: Altitud o Elevación del lugar [m.s.n.m].

4.7.2 EJEMPLO DE APLICACIÓN PARA EL CASO DE DISTRITO DE MORROPE.

Para hallar la demanda de agua analizaremos, el mes de Julio por ser el mes más crítico del año 2018, para lo cual tenemos los siguientes datos expresados en la siguiente Tabla 4.9.

Tabla 4.9: Datos brindados por el programa RETScreen Expert.

Mes	Julio
Cantidad de días	31
Latitud de la zona de morrope	-6 49' 68.80"
Altura de la zona de Morrope(M)	18 m.s.n.m
Temperatura promedio (TMF)	84.2 F°
Humedad Relativa Promedio (HR)	60.3%
Velocidad viento 10 metros de altura (v)	3.96 m/s
Precipitación por mes (p)	8.39 mm/mes

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.0: Factor de evotranspiración potencial.

Longitud	Meses											
Sur	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6°	2.652	2.505	2.35	1.98	1.767	1.572	2.54	1.922	2.157	2.484	1.684	2.675

Fuente: Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water Requeriments. Capítulo 2 “Ecuación de FAO Penman - Monrteith”, FAO56.

Hallamos:

MF = 2.54 mm/mes.

Hallamos el factor de corrección para la humedad relativa (CH), mediante la ecuación 4.2 que se emplea para valores de humedad relativa mayores de 52% pero como sabemos que la zona tiene una humedad relativa de 60.3% entonces:

CH = 1.

Hallamos el factor de corrección para la altura (CE), mediante la ecuación 4.3, sabiendo que la zona se encuentra a una altitud de 18 m.s.n.m.

$$CE = 1 + 0.04 * \frac{E}{2000}$$

$$CE = 1 + 0.04 * \frac{18}{2000}$$

$$CE = 1.0036$$

Hallamos la evapotranspiración potencial (ETP), mediante la ecuación 4.1, sabiendo que el factor mensual de latitud es de 2.54 mm/mes, la temperatura promedio es de 84.2 °F, el factor de corrección para la humedad relativa es de 1 y el factor de corrección para la altura es de 1.0036.

$$ETP = MF \times TMF \times CH \times CE$$

$$ETP = 2.54 \times 84.2 \times 1 \times 1.0036$$

$$ETP = 214.6 \text{ mm/mes.}$$

Coeficiente de cultivo en etapa de maduración.

Tabla 5.1: Coeficiente de cultivo en etapa de maduración.

Kc PARA (RH min< 20%), VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	
Cebada	1.15
Maíz (Choclo)	1.15
Avena	1.15
Papa	1.15
Trigo	1.15
Alfalfa	6.15
Frijol	1.15

Fuente: Chillán, Chile: INIA, 2008.

De los datos obtenidos observamos que la mayoría de productos agrícolas tienen como coeficiente de cultivo 1.15, por lo que usaremos este valor en el cálculo para hallar la máxima demanda de agua de los cultivos de la siguiente manera:

Hallamos la evapotranspiración real o actual (ETA), sabiendo que el coeficiente de cultivo es de 1.15 y la evapotranspiración potencial es de 214.6 mm/mes.

$$ETA = Kc * ETP \quad (4.4)$$

$$ETA = 1.15 * 214.6$$

$$ETA = 246.79 \text{ mm/mes}$$

Hallamos la precipitación efectiva (PE), sabiendo que la precipitación mensual es de 8.39 mm/mes.

$$PE = 0.6 * P - 10 \quad (4.5)$$

$$PE = 0.6 * 8.39 - 10$$

$$PE = -5 \text{ mm/mes}$$

Hallamos la demanda de agua de los cultivos para el periodo considerado (DA), sabiendo que la evapotranspiración real o actual es de 246.79 mm/mes y la precipitación efectiva es de -5 mm/mes.

$$DA = ETA - PE \quad (4.6)$$

$$DA = 246.79 - -5$$

$$DA = 251.79 \text{ mm/mes}$$

$$DA = 8.12 \text{ mm/día}$$

Convertimos 8.13 mm/día en l/s/ha y hallamos el caudal necesario de agua para 3 hectáreas (q).

$$8.12 \times \frac{L}{\text{día} \times m^2} \times \frac{\text{día}}{24h} \times \frac{1h}{60min} \times \frac{1min}{60s} \times \frac{1m^2}{0.0001ha} = 0.94 \frac{L}{s * ha}$$

$$q = 0.94 \frac{l}{s * ha} \times 3ha$$

$$q = 2.82 \frac{l}{s}$$

Usando la menor de las eficiencias de los diferentes tipos de riego mostrados en la Tabla 6, hallamos el caudal máximo.

Tabla 5.2: Eficiencias de diseño para diferentes tipos de riego.

	Aspersión manual	Aspersión ateral	Aspersión pivote	Aspersión movimiento	Aspersión conjunto	
Superficie por surco	portátil	sobre ruedas	central	lineal	solido	Goteo
					permanente	
0.8	0.65	0.6	0.75	0.75	0.75	0.9

Fuente:

http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recnat/pdf/MR_cap3.PDF

.

Finalmente hallamos el máximo caudal necesario (QT), usando la menor eficiencia de riego, para 3 hectáreas de cultivo.

$$Q_t = \frac{Q}{N} \quad (4.7)$$

$$Q_t = \frac{2.82 \frac{l}{s}}{0.9}$$









$$Q_t = 11266.7 \frac{l}{h}$$

$$Q_t = 270.4 \frac{m^3}{dia}$$

para lo cual se determinó que el caudal de agua necesario para 3 hectáreas de cultivo, durante el día más seco del año, por lo que se necesitaría bombear un volumen de 270.4 m³ al día.

Tabla 5.3: Elección de materiales para el diseño de riego por goteo.

PVC Clase 16 de 1 1/4 de pulgada	1 1/4" 	1 1/4	5
PVC Clase 16 de 1 pulgada		1"	5
PVC Clase 10		3/4"	5
Manguera hdpe		16mm	500
Conector cinta polietileno		16mm	0
Mini válvula de riego		16mm	0
Codo de 1 1/4		1 1/4	0
Reductor de 1 1/4		1 1/4 a 1	0









Reductor de 3/4		1 a 3/4 "	0
Filtro		3/4 "	0
Tapon		1	0
Tapon de 3/4		3/4"	0
válvulas		1 1/4	0
válvulas		1	0
Válvula de 3/4		3/4"	0
Manómetro de presión 1109D		3/4"	0

PRESUPUESTO TOTAL
S/ 100,551.59

Sensor	Grafica	Nombre	Amper	Voltaje	Cantidad	Precio (S/)	
						Unitario	Total
Panel Solar		Monocristalino 100Wp	5.95A	12VDC	8	365.81	S/ 2,926.48
Regulador de carga		Controlador de carga Leo20 50 A 12/24V Basico	50	24VDC	1	1106.81	S/ 1,106.81
Bateria o Acumulador		BATERIA DE GEL 24V 130 AH-SONNENSCHEIN S12-130	130 A	24VDC	5	1992.55	S/ 9,962.75
Inversor		Inversor 4000 W	4000w	24VDC/230 VAC	1	9223.69	S/ 9,223.69
Sensor de nivel		Sensor Nivel Tipo Boya , Interruptor, Flotador.		24VDC	2	20.00	S/ 40.00

PLC S7 200		PLC S7 200 CPU 224		220VAC	1	699.00	S/	699.00
Cable para PLC S7 200		Cable Para Plc S7 200 Siemens ,usb - Rs485.			1	120.00	S/	120.00
Altivar 11		Altivar 11 E347	10A	220VAC	1	2700.00	S/	2,700.00
Electrobomba sumergible Pedrollo		Pedrollo 4BLOCK	8A	220VAC	1	2731.66	S/	2,731.66
Mano de obra por instalacion							S/	450.00
TOTAL							S/.	29,960.39

Materiales	Grafica	pulgada	Distancia(m)	Cantidad	Precio(S/)	
					Unitario	Total
PVC Clase 16 de 1 1/4 de pulgada		1 1/4	5	70	135	S/ 9,450.00
PVC Clase 16 de 1 pulgada		1"	5	46	25	S/ 1,150.00
PVC Clase 10		3/4"	5	111	18.5	S/ 2,053.50
Manguera hdpe		16mm	500	63	320	S/ 20,160.00
Conector cinta polietileno		16mm	0	440	4.5	S/ 1,980.00
Mini válvula de riego		16mm	0	690	3.8	S/ 2,622.00
Codo de 1 1/4		1 1/4	0	20	7	S/ 140.00
Reductor de 1 1/4		1 1/4 a 1	0	1	6.5	S/ 6.50

Reductor de 3/4		1 a 3/4 "	0	1	6	S/	6.00
Filtro		3/4 "	0	1	580	S/	580.00
Tapon		1	0	6	3.2	S/	19.20
Tapon de 3/4		3/4"	0	6	3	S/	18.00
válvulas		1 1/4	0	2	160	S/	320.00
válvulas		1	0	2	89	S/	178.00
Válvula de 3/4		3/4"	0	12	79	S/	948.00
Manómetro de presión 1109D		3/4"	0	2	480	S/	960.00
Mano de Obra para instalacion						S/	30,000.00
total							S/. 70,591.20

ANALISIS FINANCIERO

Es necesario realizar un análisis financiero para comprobar viabilidad del proyecto durante un lapso de 5 años. Las técnicas de evaluación por las cuales analizaremos el presente proyecto son VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) tomando como tasa de interés mínimo de 12% anual, para moneda nacional (S/).

Cabe resaltar que con este proyecto se incrementara la cosecha en el sector de la Colorada siendo tres cosechas en total al año. Por lo tanto, si elegimos el equipo de bombeo solar propuesto para la zona de estudio y se cosecha el producto agrícola con mayor precio de venta que es el pallar entonces analizamos la rentabilidad de la inversión tecnológica para la presente zona de la siguiente manera:

- Hallamos la inversión que es el costo del sistema de bombeo solar, así como el sistema de riego por goteo, los cuales son expresados en negativo ya que es un desembolso de dinero que sale de caja.
Inversión = (-Sistema de Bombeo Solar) + (-Sistema de Riego por Goteo).
Inversión = - 29,960.39 – 70,591.20
Inversión = - S/ - 100,551.59
- Hallamos los ingresos que son de la venta del pallar.
Ingresos por campaña = S/24,000.00; Sabiendo que son 3 campañas al año.
Ingresos = S/72,000.00
- Hallamos los egresos que son para mantenimiento al año.
Egresos = S/ 4,500.00
- Hallamos el saldo de caja que es la diferencia de los ingresos con los egresos.
Saldo de caja = Ingresos – Egresos.
Saldo de caja = 72,000.00 – 4,500.00
Saldo de caja = S/67,500.00

El procedimiento anterior se realizó para el año “1”, de la misma manera se hará para los siguientes años.

Una vez hallado el flujo de caja para los años del 1 al 5 aplicamos el método del Valor Actual Neto (VAN) además del método de la Tasa Interna de Retorno (TIR) donde se halla la tasa de interés cuando el Van es igual a 0, entonces según las condiciones descritas y usando la siguiente ecuación podemos desarrollar la TABLA 5.4.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Dónde:

VAN: Valor Actual Neto [S/].

I: Desembolso inicial de la inversión año 1 [S/].

N: Número de periodos considerados.

Qn: Representa los flujos de caja anuales.

r: Tasa de interés 12 [%].

Tabla 5.4: van, tir y flujo de caja.

Inversión inicial	S/. 100,551.59					
VAN, TIR Y FLUJO DE CAJA PARA PROYECTO DE RIEGO DE PALLAR USANDO BOMBA SOLAR						
1.-INGRESOS	1 AÑO	2 AÑOS	3 AÑOS	4 AÑOS	5 AÑOS	TOTAL
Venta de pallar	72,000.00	72,000.00	72,000.00	72,000.00	72,000.00	360,000.00
TOTAL INGRESOS	72,000.00	72,000.00	72,000.00	72,000.00	72,000.00	360,000.00
2.-EGRESOS	1 AÑO	2 AÑOS	3 AÑOS	4 AÑOS	5 AÑOS	TOTAL
Panel Solar	-		-	-	-	-
Bateria o Acumulador	-		-	-	-	-
Regulador de carga	-		-	-	-	-
Inversor	-		-	-	-	-
Sensor de nivel	-		-	-	-	-
PLC S7 200	-		-	-	-	-
Cable para PLC S7 200	-		-	-	-	-
Electrobomba sumergible Pedrollo	-		-	-	-	-
PVC Clase 16 de 11/4 de pulgada	-		-	-	-	-
PVC Clase 16 de 1 pulgada	-		-	-	-	-
PVC Clase 10	-		-	-	-	-
Manguera hdpe	-		-	-	-	-
Conector cinta polietileno	-		-	-	-	-
Mini válvula de riego	-		-	-	-	-
Codo de 11/4	-		-	-	-	-
Reductor de 11/4	-		-	-	-	-
Reductor de 3/4	-		-	-	-	-
Filtro	-		-	-	-	-
Tapon	-		-	-	-	-
Tapon de 3/4	-		-	-	-	-
válvulas	-		-	-	-	-
válvulas	-		-	-	-	-
Válvula de 3/4	-		-	-	-	-
Manómetro de presión 1109D	-		-	-	-	-
Mano de Obra para instalacion	-		-	-	-	-
Mantenimiento	4,500.00	4,500.00	4,500.00	4,500.00	4,500.00	22,500.00
TOTAL EGRESOS	4,500.00	4,500.00	4,500.00	4,500.00	4,500.00	22,500.00
SALDO DE CAJA	67,500.00	67,500.00	67,500.00	67,500.00	S/ 67,500.00	337,500.00
DATOS						
INVERSIÓN INICIAL	S/. -100,551.59					
F1	67,500.00	VAN	142,770.80			
F2	67,500.00	TIR	61%	1era campaña	2da campaña	3era ca
F3	67,500.00	VNA	0.00	S/ 24,000.00	S/ 24,000.00	S/
F4	67,500.00					
F5	67,500.00	i>TIR	NO ES FACTIBLE			
N	5 años	I=TIR	CONSIDERABLE			
TASA INTERES (i)	12%	I<TIR	ACEPTABLE			

Por lo tanto, de la tabla anterior hallamos que si usamos el sistema de bombeo solar y cosechamos pallar el proyecto tendrá un VAN de S/142,770.80 y una TIR de 61% por lo tanto consideramos que el proyecto es aceptado ya que el indicador VAN es mayor a 0 y TIR es mayor a 12%.

FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO

Para el presente proyecto será financiado por el Sr. José Manuel Montalvo Santamaría (Ing. Agrónomo).

CONCLUSIONES:

- ❖ Al término de la presente tesis, se puede concluir que, mediante un diseño de un sistema de bombeo que usa energía renovable se puede mejorar la producción del sector de la colorada, controlando el llenado del tanque con un PLC S7 200.
- ❖ Se determinó gracias a los cálculos que para llevar a cabo este diseño de bombeo fotovoltaico se necesitara 8 paneles solares 12VDC 100WP conectados en paralelo, 5 baterías 24vdc de gel, 1 Inversor, 1 PLC S7200, 1 Electrobomba Marca Pedrollo 4Block, 1 Válvula de salida, 1 Válvula de paso, 1 Sensores de nivel y entre otros como se detalló en el PRESUPUESTO TOTAL.
- ❖ En el sector de la Colorada-Morrope-Lambayeque, para regar 3 hectáreas, concluimos que es necesario un volumen de 270.4 m³ de agua por día de riego y una presión de 2 bar que es lo que el sistema de goteo necesita.
- ❖ Se determinó que el equipo de bombeo usara energía solar como fuente de energía renovable ya que permite que el proyecto sea viable en una mayor diversidad de productos agrícolas, por lo que se seleccionó 1 bomba sumergibles de marca Pedrollo 4Block cubriendo con la demanda de presión de 2 bar y la del caudal de 270.4 m³/día cada una.
- ❖ Se automatizó el diseño del proyecto de tesis mediante un sistema de control PID y se simuló con el software LabView.
- ❖ El cultivo de pallar es el producto agrícola que genera mayor rentabilidad ya que la inversión inicial para el equipo de bombeo solar y del sistema de riego es de S/ 100,551.59 y al analizarlo durante un periodo de 5 años con una tasa de interés anual del 12% se obtiene un valor actual neto (VAN) de S/ 142,770.80 y una tasa interna de retorno (TIR) de 61%, se demuestra que la rentabilidad de la implementación del proyecto generaría ingresos satisfactorios.

RECOMENDACIONES:

- ❖ Para mejorar la eficiencia de los equipos, los paneles solares deben ser limpiados una vez al mes para mejorar la captación de la radiación solar.
- ❖ Para que la implementación de este diseño sea rentable se deben producir los siguientes productos agrícolas: Paltar, Maíz, Cebolla, Arándano, Uva, Esparrago, Palto, etc.
- ❖ Se requerirá una inversión inicial de cerca de S/ 100,551.59 para tener operativa una instalación fotovoltaica aislada que sea capaz de suministrar suficiente energía eléctrica para este diseño, en la FINCA SAN JOSE.

BIBLIOGRAFIA Y LINKOGRAFIA:

- [1] INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS, S.A. (2008). ENERGÍA Y ELECTRICIDAD. EN ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA. ISLAS CANARIAS: FEDER. [HTTP://WWW.CIENCIACANARIA.ES/FILES/LIBRO-DE-ENERGIAS-RENOVABLES-Y-EFICIENCIA-ENERGETICA.PDF](http://www.cienciacanaria.es/files/libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf)
- [2] INTERNATIONAL LABOUR FOUNDATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. (4 DE ABRIL 2014). ENERGÍA: SECTOR CLAVE PARA EL DESARROLLO. SUSTAINLABOUR, VOL. 1.
- [3] C. SCHALLENBERG, G. PIERNAVIEJA, C. HERNANDEZ. (2008). AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA. ISLAS CANARIAS: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS. [HTTP://WWW.CIENCIACANARIA.ES/FILES/LIBRO-DE-ENERGIAS-RENOVABLES-Y-EFICIENCIA-ENERGETICA.PDF](http://www.cienciacanaria.es/files/libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf)
- [4] W. JARA T.. (AGOSTO 2006). MARCO CONCEPTUAL. EN INTRODUCCIÓN A LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES (PÁG. 14-20). SANTIAGO DE CHILE: ENDESA CHILE.
- [5] ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS, S.A. [HTTP://WWW.CIENCIACANARIA.ES/FILES/LIBRO-DE-ENERGIAS-RENOVABLES-Y-EFICIENCIA-ENERGETICA.PDF](http://www.cienciacanaria.es/files/libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf).
- [6] ENERGÍA RENOVABLE. [HTTP://ENERGIA-RENOVABLE.EU/TIPOS-DE-PANELES-SOLARES/](http://energia-renovable.eu/tipos-de-paneles-solares/)
- [7][HTTP://ENERGIAS-RENOVABLES-Y-LIMPIAS.BLOGSPOT.PE/2013/04/QUE-PANEL-COMPRAR-MONOCRISTALINO-O-POLICRISTALINO.HTML](http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.pe/2013/04/que-panel-comprar-monocristalino-o-policristalino.html)
- [8][HTTPS://ES.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/SEGUIDOR_SOLAR](https://es.wikipedia.org/wiki/Seguidor_solar).
- [9][HTTP://DELTA VOLT.PE/ENERGIA-RENOVABLE/BOMBEO-SOLAR](http://deltavolt.pe/energia-renovable/bombéo-solar).
- [10][HTTPS://AUTOSOLAR.PE/BOMBAS-SUM-220V-TRIFASICA/BOMBA-SUMERGIBLE-LAPICERO-PEDROLLO-4-BLOCK-15HP-1-PULGADA-MONOFASICA](https://autosolar.pe/bombas-sum-220v-trifasica/bomba-sumergible-lapicero-pedrollo-4-block-15hp-1-pulgada-monofasica)
- [11][HTTPS://WWW.PROVIENTO.COM.PE/PANELESOLARES.HTML](https://www.proviento.com.pe/paneles-solares.html)
- [12][HTTPS://AUTOSOLAR.ES/BATERIAS-GEL-24V/BATERIA-DE-GEL-24V-130AH-SONNENSCHN-S12-130](https://autosolar.es/baterias-gel-24v/bateria-de-gel-24v-130ah-sonnenschein-s12-130)
- [13][HTTPS://WWW.SFE-SOLAR.COM/PANELES-SOLARES/CALCULAR-PANELES-SOLARES-NECESARIOS/](https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/)
- [14] [HTTPS://AUTOSOLAR.ES/REGULADORES-DE-CARGA-PWM/REGULADOR-CARGA-LEO20-50A-1224V-BASICO](https://autosolar.es/reguladores-de-carga-pwm/regulador-carga-leo20-50a-1224v-basico)

[15] “PLAN ESTRATÉGICO DEL SECTOR AGRARIO LAMBAYEQUE” (2012). [BASE DE DATOS]. MINISTERIO DE AGRICULTURA LAMBAYEQUE. P.71.

[16] MEINEL, A. Y MEINEL, M. (1982). APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR. BARCELONA: REVERTÉ. P. 560. [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTP://BOOKS.GOOGLE.COM.PE](http://books.google.com.pe) [2011, 12 DE SEPTIEMBRE].

[17] COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO, 1999, ELEMENTOS DE RIEGO TECNIFICADO, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS.

[18] [HTTPS://AUTOSOLAR.ES/INVERSORES-CARGADORES-24V/INVERSOR-24V-4000W-SCHNEIDER-XW4024E](https://autosolar.es/inversores-cargadores-24v/inversor-24v-4000w-schneider-xw4024e)

[19] POZA S., FERNANDO. 2007, CONTRIBUCIÓN AL DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD PARA SISTEMAS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO. TESIS DOCTORAL INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN, MADRID, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. 246 P.

[20] ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA – INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS.

[21] TESIS: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA EL CULTIVO DE PALTO HAS EN PARCELA DE 22 HA DEL SUBSECTOR DE RIEGO FERREÑAFE” – LAMBAYEQUE 2015.

[22] ALLEN, R. Y OTROS (1998). “CROP EVAPOTRANSPIRATION: GUIDELINES FOR COMPUTING CROP WATER REQUIREMENTS”. EN: REV. FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER. N.56. ITALIA: FAO. [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTP://WWW.FAO.ORG/DOCREP/X0490E/X0490E00.HTM](http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm) .

[23] DASTANE, N. (1978). “EFFECTIVE RAINFALL IN IRRIGATED AGRICULTURE”. EN: REV. FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER. N.25. ITALIA: FAO. [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTP://WWW.FAO.ORG/DOCREP/X5560E/X5560E00.HTM](http://www.fao.org/docrep/X5560E/X5560E00.htm).

[24] [HTTPS://WWW.AGROBANCO.COM.PE/WP-CONTENT/UPLOADS/2017/07/029-A-PALLAR_MANEJO_SANIDAD_.PDF](https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/029-A-PALLAR_MANEJO_SANIDAD_.pdf) [CULTIVO DEL PALLAR]

[25] BLAIR ENRIQUE. 111 SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE RIEGO POR GOTEO. SAN JOSÉ COSTA RICA, IICA, 1979. 23 P.

[26] [HTTPS://SOLAR-ENERGIA.NET/DEFINICIONES/CONCENTRADOR-SOLAR.HTML](https://solar-energia.net/definiciones/concentrador-solar.html)

[27] [TTPS://ELPAIS.COM/ECONOMIA/2018/05/10/ACTUALIDAD/1525964076_530918.HTML](https://elpais.com/economia/2018/05/10/actualidad/1525964076_530918.html)

[28][HTTPS://ELPAIS.COM/TECNOLOGIA/2017/07/25/ACTUALIDAD/1500982603_352755.HT](https://elpais.com/tecnologia/2017/07/25/actualidad/1500982603_352755.html)
ML

[29][HTTPS://ELPAIS.COM/ELPAIS/2017/07/10/ALTERCONSUMISMO/1499717070_034784.H](https://elpais.com/elpais/2017/07/10/alterconsumismo/1499717070_034784.html)
TML

[30][HTTPS://ELPAIS.COM/TECNOLOGIA/2017/06/29/ACTUALIDAD/1498729043_871888.HT](https://elpais.com/tecnologia/2017/06/29/actualidad/1498729043_871888.html)
ML

[31] PHOTOVOLTAIC INDUSTRIAL SYSTEMS” AUTOR: PAPADOPOULOU. BERLIN 2011.

[32] ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y ENSAYOS DE LOS COMPONENTES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS HASTA 500 Wp” MINEM 2005.

[33] ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA” 4TA EDICIÓN. AUTOR: JAVIER MÉNDEZ MUÑIZ.

[34] WWW.LORENTZ.DE INSTALACIÓN EN ITALIA.

[35] CELENTANO ENERGY SERVICE.