



# **UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**I PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA**

## **EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

### **INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO  
UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA  
PLANTACIÓN DE 2,18 Ha DE PALTAS EN EL FUNDO  
PRADA, DISTRITO DE MOTUPE, PROVINCIA Y  
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”**

**Presentado Por:**

**Br. SENMACHE AYALA, MIGUEL DEMETRIO**

**LAMBAYEQUE – PERÚ  
2 018**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**I PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA**

## **EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

### **INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO  
UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA  
PLANTACIÓN DE 2,18 Ha DE PALTAS EN EL FUNDO  
PRADA, DISTRITO DE MOTUPE, PROVINCIA Y  
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”**

**Presentado Por:**

**Br. SENMACHE AYALA, MIGUEL DEMETRIO**

**Aprobado por el Jurado Examinador**

<b>PRESIDENTE</b>	<b>: DR. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>: DR. JORGE LUIS NOMBERRA TEMOCHE</b>
<b>MIEMBRO</b>	<b>: Mag. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA</b>
<b>ASESOR</b>	<b>: ING. PERCY EDUAR NIÑO VÁSQUEZ</b>

**LAMBAYEQUE – PERÚ  
2 018**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

**Facultad de Ingeniería Mecánica Y Eléctrica**

**I PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA**

## **EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

### **TITULO**

**“DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO UTILIZANDO  
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA PLANTACIÓN DE 2,18 Ha  
DE PALTAS EN EL FUNDO PRADA, DISTRITO DE MOTUPE,  
PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”**

### **CONTENIDOS**

**CAPITULO I:** PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.

**CAPITULO II:** MARCO TEORICO.

**CAPITULO III:** MARCO METODOLOGICO.

**CAPITULO IV:** ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

**CAPITULO V:** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

**CAPÍTULO VI:** REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

**CAPITULO VII:** ANEXOS, PLANOS Y OTROS.

**AUTOR:** Bach. SENMACHE AYALA, MIGUEL DEMETRIO

---

PRESIDENTE

---

SECRETARIO

---

MIEMBRO

---

ASESOR

Lambayeque – Perú  
2018

## DEDICATORIA

*A mis padres: Miguel y Yoly, por todo el apoyo incondicional, el amor y dedicación que siempre me brindaron, para poder realizar este paso importante, porque sin ellos no hubiera sido posible, gracias totales.*

*A mi hijo Adriano, quien es el motivo y razón para poder seguir adelante cada día.*

*A mis hermanas por su apoyo incondicional en cada día de mi vida. Por haber compartido tan felices momentos juntos.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Gracias a Dios, por cada día de mi vida, por permitirme cumplir con este momento tan importante en mi vida profesional, por protegerme y por la sabiduría que me da en los momentos buenos y fortaleza que me da en los momentos difíciles.*

*Gracias a Dios, por la vida de mis padres, que son mi ejemplo a seguir por su dedicación y esfuerzo que hicieron por mí, para enseñarme con valores a ser una mejor persona cada día. Gracias a ellos por confiar y creer en mí, gracias a mi madre por su perseverancia para poder alentarme a cumplir con este importante paso, gracias a mi padre por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida. Gracias por cada consejo que me guiaron durante mi vida.*

*Gracias a mi familia y amigos, de los cuales siempre he recibido apoyo incondicional para poder superar mis metas y en momentos difíciles.*

*Al Ing Percy Niño, asesor de mi trabajo, por su valiosa guía y asesoramiento del mismo.*

*Gracias a todas las personas que me ayudaron en la realización de este proyecto*

## RESUMEN

El objetivo del presente Examen de Suficiencia Profesional es el desarrollo e implementación de un sistema de riego por goteo alimentado por energía solar fotovoltaica para el cultivo de plantas de palta.

En general, la estrategia de dimensionado aplicada a estos sistemas se centra en cubrir las exigencias hídricas del mes más desfavorable, esto es, aquél en el que la relación entre la demanda y la oferta energética es mayor. Las instalaciones de riego localizado así concebidas concentran su funcionamiento en los meses que dura la campaña de riego, permaneciendo el resto del año sin operar, por lo que el subsistema de generación queda sobredimensionado. Por el contrario, el dimensionado siguiendo una estrategia de máxima captación de energía comporta una menor capacidad del captador y, en consecuencia, un menor coste. Sin embargo, el desacoplo que existe en muchas ocasiones, entre la oferta y la demanda energética por parte de la instalación de riego obliga a almacenar energía de forma estacional bien mediante la acumulación agua en un depósito elevado o bien empleando baterías electroquímicas. El uso de baterías comporta la disminución de la fiabilidad del sistema, el aumento del coste y un incremento en el mantenimiento por lo que, si es posible, se opta por el almacenamiento de agua en un depósito elevado, con la inversión que su construcción conlleva.

Con el objetivo de solucionar este problema, en este Proyecto se ha desarrollado una metodología de diseño de instalaciones de riego fotovoltaico en la que, siguiendo una estrategia de máxima captación de energía, se emplea el suelo como principal subsistema de acumulación, minimizando el empleo de baterías y reduciendo las dimensiones del subsistema de generación. El modelo propone el riego de un número variable de sectores simultáneamente para adaptar la demanda energética a las variaciones de radiación solar disponible.

La metodología desarrollada se ha concretado en el diseño y dimensionado de una instalación de riego por goteo alimentada por energía solar fotovoltaica en una parcela de 2,18 hectáreas de plantación de palta, también denominada aguacate, en el distrito de Motupe, provincia y departamento de Lambayeque, quedando así demostrada la viabilidad técnica del uso del suelo como principal

subsistema de acumulación de energía. Analizados todos los condicionantes internos y externos al Proyecto y realizados todos los estudios previos necesarios se han proyectado, medido y valorado el conjunto de instalaciones que permitirán el correcto funcionamiento del sistema de riego fotovoltaico que cubrirá, sin ninguna limitación, las necesidades hídricas del cultivo.

En el **Capítulo II** se presenta el marco teórico, en donde se explica de manera resumida las características y aspectos generales teóricos necesarios para comprender el tipo de estudio y los componentes de los sistemas fotovoltaicos en lo concerniente a sistemas de bombeo.

En el **Capítulo III** se muestra el Marco Metodológico, en donde se tratan aspectos como el tipo y diseño de investigación, la población y muestra, se formulan las hipótesis del estudio, entre otras generalizaciones.

Por otro lado, en el **Capítulo IV** se presenta la propuesta de investigación y se hace una breve descripción del sistema propuesto.

En el **Capítulo V** se describen y efectúan los cálculos necesarios para el dimensionamiento de nuestro sistema de bombeo fotovoltaico, en donde, partiendo de las necesidades hídricas mediante el diseño agronómico se determina el caudal de diseño; luego se dimensiona la altura o carga total para después partiendo de la radiación solar de la zona de estudio se determinan el resto de componentes de nuestro sistema. Para finalizar el presente capítulo se realiza el análisis económico – financiero.

En el **Capítulo VI** se presentan las conclusiones y se dan las recomendaciones respectivas basadas en la experiencia obtenida en el presente trabajo.

Finalmente se incluyen los anexos en donde principalmente se muestran los planos y especificaciones técnicas de acuerdo a los fabricantes especializados.

## **ABSTRACT**

The objective of this Professional Proficiency Test is the development and implementation of a drip irrigation system powered by photovoltaic solar energy for the cultivation of avocado plants.

In general, the dimensioning strategy applied to these systems focuses on covering the water requirements of the most unfavorable month, that is, the one in which the relationship between demand and energy supply is greater. The localized irrigation facilities thus conceived concentrate their operation in the months that the irrigation campaign lasts, remaining the rest of the year without operating, reason why the subsystem of generation is oversized. On the other hand, dimensioning following a strategy of maximum energy capture entails a lower capacity of the sensor and, consequently, a lower cost. However, the decoupling that exists on many occasions, between supply and energy demand by the irrigation installation forces seasonal storage of energy either by accumulating water in an elevated tank or by using electrochemical batteries. The use of batteries leads to a decrease in the reliability of the system, an increase in costs and an increase in maintenance, so if possible, it is decided to store water in a high tank, with the investment that its construction entails.

In order to solve this problem, this project has developed a methodology for the design of photovoltaic irrigation installations in which, following a strategy of maximum energy capture, the soil is used as the main accumulation subsystem, minimizing the use of batteries and reducing the dimensions of the generation subsystem. The model proposes the irrigation of a variable number of sectors simultaneously to adapt the energy demand to the variations of available solar radiation.

The methodology developed has been specified in the design and dimensioning of a drip irrigation system powered by photovoltaic solar energy in a plot of 2.18 hectares of avocado plantation, also called avocado, in the district of Motupe, province and department of Lambayeque, thus demonstrating the technical viability of land use as the main subsystem of energy accumulation. After analyzing all the internal and external conditions of the Project and carrying out all the



necessary preliminary studies, the set of facilities that will allow the correct functioning of the photovoltaic irrigation system that will cover, without any limitation, the water needs of the crop have been projected, measured and valued.

**Chapter II** the theoretical framework is presented, where the characteristics and general theoretical aspects necessary to understand the type of study and the components of the photovoltaic systems regarding pumping systems are summarized.

**Chapter III** shows the Methodological Framework, where aspects such as the type and design of research, population and sample are discussed, the hypotheses of the study are formulated, among other generalizations.

On the other hand, in **Chapter IV** the research proposal is presented and a brief description of the proposed system is made.

**Chapter V** describes and performs the necessary calculations for the sizing of our photovoltaic pumping system, where, based on the water needs through the agronomic design, the design flow is determined; then the height or total load is dimensioned and then, starting from the solar radiation of the study area, the rest of the components of our system are determined. To finalize the present chapter the economic - financial analysis is carried out.

In **Chapter VI** the conclusions are presented and the respective recommendations are given based on the experience obtained in the present work.

Finally, the annexes are included, where the plans and technical specifications are mainly shown according to the specialized manufacturers.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN .....	V
ABSTRACT .....	VII
INTRODUCCIÓN .....	XV
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	3
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6. OBJETIVOS .....	4
1.6.1. Objetivo General .....	4
1.6.2. Objetivos Específicos .....	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. ANTECEDENTES .....	6
2.2. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE AGUACATE .....	8
2.2.1. Origen .....	8
2.2.2. Clasificación Taxonómica .....	8
2.2.3. Morfología .....	9
2.2.4. Requerimientos Agroclimáticos .....	10
2.2.4.1. Temperatura.....	10
2.2.4.2. Humedad relativa .....	10
2.2.4.3. Suelo .....	10
2.2.4.4. Pendiente .....	11
2.2.5. Manejo Agronómico.....	11
2.2.5.1. Siembra.....	11
2.2.5.2. Injerto.....	11
2.2.5.3. Época de Siembra .....	12
2.2.5.4. Distanciamientos de Siembra .....	12
2.2.5.5. Poda.....	13
2.2.5.6. Fertilización .....	13

2.2.5.7.	Recolección.....	14
2.2.5.8.	Coeficiente biológico del cultivo aguacate (Kc).....	15
2.3.	ENERGÍA SOLAR.....	15
2.3.1.	Energía solar en el mundo.....	15
2.3.2.	Energía solar en el Perú.....	16
2.3.3.	Energía solar en Lambayeque .....	17
2.4.	RADIACIÓN SOLAR.....	19
2.4.1.	Tipos de radiación .....	20
2.4.2.	Medición de radiación Solar .....	21
2.4.3.	Horas de Sol Pico (HSP) .....	23
2.5.	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	24
2.5.1.	Componentes de un sistema fotovoltaico .....	25
2.5.2.	Condiciones de instalación de módulos solares.....	44
2.5.3.	Ventajas y desventajas .....	46
2.5.4.	Aplicaciones autónomas.....	47
2.6.	BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO .....	50
2.6.1.	Configuraciones Típicas de Sistema de Bombeo Fotovoltaico.....	50
2.6.1.1.	Bombeo con Motores cc .....	51
2.6.1.2.	Bombeo con Motores ac .....	52
2.6.2.	Dimensionado de un Sistema de Bombeo Fotovoltaico .....	53
2.7.	Generalidades del Sistema de Riego .....	53
2.7.1.	Riego por goteo .....	53
2.7.1.1.	Eficiencia.....	54
2.7.1.2.	Ventajas .....	54
2.7.1.3.	Inconvenientes .....	55
2.7.2.	Componentes necesarios para la instalación del riego por goteo .....	56
2.7.2.1.	Cabezal de riego .....	56
2.7.2.2.	Equipo de filtración .....	56
2.7.2.3.	Sistema de filtrado .....	56
2.7.2.4.	Goterros .....	63
2.7.2.5.	Tuberías .....	64
2.7.2.6.	Red de distribución.....	65
2.7.2.7.	Válvulas.....	66
2.8.	EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN.....	69
2.8.1.	Inversión .....	69
2.8.2.	Horizonte de evaluación.....	69

2.8.3.	Tasa de interés .....	70
2.8.4.	Flujos de Cajas .....	70
2.8.5.	Indicadores .....	70
2.9.	DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA TERMINOLOGÍA EMPLEADA .....	72
CAPÍTULO III.....		75
MARCO METODOLÓGICO.....		75
3.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	75
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	75
3.3.	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	76
3.4.	VARIABLES- OPERACIONALIZACIÓN .....	76
3.5.	MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN .....	78
3.5.1.	Métodos de investigación .....	78
3.5.2.	Técnicas de investigación .....	78
3.6.	DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS .....	79
3.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	79
CAPITULO IV .....		80
PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....		80
4.1.	PROPUESTA DE ESTUDIO.....	80
4.2.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO .....	82
CAPITULO V .....		83
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....		83
5.1.	DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE AGUA.....	83
5.1.1.	Introducción al cálculo .....	83
5.1.2.	Características y Ubicación del terreno.....	83
5.1.3.	Tipo de cultivo y redes de distribución .....	84
5.1.4.	Demanda de agua.....	86
5.1.4.1.	El Método Fao Penman – Monteith .....	86
5.1.4.2.	Factores Meteorológicos que determinan la $ET_0$ .....	87
a)	Radiación Solar .....	87
b)	Temperatura del aire.....	88
c)	Humedad del aire .....	88
d)	Velocidad del viento.....	88
5.1.4.3.	Estrategia del mes “más desfavorable” .....	88
5.1.4.4.	Necesidad de agua .....	89
5.1.4.5.	Efecto de localización .....	94
5.1.4.6.	Efecto de las condiciones climáticas .....	95

5.1.4.7.	Necesidades de lavado por aguas salinas ( $KI$ ): .....	96
5.1.4.8.	Necesidades diarias de agua de la planta .....	96
5.1.4.9.	Número de gotero por planta .....	97
5.1.4.10.	Tiempo de riego.....	98
5.1.4.11.	Número de Sectores.....	98
a)	Número de plantas en total en la superficie ( $N_p$ ): .....	98
b)	Número de planta a regar Simultáneamente ( $N_{prs}$ ):.....	98
5.1.4.12.	Caudal de Bombeo .....	98
a)	Caudal Bombeo ( $Q_b$ )(caudal de un sector): .....	98
b)	Caudal Necesario para regar 1 ha de cultivo:.....	99
5.1.4.13.	Resumen de cálculo.....	99
5.2.	DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS Y DERIVACIONES.....	101
5.3.	PÉRDIDAS DE CARGA EN LA INSTALACIÓN.....	105
5.4.	DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	119
5.4.1.	Energía hidráulica necesaria por mes ( $E_h$ ) .....	122
5.4.2.	Mes condicionante .....	125
5.4.3.	Determinación de la potencia del campo fotovoltaico .....	126
5.4.4.	Selección de la bomba.....	129
5.4.5.	Cálculo del arreglo del campo fotovoltaico.....	130
5.4.6.	Configuración de la instalación fotovoltaica .....	132
5.4.7.	Volumen de agua bombeada al año.....	133
5.4.8.	Cálculo de sección del conductor alimentador .....	133
5.5.	ANÁLISIS ECONÓMICO - FINANCIERO .....	135
5.6.1.	Inversión y estructura del financiamiento .....	135
5.6.2.	Flujo de caja proyectado .....	137
5.6.3.	Rentabilidad del proyecto .....	140
5.6.4.	Valor Actual Neto (VAN).....	141
5.6.5.	Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	141
5.6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	142
CAPÍTULO VI	.....	144
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	144
6.1.	CONCLUSIONES .....	144
6.2.	RECOMENDACIONES .....	146
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	147
ANEXOS	.....	150

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cuadro de conversión de unidades utilizadas en solarimetría.....	20
Tabla 2: Colores de conductores en Instalaciones FV. ....	43
Tabla 3: Descripción de la variable dependiente e independiente.....	77
Tabla 4: Técnicas e instrumentos en la investigación. ....	79
Tabla 5: Descripción de equipos propuestos. ....	82
Tabla 6: Coordenadas UTM WGS84 (Zona 17M) de la parcela del proyecto.....	84
Tabla 7: Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998) .....	92
Tabla 8: Temperaturas y Radiación Solar en la zona del proyecto .....	93
Tabla 9: Valor previo de evapotranspiración inicial en función de la radiación solar.....	94
Tabla 10: Evapotranspiración tomando en cuenta el efecto de localización y condiciones climáticas.....	95
Tabla 11: Necesidades diarias de agua de la planta.....	97
Tabla 12: Tiempo de Riego (min). ....	98
Tabla 13: Cantidad de Sectores.....	99
Tabla 14: Número de plantas en total en la superficie. ....	99
Tabla 15: Número de plantas a regar simultáneamente. ....	100
Tabla 16: Caudal de Bombeo en un Sector. ....	100
Tabla 17: Caudal Necesario para regar una hectárea de cultivo.....	100
Tabla 18: Ramales porta goteros a utilizar.....	104
Tabla 19: Tubería de la línea principal. ....	105
Tabla 20: Valores de densidad y viscosidad del agua.....	108
Tabla 21: Rugosidades absolutas de materiales. ....	109
Tabla 22: Coeficientes de pérdida de carga, K. ....	115
Tabla 23: Coeficientes de pérdida de carga en válvulas parcialmente abiertas. ....	115
Tabla 24: Pérdidas de carga localizadas. ....	117
Tabla 25: Filtros instalados en el sistema de riego.....	117
Tabla 26: Longitudes equivalentes de pérdida de carga en goteros.....	118
Tabla 27: Resultados para selección de bomba. ....	120
Tabla 28: Resultados para selección de bomba. ....	121
Tabla 29: Valores de Radiación en zona de estudio.....	125
Tabla 30: Energía hidráulica requerida por mes (Eh). ....	125
Tabla 31: Cantidad de agua bombeada al año [m <sup>3</sup> ]. ....	133
Tabla 32: Costo de Inversión del Proyecto.....	136
Tabla 33: Gastos anuales con riego tradicional.....	138
Tabla 34: Flujos de caja proyectados en un horizonte de 20 años. ....	139
Tabla 35: Tasa Activa Anual.....	140
Tabla 36: Valor Anual Neto del proyecto. ....	141
Tabla 37: Tasa Interna de Retorno del proyecto.....	142

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fruto del aguacate.....	8
Figura 2: Atlas solar del Perú – Departamento Lambayeque.....	18
Figura 3: Tipos de radiación solar sobre una superficie.....	21
Figura 4: a) Pirheliómetro, b) Pirheliómetro montado en seguidor. ....	22
Figura 5: Piranómetro con banda de sombra.....	22
Figura 6: Albedómetro. ....	23
Figura 7: Curva característica de la H.S.P. ....	24
Figura 8: Sistema fotovoltaico básico para riego. ....	25
Figura 9: Curva característica I-V y P-V de una célula. ....	28
Figura 10: Efecto de la intensidad de la radiación. ....	30
Figura 11: Combinaciones de celdas y curvas resultantes. ....	31
Figura 12: Conexión de módulos Serie – Paralelo.....	32
Figura 13: Soporte metálico para paneles. ....	33
Figura 14: Controlador de carga Victron PWM y MPPT. ....	35
Figura 15: Gama de Baterías de aplicación Solar. ....	36
Figura 16: Conexión de las Baterías. ....	39
Figura 17: Inversor de corriente.....	40
Figura 16: Formas de onda de los Inversores.....	42
Figura 19: Inclinación y orientación de un panel solar en el hemisferio norte, para el hemisferio sur la orientación será hacia el norte.....	46
Figura 20: Antenas de comunicación con panel solar.....	48
Figura 21: Electrificación de viviendas. ....	48
Figura 22: Señalización de vías con energía solar. ....	49
Figura 23: Electrobombas con paneles solares.....	49
Figura 24: Sistema de Bombeo Fotovoltaico.....	50
Figura 25: Sistema de Bombeo Fotovoltaico con Motor-Bomba en Superficie.....	52
Figura 26: Esquema de sistema de riego por goteo.....	54
Figura 27: Filtro de Hidrociclón. ....	58
Figura 28: Filtro de Arena.....	60
Figura 29: Filtro de Malla. ....	62
Figura 30: Filtro de Anilla o disco. ....	63
Figura 31: Gotero empleado. ....	64
Figura 32: Válvulas empleadas en riego tecnificado. ....	68
Figura 33: Ubicación del predio.....	84
Figura 34: Vista de las labores de levantamiento topográfico: se puede observar al fondo la acequia desde donde se alimentará el depósito de regulación.....	85
Figura 35: Estación meteorológica “Motupe”.....	93
Figura 36: Secuencia de diseño de la instalación hidráulica. ....	102
Figura 37: Distribución de Tuberías y derivaciones.....	106
Figura 38: Diagrama de Moody.....	112
Figura 39: Datos de Radiación y Meteorológicos de la Zona de Estudio. ....	124
Figura 40: Panel solar empleado.....	131

## INTRODUCCIÓN

El suministro energético mediante energía solar fotovoltaica de sistemas de riego localizado de alta frecuencia es una solución de amplia aplicación en áreas sin acceso a la red eléctrica convencional. No obstante, el desacople que existe en muchas ocasiones entre la oferta y la demanda energética por parte de la instalación de riego plantea problemas desde el punto de vista de acumulación estacional de la energía generada.

En este proyecto se ha desarrollado y aplicado una metodología de diseño de instalaciones de riego fotovoltaico en la que, siguiendo una estrategia de diseño de máxima captación de energía, se emplea el suelo como principal subsistema de acumulación. El presente trabajo propone el riego de un número determinado de sectores simultáneamente y de manera aislada para adaptar la demanda energética a las variaciones de radiación solar disponible.

Se propone en forma resumida el diseño de un sistema fotovoltaico necesario para accionar un motor-bomba con la finalidad de permitir el riego de una parcela de 2,18 Hectáreas aproximadamente en la cual se destinará la siembra de plantas de palta (conocidos como aguacates). La finalidad es de implementar un sistema fotovoltaico autónomo que reemplace la utilización de combustibles fósiles para realizar las mismas labores. La implementación de este sistema nos permitirá optimizar el riego y permitirá disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmosfera, y además contribuiremos con la protección del medio ambiente.



# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA**

A continuación, se describe la situación actual de la parcela de proyecto con el fin de conocer aquellos factores que deban ser considerados a la hora de valorar las distintas alternativas de diseño que se proponen en esta Memoria.

El predio en donde se implementará nuestro sistema de riego está ubicado en el distrito de Motupe, provincia y departamento de Lambayeque; actualmente el riego de dicha plantación se hace con riego por inundación, el cual es un método tradicional de cultivo que se viene aplicando desde los inicios de la agricultura. Se caracterizan por el manejo del agua, sobre el nivel del terreno, a través de melgas (para cultivos densos), surcos (para cultivos en hilera) o por pozas (para cultivos de arroz). Consiste en conducir una corriente de agua desde una fuente abastecedora hacia los campos y aplicarla directamente a la superficie del suelo por gravedad, cubriendo total o parcialmente el suelo. Este método de riego tiene por desventajas que se requiere más mano de obra, más agua por unidad de superficie cultivada, hay peligro de acumulación de agua en el sub-suelo causando problemas de drenaje y salinidad y por último se tiene que la preparación del suelo es costoso y lento por lo que son necesarios levantamientos topográficos.

Este sistema le permitía cubrir la demanda hídrica de su cultivo, pero a su vez causa los problemas en el suelo indicados en el párrafo anterior con los

sobrecostos que implica en mano de obra, preparación del terreno constante, inundaciones excesivas y la baja eficiencia hídrica.

En la parcela se encuentra implantada una explotación de paltas en regadío hincado en el año 2016. Cuenta con un total de 341 plantones de palta con un marco de plantación intensivo de 8x8 m (8 m entre paltos y en las calles), con lo que la superficie cultivada asciende a 2,18 hectáreas aproximadamente.

Siendo el servicio eléctrico una necesidad primordial en muchas familias de nuestra región y país, se propuso al propietario del fundo aprovechar la generación de electricidad haciendo uso de energías renovables, como lo es la energía solar ya que se pudo observar que en la zona existe una relativa buena radiación solar.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿El uso de la energía solar será viable técnica y económica para el funcionamiento de un sistema fotovoltaico que accionará un motor-bomba de alta eficiencia para riego tecnificado en reemplazo del sistema convencional de riego por inundación?

## **1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El trabajo de investigación se realizó en el fundo “Prada” ubicado en el distrito de Motupe, provincia y departamento de Lambayeque.

El fundo “Prada” es una parcela de aproximadamente 2,18 hectáreas, donde se cultivará paltas, conocidas también como aguacate.

La duración de la investigación fue en un tiempo de 4 meses, en la que participaron el dueño del fundo y el autor del presente trabajo de investigación.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

El trabajo de investigación se justifica ya que, en la actualidad, en muchos lugares de nuestra región y país; aún se sigue utilizando formas ineficientes de riego de sus parcelas originando sobre costos y problemas con el suelo en sus parcelas como la salinización de las mismas. Como es sabido actualmente el riego de dicha plantación se hace con riego por inundación, el cual es un método tradicional de cultivo que se viene aplicando desde los inicios de la agricultura. Se caracterizan por el manejo del agua, sobre el nivel del terreno, a través de melgas (para cultivos densos), surcos (para cultivos en hilera) o por pozas (para cultivos de arroz). Consiste en conducir una corriente de agua desde una fuente abastecedora hacia los campos y aplicarla directamente a la superficie del suelo por gravedad, cubriendo total o parcialmente el suelo. Este método de riego tiene por desventajas que se requiere más mano de obra, más agua por unidad de superficie cultivada, hay peligro de acumulación de agua en el sub-suelo causando problemas de drenaje y salinidad y por último se tiene que la preparación del suelo es costoso y lento por lo que son necesarios levantamientos topográficos.

A este problema no se le está dando la debida importancia porque en su mayoría se desconoce las diferentes formas alternativas de generar electricidad para el uso en riego tecnificado; más aún el uso de energías renovables como una manera de aprovecharlas para satisfacer esta necesidad.

Es así que el presente trabajo de investigación contribuirá con el desarrollo socioeconómico de los propietarios del fundo “Prada”, mejorando su calidad de vida.

Así mismo este trabajo de investigación servirá como una guía para los estudiantes de la facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, el cual les permitirá motivarse en la investigación de energías renovables y así ampliar sus conocimientos.

Además, el desarrollo del presente proyecto permitirá al autor en lo personal cumplir con una etapa más de su formación profesional, como es obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista.

## **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

La poca información relevante a los datos agronómicos del tipo de cultivo a implementar, necesaria para el dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico.

## **1.6. OBJETIVOS**

### **1.6.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema de riego por goteo accionado por sistema fotovoltaico (SFV) autónomo y motor-bomba de alta eficiencia para 2,18 hectáreas de cultivo de palta por sectores en el fundo “Prada”, distrito de Motupe, provincia y departamento de Lambayeque.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- a) Determinar los valores de radiación solar disponible en el área de influencia del proyecto utilizando información meteorológica y data de proveedores especializados de sistemas de bombeo fotovoltaico.
- b) Realizar el diseño agronómico del riego por goteo para la plantación de paltas.
- c) Calcular las necesidades de agua de la plantación para posteriormente determinar el caudal de diseño del proyecto.
- d) Calcular la altura total de bombeo necesaria para seleccionar el motor-bomba adecuado.
- e) Seleccionar el tamaño de los componentes electromecánicos del proyecto.
- f) Determinar los costos del proyecto y su rentabilidad económica comparada con el sistema de riego actual por inundación.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### Contexto Internacional

Existen varios proyectos referentes a nuestro objeto de estudio, los cuales utilizan paneles solares para riego tecnificado.

Es así que **Ignacio García Ruiz**; en su tesis de Ingeniería “*Instalación de Riego Fotovoltaico de 4 ha de Olivar en Calahorra*” realizó un estudio regar cuatro hectáreas de Olivos con energía fotovoltaica y utilizando riego tecnificado (goteo).

El autor de este trabajo determinó un sistema de aprovechamiento que utiliza 10 módulos fotovoltaicos de 175 Wp que a su vez dota de energía a un motor-bomba y conjuntamente con infraestructura de riego tecnificado provee de agua a plantaciones de Olivos.<sup>1</sup>

Por otra parte **Eduardo Su Aguilar** en su tesis de ingeniería titulada “*Proyecto de Riego por Goteo Utilizando Energía Solar para el Cultivo de Aguacate en la Finca Ojo de Agua en la localidad de San Francisco Libre*”; realiza un estudio que consiste en solucionar el problema del suministro de agua para el cultivo de aguacates (paltas) en dicha localidad, para lo cual utiliza energía solar fotovoltaica.

---

<sup>1</sup> Ignacio García Ruiz, “Instalación de Riego Fotovoltaico de 4 ha de Olivar en Calahorra” (Tesis de Ingeniería, Universidad Pública de Navarra, 2011).

El estudio, además nos permite visualizar que es posible utilizar con éxito fuentes alternativas de energía eléctrica, para ayudar a la conservación del medio ambiente.<sup>2</sup>

Por otra parte, en la web denominada **Ingemecánica** se nos proporciona abundante información acerca de las energías renovables, entre ella se encuentra el diseño de un sistema de riego tecnificado para cultivos diversos, se propone el uso de equipos de bombeo fotovoltaico de un fabricante conocido<sup>3</sup>.

### **Contexto Nacional**

**Carolina Barreto**; en su proyecto de Libro Digital denominado “Riego por goteo con Bombeo Fotovoltaico” hace un recuento de apuntes de clases, tesis y avances de investigación (papers) peruanos acerca del riego por goteo utilizando energía fotovoltaica explicando las experiencias de investigadores hechas en el ámbito nacional.<sup>4</sup>

### **Contexto Local**

El Ing. **Jony Villalobos Cabrera**; en su tesis de maestría titulado “Plan maestro de electrificación rural con energía fotovoltaica en la región Lambayeque”; hace un estudio de electrificación con energía solar para el establecer un Plan Maestro de Electrificación Rural con Energía Fotovoltaica como instrumento de Planificación Técnica Económica para localidades

---

<sup>2</sup> Eduardo Su Aguilar, “Proyecto de Riego por Goteo Utilizando Energía Solar para el Cultivo de Aguacate en la Finca Ojo de Agua en la localidad de San Francisco Libre” (Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua, 2012).

<sup>3</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

<sup>4</sup> Carolina Barreto, “Riego por goteo con Bombeo Fotovoltaico” (Proyecto de Libro Digital, Perú, 2011).

remotas no electrificadas, las cuales quedan fuera del plan de electrificación por ampliación de redes convencionales.

## **2.2. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE AGUACATE**

### **2.2.1. Origen**

El aguacate, conocido en nuestro medio como palta, es originario de México, Colombia y Venezuela. Los primeros españoles que llegaron a América bautizaron a este fruto con el nombre de "pera de las Indias", dada su semejanza externa con las peras españolas. Los principales productores hoy día son: México, Brasil, Estados Unidos, Australia, Israel, China, Kenia, Sudáfrica y España.



Figura 1: Fruto del aguacate.

### **2.2.2. Clasificación Taxonómica**

- ✓ Reino : Plantae
- ✓ Subreino : Tracheobionta
- ✓ División : Magnoliophyta
- ✓ Clase : Magnoliopsida
- ✓ Orden : Laurales
- ✓ Familia : Lauraceae
- ✓ Genero : Persea
- ✓ Especie : P. americana



### 2.2.3. Morfología

Planta: árbol extremadamente vigoroso (tronco potente con ramificaciones vigorosas), pudiendo alcanzar hasta 30 m de altura.

Sistema radicular: bastante superficial.

Hojas: Árbol perennifolio. Hojas alternas, pedunculadas, muy brillantes.

Flores: flores perfectas en racimos sub terminales; sin embargo, cada flor abre en dos momentos distintos y separados, es decir los órganos femeninos y masculinos son funcionales en diferentes tiempos, lo que evita la autofecundación. Por esta razón, las variedades se clasifican con base en el comportamiento de la inflorescencia en dos tipos A y B. En ambos tipos, las flores abren primero como femeninas, cierran por un período fijo y luego abren como masculinas en su segunda apertura. Esta característica de las flores de aguacate es muy importante en una plantación, ya que para que la producción sea la esperada es muy conveniente mezclar variedades adaptadas a la misma altitud, con tipo de floración A y B y con la misma época de floración en una proporción 4:1, donde la mayor población será de la variedad deseada. Cada árbol puede llegar a producir hasta un millón de flores y sólo el 0,1 % se transforman en fruto, por la abscisión de numerosas flores y frutitos en desarrollo.

Fruto: baya unisemillada, oval, de superficie lisa o rugosa. El envero sólo se produce en algunas variedades y la maduración del fruto no tiene lugar hasta que éste se separa del árbol.

## **2.2.4. Requerimientos Agroclimáticos**

### **2.2.4.1. Temperatura**

Rango 10 a 35°C, con un óptimo para fotosíntesis de 25 a 30°C.

Sin embargo, las exigencias de temperatura varían dependiendo de la raza, para la raza mexicana la media óptima es de 20°C con una mínima invernal no inferior a -4°C, para la raza guatemalteca la media óptima está entre 22 y 25°C, con una mínima invernal no inferior a -2 °C y para la raza antillana la media oscila entre 24 y 26°C, con una mínima invernal no inferior a 0°C (Benacchio, 1983; Ibar, 1983)

La variedad Hass es sensible a heladas y puede presentar daños visibles cuando se expone por debajo de 10°C en plena floración puede afectar gran parte de las flores polinizadas en las últimas horas al interferir con la fertilización (INIFAP, 1996)

### **2.2.4.2. Humedad relativa**

Requiere de una humedad ambiental relativamente alta, aún durante la época de secas. La humedad ambiental debe ser baja para evitar enfermedades fungosas.

### **2.2.4.3. Suelo**

El aguacate se adapta a una gran gama de suelos, desde arenosos hasta arcillosos, siempre y cuando posean un buen drenaje interno.

Los suelos más recomendados son los de textura ligera, profundos, bien drenados con un PH neutro o ligeramente ácidos (5,5 a 7), pero puede cultivarse en suelos arcillosos o

franco arcillosos siempre que exista un buen drenaje, pues el exceso de humedad propicia un medio adecuado para el desarrollo de enfermedades de la raíz, fisiológicas como la asfixia radical y fúngicas como fitoptora.

#### **2.2.4.4. Pendiente**

La topografía más apropiada es la ondulada, con pendientes inferiores a 30 por ciento. Se debe tener en cuenta que el suelo no debe tener más de 28 por ciento de contenido de arcillas. Cuando se siembra en pendiente hay que procurar hacer un buen terraceo o banqueo antes de establecer el cultivo, buscando asegurarle a la planta una parte plana y así evitar el volcamiento más adelante cuando empiece a cargar el árbol.

### **2.2.5. Manejo Agronómico**

#### **2.2.5.1. Siembra**

El aguacate se puede propagar por semilla o por injerto. La propagación por semilla no es recomendable para plantaciones comerciales debido a la gran variabilidad que ocurre en producción y calidad de fruto.

La propagación por injerto es el método más apropiado para reproducir las variedades seleccionadas para cultivo comercial, ya que los árboles injertados son uniformes en cuanto a la calidad, forma y tamaño de la fruta.

#### **2.2.5.2. Injerto.**

La operación puede realizarse en el vivero o en el sitio definitivo de plantación; sin embargo, lo recomendable es hacerla en el

vivero. El injerto se realiza cuando el tallo de la planta patrón tiene 1 cm. de diámetro (aproximadamente 6 meses después de la siembra) y a 10 cm. de la base. Debe realizarse en un lugar fresco y aireado para lograr una buena unión vascular entre el patrón y el injerto.

El método más difundido para injertar el aguacate es el de unión lateral, aunque también da buenos resultados el injerto de púa terminal; sin embargo, también se practican otros como el injerto de escudete y el de hendidura, pero con menor éxito.

Una vez que el injerto ha pegado, entre los veintidós y treinta días después de realizado, se empieza a eliminar la parte superior del patrón. Esto se va haciendo paulatinamente hasta llegar al injerto. El corte debe ser hecho a bisel y cubierto con una pasta fungicida a base de cobre.

Los arbolitos están listos para el trasplante en la plantación entre los cuatro y seis meses después de que fue injertado.

#### **2.2.5.3. Época de Siembra**

La época más recomendable para siembra en el lugar definitivo, es el inicio de las lluvias para lograr un buen crecimiento inicial de las plantas, sin embargo, es posible realizar la siembra en otra época si se cuenta con riego.

#### **2.2.5.4. Distanciamientos de Siembra.**

Los marcos de plantación vendrán dados por el tipo de suelo y la topografía, la variedad o cultivar (debido al vigor, hábito de crecimiento) y por las condiciones ambientales imperantes. A

menor altura o mayor fertilidad las distancias deben ser mayores. En general, las distancias varían entre 7 m. x 9 m. a 10 m. x 12 m.; el espaciamiento es de 10 m. entre plantas y 10 m. entre hileras, es el más empleado.

#### **2.2.5.5. Poda**

El árbol de aguacate no requiere poda de formación. En los primeros tres años de desarrollo, los árboles de aguacate requieren poca atención en cuando a poda, pero luego se debe procurar mantenerlo bien formado, de manera que las labores culturales y la cosecha se faciliten.

Se deben podar las ramas de crecimiento vertical con altura excesiva, las ramas bajas o pegadas al suelo y los tallos débiles y enfermos.

#### **2.2.5.6. Fertilización**

Para definir la cantidad de abono que puede suministrarse a una plantación de aguacate, debe realizarse un análisis del suelo antes de establecerla aproximadamente cada tres años, además del análisis foliar que es recomendable hacerlo cada año. Estos análisis indicarán si los niveles de nutrientes en el suelo y en la planta son satisfactorios.

Se pueden tomar como base para la fertilización del aguacate las siguientes sugerencias:

Al trasplante: 250 g de un fertilizante rico en fósforo como el de la fórmula 10-30-10.

Por cada año de edad del árbol, un kilo de un fertilizante rico en nitrógeno y potasio como el de la fórmula 18-5-15-6-2, repartido en tres aplicaciones, una a la entrada de las lluvias y las otras dos cada dos meses. La cantidad máxima de fertilizante es de 12 kilos para árboles de 13 años en adelante. Esta cantidad se mantendrá si la producción es constante. Cuando el árbol entra en producción, la fertilización nitrogenada debe incrementarse, ya que en el período comprendido entre el inicio de la floración y la maduración del fruto, el árbol demanda la mayor cantidad de nitrógeno. Se recomienda un kilogramo de urea adicional, a la dosis de la fórmula completa, 40 días después de la floración.

#### **2.2.5.7. Recolección**

Normalmente, la primera cosecha comercial ocurre a los cinco años en árboles injertados y la cantidad de frutos producidos depende de la variedad y la atención que haya recibido la planta en su desarrollo. A los cinco años, generalmente se cosechan cincuenta frutos; a los seis años, ciento cincuenta frutos; a los siete años, trescientos frutos y ochocientos a los ocho años.

El grado óptimo de madurez del fruto para realizar la recolección, es difícil de determinar por la diversidad de variedades y ambientes. La recolección se hace a mano utilizando escalera, se corte el pedúnculo por encima de la inserción con el fruto.

#### **2.2.5.8. Coeficiente biológico del cultivo aguacate ( $K_c$ )**

El coeficiente biológico del cultivo ( $K_c$ ) se define como la relación entre la evapotranspiración real de un cultivo ( $ET$ ), y la evapotranspiración de referencia ( $E_{to}$ ), cuando el suministro de agua atiende plenamente las necesidades del cultivo. El valor de  $K_c$  varía con el cultivo y la etapa de desarrollo de este, y en cierta medida, con la velocidad del viento y la humedad. Para la mayoría de los cultivos el valor de  $K_c$ , aumenta desde el valor reducido en el momento de la nacencia hasta un valor máximo durante el periodo en que el cultivo alcanza su pleno desarrollo y declina a medida que madura el cultivo.

### **2.3. ENERGÍA SOLAR**

#### **2.3.1. Energía solar en el mundo**

La Energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsada por la necesidad de asumir los retos que en materia de generación de energía se presentan.

Este crecimiento se ha producido gracias a los mecanismos de fomento de algunos países, que, como España, han propiciado un gran incremento de la capacidad global de fabricación, distribución e instalación de esta tecnología.

A finales de 2010, la potencia acumulada en el mundo era de aproximadamente 40.000 MWp según datos de la European Photovoltaic Industry Association (EPIA), de los cuales cerca de 29.000 MWp, un 72%, se localiza en la Unión Europea. Para los próximos años

se espera que el continuo crecimiento de la última década a nivel mundial se mantenga.<sup>5</sup>

### **2.3.2. Energía solar en el Perú**

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio Peruano. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 Kw.h/m<sup>2</sup> día en la costa y selva y de 5-6 Kw.h/m<sup>2</sup> día, aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia. El problema es transformar esta energía solar en energía útil y con un costo aceptable.

La energía solar se puede transformar con facilidad en calor: de hecho, cualquier cuerpo, preferentemente de color negro, absorbe la energía solar y la transforma en calor, que puede ser usado para calentar ambientes, calentar agua (termas solares), secar diversos productos, cocinar, etc.

Por otro lado, con los paneles fotovoltaicos, o simplemente llamados “paneles solares”, se puede transformar la energía solar directamente en electricidad. La fabricación de los paneles fotovoltaicos requiere alta tecnología y pocas fábricas en el mundo (en países desarrollados) lo hacen, pero su uso es sumamente simple y apropiado para la

---

<sup>5</sup> Suelo solar, Situación actual de la energía solar fotovoltaica en el mundo según el Plan de Energías Renovables PER 2011-2020. <http://www.suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=6209>



electrificación rural, teniendo como principal dificultad su (todavía) alto costo.<sup>6</sup>

### **2.3.3. Energía solar en Lambayeque**

La energía solar en Lambayeque actualmente se aprovecha en forma individual en algunos hogares aislados, mediante el uso de paneles fotovoltaicos, cuyo uso básico es para el alumbrado domiciliario y alimentación de equipos de radio y televisión.

La Energía Fotovoltaica, convierte directamente la luz que recibimos del sol en electricidad, gracias al efecto fotoeléctrico del silicio que compone los módulos fotovoltaicos.

El "Atlas Solar del Perú" fue desarrollado por la MEM/DEP (ahora DPR) y SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) en junio del 2003. El Atlas fue desarrollado como parte del "Proyecto PER/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú" financiado por el Fondo del Medio Ambiente Mundial (GEF), a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El atlas indica una elevada radiación solar anual en la Sierra de aproximadamente 5.5 a 6.5 Kw.h/m<sup>2</sup>, y 5.0 a 6.0 Kw.h/m<sup>2</sup> en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4.5 a 5.0 Kw.h/m<sup>2</sup>.

De acuerdo a la información obtenida de la NASA (promedio mensual de insolación incidente sobre una superficie horizontal del periodo Julio 1983 -Junio 2005) indica que los valores medios anuales varía de 4.08 a 5.18 Kw/m<sup>2</sup>/día.

---

<sup>6</sup> Universidad Nacional de Ingeniería, Los retos energéticos del Perú, El estado actual del uso de la energía solar en el Perú.  
<http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Energia%20solar%20en%20Peru%20perueconomico.pdf>

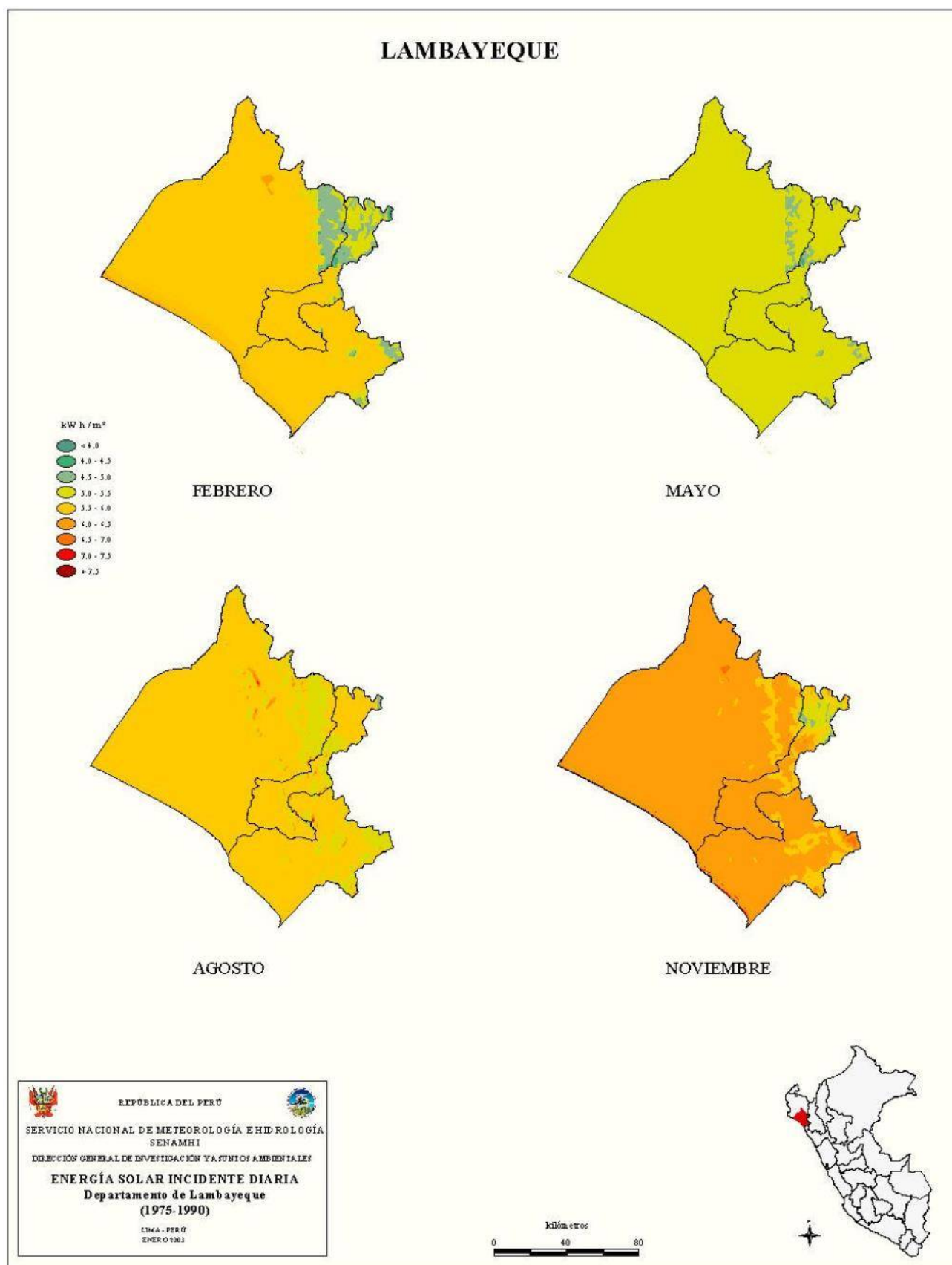


Figura 2: Atlas solar del Perú – Departamento Lambayeque.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Fuente: Atlas de Energía Solar del Perú.

## 2.4. RADIACIÓN SOLAR

Se refiere al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol; el sol se comporta prácticamente como un Cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el  $W/m^2$  (vatio por metro cuadrado).

Es la energía electromagnética (del sol) emitida, transferida o recibida (RISOL, 1 999).

El término radiación se aplica al cuerpo que radia, mientras que el término Irradiación al objeto expuesto a la radiación. Estrictamente, la superficie terrestre es irradiada y los mapas y tablas son de irradiación solar, sin embargo, aún hoy en día suele usarse el término radiación para referirse a la irradiación (Rodríguez y Gonzáles, 1 992).

Las cantidades de radiación se expresan generalmente en términos de irradiancia o irradiación (exposición radiante). A continuación, se presenta una tabla de conversión de unidades de irradiación:

Tabla 1: Cuadro de conversión de unidades utilizadas en solarimetría.

Unidad de origen	Factor de corrección multiplicar por	Unidad de destino
kW h/m <sup>2</sup>	85984194	cal/cm <sup>2</sup>
	3,6	MJ/m <sup>2</sup>
MJ/m <sup>2</sup>	277,777778	W h/m <sup>2</sup>
J/cm <sup>2</sup>	2,777778	W h/m <sup>2</sup>
	0,238845	cal/cm <sup>2</sup>
kJ/m <sup>2</sup>	0,023884 5	cal/cm <sup>2</sup>
J/m <sup>2</sup>	0,000277778	W h/m <sup>2</sup>
Ly = cal/cm <sup>2</sup>	11622447	W h/m <sup>2</sup>
	0,041868 2	MJ/m <sup>2</sup>

Fuente: Atlas de Energía Solar del Perú

#### 2.4.1. Tipos de radiación

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación:

**Radiación directa:** Es la radiación que llega a la superficie de la tierra en forma de rayos provenientes del sol sin cambios de dirección (Sánchez et al., 1 993).

**Radiación difusa:** Radiación que proviene de otras direcciones (distintas a las del disco solar) debido a la reflexión y dispersión que producen en la radiación solar, la atmósfera y las nubes (Hernández et al., 1 991).

Radiación solar procedente de toda la bóveda celeste. Está originada por la dispersión de la radiación en la atmósfera (RISOL, 1 999).

**Radiación reflejada:** Fracción de la irradiación solar (directa y difusa) que es reflejada por la superficie terrestre (RISOL, 1 999).

**Radiación global:** Es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones.

La presencia de superficies reflectantes, las superficies claras son más reflectantes, de allí que la radiación reflejada sea mayor en invierno por efecto de la nieve, que en verano (absorción del terreno).

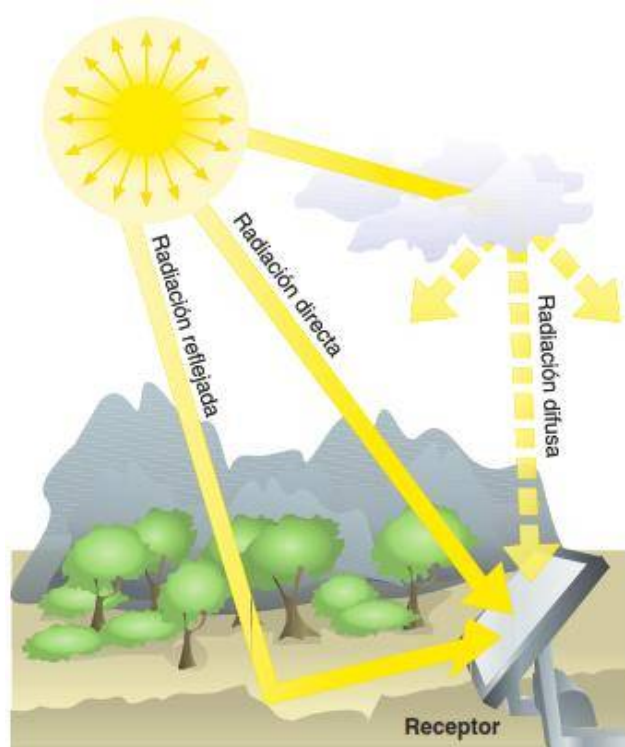


Figura 3: Tipos de radiación solar sobre una superficie.<sup>8</sup>

#### 2.4.2. Medición de radiación Solar

Los medidores de radiación solar le ayudan a la hora de seleccionar la ubicación o de comprobar módulos fotovoltaicos. Existen varios Instrumentos para medir los parámetros.

---

<sup>8</sup> Energía Solar Fotovoltaica, Grupo NAP, Madrid 2002

**Medida de radiación directa:** Se realiza con un instrumento denominado pirheliómetro. Mide la radiación solar, en función de la concentración de un punto de luz. Utilizan generalmente termopilas como detectores. Se emplean para un registro continuo de la radiación solar.

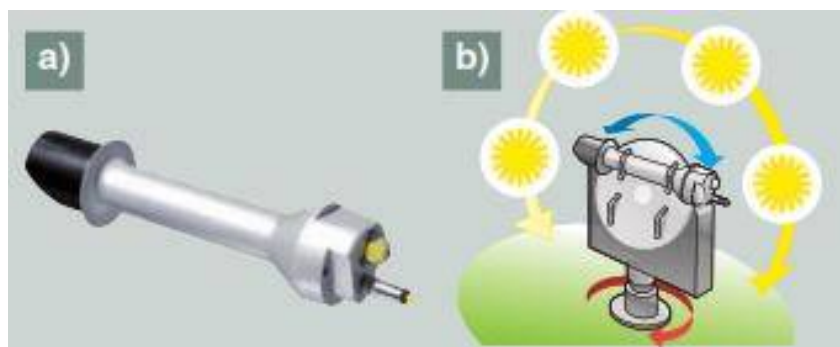


Figura 4: a) Pirheliómetro, b) Pirheliómetro montado en seguidor.<sup>9</sup>

**Medición de la radiación difusa:** Para medir la radiación difusa (o la radiación solar procedente de la dispersión de los rayos por los constituyentes atmosféricos) también se puede emplear lo piranómetros. Para eliminar que la componente directa de la radiación incida sobre el sensor, se instala un sistema que consiste en una banda o un disco parasol que evita la radiación solar directa del mismo.



Figura 5: Piranómetro con banda de sombra.<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Energía Solar Fotovoltaica, Grupo NAP, Madrid 2002

<sup>10</sup>Fuente:<http://www.profesaulosuna.com/data/files/energia%20renovables/instr%20er/unidad%20ii%20er.pdf>

**Medida de la radiación global:** Para este caso se emplea el piranómetro, también llamado solarímetro y actinómetro, es un instrumento con el que se mide la radiación solar global (difusa y directa), que se recibe en todas las direcciones, pero que usualmente se usa para medir la que se recibe sobre una superficie horizontal. Es un instrumento sencillo que no requiere la incorporación de mecanismos de seguimiento solar.



Figura 6: Albedómetro.<sup>11</sup>

#### 2.4.3. Horas de Sol Pico (HSP)

Las horas de sol pico es el número de horas por día cuando la insolación arroja los 1000 Watt en un área de (01) un m<sup>2</sup> en un día. Se puede notar que cuando la Irradiancia se expresa en Kw.h/m<sup>2</sup> 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 7.

---

<sup>11</sup> Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Piran%C3%B3metro>

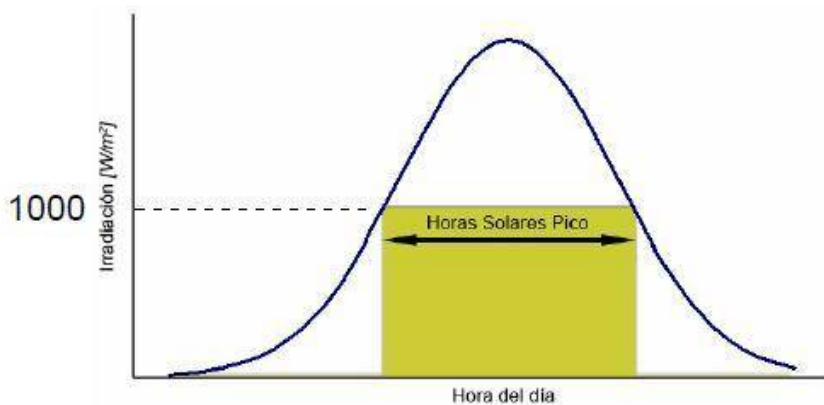


Figura 7: Curva característica de la H.S.P.<sup>12</sup>

## 2.5. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los Sistemas Fotovoltaicos (SFV) transforman la radiación solar en energía eléctrica permitiendo abastecer una amplia variedad de consumos.

El Instituto para la Diversidad y Ahorro de la Energía, define a los Sistemas Fotovoltaicos como un conjunto de elementos capaces de suministrar electricidad para cubrir las necesidades planteadas, a partir de la energía solar. Sostiene también que un Sistema Fotovoltaico (SFV), consiste en la integración de varios componentes que, con una o más funciones específicas, pueden suplir la demanda eléctrica impuesta por la carga, usando como combustible la energía solar.

La capacidad de generación de un SFV depende de su tamaño y del recurso solar disponible en el lugar de su instalación. Los SFV se diseñan de tal manera que la energía que deben generar debe ser equivalente a la requerida por los consumos conectados. En la mayoría de los casos el cálculo debe realizarse para el mes de peor nivel de insolación (invierno).

<sup>12</sup> Fuente: "Selección de sistemas fotovoltaicos". Autor: Miguel Ángel Hadzich Marín.



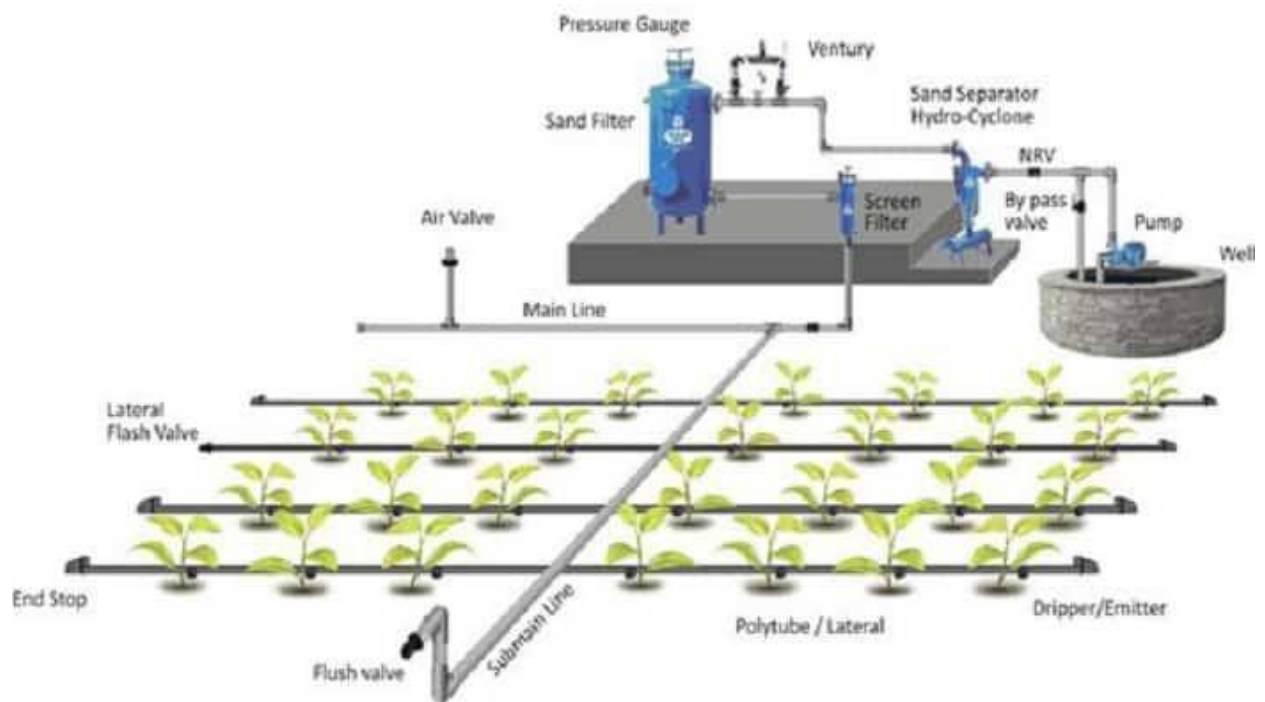


Figura 8: Sistema fotovoltaico básico para riego.<sup>13</sup>

### 2.5.1. Componentes de un sistema fotovoltaico

Los componentes de un sistema fotovoltaico aislado son:

#### 2.5.1.1. Generador fotovoltaico o campo de paneles

Es el elemento captador de energía, que recoge la radiación solar y la transforma en energía eléctrica. Está formado por un conjunto de paneles o módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o paralelo, que deben proporcionar la energía necesaria para el consumo.

##### a) Tipos de celdas

Una célula solar también llamada celda fotovoltaica es un dispositivo capaz de convertir la energía proveniente de la radiación

<sup>13</sup> <http://agronomaster.com/sistema-de-riego-por-goteo/>

solar en energía eléctrica. La palabra fotovoltaica se compone de dos términos: Foto= Luz, Voltaica= Electricidad.

Existen tres tipos de celdas; dependiendo su diferenciación según el método de fabricación:

**Las de silicio monocristalino:** Son celdas densamente cristalinas que se obtienen a partir de barras cilíndricas de silicio Monocristalino producidas en hornos especiales. Las celdas se obtienen por cortado de las barras en forma de obleas cuadradas delgadas (0,4- 0,5 mm de espesor). Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es superior al 12%.

**Las de silicio policristalino:** Son celdas densamente cristalinas que se obtienen a partir de bloques de silicio obtenidos por fusión de trozos de silicio puro en moldes especiales. En los moldes, el silicio se enfría lentamente, solidificándose. En este proceso, los átomos no se organizan en un único cristal.

Se forma una estructura policristalina con superficies de separación entre los cristales. Estas celdas son menos caras para fabricar y menos eficientes que las celdas simples de cristal de silicio. Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es algo menor a las de silicio Monocristalino.

#### **b) Curvas características de las celdas fotovoltaicas**

En ellas se podrá observar el comportamiento tanto del voltaje como la corriente en un panel fotovoltaico.

**Curva de corriente vs tensión (curva I-V):** La representación típica de la característica de salida de un dispositivo fotovoltaico

(celda, módulo, sistema) se denomina curva corriente tensión. La corriente de salida se mantiene prácticamente constante dentro del rango de tensión de operación y, por lo tanto el dispositivo se puede considerar como una fuente de corriente constante en este rango. Ambos parámetros de operación (I, V), están determinados por la radiación solar incidente, por la temperatura ambiente, y por las características de la carga conectadas al mismo. La siguiente ecuación representa todos los pares de valores (I/V) en que puede trabajar una célula fotovoltaica.

$$I = I_{CC} \left[ 1 - e^{\frac{-e(V_{CA}-V)}{mKT}} \right] \dots\dots(1)$$

Dónde:

$I_{CC}$ : es la corriente de cortocircuito.

$V_{CA}$ : es la tensión de circuito abierto.

V: es la tensión de operación del panel.

e: es la carga del electrón.

m: es un parámetro constructivo de la célula, normalmente=1

K: es la constante de Boltzman.

T: temperatura en K.

La característica I-V de una célula tendrá la siguiente forma:

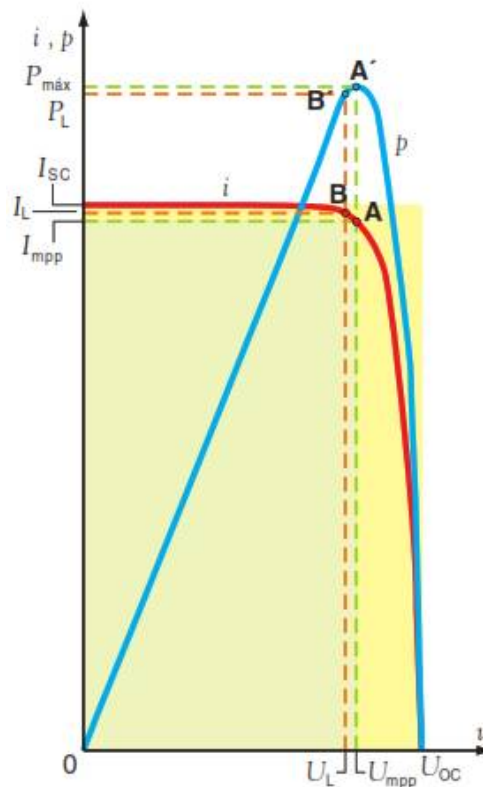


Figura 9: Curva característica I-V y P-V de una célula.<sup>14</sup>

Donde, los valores trascendentes de esta curva son:

**La corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ):** Es la máxima corriente que puede entregar un dispositivo bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura correspondiendo a tensión nula y consecuentemente a potencia nula.

**Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ):** Es la máxima tensión que puede entregar un dispositivo bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura correspondiendo a circulación de corriente nula y consecuentemente a potencia nula.

<sup>14</sup> Fuente: [http://www.catalogosolar.mx/centro-de-informacion/informacion-solar-basica/19 curso-breve/21-4-curva-de-corriente-vs-tension-curva-i-v](http://www.catalogosolar.mx/centro-de-informacion/informacion-solar-basica/19%20curso-breve/21-4-curva-de-corriente-vs-tension-curva-i-v)

**Potencia Pico ( $P_{mp}$ ):** Es el máximo valor de potencia que puede entregar el dispositivo. Corresponde al punto de la curva en el cual el producto ( $V \cdot I$ ) es máximo.

**Corriente a máxima potencia ( $I_{mp}$ ):** Es la corriente que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura. Se utiliza como corriente nominal del mismo.

**Tensión a máxima potencia ( $V_{mp}$ ):** Es la tensión que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura. Se utiliza como tensión nominal del mismo.

Factores ambientales sobre la característica de salida del dispositivo: La salida de los paneles fotovoltaicos depende en gran medida de los factores ambientales. Por lo que a continuación se estudiará el comportamiento del panel solar ante estos factores.

#### Efecto de la intensidad de radiación solar:

El resultado de un cambio en la intensidad de radiación es una variación en la corriente de salida para cualquier valor de tensión.

La corriente varía con la radiación en forma directamente proporcional. La tensión se mantiene prácticamente constante como lo muestra la figura 10.

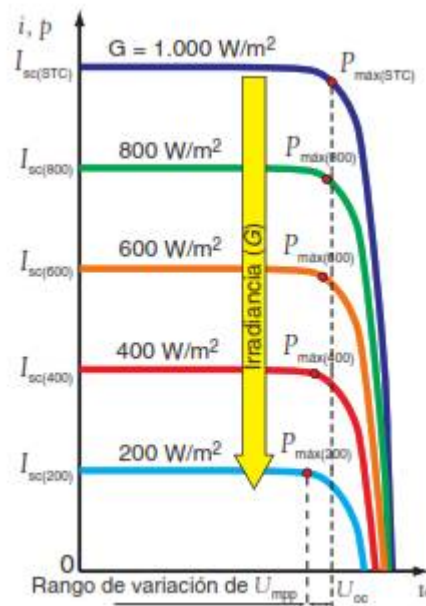


Figura 10: Efecto de la intensidad de la radiación.<sup>15</sup>

#### Efecto de la temperatura:

El principal efecto provocado por el aumento de la temperatura del módulo, es una reducción de la tensión en forma directamente proporcional.

Existe un efecto secundario dado por un pequeño incremento de la corriente para valores bajos de tensión como lo muestra la figura 08. Es por ello que para lugares con temperaturas ambientes muy altas son aptos módulos que poseen mayor cantidad de celdas en serie para que los mismos tengan la suficiente tensión de salida para cargar baterías.

La tensión en el punto de máxima potencia de salida para una celda es de aproximadamente 0,5 volts a pleno sol. La corriente que entrega una celda es proporcional a la superficie de la misma y a

<sup>15</sup> Fuente: <http://www.catalogosolar.mx/centro-de-informacion/informacion-solar-basica/19-curso-breve/21-4-curva-de-corriente-vs-tension-curva-i-v>

la intensidad de la luz. Es por ello que para lograr módulos con corrientes de salida menores se utilizan en su fabricación tercios, cuartos, medios, etc. de celdas.

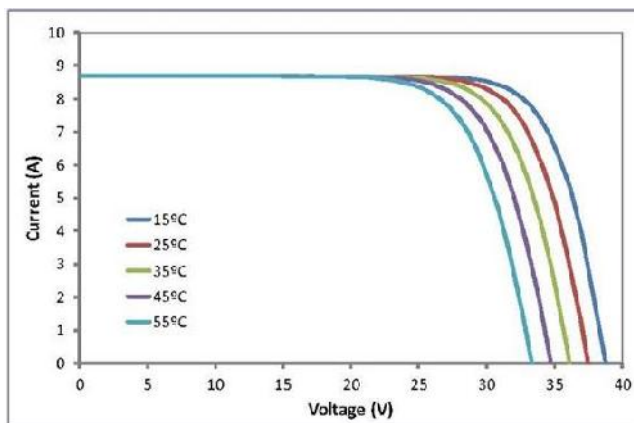


Figura 11: Combinaciones de celdas y curvas resultantes.<sup>16</sup>

### c) Conexión de los Módulos Fotovoltaicos

Puede efectuarse previa a su fijación en la estructura, o bien con estos ya instalados. En cualquier caso, el objetivo principal es preparar eléctricamente el Campo FV, dejando dispuestos los terminales principales: positivos y negativos, que identifican el circuito generador FV principal.

Para evitar errores en la conexión, sobre todo en configuraciones serie - paralelo de módulos (Ver figura 10), se recomienda el uso de planos o esquemas que tengan en cuenta tanto su disposición final como su cableado; este último se debe realizar siguiendo las indicaciones presentes en las cajas de conexiones de los módulos. En campos FV con un número considerable de módulos, las cajas de conexiones se utilizan para el conexionado en serie; el cableado

<sup>16</sup> Fuente: <http://www.catalogosolar.mx/centro-de-informacion/informacion-solar-basica/19-curso-breve/21-4-curva-de-corriente-vs-tension-curva-i-v>

en paralelo de las filas de módulos en serie (usualmente formando paneles), se realiza en una caja de conexiones principal (distinta a la de cualquier modulo).

La utilización de la caja de conexión principal facilita el mantenimiento, ya que se debe ubicar en algún lugar de fácil acceso; en estas cajas se incorporan usualmente: los diodos de bloqueo, los descargadores de tensión, los fusibles, entre otros.

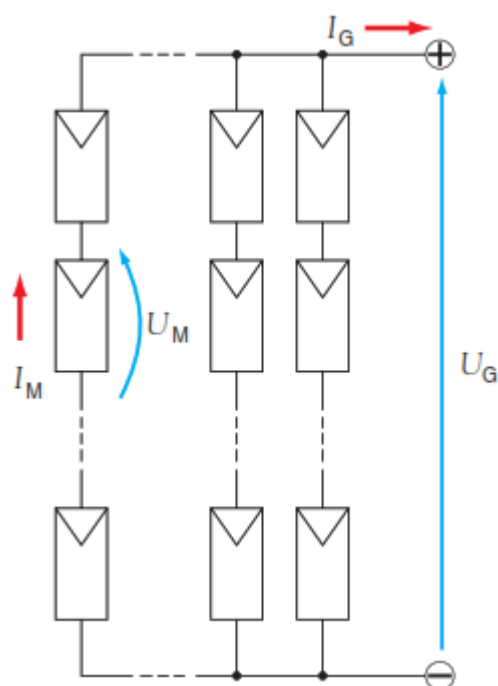


Figura 12: Conexión de módulos Serie – Paralelo.<sup>17</sup>

#### d) Estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos

El óptimo aprovechamiento de la Energía Solar, requiere que los elementos captadores (módulos fotovoltaicos), dispongan de la inclinación y la orientación adecuada, como se observa en la Figura 13. Aun lado a lo anterior, las superficies ocupadas por el número de módulos necesarios dificulta su integración a edificaciones

<sup>17</sup> Fuente: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>



existentes, considerando los efectos perjudiciales que el sombreado (incluso parcial) de los módulos ejerce sobre la generación, haciendo necesaria la inclusión de una estructura de soporte.



Figura 13: Soporte metálico para paneles.<sup>18</sup>

#### **2.5.1.2. Controlador de carga**

El controlador o regulador de carga asegura que la batería funcione en condiciones apropiadas, evitando la sobrecarga y sobre descarga de la misma, fenómenos ambos muy perjudiciales para la vida de la batería.

##### **a) Tipos de controladores**

En toda instalación fotovoltaica aislada existen dos tipos de reguladores de carga solares: los PWM y los MPPT. Ambos se encargan de lo mismo, controlar el flujo de energía entre el campo fotovoltaico y las baterías.

**Controlador (o regulador) PWM:** Un regulador PWM (Modulación por anchura de pulsos) sólo dispone en su interior de un Diodo, por

---

<sup>18</sup> Fuente: Propia del investigador

tanto el campo fotovoltaico funciona a la misma tensión que las baterías. La energía a un lado y al otro del regulador es la misma, con los valores de tensión y corriente iguales también.

Esto hace que los módulos no trabajen en su punto de máxima potencia, sino en el que impone la batería según su estado de carga, produciendo una pérdida de potencia, que puede llegar hasta el 25 - 30%.

El regulador PWM es capaz de llenar por completo la batería gracias a que introduce la carga de forma gradual, a pulsos de tensión, en la fase de flotación, fase de llenado último de la batería. Así, la corriente se va introduciendo poco a poco hasta que la batería se llena de manera óptima y estable.

**Controlador (o regulador) MPPT:** Un regulador MPPT o maximizador solar dispone, además del diodo de protección, de un convertidor de tensión CC-CC y de un seguidor del punto de máxima potencia. Esto le permite dos cosas:

El convertidor de tensión CC-CC (de alta tensión en el campo fotovoltaico a baja tensión en las baterías) permite trabajar a tensiones diferentes en el campo fotovoltaico y en las baterías.

El seguidor del punto de máxima potencia (MPPT por sus siglas en inglés) adapta la tensión de funcionamiento en el campo fotovoltaico a la que proporcione la máxima potencia.

Por tanto, en un regulador MPPT la energía que entra y sale del regulador es la misma, al igual que en los reguladores PWM, pero la tensión y la corriente son diferentes a un lado y a otro. Con ello

se consigue aumentar la tensión del panel solar y aumentar la producción solar en hasta un 30% respecto a los reguladores PWM, aunque también son más caros los MPPT.



Figura 14: Controlador de carga Victron PWM y MPPT.

### b) Características del Controlador de carga

Para definir o caracterizar completamente un Regulador se deben especificar:

**Tensión Nominal:** el valor más común es 12 V, aunque existen modelos que permiten su selección manual o automática en un rango habitual entre 12 y 48 V.

**Intensidad Nominal:** define a la corriente procedente del Campo FV que puede manejar el Regulador.

#### 2.5.1.3. Baterías

La batería es el elemento que almacena la energía durante las horas en la que hay radiación solar para entregarla durante la noche o en días nublados. Además, es un dispositivo capaz de transformar energía potencial química en energía eléctrica. El tamaño del banco de baterías depende de la distribución de días claros y nublados correspondientes al lugar de la instalación,

siendo su capacidad aproximada igual a un valor entre 4 y 8 veces el consumo diario.



Figura 15: Gama de Baterías de aplicación Solar.

La incorporación de Baterías en un sistema FV permite:

Dotar al sistema de una fuente eléctrica independiente de las condiciones de Radiación Solar existente; así como también dar autonomía al servicio eléctrico durante los periodos de inactividad de los módulos, mediante el uso de la energía almacenada.

Fijar una tensión de referencia, para establecer en los módulos un punto de trabajo óptimo, y estabilizar su valor para los elementos de consumo.

#### **a) Características de la Batería**

Los parámetros que caracterizan a las baterías, son:

**Capacidad:** Se expresa en Amperios por hora (Ah). Determina la cantidad de energía eléctrica que se puede suministrar bajo determinadas condiciones. El rango comercial oscila entre 50 y 4000A.h.

**Tensión:** La Batería se considera como una fuente de C.C. Los valores comerciales se encuentran en el rango de 2 a 12 V, siendo el último valor el más usado.

**Estado de carga:** Relación porcentual entre la capacidad disponible y la total.

**Profundidad de descarga:** Relación porcentual entre la capacidad útil y la total.

**Ciclaje:** Los procesos cíclicos de carga y descarga de la Batería determinan su vida útil. Sin embargo, el fabricante suele especificar el tiempo de vida mediante el número de ciclos de carga – descarga, a los que la Batería estará sometida.

## **b) Tipos de baterías**

Existen diferentes tipos de baterías solares en el mercado. Veamos un poco acerca de las baterías para aplicaciones en energías renovables:

### **Baterías Líquidas**

Este tipo de batería tiene una capacidad de almacenamiento mayor. Se les llama baterías líquidas porque funcionan a altas temperaturas para que electrolito y electrodos permanezcan en estado líquido, son necesarios alrededor de 500 grados centígrados para propiciar esta situación. Además de ser muy económicas, presentan menos problemas cuando se sobrecargan y tiene mayor durabilidad.

### **Baterías tipo VRLA**

La batería VRLA – Valve Regulated Lead Acid battery, en español ácido-plomo regulada por válvula es otro tipo de batería de plomo recargable. No se encuentran completamente selladas pero contienen una tecnología que recombinan el oxígeno e hidrógeno

que sale de las placas durante la carga y así eliminan la pérdida de agua si no son sobrecargadas, además son de las únicas que pueden transportarse en avión. Estás a su vez se dividen en:

**Baterías de Gel:** Que como su nombre lo indica el ácido que contiene está en forma de gel, lo que impide que se pierda líquido. Otras ventajas de este tipo de batería son; funcionan en cualquier posición, se reduce la corrosión, son resistente a temperaturas bajas y su vida útil es mayor que en las baterías líquidas. Entre algunas de las desventajas de este tipo de batería está que son muy delicadas para cargar y su alto precio.

**Baterías tipo AGM:** En inglés-Absorbed Glass Mat- en español Separador de Vidrio Absorbente, cuentan con una malla de fibra de vidrio entre las placas de la batería, que sirve para contener el electrolito. Este tipo de batería son muy resistentes a bajas temperaturas, su eficiencia es de 95%, puede funcionar a alta corriente y en general tiene una buena relación costo por vida útil.

### **c) Conexión de las baterías**

La conexión entre Baterías, como se indica en la figura 14, obedece a los requerimientos de tensión y capacidad de acumulación particulares de cada instalación (serie, paralelo o mixto).

Se puede considerar que existen dos grupos de Baterías; ambos disponen de bornes aptos para una conexión estándar: el primero tiene un sistema de conexión propio, especialmente diseñado para la Batería, este grupo se caracteriza por la flexibilidad de la conexión; caso contrario del segundo (libre mantenimiento) que

presentan una conexión rígida, en el que tanto la situación de los acumuladores, como la de sus elementos de interconexión, están predefinidos y son únicos (o insustituibles). Una ventaja este grupo es la fiabilidad y facilidad de montaje, ya que es el fabricante quien aporta la solución práctica de la conexión.

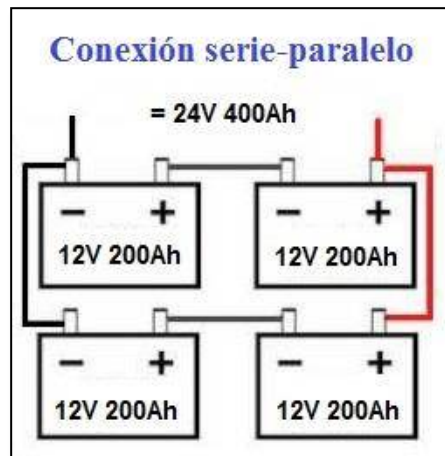


Figura 16: Conexión de las Baterías.

#### 2.5.1.4. Convertidor o Inversor

Es el encargado de convertir la electricidad continua que produce el conjunto paneles-baterías en tensión de alimentación adecuada para la carga. Los de inversores son de continua-alterna (DC/AC).

Los convertidores CC/CA, denominados inversores u onduladores, permiten producir una tensión alterna de frecuencia variable a partir de una fuente de tensión continua.



Figura 17: Inversor de corriente.<sup>19</sup>

#### a) Características del convertidor

**Tensión Nominal:** Tensión que se debe aplicar a los terminales de entrada.

**Potencia Nominal:** Potencia que puede suministrar el Inversor de forma continua, su rango comercial oscila entre los 100 W y los 5 Kw.

**Capacidad de Sobrecarga:** Capacidad del inversor para suministrar una potencia superior a la nominal, y el tiempo que puede mantener esa situación.

**Forma de Onda:** Señal alterna en los terminales de salida, caracterizada principalmente por su forma y, por sus valores de tensión (eficaz) y frecuencia.

**Eficiencia o Rendimiento:** Relación porcentual entre la potencia de salida y la de entrada al Inversor. Su valor depende de las

---

<sup>19</sup> Fuente: <http://www.lidersolar.es/>



condiciones de operación, es decir, de la potencia total de los aparatos alimentados, en relación a su consumo nominal.

Los Inversores modernos para uso FV presentes en el mercado cuentan con protección contra sobrecargas, cortocircuito e inversión de la polaridad; estabilidad de la tensión de salida; arranque automático; Señalización de funcionamiento y estado.

### **b) Clases de inversores según su forma de onda**

Los Inversores de uso FV, se clasifican generalmente según su forma de onda.

**De onda cuadrada:** Características de algunos Inversores económicos, pero normalmente son también los menos eficientes. Producen armónicos que generan interferencias (ruidos). No son aptos para motores de inducción. Si se desea corriente alterna únicamente para alimentar un televisor, un ordenador o un aparato eléctrico pequeño de baja potencia, así como elementos de iluminación.

**De onda senoidal pura:** Este tipo de Inversor proporciona una forma de onda a su salida prácticamente idéntica a la aportada por la red eléctrica, permitiendo así la alimentación de cualquier aparato de consumo o en otro caso la conexión a la red.

**De onda senoidal modificada (Trapezoidal):** Intermedio de los dos anteriores, permite ampliar el espectro de elementos de consumo y de potencia, limitado en el de onda cuadrada modulada.

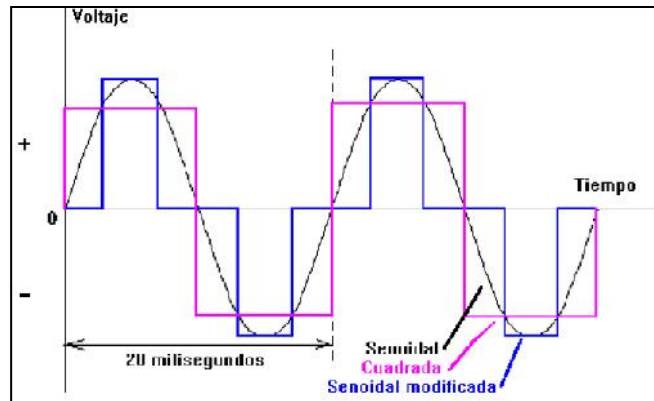


Figura 18: Formas de onda de los Inversores.<sup>20</sup>

### c) Conexión del inversor

La conexión del Inversor es una operación muy sencilla, dado que el fabricante suministra la información requerida, tanto en el aparato como en su manual de instrucciones.

Un Inversor dispone, generalmente, de dos terminales de entrada continua para la conexión de la Batería (o Regulador) o del campo FV (según el tipo de inversor), y dos o tres terminales de salida alterna (fase, neutro, tierra) para la conexión del circuito de consumo en alterna o de la red externa.

Deben dimensionarse según los vatios de Potencia eléctrica que podrá suministrar, durante su funcionamiento normal o de forma continua, o mediante la potencia de arranque.

La eficiencia de los Inversores disminuye cuando se utiliza a un porcentaje bajo de su capacidad; por esta razón no es conveniente sobredimensionarlos, deben ser elegidos con una potencia lo más cercana posible a la de consumo.

<sup>20</sup> Fuente: <http://www.solener.com/pregunta.html>

### 2.5.1.5. Componentes auxiliares

Incluye al cableado, y a los sistemas de desconexión y protección del Sistema.

#### **Cableado de los campos fotovoltaicos**

A diferencia de los sistemas de electrificación convencionales, los FV suelen instalarse de manera imprevista; motivo por el cual el cableado se realiza a la vista, sujeto a muros y paredes (grapados, con bridas o bajo canaletas), o enterrados (bajo tubos).

En este tipo de cableado (aéreo), además de adaptarse a las exigencias de intemperie (humedad y radiación ultravioleta), y al efecto lesivo de gases emanados por Baterías, la instalación debe considerar la estética, evitando tendidos desordenados y poco uniformes (abundantes curvas y direcciones oblicuas).

La identificación de la polaridad de los conductores y el terminal al que han de conectarse, es otro aspectos de especial atención; la técnica mayormente implementada para tal fin, consiste en el empleo de cables de diversos colores, y el marcado de sus terminaciones con cintas de distintos colores (principalmente en las grandes sesiones fabricadas generalmente en color negro).

Tabla 2: Colores de conductores en Instalaciones FV.

<b>Polaridad</b>	<b>Color</b>
Positivo	Rojo o marrón
Negativo	Negro, azul o blanco

Fuente: Delta Volt

### **2.5.2. Condiciones de instalación de módulos solares**

La disposición de los módulos fotovoltaicos, definido por su orientación e inclinación, repercute de manera decisiva en su rendimiento. Lo ideal es emplear módulos con seguidor que permiten en todo momento orientar los paneles fotovoltaicos hacia el sol lo que garantiza el máximo uso de la radiación solar. Se estima en un 40% el incremento de la potencia entregada por aquellos módulos que emplean un sistema de seguimiento respecto a los paneles instalados fijos.

#### **a) Orientación**

La orientación de los paneles solares será tal que éstos se dispongan siempre "mirando" hacia el ecuador terrestre. Esto supone orientación sur para aquellas instalaciones situadas en el hemisferio norte terrestre, y orientadas hacia el norte para las instalaciones situadas en el hemisferio sur. No obstante, son admisibles unas desviaciones de hasta  $\pm 20^\circ$  respecto del ecuador del observador sin que se produzcan grandes pérdidas de rendimiento.

#### **b) Inclinación**

Muchos de los módulos fotovoltaicos están inclinados para colectar mayor radiación solar. La cantidad óptima de energía se colecta cuando el módulo está inclinado en el mismo ángulo que el ángulo de latitud, la orientación de un generador fotovoltaico se define mediante coordenadas angulares, similares a las utilizadas para definir la posición del sol.

**Angulo acimut ( $\alpha$ ):** Ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del generador y la dirección

sur. Vale 0° si coincide con la orientación Sur, es positivo hacia el oeste y negativo hacia el este. Si coincide con el Este su valor es -90° y si coincide con el oeste su valor es 90°.

**Angulo de inclinación ( $\beta$ ):** Ángulo que forma la superficie del panel fotovoltaico con el plano horizontal. Su valor es 0° si el módulo se coloca horizontal y 90° si se coloca el panel en forma vertical.

Una superficie recibe la mayor cantidad posible de energía si es perpendicular a la dirección del sol. Como la posición del sol varia al transcurso del día, la posición óptima de la superficie tendrá que estar dirigida hacia el sur en el caso del hemisferio Norte y hacia el norte en caso de ubicaciones en el hemisferio Sur.

Cabe señalar que en cualquier caso es más recomendable una inclinación mayor de 10°, para que el agua de la lluvia pueda circular adecuadamente sobre el panel además de la no retención de polvo.

Los módulos deben estar inclinados en la dirección correcta, esto significa que algunas veces has circunstancias locales que impiden la correcta colocación de los módulos.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|\Phi| \dots\dots(02)$$

Donde:

$\beta_{opt}$  = Ángulo de inclinación óptima (grados)

$|\Phi|$  = Latitud del lugar, sin signo (grados)

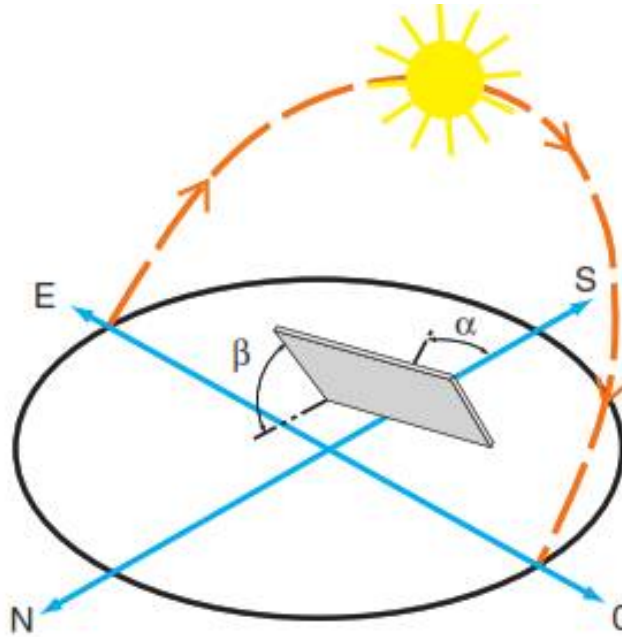


Figura 19: Inclinación y orientación de un panel solar en el hemisferio norte, para el hemisferio sur la orientación será hacia el norte.<sup>21</sup>

### 2.5.3. Ventajas y desventajas

#### Ventajas

La energía solar presenta varias ventajas, entre las cuales se pueden destacar las siguientes:

- a) No consume combustible, pues obtiene su energía del Sol, lo cual significa que, económicamente, en el largo plazo estos sistemas son más viables y estables.
- b) Impacto ambiental prácticamente nulo, favorable por ser limpio y no producir contaminación
- c) Los sistemas fotovoltaicos no producen ningún sonido molesto, por lo que no ocasionan ningún tipo de contaminación sonora.

<sup>21</sup> Energía Solar Fotovoltaica, Grupo NAP, Madrid 2002

- d) Los sistemas tienen una vida útil larga (más de 20 años) y cuyo recurso solar es inagotable.
- e) El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es sencillo y tiene costos muy bajos.

### **Desventajas**

Como toda fuente de energía, la solar tiene sus desventajas también:

- a) Las cantidades de potencia y energía que se pueden obtener de un sistema fotovoltaico están limitadas por la capacidad de generación y almacenamiento.
- b) Los costos de instalación son altos, requiere de una gran inversión inicial.
- c) Los sistemas fotovoltaicos no producen humo; sin embargo, durante el proceso de carga las baterías liberan al ambiente hidrógeno en cantidades moderadas.
- d) La disponibilidad de energía es variable y depende de las condiciones atmosféricas.

## **2.5.4. Aplicaciones autónomas**

Producen electricidad sin ningún tipo de conexión con la red eléctrica, a fin de dotar con este tipo de energía al lugar donde se encuentran ubicados. Pueden distinguirse en:

### **2.5.4.1. Aplicaciones terrestres**

Telecomunicaciones: En las comunicaciones ya que los sistemas fotovoltaicos son una excelente solución cuando hay necesidad de transmitir cualquier tipo de señal o información desde un lugar aislado, por ejemplo; Telefonía rural, radio, televisión. Etc.



Figura 20: Antenas de comunicación con panel solar.<sup>22</sup>

**Electrificación en zonas rurales:** Donde llevar energía eléctrica por medio de la red general sería demasiado costosa y por lo tanto no cuentan con este servicio. En este caso, la instalación de un generador fotovoltaico es ampliamente rentable.



Figura 21: Electrificación de viviendas.<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Fuente: [http://www.it46.se/courses/solar/materials/es/IT46\\_es\\_energia\\_solar\\_introduccion.pdf](http://www.it46.se/courses/solar/materials/es/IT46_es_energia_solar_introduccion.pdf)

<sup>23</sup> Fuente: Propia de la investigación del autor



**Señalización:** Se aplica, por ejemplo, a señales de tráfico luminosas, formadas por diodos LED, alimentados por un panel solar y una batería.

En ayudar a la navegación como alimentar eléctricamente faros, boyas, balizas, plataformas y embarcaciones.



Figura 22: Señalización de vías con energía solar.<sup>24</sup>

**Bombeo de agua:** En la agricultura y ganadería se está teniendo una atención muy especial en estos sectores, la aplicación más importante es el bombeo de agua para riego agrícola en zonas aisladas.



Figura 23: Electrobombas con paneles solares.<sup>25</sup>

<sup>24</sup> Fuente: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia54/HTML/Articulo10.htm>

<sup>25</sup> Fuente: Propia de la investigación del autor

## 2.6. BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO

### 2.6.1. Configuraciones Típicas de Sistema de Bombeo Fotovoltaico

Según la tecnología de los productos que tengamos en el mercado y las necesidades y especificaciones concretas para cada aplicación, podemos encontrarnos con diferentes configuraciones a la hora de acoplar cada uno de los componentes de un sistema de energía solar fotovoltaica.

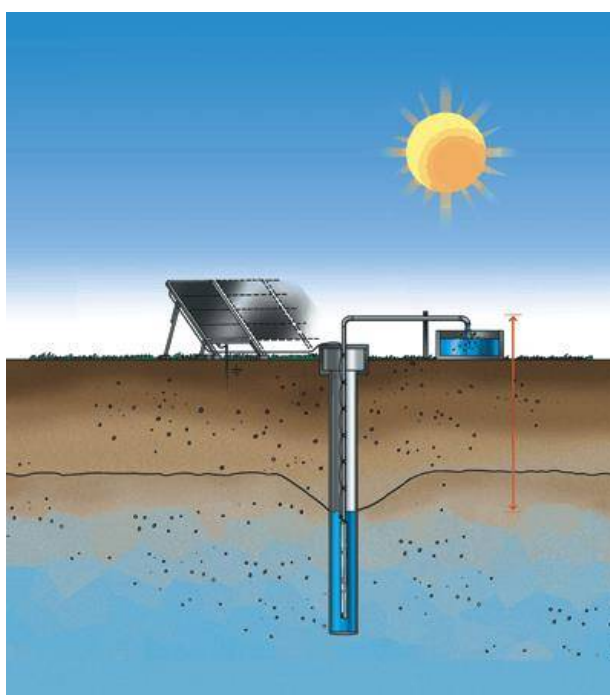


Figura 24: Sistema de Bombeo Fotovoltaico.<sup>26</sup>

Las cuatro configuraciones más utilizadas en la actualidad son:

1. Grupo motor-bomba sumergible: el motor puede ser c.a o c.c y la bomba es centrífuga multiestado, siendo el número de estados en función de la altura de bombeo requerida.
2. Grupo motor-bomba sumergible: la bomba es de desplazamiento positivo.

---






<sup>26</sup> Fuente: Grundfos Cía.

3. Grupo motor-bomba flotante con motor c.c y bomba centrífuga.
4. Grupo motor-bomba instalado en la superficie: la bomba podrá ser centrífuga o de desplazamiento positivo.

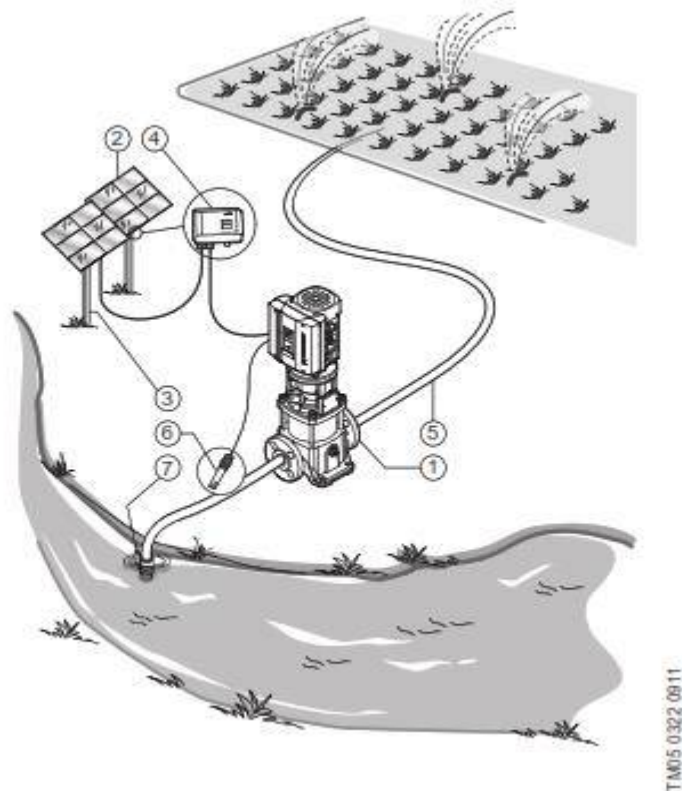
Cuando el bombeo se realice con motores a.c, se necesita incluir un inversor. Si utilizamos bombas de desplazamiento positivo con motores c.c necesitamos utilizar un convertidor c.c/c.c para acoplarlas al generador, mientras que con bombas centrífugas no es necesario este componente.

#### **2.6.1.1. Bombeo con Motores cc**

Las componentes principales del sistema en este caso serán:

-  Generador fotovoltaico.
-  Convertidor c.c / c.c. Este componente es opcional.
-  Motor de corriente continua.
-  Bomba.
-  Depósito de almacenamiento. Al igual que el convertidor c.c/c.c también es opcional.

Actualmente solo se utilizan motores c.c en instalaciones de superficie, ya que de esta forma se facilita el manteniendo, puesto que las escobillas del motor deben cambiarse cada 2.000 – 4.000 horas de funcionamiento debido al desgaste que sufren.



Pos.	Description
1	CRFlex pump
2	Solar panels
3	Support structure
4	IO 50 switch box
5	Water pipe
6	Dry-running sensor (optional)
7	Foot valve

Figura 25: Sistema de Bombeo Fotovoltaico con Motor-Bomba en Superficie.<sup>27</sup>

#### 2.6.1.2. Bombeo con Motores ac

Los componentes básicos de este sistema son:

- ✚ Generador fotovoltaico.
- ✚ Inversor c.c / a.c
- ✚ Motor a.c
- ✚ Bomba.
- ✚ Depósito de almacenamiento. Este componente es opcional.

<sup>27</sup> Fuente: Grundfos CRFlex Technical Guide.

El generador proporciona la corriente continua que luego es transformada por el inversor, c.c / a.c en alterna para poder alimentar el motor.

Los motores de corriente alterna pueden ser utilizados sin ningún problema en pozos. Además, son más simples, robustos, y necesitan menos mantenimiento que los de corriente continua.

### **2.6.2. Dimensionado de un Sistema de Bombeo Fotovoltaico**

Los pasos necesarios para el correcto dimensionado de una instalación de bombeo por energía solar fotovoltaica son tres:

1. Evaluar cuáles son las necesidades de energía hidráulica.
2. Evaluar cuál es la energía solar disponible.
3. Elegir el grupo de motor-bomba necesario.

La metodología descrita, así como el procedimiento detallado de cálculo se muestra en el Capítulo V.

## **2.7. Generalidades del Sistema de Riego**

### **2.7.1. Riego por goteo**

El riego por goteo, igualmente conocido bajo el nombre de «riego gota a gota» es un método de irrigación utilizado en las zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua y abonos.

El agua aplicada por este método de riego se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces a través de un sistema de tuberías y emisores (goteros). Esta técnica es la innovación más importante en agricultura desde la invención de los aspersores en los años 1930.

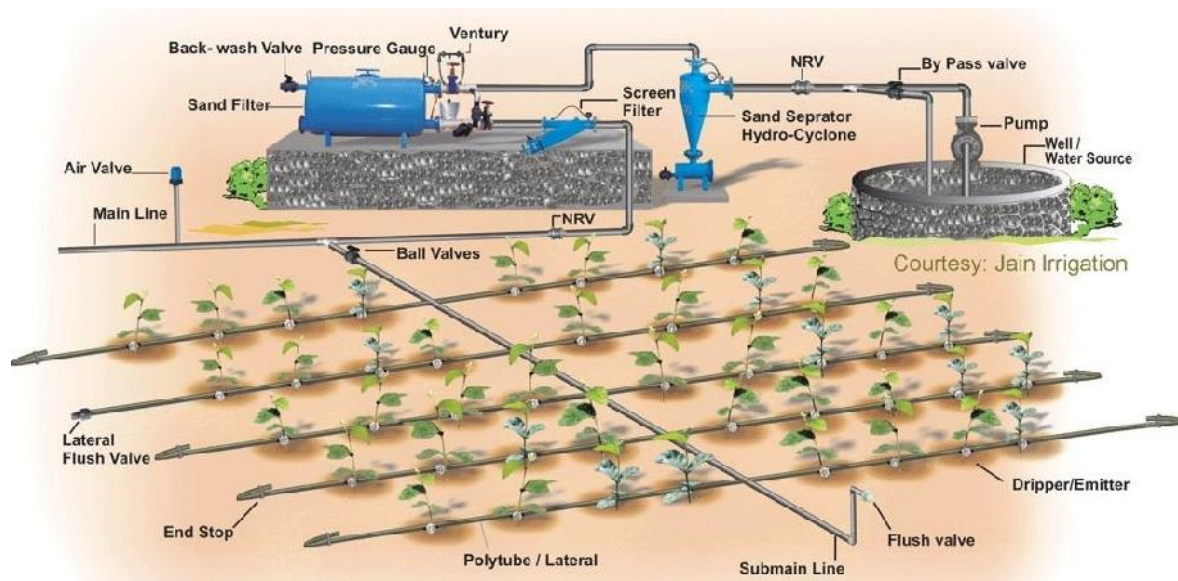


Figura 26: Esquema de sistema de riego por goteo.<sup>28</sup>

#### 2.7.1.1. Eficiencia

La eficiencia del sistema de riego por goteo es la más alta (90%-95%) y la distribución de las aguas es muy uniformada. El régimen de aplicación (intervalos entre riegos y cantidad de agua), puede ajustarse exactamente de acuerdo con las condiciones del suelo y el cultivo.

El sistema de riego por goteo permite regar muy frecuentemente con pequeñas cantidades de agua, de manera que el suelo este permanente húmedo, con buena relación entre agua y aire. Es posible aprovechar las aguas las veinticuatro horas del día, sin supervisión continua de riego.

#### 2.7.1.2. Ventajas

- ✓ Ahorro entre el 40 y el 60% de agua respecto a los sistemas tradicionales de riego.

<sup>28</sup> Arceda M., Hernandez A., "Proyecto de Riego por Goteo Utilizando Energía Solar para Cultivo de Aguacate en la Finca Ojo de Agua en la Localidad de San Francisco Libre", Universidad Nacional de Ingeniería, 2012, Nicaragua.

- ✓ Reducción muy significativa en mano de obra. No sólo en la vigilancia del riego sino, y, sobre todo, por la menor incidencia de las malas hierbas en el cultivo.
- ✓ Economía importante en productos fitosanitarios y abonos.
- ✓ Incremento notable en la producción.
- ✓ Incremento notable en la calidad de los productos.
- ✓ Posible utilización de aguas de baja calidad en otras épocas consideradas inservibles para riego.
- ✓ Adaptación a todo tipo de superficies y desniveles en su relieve natural sin inversión en la nivelación y transporte de tierras.
- ✓ Reducción en el lavado del suelo por acumulación de sales.

#### **2.7.1.3. Inconvenientes**

- ✓ Depauperación del suelo. En zonas muy áridas y con poca posibilidad del lavado del suelo el uso durante años de aguas de mala calidad puede depauperar el suelo hasta límites de devastación total.
- ✓ La obstrucción de los orificios de riego. Como veremos a continuación para evitar que las partículas y sedimentos en suspensión, habituales en las aguas de riego, obstruyan los goteros es imprescindible una instalación compleja y previa a la salida de las mismas lo que hace que el sistema resulte costoso y, por tanto, que debamos plantearnos previamente la rentabilidad del tipo de cultivos a establecer.
- ✓ Un inconveniente a tener en cuenta es que este riego no protege a las plantas sensibles a heladas en zonas habitualmente frías.

- ✓ Complejidad de las instalaciones

## **2.7.2. Componentes necesarios para la instalación del riego por goteo**

### **2.7.2.1. Cabezal de riego**

Es el conjunto que forman el sistema de filtrado y el de abonamiento o fertilización con sus correspondientes válvulas y accesorios. Junto con las tuberías y los goteros forman los elementos fundamentales del sistema.

Todos estos elementos los encontramos en el cabezal de riego.

- ✓ Medidores de presión.
- ✓ contadores volumétricos.
- ✓ Electroválvulas.
- ✓ Válvulas seccionadoras.
- ✓ Válvulas limitadoras de caudal.
- ✓ Válvulas reguladoras de presión.
- ✓ Programadores.

### **2.7.2.2. Equipo de filtración**

Imprescindible para filtrar las aguas que, bien provengan de estanques al aire libre o de pozos y sobre todo de los ríos, nunca garantizan su limpieza. Es más, si el sistema se fundamenta en el racionamiento del agua y su buena y uniforme distribución a través de unos agujeros en las tuberías o unos dispositivos calibrados para efectuar la gota a gota (goteros) es elemental que garanticemos la limpieza de las aguas.

### **2.7.2.3. Sistema de filtrado**

Hay muchos y evidentemente todos tratan de conseguir la limpieza del agua de partículas extrañas entre los cuales están:



### **Filtros de hidrociclón:**

Este filtro permite la retención de partículas con peso específico superior al agua, como la arena, por efecto de la fuerza centrífuga que se ejerce sobre el flujo que penetra en el filtro.

La eficiencia de este tipo de filtros permite retener partículas presentes en el flujo de un tamaño mayor a 74 micras (200 mesh aprox.) y densidad superior a  $1,5 \text{ gr/cm}^3$ .

Consta de un cuerpo superior cilíndrico por donde se sitúan los orificios de entrada y salida del filtro, y otro cuerpo inferior con forma cónica.

La corriente de agua entra en el filtro tangencialmente, lo que provoca que se genere un vórtice, llamado torbellino principal, que va descendiendo por el cuerpo del filtro.

La fuerza tangencial o fuerza centrífuga ligada al vórtice lanza las partículas contra las paredes del filtro, las cuales quedan retenidas y posteriormente por gravedad van descendiendo hasta un depósito inferior donde se van acumulando los sedimentos.

El flujo de agua cuando alcanza el vértice inferior del cuerpo cónico del filtro, genera otro torbellino secundario, esta vez en dirección ascendente, que gira en el mismo sentido que el primario hasta alcanzar el cuerpo cilíndrico superior del filtro, por donde sale por el conducto de salida.

Las pérdidas de carga que se producen en este tipo de filtros son del orden de 3 a 7 m.c.a. dependiendo del caudal de agua que circule por el filtro.

Por otro lado, como las partículas retenidas se van acumulando en un depósito inferior, no interfiriendo en el flujo, la pérdida de carga en este tipo de filtro se mantiene constante, a diferencia de otros tipos donde las pérdidas de carga aumentan conforme crece el volumen de los sedimentos retenidos.

Es recomendable, no obstante, instalar en serie con el hidrociclón un filtro de malla como medida de seguridad, dado que hasta que el hidrociclón no alcanza el régimen de trabajo puede dejar pasar algunas partículas.



Figura 27: Filtro de Hidrociclón.<sup>29</sup>

#### **Filtros de arena:**

Los filtros de arena consisten en tanques metálicos o de poliéster que contienen una capa de arena en su interior de un espesor no inferior a los 50 cm.

<sup>29</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

El agua entra al filtro por la tubuladura superior que se prolonga por el interior del tanque hasta terminar en un deflector que hace que el chorro de agua no incida directamente sobre la capa de arena y la remueva.

La salida del agua ya filtrada se realiza por la tubuladura inferior del tanque. Dicha tubería se prolonga por el interior del tanque en unos colectores perforados y protegidos por una especie de malla que evita que el flujo de agua en su salida arrastre la arena hacia afuera. El tanque dispone de bocas para carga y descarga de la arena, y de un purgador para eliminar el aire que arrastre el flujo.

El tipo de arena más utilizada es la arena silíceo, que ofrece buena resistencia a la rotura del grano de modo que no exista riesgo que se desintegre con el uso, además de ofrecer también una aceptable resistencia al ataque de ácidos.

Por otro lado, las pérdidas de carga que se producen en este tipo de filtros sí dependen del grado de limpieza que presente el material filtrante, en este caso, la capa de arena.

Así, mientras que en un filtro con la arena limpia su pérdida de carga puede estar del orden de 1 a 2 m.c.a., cuando la arena se colmata de sedimentos el valor de la pérdida de carga que sufre el flujo de agua al paso por el filtro puede aumentar hasta los 4 ó 6 m.c.a.

Es por ello, que es necesario realizar una labor de mantenimiento si se utiliza este tipo de filtro, consistente básicamente en realizar un lavado periódico de la arena filtrante.

Esta limpieza se realiza con un contra lavado, es decir, invirtiendo el sentido de circulación del agua, para lo cual, las tubuladuras de entrada y salida deberán disponer de las derivaciones necesarias de modo que pueda llevarse a cabo la circulación en dirección contraria del flujo de agua para la limpieza, además de para poder eliminar el agua sucia procedente del contra lavado.

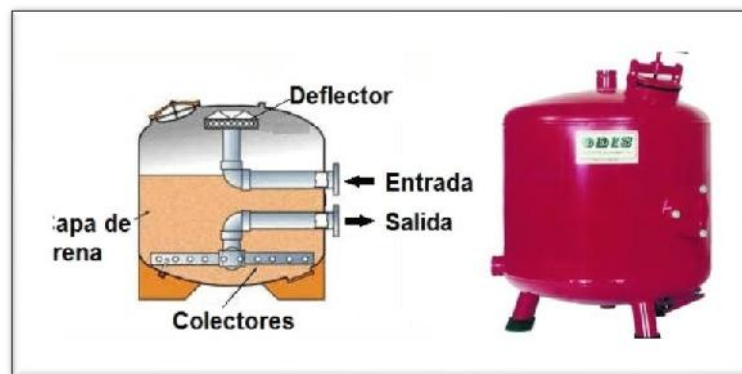


Figura 28: Filtro de Arena.<sup>30</sup>

#### **Filtros de malla:**

Los filtros de malla constan de una carcasa exterior en cuyo interior se sitúan uno o varios cilindros concéntricos de malla, que son los elementos filtrantes.

El entramado de la malla puede ser de nylon, poliéster, pero preferentemente se utilizan mallas de acero inoxidable.

Al funcionar este tipo de filtros por retención superficial de las impurezas, éstas quedan retenidas entre el entramado de la malla, por lo que los filtros de malla llegan a su colmado mucho más rápidamente, que hace que sea necesario realizar una limpieza periódica de estos filtros.

---

<sup>30</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

Por ello, existen filtros de malla con sistema de lavado manual, semiautomático o automático. En aquellos filtros que tienen lavado automático, éste se realiza generalmente con una boquilla que se desplaza por la malla y que succiona los sedimentos depositados en su superficie.

No se recomienda utilizar este tipo de filtro en aguas muy sucias, o que contenga algas en suspensión.

Como norma general, se suelen emplear los filtros de malla como filtro secundario que se sitúan después de hidrociclones (cuando el agua sea subterránea) o de filtros de arena (porque el agua contenga gran cantidad de materias orgánicas, como las aguas superficiales extraídas de embalses y lagos).

En caso de disponer la instalación de riego de un sistema de inyección de fertilizantes (fertirrigación), el filtro de malla se debe situar después del equipo de dosificación para impedir que pase fertilizante no disuelto a través del filtro.

Toda malla filtrante queda caracterizada por el número de aperturas por pulgada lineal, que se denomina número de mesh o número de mallas, que va a definir su capacidad de filtrado.

Decir también que el grosor de los hilos de una malla, para un mismo número de mesh, puede ser distinto, según sea una malla de plástico o con los hilos de acero inoxidable.

En este caso, los hilos de una malla de acero inoxidable son más finos que los de plástico, por lo que el hueco que queda libre en las

mallas de acero son mayores que los orificios de las mallas de plástico.



Figura 29: Filtro de Malla.<sup>31</sup>

#### **Filtros de anilla o disco**

Los filtros de disco, también llamados de anillas, unen las ventajas de los filtros de arena y de malla.

Estos filtros, como los filtros de arena, poseen un bajo volumen de filtrado, con gran rendimiento en la separación de sólidos en suspensión, gracias al gran número de capas filtrantes.

Y, por otro lado, como ocurre en el caso de los filtros de malla, con los filtros de discos se puede seleccionar el calibre de las partículas a retener.

Los filtros de discos están formados por un conjunto de anillas ranuradas que se montan a presión dentro de la carcasa del filtro. El grado de filtrado dependerá del número de ranuras existentes en las anillas.

---

<sup>31</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

Las pérdidas de carga que se producen en este tipo de filtros, si se mantienen limpios, es de 1 a 3 m.c.a. No obstante, este dato debe suministrarlo el fabricante del filtro.

Pero para mantener la pérdida de carga del filtro en el rango anterior, se debe realizar un mínimo de mantenimiento del filtro que garantizará su buen funcionamiento.

La limpieza de estos filtros es muy sencilla, y se realiza con sólo aplicar un chorro de agua a las anillas del interior de la carcasa.



Figura 30: Filtro de Anilla o disco.<sup>32</sup>

#### **2.7.2.4. Goteros**

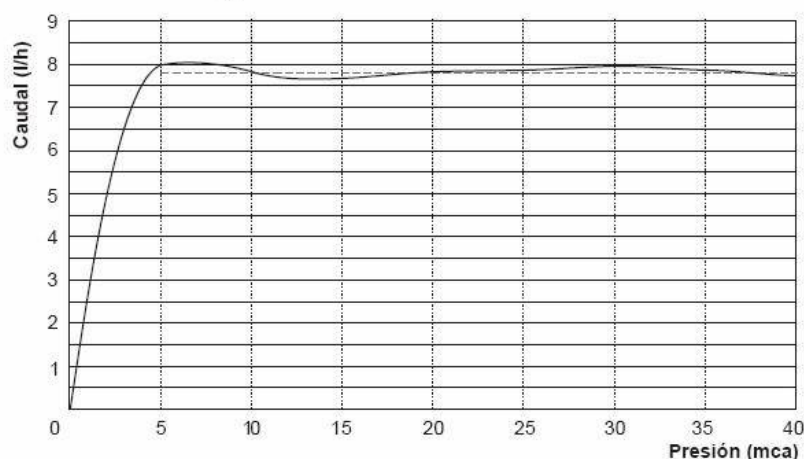
Son los elementos cuya misión no es otra que la de aplicar el agua a las plantas a cultivar. Son también de diversas clases y modalidades, pero todos ellos han de reunir al final las condiciones de regular el caudal adecuadamente y tener el orificio del tamaño adecuado para que se eviten las obstrucciones que constituyen el principal problema de esta

---

<sup>32</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

modalidad de riego. El que nosotros vamos a utilizar en el diseño del sistema es el Mini Inlain con un caudal de 8 lts/hrs.

Tabla de descargas



**Caudal: 8 l/h.**  
**Rango Pres. Autocompensación:**  
**5 -40 mca.**  
**Pres. Cierre Mods. Antidrenantes:**  
**1,5 / 4 mca.**

Logitud recomendada de los laterales sobre terreno llano (m)

SETA 8 L/H. Presión de entrada: 2,5 Kg/cm <sup>2</sup>	Espaciamiento (m)								
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	3,00	5,00	7,00	10,00
Pe 16 (Esp. 1,2 mm.)	41	71	95	117	154	245	341	422	532
Pe 16 (Esp. 1,4 mm.)	39	67	90	110	146	232	323	402	504
Pe 18 (Esp. 1,3 mm.)	54	91	121	148	194	306	425	527	662
Pe 20 (Esp. 1,2 mm.)	72	119	157	190	248	388	538	667	836

Equación	C. Nominal
$Q = 7,84523 \cdot H^{-0,9052}$	7,812 l/h
C.V.	Desv.
2,688 %	0,492 %

Figura 31: Gotero empleado.<sup>33</sup>

### 2.7.2.5. Tuberías

Evidentemente la red de tuberías con sus distintos diámetros, reductores y accesorios son, digamos, como la estructura del riego por goteo. El hecho de que hoy exista el PVC, y otros derivados del petróleo, han facilitado y ayudado a la difusión de este sistema por sus ventajas de transporte, su facilidad en el corte y en el pegado y al mismo tiempo la dureza y resistencia ante los cambios de temperatura han hecho que el fibrocemento se deje sólo para las redes principales de grandes cultivos. De las cuales nosotros utilizaremos para el diseño con tubería de PVC y de polietileno.

<sup>33</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>



#### **a. Tubería de PVC**

Tubería de PVC existe hasta 235 psi y desde ½ hasta 48 pulgadas de diámetro ideales para el transporte de agua potable y sistemas de irrigación para aplicaciones de agricultura y campos de golf. Sistema de unión con campana y anillo conforme a la norma ASTM F477 y ASTM D3139.

#### **b. Tubería de polietileno**

Existen diferentes tipos:

- Polietileno de baja densidad (PE-BD) de densidad igual o inferior a 0,93 gr/cm<sup>3</sup>.
- Polietileno de media densidad (PE-MD) de igual densidad que el de alta.
- Polietileno de alta densidad (PE-AD) de densidad superior a 0,94 gr/cm<sup>3</sup>.

#### **2.7.2.6. Red de distribución**

La red de distribución es la encargada de conducir el agua desde el cabezal a las plantas, y está compuesta por:

- a. Primaria o principal:** transporta el agua desde el cabezal de riego (bomba, filtros e inyector de fertilizante) a la línea de distribución. Normalmente de PVC y de DN mayor a la secundaria.
- En la intersección de la principal con la secundaria se instalan válvulas eléctricas o manuales que permiten la entrada de agua hacia la secundaria y por consiguiente, a los laterales.

- b. Secundaria:** Bajo tierra, encargada de conducir el agua de la tubería principal a los laterales, actuando como cabecera de la línea portadora emisora o lateral. Generalmente de PVC.
- c. Lateral:** es la línea que contienen los emisores. Generalmente de PE y de DN 12, 16 y 20 mm.

#### **2.7.2.7. Válvulas**

Como elemento de regulación y control del flujo de agua, las válvulas se intercalan en la red de conducción, cumpliendo con distintas funcionalidades según el tipo de válvula que se trate.

- a. Válvula de pie:** es el primer elemento de la instalación. Colocada al comienzo de la línea de aspiración de la bomba, abre el paso cuando la bomba comienza a aspirar el agua del fondo del depósito o pozo. Al parar la bomba, la válvula de pie evita que se descargue la tubería de aspiración, que causaría el descebado de la bomba.
- b. Válvula de retención:** si por fallo del suministro eléctrico o por fallo del motor se detiene la bomba de una manera brusca o instantánea, se genera una sobrepresión en el flujo de agua que se transmite en forma de onda de choque a través del fluido dentro de la tubería, denominado Golpe de Ariete, que puede alcanzar varias veces la presión nominal de trabajo.

En caso que esta onda de sobrepresión pueda alcanzar a la bomba de agua podría ocasionar graves daños en ella, por lo que, en la tubería de impulsión, a la salida de la bomba, se suele colocar una válvula de retención para su protección contra golpes de ariete.

La válvula de retención tiene un funcionamiento automático, dejando pasar el agua en un sentido de la tubería y cerrando el paso cuando cesa el flujo, por ejemplo, cuando se detiene la bomba, evitando el flujo en sentido contrario.

Es recomendable en instalaciones de riego con presiones de trabajo elevadas (de más de 20 m.c.a.). La válvula de pie es en sí misma un tipo de válvula de retención.

- c. **Válvula de regulación o llave de paso:** es un tipo de válvula que permite estrangular o interrumpir el paso del agua.
- d. **Válvula de seguridad:** también llamada válvula de alivio de presiones. Es un dispositivo que permite la salida automática de un cierto caudal, con el fin de evitar un aumento excesivo de la presión en la red de conducciones.
- e. **Válvula de descarga o de drenaje:** en los extremos de la instalación se suelen colocar válvulas de drenaje. Este tipo de válvula permite desaguar las tuberías una vez que el riego haya finalizado, con el objeto de evitar que en el interior de la instalación se desarrollen microorganismos o se produzcan precipitados químicos.

También se utilizan para descargar el agua por los extremos durante las fases de lavado de la instalación de riego.

Se recomienda que cada seis meses se realice un lavado de las tuberías bombeando agua y dejando abiertas las válvulas de descarga de los extremos, con objeto de permitir la salida de los sedimentos que se hayan podido acumular en el interior.

Realizar esta labor es muy importante, dado que con ello se ayuda a evitar que se produzcan atascos en los goteros.

**Válvula de pie**



**Válvula de retención**



**Llave de paso**



**Válvula de seguridad o alivio de presiones**



**Válvula de descarga o drenaje**



Figura 32: Válvulas empleadas en riego tecnificado.<sup>34</sup>

<sup>34</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

## **2.8. EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN**

La evaluación de proyectos de inversión tiene como finalidad, analizar la conveniencia o inconveniencia en el uso de recursos destinados a la ejecución de un proyecto, dirigido a la solución de un problema o a la satisfacción de necesidades. Los criterios que se utilicen deben garantizar, la eficiencia financiera, económica, social y ambiental.<sup>35</sup>

### **2.8.1. Inversión**

Las Inversiones del Proyecto, son todos los gastos que se efectúan en unidad de tiempo para la adquisición de determinados factores o medios productivos, los cuales permiten implementar una unidad de producción que a través del tiempo genera flujo de beneficios.

### **2.8.2. Horizonte de evaluación**

Uno de los puntos más importantes en el mundo de la evaluación de proyectos, es la evaluación de viabilidad financiera del mismo, obviamente, porque de esta se deriva en la mayoría de los casos, la decisión de invertir o no invertir en su ejecución.

En este punto, se hace fundamental la determinación de un horizonte de evaluación acorde con las particularidades del mismo, con su vida útil o con el tipo de producto o servicio que se pretende comercializar, o de la actividad que se pretende realizar, lo que nos lleva a deducir que no es posible tener una regla general porque el período de evaluación a considerar en determinado proyecto depende de las características específicas de este.

---

<sup>35</sup> Tito Duarte, Ramón Jiménez y Myriam Ruiz, "Scientia et Technica: Análisis Económico de Proyectos de Inversión." Universidad Tecnológica de Pereira, Agosto de 2007.

### **2.8.3. Tasa de interés**

La tasa de interés es la tasa de retorno que un inversionista debe recibir, por unidad de tiempo determinado, del deudor, a raíz de haber usado su dinero durante ese tiempo.

En términos generales, a nivel individual, la tasa de interés (expresada en porcentajes) representa un balance entre el riesgo y la posible ganancia (oportunidad) de la utilización de una suma de dinero en una situación y tiempo determinado. En este sentido, la tasa de interés es el precio del dinero, el cual se debe pagar/cobrar por tomarlo prestado/cederlo en préstamo en una situación determinada.

### **2.8.4. Flujos de Cajas**

Denominados también flujos de tesorería, flujos de efectivo o simplemente caja. Los flujos de caja de un proyecto constituyen un estado de cuenta que resume las entradas de efectivo y salidas de efectivo a lo largo de la vida útil del proyecto, por lo que permite determinar la rentabilidad de la inversión. Es la diferencia entre los soles cobrados y los pagados, es decir, constituye el flujo neto de efectivo que se espera recibir en el futuro (ingresos menos egresos).

### **2.8.5. Indicadores**

El VAN y el TIR son dos herramientas financieras procedentes de las matemáticas financieras que nos permiten evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo negocio, sino también, como inversiones que podemos hacer en un negocio en marcha, tales como el desarrollo

de un nuevo producto, la adquisición de nueva maquinaria, el ingreso en un nuevo rubro de negocio, etc.

#### 2.8.5.1. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable.

Basta con hallar VAN de un proyecto de inversión para saber si dicho proyecto es viable o no. El VAN también nos permite determinar cuál proyecto es el más rentable entre varias opciones de inversión.

$$VAN = -A + \sum_{s=1}^n \frac{Q_s}{(1+i)^s} \dots\dots (3)$$

Donde:

A: Inversión Inicial

Q<sub>s</sub>: Flujos netos en el periodo “s”

n: Número de años que dura la inversión

i = rentabilidad mínima que le exigimos a la inversión

La rentabilidad del proyecto se determina considerando los siguientes valores del VAN:

**VAN menor a 0:** El proyecto no es rentable. El retorno del proyecto no alcanza a cubrir la tasa de costo de oportunidad.

**VAN mayor a 0:** El proyecto es rentable. El proyecto da un retorno mayor a la tasa de costo de oportunidad.

**VAN igual a 0:** Indiferente. Significa que el proyecto me está rindiendo lo mismo que la tasa de costo de oportunidad.

#### **2.8.5.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La Tasa Interna de Retorno es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, que se lee a mayor TIR, mayor rentabilidad. Por esta razón, se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.

Se define la tasa interna de retorno como aquella que hace que el valor presente neto sea igual a cero.

$$0 = -A + \frac{Q_1}{(1+r)^1} + \frac{Q_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+r)^n} \dots (4)$$

Donde:

A: Inversión Inicial

Q<sub>s</sub>: Flujos netos en el periodo “s”

n: Número de años que dura la inversión

r= TIR

La Inversión se considera efectuable cuando “r” sea mayor que la rentabilidad mínima que le exijamos a la inversión. Y la rechazaríamos cuando fuese inferior.

### **2.9. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA TERMINOLOGÍA EMPLEADA**

Debido a la diversidad de términos técnicos en este presente trabajo de investigación, es necesario comenzar con una lista de las principales definiciones que permitirán comprender mejor los términos técnicos utilizados.



- a) Celda solar o celda fotovoltaica:** Elemento que transforma la luz solar (fotones) en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.
- b) Irradiancia:** Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros medida como una potencia instantánea por unidad de superficie,  $W/m^2$  o unidades equivalentes.
- c) 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  $Wh/m^2$  o, en caso de un día, en  $Wh/m^2.día$  o unidades equivalentes.
- d) Capacidad instalada:** Potencia nominal o de placa de una unidad generadora.
- e) Corriente alterna:** En la corriente alterna (CA o AC, en inglés) los electrones, a partir de su posición fija en el cable (centro), oscilan de un lado al otro de su centro, dentro de un mismo entorno o amplitud, a una frecuencia determinada (número de oscilaciones por segundo).
- f) Corriente continua:** La corriente continua (CC o DC, en inglés) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual va desde el polo negativo de la fuente al polo positivo.
- g) Corriente de corto circuito:** Corriente que se mide en condiciones de corto circuito en los terminales de un módulo.
- h) Corriente de máxima potencia:** Corriente correspondiente al punto de máxima potencia.

- i) Horas de sol pico:** Número equivalente de horas a 1 Kw.h/m<sup>2</sup> de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.
- j) Potencia eléctrica:** Capacidad de los aparatos eléctricos para producir trabajo (la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo). La unidad de medida es el Watt (W), el kilowatt (Kw) o el megawatt (Mw).
- k) Punto de máxima potencia:** Punto de la curva I-V en donde el producto  $I * V$  (potencia) tiene su valor máximo.
- l) Voltaje de circuito abierto:** Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.
- m) Voltaje de máxima potencia:** Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.
- n) Días de autonomía(N):** Son los días en que el sistema puede continuar sus funciones (consumo de energía), sin que exista generación de la fuente primaria. Esto se logra mediante la acumulación de la cantidad de energía necesaria en las baterías.
- o) Watt pico:** Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C y 1.5 de masa de aire).
- p) Carga:** Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia.
- q) Consumo eléctrico:** Número de Watts hora (Wh) o Kilowatts hora (Kw.h) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo es importante describir los criterios de investigación que nos permitió desarrollar y concluir con éxito el proyecto, los cuales son los siguientes.

**a) Investigación Explicativa:** Porque permitió analizar e interpretar su comportamiento para la solución del problema; descubriendo las causas directas del problema central que es la generación de electricidad y su aprovechamiento para el accionamiento de un motor-bomba con el propósito de riego.

**b) Investigación Aplicada:** Porque se hizo uso de los conocimientos y bases teóricas de la ingeniería para dar solución al problema de la falta energía eléctrica en la zona involucrada y su aplicación en riego tecnificado.

**c) Investigación Descriptiva:** Porque solo se pretende describir las características de las variables en estudio (radiación solar y energía fotovoltaica) a través tal y como se presentan en la realidad.

#### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

El presente trabajo de investigación ha sido aplicado a un lugar específico, donde la población involucrada es la misma que la muestra, por lo tanto, no se han desarrollado técnicas de muestreo.

### **3.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

¿Los niveles de radiación solar en el fundo nos permitirán determinar la viabilidad de implementar un sistema de riego tecnificado fotovoltaico autónomo para cubrir las necesidades hídricas para el cultivo de plantas de palta en reemplazo de técnicas de cultivo tradicionales mediante inundación?

### **3.4. VARIABLES- OPERACIONALIZACIÓN**

La definición operacional de las variables es el proceso mediante el cual se establecen los procedimientos empíricos que permiten la obtención de datos de la realidad para verificar las hipótesis y solucionar el problema.

En nuestro caso la variable independiente es la radiación solar, el cual es la principal fuente de energía, y la variable dependiente es el sistema de riego fotovoltaico propuesto a implementar para solucionar el problema de riego del cultivo.

A continuación, se muestra el cuadro de las variables y su operacionalización consideradas en el presente proyecto de investigación.

Tabla 3: Descripción de la variable dependiente e independiente.

VARIABLE	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	INSTRUMENTOS	INDICADORES
Independiente	Niveles de Radiación Solar	Es indispensable para el funcionamiento de nuestro modulo fotovoltaico y el motor-bomba.	✓ Software de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos.	✓ Horas Pico Sol (HPS)
Dependiente	Sistema de bombeo Fotovoltaico	Proporciona energía eléctrica y acciona el motor bomba para riego.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Manual de guía para el dimensionamiento de sistemas autónomos.</li> <li>✓ Metodología determinada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Consumo de energía</li> <li>✓ Cantidad de paneles fotovoltaicos.</li> <li>✓ Máxima Demanda</li> <li>✓ Costo de inversión</li> <li>✓ Indicadores económicos</li> </ul>
Localización	Fundo “Prada”	Ubicado en distrito de Motupe, provincia y departamento de Lambayeque.	Google Earth.	

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.5. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.5.1. Métodos de investigación

- a) **Analítico:** Porque se ha realizado el estudio de un sistema fotovoltaico para determinar las características eléctricas de todos sus componentes para el suministro de energía eléctrica y el recurso hídrico necesarios para producir el producto como es el cultivo de paltas.
- b) **Deductivo:** Utilizamos este método porque se han considerado características generales del uso de energías renovables, para llegar a conocer hechos particulares como es la radiación solar en la zona para la generación de energía eléctrica.
- c) **Comparativo:** Porque ha permitido conocer los hechos de la realidad, estableciendo diferencias entre el sistema convencional de riego mediante inundación y sistema fotovoltaico propuesto.

#### 3.5.2. Técnicas de investigación

- a) **Observación:** Se aplicó la técnica de observación focalizada, que consistió en observar y registrar al detalle las características eléctricas de las cargas existentes; estos datos fueron registrados por el investigador, que posteriormente fueron utilizados para determinar la máxima demanda instalada.
- b) **Fichaje:** Consistió en registrar los datos que se fueron obteniendo en los instrumentos llamados fichas (o formatos), las cuales, debidamente elaboradas y ordenadas contienen la mayor parte de la información que se recopiló en la investigación.

### 3.6. DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Estos instrumentos permitieron recoger y registrar los datos observables de la investigación. Para registrar la información de campo se utilizó un formato (ficha técnica) ya establecido por el autor responsable de la investigación.

Tabla 4: Técnicas e instrumentos en la investigación.

Técnicas	Instrumentos
<b>Observación</b>	Cuaderno de apuntes
<b>Fichaje</b>	Formatos: -F001: Registro de visita técnica. -F002: Registro de equipos y materiales instalados. -F003: Registro de instalación.

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

El análisis estadístico y la interpretación de los datos es una de las etapas más importantes en la investigación, porque aquí es donde se proyecta a las conclusiones.

La información obtenida en el presente trabajo de investigación, como son datos de radiación solar, máxima demanda eléctrica y las necesidades hídricas con el sistema convencional y fotovoltaico, se han organizado en tablas y gráficas de barras utilizando el MS Excel, gracias a ello se ha podido determinar a dar posibles respuestas al problema planteado.

Una medida de tendencia central que se ha utilizado es la media aritmética, la cual permitió expresar en forma resumida los datos de energía eléctrica generada por año con sistema convencional y fotovoltaico.

Cabe resaltar que en este proyecto no se ha realizado un análisis de muestreo para determinar algunas características de la población involucrada, esto se debe a que la población es muy pequeña.

## **CAPITULO IV**

### **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

#### **4.1. PROPUESTA DE ESTUDIO**

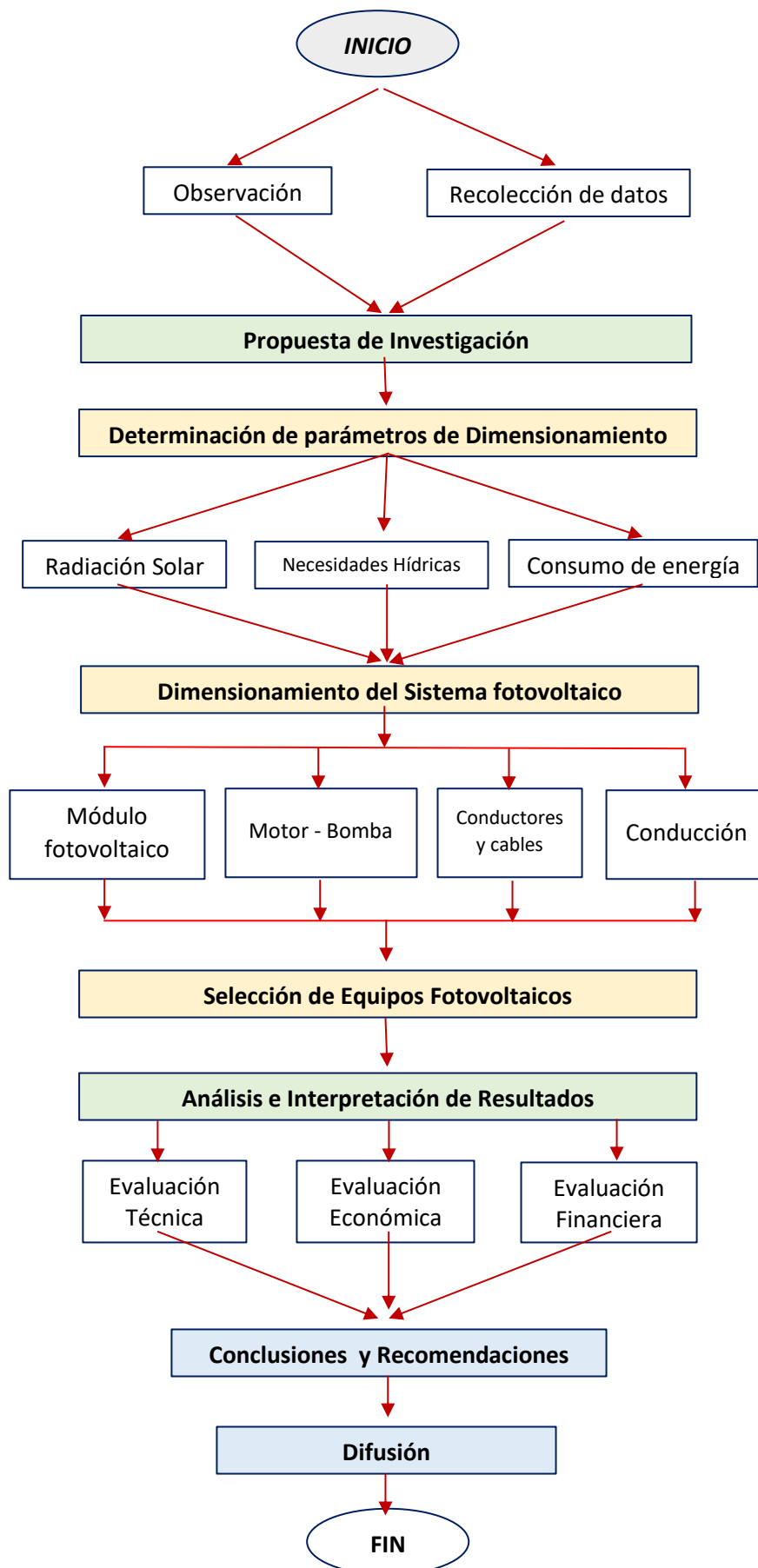
En la actualidad se ha venido promoviendo el uso de energías renovables con la finalidad de dejar atrás las ineficientes formas de generación de energía eléctrica de muchas familias de las zonas rurales de nuestra región y país.

El predio en donde se implementará nuestro sistema de riego está ubicado en el distrito de Motupe, provincia y departamento de Lambayeque; actualmente el riego de dicha plantación se hace con riego por inundación, el cual es un método tradicional de cultivo que se viene aplicando desde los inicios de la agricultura. Se caracterizan por el manejo del agua, sobre el nivel del terreno, a través de melgas (para cultivos densos), surcos (para cultivos en hilera) o por pozas (para cultivos de arroz). Consiste en conducir una corriente de agua desde una fuente abastecedora hacia los campos y aplicarla directamente a la superficie del suelo por gravedad, cubriendo total o parcialmente el suelo. Este método de riego tiene por desventajas que se requiere más mano de obra, más agua por unidad de superficie cultivada, hay peligro de acumulación de agua en el sub-suelo causando problemas de drenaje y salinidad y por último se tiene que la preparación del suelo es costoso y lento por lo que son necesarios levantamientos topográficos.

Por lo descrito anteriormente se realizará un estudio para determinar la viabilidad técnica y económica para el uso de energía fotovoltaica en el fundo “Prada”, perteneciente al distrito de Motupe, provincia y departamento de Lambayeque.



Nuestra propuesta de investigación obedece al siguiente Esquema.



## 4.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

El sistema fotovoltaico propuesto a implementar en el fundo “Prada” para riego tecnificado de plantas para la producción de paltas, se dimensionó considerando la radiación solar de la zona, las necesidades hídricas del cultivo y la altura total de la instalación.

Así mismo se ha de determinar la rentabilidad del proyecto realizando una evaluación técnica, económica y financiera.

Este sistema estará conformado por los siguientes equipos y/o componentes:

Tabla 5: Descripción de equipos propuestos.

Equipos y/o Componentes	Descripción
<b>Generador Fotovoltaico</b>	Está formado por un módulo de 18 paneles solares del tipo monocristalino, estos se instalarán sobre estructura autosoportada; la potencia de cada panel solar es de 270 Wp.
<b>Motor-Bomba Hidráulica</b>	Motor-Bomba Hidráulica CRIF 10-02 A-CA-I-E-HQQE 3446 rpm; 12,1 m <sup>3</sup> /h; 22,1m; 1,73-15kW (P1-P2).
<b>Cables y Conductores</b>	Para el conexionado del arreglo de paneles solares se utilizará cable NYY 2-1x6mm <sup>2</sup> y para el conexionado entre el campo fotovoltaico y el sistema de bombeo se usará NYY 2-1x16mm <sup>2</sup> .

**Fuente:** Elaboración Propia

## **CAPITULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **5.1. DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE AGUA**

##### **5.1.1. Introducción al cálculo**

La alimentación mediante energía solar fotovoltaica de sistemas de riego localizado de alta frecuencia es una solución de amplia aplicación en áreas sin acceso a la red eléctrica convencional. No obstante, el desacoplo que existe en muchas ocasiones entre la oferta y la demanda energética por parte de la instalación de riego plantea problemas desde el punto de vista de acumulación estacional de la energía generada.

En este capítulo se ha desarrollado y aplicado una metodología de diseño de instalaciones de riego fotovoltaico en la que, siguiendo una estrategia de diseño de máxima captación de energía, se emplea el suelo como principal subsistema de acumulación. El modelo propone el riego de un número variable de sectores simultáneamente para adaptar la demanda energética a las variaciones de radiación solar disponible.

##### **5.1.2. Características y Ubicación del terreno**

Como se describe en los capítulos precedentes las características del fundo ubicado en distrito de Motupe, provincia y departamento de Lambayeque son las siguientes:

Área del fundo	: 2,18 Ha
Altura en msnm	: 113 m
Tipo de suelo	: Arcilloso

La ubicación geográfica del fundo está dada mediante las siguientes coordenadas:

Tabla 6: Coordenadas UTM WGS84 (Zona 17M) de la parcela del proyecto.

Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
640 800	9 314 500	113

Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.3. Tipo de cultivo y redes de distribución

El tipo de cultivo será de aguacates (conocido en nuestro país como palta). Como sabemos el aguacate es un fruto (tipo drupa), en forma de pera, con una superficie rugosa de color verde oliva, morado o incluso negro, según la variedad, una pulpa verde-amarillenta y un hueso central grande. El aguacate se originó en Méjico, donde parece que se cultivaba ya en 1500 a.C. También en Perú se han hallado semillas en tumbas incas (750 a.C.). Los españoles que llegaron a América lo llamaron "pera de las Indias", por su aspecto. Se fue extendiendo por América (Guatemala, Perú, Venezuela) y a partir del descubrimiento de América, por otros países cálidos. En España se cultiva en Andalucía y Canarias.



Figura 33: Ubicación del predio.

Fuente: Google earth

La parcela de terreno, tal y como se muestra en la figura N° 33 obtenida de Google Earth, es de topografía plana y de perímetro irregular.

La parcela contará con un pozo de agua construido con concreto armado, las dimensiones del mismo se muestran en los planos del depósito de regulación, dicho depósito de regulación es alimentado desde una acequia que tiene como recorrido las proximidades del límite de la parcela ; desde dicho pozo de agua se bombeará a la red de distribución que a continuación se describe: consta de una línea principal de distribución que recorre el terreno en forma longitudinal desde la cual parten las distintas cintas de goteo. Estos ramales de derivación serán los encargados de conducir el agua hasta cada árbol.



Figura 34: Vista de las labores de levantamiento topográfico: se puede observar al fondo la acequia desde donde se alimentará el depósito de regulación.

Fuente: Visita de Campo

#### **5.1.4. Demanda de agua**

Con el riego por goteo se busca satisfacer las necesidades de las plantas, en este caso flores; sin excederse ni ser precario, esto con el fin de que la planta tenga un crecimiento adecuado.

##### **5.1.4.1. El Método Fao Penman – Monteith**

La evapotranspiración de referencia o evapotranspiración potencial del cultivo ( $ET_0$ ) ha sido determinada mediante el método descrito en la publicación de la Serie de Riego y Drenaje de la FAO n°56 “Evapotranspiración del cultivo” (Allen et al., 1998 o Allen et al., 2006 en la edición en castellano) ya que es considerado un método de referencia mundial por ser el que mejor se adapta a las diferentes condiciones climáticas existentes en todo el planeta. No obstante, la aplicación de este método requiere una serie de variables climáticas que, en muchos casos, no se encuentran a disposición del proyectista. Este método es el denominado de FAO Penman – Monteith y es el resultado de los trabajos realizados por un panel de expertos e investigadores del riego organizado por la FAO en 1990 en colaboración con la Comisión Internacional para el Riego y Drenaje y con la Organización Meteorológica Mundial con el fin de revisar las metodologías previamente propuestas por la propia FAO para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos.

El método FAO Penman – Monteith fue seleccionado por la FAO para calcular la  $ET_0$  por su capacidad para proporcionar resultados similares a los que se obtienen recurriendo a las mediciones directas e indirectas de ET en cubiertas cespitosas, por tener una base física

sólida y por incorporar tanto parámetros fisiológicos como aerodinámicos.

#### **5.1.4.2. Factores Meteorológicos que determinan la $ET_0$**

Los factores meteorológicos que determinan la evapotranspiración son los componentes del clima que proporcionan energía para la vaporización y extraen vapor de agua de una superficie evaporante.

A continuación, se presentan los principales parámetros meteorológicos que se considerarán a la hora de determinar la evapotranspiración potencial:

##### **a) Radiación Solar**

El proceso de la evapotranspiración está determinado por la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie evaporante viene determinada por su localización y época del año. Esta cantidad potencial de radiación es diferente para cada latitud y para las diversas estaciones del año.

La radiación solar real que alcanza la superficie evaporante depende la claridad de la atmósfera y de la presencia de nubes que reflejan y absorben cantidades importantes de la radiación. Cuando se determina el efecto de la radiación solar en la evapotranspiración se debe también considerar que no toda la energía disponible se utiliza para evaporar el agua. Parte de la energía solar se utiliza también para calentar la atmósfera y el suelo.

**b) Temperatura del aire**

La radiación solar absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra elevan la temperatura del aire. El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un cierto control en la tasa de evapotranspiración. En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco.

**c) Humedad del aire**

Mientras que el aporte de energía del sol y del aire circundante es la fuerza impulsora principal para la evaporación del agua, la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante y el aire circundante es el factor determinante para la pérdida de vapor por parte del cultivo.

**d) Velocidad del viento**

El proceso de pérdida de vapor depende en gran medida del viento y de la turbulencia del aire, los cuales transfieren grandes cantidades de aire hacia la superficie evaporante. Con la evaporación del agua, el aire sobre la superficie evaporante se satura gradualmente con vapor. Si este aire no se sustituye continuamente por un aire más seco, disminuye la intensidad de pérdida de vapor de agua y la tasa de evapotranspiración disminuye.

**5.1.4.3. Estrategia del mes “más desfavorable”**

En general la estrategia de dimensionado aplicada a los sistemas de riego fotovoltaico se centra en cubrir las exigencias del mes más desfavorable, esto es, aquél en el que la relación entre la demanda y



la oferta energética es mayor. Las instalaciones de riego así concebidas concentran su funcionamiento en los meses que dura la campaña de riegos, permaneciendo el resto del año sin operar, por lo que, salvo que la energía producida por el sistema fotovoltaico se destine a otros consumos, se estará desaprovechando. De hecho, este tipo de diseño conlleva un sobredimensionado del subsistema de generación.

La solución adoptada a nuestro sistema de riego tendrá las siguientes características:

- Sistema de riego.....**localizado de alta frecuencia (goteo)**
- Subsistema de generación.....**Instalación fotovoltaica aislada.**
- Estrategia de dimensionado.....**mes “más desfavorable”.**
- Subsistema de acumulación de energía....**Depósito en Suelo**

#### **5.1.4.4. Necesidad de agua**

El estudio de necesidades hídricas es el componente fundamental de todo proyecto de riego y es la parte del mismo en la que los errores tienen consecuencias más graves. La evapotranspiración de referencia o evapotranspiración potencial ( $ET_0$ ) ha sido calculada mediante el método FAO Penman Monteith<sup>36</sup>.

Este método fue seleccionado por la FAO para calcular la  $ET_0$  por su capacidad para proporcionar resultados similares a los que se obtienen recurriendo a las mediciones directas e indirectas de  $ET$  en cubiertas cespitosas, por tener una base física sólida y por incorporar tanto parámetros fisiológicos como aerodinámicos.

---

<sup>36</sup> Allen, R.G.; L. S. Pereira; D. Raes y Smith, M. (1998).- Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper.

Las necesidades de agua se relacionan a la cantidad necesitada por cada planta, dichas necesidades juntamente con sus coeficientes de corrección se muestran en la ecuación 5.1:

$$Nn = ET_0 K_c K_L K_a K_r \quad (5.1)$$

Donde:

- $ET_0$  : Evapotranspiración dependiente del clima.
- $K_c$  : Corrección de acuerdo con el tipo de cultivo y transpiración de este.
- $K_L$  : Corrección por efecto localizado (se pierde menor cantidad de agua por evaporación que en métodos comunes de riego, por esto se debe corregir el área expuesta, que no está cubierta, sombreada por la planta).
- $K_a$  : Corrección por variaciones climáticas locales.
- $K_r$  : Corrección por advección.

La fórmula de Hargreaves<sup>37</sup> (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la Evapotranspiración Potencial necesita solamente datos de temperaturas y de Radiación Solar. La expresión general es la siguiente:

$$ET_0 = 0,135(t_{med} + 17,78)R_s \quad (5.2)$$

Donde:

- $t_{med}$  : Temperatura media, °C.
- $R_s$  : Radiación solar incidente, convertida en mm/día.

La radiación solar incidente,  $R_s$ , se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera); ésta última aparece según los autores como  $R_0$  ó  $R_a$ , y la leemos en tablas en

---

<sup>37</sup> Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agric., 1(2): 96-99.

función de la latitud del lugar y del mes. En nuestro caso nos referiremos a ella como  $R_0$ .

Por otra parte la radiación solar incidente la obtenemos (según Samani 2000<sup>38</sup>) mediante la siguiente fórmula:

$$R_S = R_0 * KT * (t_{max} - t_{min})^{0.5} \quad (5.3)$$

Donde:

$R_0$  : Radiación solar extraterrestre, en mm/día (ver tabla N°6).

$KT$  : Coeficiente.

$t_{max}$  : Temperatura diaria máxima, °C.

$t_{min}$  : Temperatura diaria mínima, °C.

---

<sup>38</sup> Samani , Z. (2000).- Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data . Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 126, No. 4, pp. 265-267

Tabla 7: Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998<sup>39</sup>)

HEMISFERIO NORTE													HEMISFERIO SUR												
Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0		16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0		16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0		16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2		16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5		16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9		16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3		17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7		17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1		17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6		17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1		17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	13.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6		17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	46.1	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0		17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5		17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1		17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6		17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0		17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6		17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1		17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6		17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1		17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6		17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1		17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5		17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0		17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4		17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9		16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4		16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8		16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2		16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7		16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1		15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4		15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8		15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2		15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5		14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Fuente: F. Javier Sánchez San Román---- Dpto. Geología Univ. Salamanca

<sup>39</sup> Allen, R.G.; L. S. Pereira; D. Raes y Smith, M. (1998).- Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56 ( <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm#Contents> ) Versión en español: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>

En la siguiente tabla se muestran los datos de temperaturas y Radiación  $R_0$  para la zona (Latitud 6°11'59,6"); los mismos que han sido obtenidos de la estación meteorológica “Motupe”:

Tabla 8: Temperaturas y Radiación Solar en la zona del proyecto

Mes	Temperatura mínima [°C]	Temperatura máxima [°C]	Temperatura media [°C]	Radiación Extraterrestre Latitud 11 [mm/día]
Enero	23,0	32,0	27,5	15,60
Febrero	23,0	32,0	27,5	15,80
Marzo	24,0	32,0	28,0	15,50
Abril	24,0	33,0	28,5	14,50
Mayo	22,0	33,0	27,5	13,30
Junio	20,0	34,0	27,0	12,60
Julio	19,0	35,0	27,0	12,90
Agosto	19,0	35,0	27,0	13,90
Setiembre	20,0	35,0	27,5	15,00
Octubre	22,0	34,0	28,0	15,60
Noviembre	22,0	32,0	27,0	15,60
Diciembre	22,0	32,0	27,0	15,50

Fuente: Senamhi: Estación Meteorológica Motupe

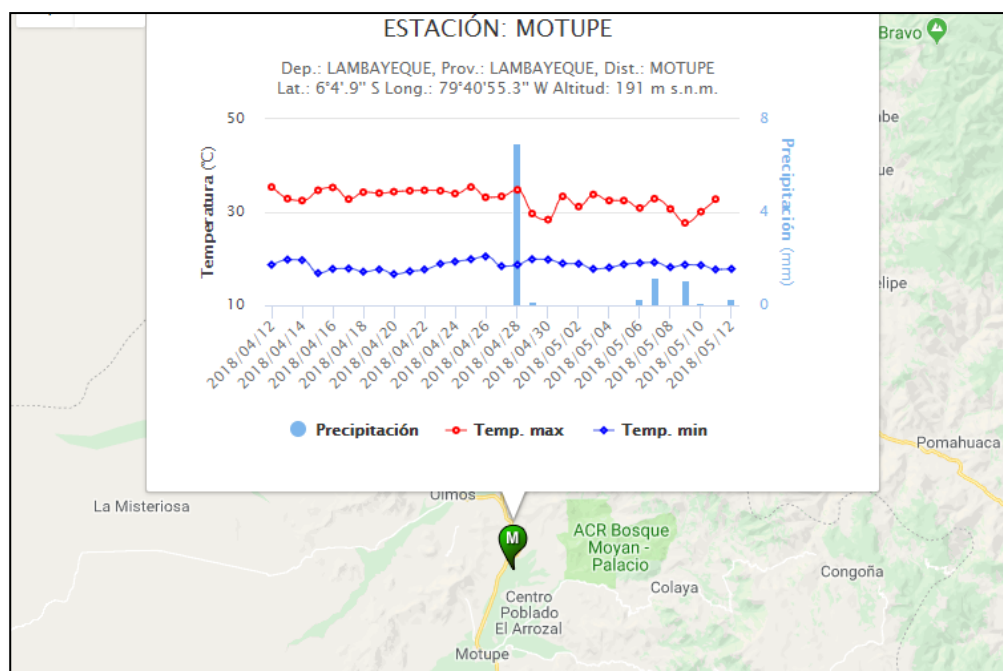


Figura 35: Estación meteorológica “Motupe”.

Fuente: Senamhi

El coeficiente  $K_T$  de la expresión (5.3) es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves (citado en Samani, 2000) recomienda  $K_T = 0,162$  para regiones del interior y  $K_T = 0,19$  para regiones costeras. Nuestro proyecto se encuentra en el segundo caso por lo que los valores de Radiación Solar y Evapotranspiración serían los mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 9: Valor previo de evapotranspiración inicial en función de la radiación solar

Radiación Solar Incidente [mm/día]											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
8,89	9,01	8,33	8,27	8,38	8,96	9,80	10,56	11,04	10,27	9,37	9,31
Evapotranspiración potencial diaria [mm/día]											
5,44	5,51	5,15	5,16	5,12	5,42	5,93	6,39	6,75	6,35	5,67	5,63

Fuente: Elaboración Propia

Para obtener la evapotranspiración del cultivo  $ET_c$  se multiplica la evapotranspiración inicial por un factor de corrección de cultivo ( $K_c$ ), aplicando lo indicado por Allen, Pereira, Raes, y Smith, 2006<sup>40</sup>, dicho factor para el caso de cultivos de aguacates recomienda un valor de 0,875.

#### 5.1.4.5. Efecto de localización

El área sombreada por el cultivo se denomina A, definida como la fracción de la superficie del suelo sombreado por la cubierta vegetal a mediodía con respecto a la superficie total, es un factor de

<sup>40</sup> Allen, R.G.; L. S. Pereira; D. Raes y Smith, M. (1998).- Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56  
( <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm#Contents> )  
Versión en español: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idx56s.pdf>

corrección relacionado con la cantidad de agua perdida por evaporación, comparando el método localizado con otros métodos.

Este método supone que por efectos de evapotranspiración el área sombreada se comporta casi igual que la superficie del suelo en riegos no localizados, mientras que el área no sombreada elimina agua con una intensidad mucho menor. Por lo tanto, la evapotranspiración del cultivo  $E_{Tc}$  se debe corregir con un coeficiente de localización  $K_1$ , esto dependerá del área sombreada. Sin embargo, debido a que en el cultivo de paltas el área sombreada tiende a ser mayor a un 60 % el efecto es despreciable, y no se corrige por efecto de localización.

#### 5.1.4.6. Efecto de las condiciones climáticas

La corrección por variaciones climáticas ( $K_a$ ), Según Pizarro 1990 en el libro de riego localizado de alta frecuencia, menciona que siempre estará comprendido entre 1,15 y 1,20. Para efectos de diseño, se utilizará 1,20 debido a la pequeña variación existente en las necesidades de las plantaciones a través del tiempo.

Teniendo en cuenta los factores anteriormente mencionados se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 10: Evapotranspiración tomando en cuenta el efecto de localización y condiciones climáticas.

Evapotranspiración resultante [mm/día]											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
6,52	6,61	6,18	6,20	6,15	6,50	7,11	7,66	8,10	7,61	6,80	6,76

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.1.4.7. Necesidades de lavado por aguas salinas ( $K_l$ ):

Este índice expresa el aumento de aplicación de agua debido a la necesidad de lavar las sales que se depositan en el suelo. Se calcula con la siguiente expresión:  $K_l = 1 - NL$ .

Donde:

$$NL = \frac{CE}{2CS} \quad (5.4)$$

$NL$  : Necesidad de lavado.

$CE$  : Conductividad eléctrica del agua de riego (mmhos/cm).

$CS$  : Conductividad eléctrica del suelo (mmhos/cm).

*Nota:* El lavado del suelo se utiliza cuando el agua tenga una salinidad  $CE > 1$  mmhos/cm. En este caso no se empleará el factor de eficiencia,  $K_e$  y si se utilizará el factor de coef. de uniformidad  $K_u$ .

Cuando  $CE$  es igual 1 o menor que 1 mmhos/cm se utilizará el factor de lavado  $K_l$  y se empleará el factor  $K_{eu} = 1.2$  que engloba al factor de eficiencia y al factor de Uniformidad. En nuestro caso según datos registrados de suelos similares se tiene un  $CE$  de 0.85 mmhos/cm y un  $CS$  de 0.045 mmhos/cm.

#### 5.1.4.8. Necesidades diarias de agua de la planta

*Agua sin salinidad ( $C_e \leq 1$  mmhos/cm).*

$$ND = K_C \cdot K_S \cdot K_a \cdot K_{eu} \cdot ET \cdot M \quad (5.5)$$

*Agua sin salinidad ( $C_e = 1$  mmhos/cm).*

$$ND = (K_C \cdot K_S \cdot K_a \cdot K_u \cdot ET \cdot M) / K_l \quad (5.6)$$

Donde:

$ND$  : Factor de cultivo (l/día por árbol).

$K_C$  : Factor de cultivo (0,875).

$K_S$  : Factor de sombra miento (0,5).

$K_a$  : Factor de aumento por valores medios (1.20).

$K_{eu}$  : Factor global de  $K_e + K_u = 1.2$

$K_u$  : Factor de Uniformidad ( $K_u = 1.1$ ).

$K_l$  : Factor de lavado.

$ET$  : Evapotranspiración diaria para el mes de máximo consumo (mm/día o l/m<sup>2</sup>).

$M$  : Superficie que ocupa un árbol. 36 m<sup>2</sup>.



Los resultados se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 11: Necesidades diarias de agua de la planta.

Necesidades diarias de agua de la planta [l/día por árbol]											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
135,60	102,03	95,41	95,70	94,95	100,36	109,84	118,36	125,05	117,60	105,01	104,34

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.1.4.9. Número de gotero por planta

$$e \geq \frac{Sp \cdot Pm}{Smj} \quad (5.7)$$

Donde:

- $e$  : Número de gotero por planta.
- $Sp$  : superficie que ocupa una planta en  $m^2$  (Normalmente coincide con el marco de plantación siempre y cuando no sobre pase  $36m^2$ , cifra que se tomará cuando ocurra esta circunstancia).
- $Pm$  : Porcentaje de superficie mojada (en decimales) (En árboles aumenta su producción si se riega 33%).
- $Smj$  : Superficie que moja un gotero en  $m^2$ . Esto depende del caudal y número gotero por planta, tipo de suelo, tipo de riego.

*Para calcular la  $Smj$  en  $m^2$ , calculamos el solape en tanto por 100.*

$$S = \frac{a}{r} \cdot 100 \quad (5.8)$$

- $S$  : Solape expresado en tanto por 100.
- $a$  : Distancia recubierta por dos bulbos consecutivos.
- $r$  : Radio del bulbo.

*La distancia entre gotero debe ser:*

$$D = r \left( 2 - \frac{S}{100} \right) \quad (5.9)$$

*Con el cálculo de  $D$  y la fórmula de  $A = \pi r^2 / 2$  se calcula  $Smj$  en  $m^2$ .  
Con esto determinamos un gotero por planta.*

#### 5.1.4.10. Tiempo de riego

$$Tr = \frac{Dn}{Ng \cdot Qq} \quad (5.10)$$

Donde:

$Tr$  : Tiempo de Riego (horas).

$Dn$  : Necesidades Diarias (l/día por árbol).

$Ng$  : Número de gotero por planta (3).

$Qq$  : Caudal del gotero (l/h).

Los resultados se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 12: Tiempo de Riego (min).

Tiempo de riego [minutos]											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
339,01	255,07	238,52	239,25	237,37	250,89	274,60	295,89	312,62	294,01	262,53	260,85

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.1.4.11. Número de Sectores

$$N_{sectores} = \frac{Jornada}{T_{riego}} \quad (5.11)$$

Jornada de Riego: Podemos considerar una jornada adecuada 8 horas.

**a) Número de plantas en total en la superficie (Np):**

$$Np = \frac{Superficie (m^2)}{Marco de riego o plantación} \quad (5.12)$$

**b) Número de planta a regar Simultáneamente (Nprs):**

$$Nprs = \frac{Número de plantas total}{Número de Sectores} \quad (5.13)$$

#### 5.1.4.12. Caudal de Bombeo

**a) Caudal Bombeo (Qb)(caudal de un sector):**

$$Qb = Nprs \cdot Ng \cdot Qg \quad (5.14)$$

Donde:

$N_{prs}$  : Número de planta a regar simultáneamente.

$N_g$  : número de goteros.

$Q_g$  : Caudal del gotero (l/h).

**b) Caudal Necesario para regar 1 ha de cultivo:**

$$Q_n = \frac{Q_b(l/s)}{A(ha)} \quad (5.15)$$

Donde:

$Q_n$  : Caudal necesario.

$Q_b$  : Caudal bombeo (l/s).

$A$  : Área (Ha).

#### 5.1.4.13. Resumen de cálculo

A continuación, se muestra el resumen de los cálculos efectuados de donde podemos rescatar el caudal de diseño que nos servirá para la selección de los demás componentes electromecánicos de nuestro sistema de bombeo.

Cantidad de Sectores:

Tabla 13: Cantidad de Sectores.

Cantidad de Sectores											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Fuente: Elaboración Propia

Número de plantas en total en la superficie:

Tabla 14: Número de plantas en total en la superficie.

Número de plantas en total en la superficie (Np):											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341

Fuente: Elaboración Propia

Número de plantas a regar simultáneamente:

Tabla 15: Número de plantas a regar simultáneamente.

Número de plantas a regar Simultáneamente (Nprs):											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170

Fuente: Elaboración Propia

Caudal de Bombeo en un Sector:

Tabla 16: Caudal de Bombeo en un Sector.

Caudal Bombeo (Qb)(caudal de un sector) [l/s]											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14

Fuente: Elaboración Propia

Caudal Necesario para regar una hectárea de cultivo:

Tabla 17: Caudal Necesario para regar una hectárea de cultivo.

Caudal Necesario para regar 1 ha de cultivo [l/s]											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04

Fuente: Elaboración Propia

**CONCLUSIÓN:** Desde el punto de vista de un riego que se aplica mediante una instalación solar fotovoltaica y que emplea el suelo como principal subsistema de acumulación de energía, se trata de una programación más eficiente ya que la demanda energética mensual se acomoda a la oferta. De esta forma, las dimensiones del captador no están condicionadas por necesidades energéticas en meses con poca oferta, como puede producirse mediante una programación de riegos convencional. El caudal de diseño será aquél que dé el recurso hídrico para toda la parcela, es decir, para los dos sectores por lo tanto será de 2,28 m<sup>3</sup>/s.

## **5.2. DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS Y DERIVACIONES**

En el presente párrafo se desarrolla el diseño y dimensionado de la instalación hidráulica de riego por goteo. La instalación a diseñar pretende una aplicación de agua lenta, localizada y uniforme, que humedezca sólo una parte del terreno, manejándose, por lo tanto, con alta frecuencia; lo que permitirá mantener durante todo el año niveles de humedad en el suelo suficientes para el desarrollo de las plantaciones de palta.

Se han determinado todos los componentes de la instalación y sus dimensiones de modo que se puedan aplicar las necesidades de agua al cultivo determinadas en el capítulo anterior (Estudio de Necesidades Hídricas). Asimismo, se han definido las válvulas hidráulicas de sector, desagües y ventosas a lo largo de la red, así como las arquetas de protección de estos elementos.

Está demostrado que el volumen de agua suministrado a la parcela de proyecto por la red de acequias de la Comunidad de Regadíos de Prada es suficiente para cubrir las necesidades hídricas del mes más desfavorable. Dicha red de acequias es alimentada desde un pozo tubular de propiedad de la comunidad pagando por el servicio de agua por horas como se ha venido haciendo hasta la fecha.

Sin embargo, será necesaria la construcción de un depósito de regulación ya que los aportes hídricos por parte de la Comunidad de Regadíos son puntuales (dos veces por semana) y los sistemas de riego por goteo, como se ha explicado, se fundamentan en un aporte de agua lento y con alta frecuencia (riego diario). Dicho depósito de regulación, con fines de economizar costos,

será hecho mediante geomembrana. Las geomembranas son láminas geosintéticas que aseguran la estanquidad de una superficie. Normalmente se usan para remediar las pérdidas de agua por infiltración o para evitar la migración de los contaminantes al suelo. Generalmente las geomembranas están hechas de polietileno, de alta y de baja densidad (HDPE, VFPE), de elastómero bituminoso, de polipropileno (PP) o en cloruro de polivinilo (PVC).

En el siguiente diagrama se muestra la secuencia general de diseño hidráulico que se seguirá en esta sección:

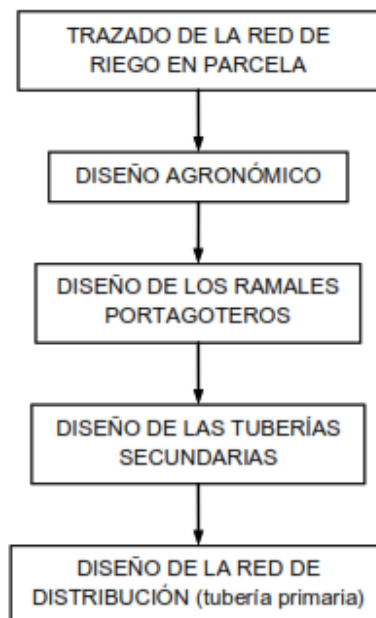


Figura 36: Secuencia de diseño de la instalación hidráulica.

Fuente: Elaboración Propia

La determinación del diámetro de las distintas tuberías que conforman la instalación de riego deberá realizarse con el objetivo de limitar en lo posible las pérdidas de carga ocasionadas por el rozamiento del flujo de agua con las paredes interiores de la tubería, a la vez que se garantiza que llegue el caudal previsto a todos los emisores que conforman la instalación.

Se recomienda y está demostrado que, para tuberías de naturaleza termoplásticas, la velocidad que alcance el flujo de agua por el interior de la tubería debe encontrarse en el rango de 0,5 a 3,5 m/s.

Velocidades superiores a los 3,5 m/s darán lugar a problemas de arrastres, ruidos y fenómenos abrasivos en las paredes interiores que afectarían a la durabilidad de la tubería, mientras que velocidades inferiores a los 0,5 m/s podrían ocasionar problemas de sedimentación de partículas y residuos debida a la escasa velocidad de movimiento del agua.

La fórmula que relaciona la velocidad del agua ( $v$ ) por el interior de la tubería con el caudal ( $Q$ ) es la siguiente:

$$Q = v \cdot A \quad (5.16)$$

donde,

$Q$  es el caudal volumétrico o flujo de agua que circula por la tubería;

$v$  es la velocidad del agua en el interior de la tubería;

$A$  es el área de la sección interna de la tubería ( $\pi \cdot D^2/4$ ), siendo  $D$  el diámetro interior de la tubería.

Despejando el valor ( $v$ ) de la expresión anterior, la velocidad del agua que discurre por el interior de una tubería podrá ser expresada en función del caudal ( $Q$ ) y del diámetro interior ( $D$ ) de la tubería, como:

$$v = Q/A = (4 \cdot Q)/(\pi \cdot D^2) \quad (5.17)$$

Como ya se ha indicado en el apartado anterior, la instalación se compondrá de una línea principal de distribución enterrada que recorrerá la parcela a lo largo (en dirección norte-sur), de la cual partirán transversalmente los distintos

ramales porta goteros (en dirección oeste) que discurrirán sobre la superficie del terreno, y sobre los cuales se anclarán los emisores que descargarán el agua sobre cada planta de palta.


Para los ramales porta goteros es habitual en las instalaciones de riego por goteo, emplear las típicas y ya mencionadas tuberías flexibles de polietileno de baja densidad (en este caso, DN16 mm) fabricadas en color negro característico.

En cada planta se colocará para su riego 3 goteros con un caudal de descarga de agua de 8 l/h (ver sección 5.1.4.10. del presente capítulo).

De acuerdo a los cálculos precedentes en la sección anterior, cada ramal transversal porta goteros dará riego a unos 11 árboles, como término medio, lo que supone un caudal de flujo por ramal de 264 l/h ( $7,33 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s).

Como resumen de características, en la siguiente tabla se indican los valores de diseño para los ramales transversales porta goteros que se instalarán:

Tabla 18: Ramales porta goteros a utilizar.

Ramales portagoteros en tubos flexibles de polietileno de baja densidad				
	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm.)	Espesor de pared (mm.)	Velocidad del flujo de agua (m/s)
	16	13,6	1,2	0,50

Fuente: Ingemecánica<sup>41</sup>

Por otra parte, para el diseño y cálculo de la tubería principal enterrada, su material y su diámetro respectivo, se empezará del máximo caudal que espera

<sup>41</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>




circule por su interior, dadas las necesidades de la instalación (*calculadas en 5.1.4.13*):

- *Caudal a bombear: 2,28 l/s*

De acuerdo a la ecuación 5.17 calculamos el valor de la velocidad del agua, la cual está en función del caudal y la sección de la tubería, que para una tubería de polietileno con DN63 mm será:

Tabla 19: Tubería de la línea principal.

Tubería de la línea principal enterrada en polietileno de baja densidad						
	Tramo	Caudal	Diámetro exterior (DN)	Espesor de pared	Diámetro interior	Velocidad del flujo de agua (m/s)
	Línea Principal	8 208 l/h	63 mm	8,6 mm	45,8 mm	1,38

Fuente: Ingemecánica

### 5.3. PÉRDIDAS DE CARGA EN LA INSTALACIÓN

Una vez determinado el diseño del recorrido de las redes de distribución de la instalación de riego, se realizará una estimación de las pérdidas de carga, también llamado pérdida de presión, con objeto de poder dimensionar correctamente el equipo de bombeo. Se estimarán tanto las pérdidas de carga en los elementos del cabezal como en la tubería de aspiración y tuberías de conexión entre los citados elementos. Todas las tuberías del cabezal poseerán un diámetro de 63 mm.

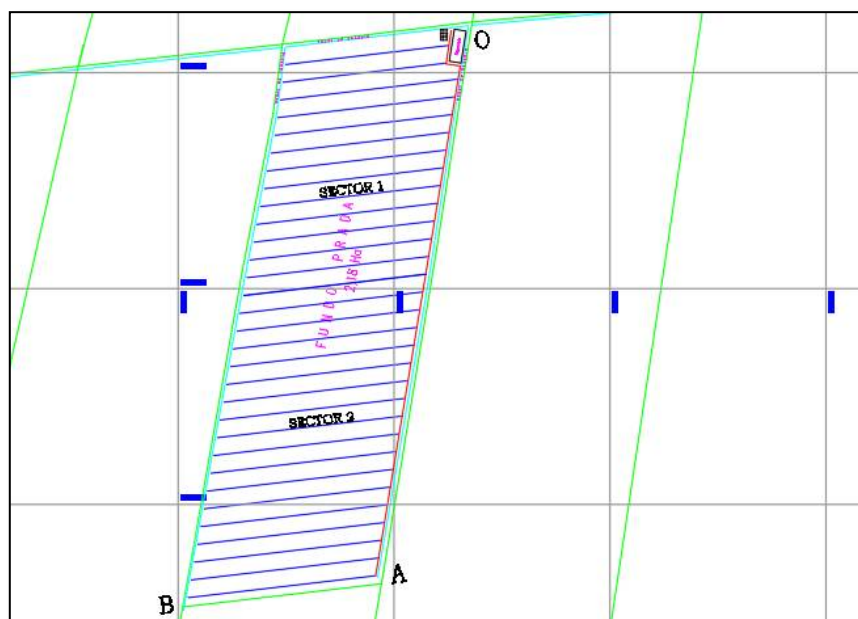


Figura 37: Distribución de Tuberías y derivaciones.

Fuente: Elaboración Propia

Para ello en primer lugar se deberá identificar donde se produzca la mayor pérdida de toda la instalación, dado que este valor va a condicionar las prestaciones que debe ofrecer el grupo de bombeo para poder garantizar el caudal previsto en cada emisario.

De acuerdo a lo mostrado en la figura N° 37 en donde se aprecia la parcela efectivamente dividida en 2 sectores y en donde el tramo indicado con las letras **OAB** constituye el recorrido donde el flujo de agua sufrirá la mayor pérdida de carga de la instalación. Una vez identificado el recorrido más desfavorable, a continuación, se procederá al cálculo de la pérdida de carga que se produce en dichos tramos de la instalación.

El cálculo de la pérdida de carga se realizará distinguiendo tres tipos de pérdidas, donde cada uno se calculará con un procedimiento de cálculo distinto:

- a) Pérdida de carga producida en los tramos rectos de tubería;
- b) Pérdida de carga producidas en puntos y elementos localizados de la red;
- c) Pérdida de carga producida en los emisarios o goteros.

La pérdida de carga total de la instalación ( $\Delta p_{total}$ ) será la suma de todas ellas:

$a) + b) + c)$ .

**a) Pérdida de carga en los tramos rectos de tubería:**

Para el cálculo de la pérdida de carga que se produce en un tramo recto de tubería ( $\Delta p$ ) de una longitud determinada “ $L$ ”, se empleará la expresión de *Darcy-Weisbach*:

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (5.18)$$

Donde,

$\Delta p$  : pérdida de carga expresada en metros de columna de agua (m.c.a.).

$L$  : longitud del tramo considerado de tubería (m)

$D$  : diámetro interior de la tubería (m)

$V$  : velocidad del agua en el interior de la tubería (m/s)

$g$  : aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$f$  : es el factor de fricción de *Darcy-Weisbach*.

El factor de fricción ( $f$ ), es un parámetro adimensional que depende del número de Reynolds ( $Re$ ) del fluido (en este caso, del agua) y de la rugosidad relativa de la tubería ( $\varepsilon_r$ ). Es decir, que para calcular el factor de fricción ( $f$ ) en un determinado tramo recto de tubería, previamente se deberán calcular los valores del número de Reynolds ( $Re$ ) para el agua en ese tramo y de la rugosidad relativa ( $\varepsilon_r$ ) que tiene la tubería en ese tramo.

El número de Reynolds se calcula mediante:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (5.19)$$

Donde,

$\rho$  : densidad del fluido, en este caso agua ( $kg/m^3$ ).

$\mu$  : viscosidad dinámica del agua ( $kg/m.s$ )

$D$  : diámetro interior de la tubería ( $m$ )

$v$  : velocidad del agua en el interior de la tubería ( $m/s$ )

Otra forma de calcular el número de Reynolds ( $Re$ ) es el que lo relaciona con la viscosidad cinemática del fluido ( $\vartheta = \mu / \rho$ ):

$$Re = \frac{v \cdot D}{\vartheta} \quad (5.20)$$

Donde,

$v$  : velocidad del agua en el interior de la tubería ( $m/s$ )

$D$  : diámetro interior de la tubería ( $m$ )

$\vartheta$  : viscosidad cinemática del agua ( $m^2/s$ )

En la tabla a continuación se presentan los valores de densidad, viscosidad absoluta y viscosidad cinemática para el agua a distintas temperaturas.

Tabla 20: Valores de densidad y viscosidad del agua.

Temperatura [°C]	Densidad $\rho$ [ $kg/m^3$ ]	Viscosidad absoluta $\mu$ [ $kg/m.s$ ]	Viscosidad cinemática $\vartheta$ [ $m^2/s$ ]
<b>0</b>	999,9	$1,792 \times 10^{-3}$	$1,792 \times 10^{-6}$
<b>5</b>	1 000,0	$1,519 \times 10^{-3}$	$1,519 \times 10^{-6}$
<b>10</b>	999,7	$1,308 \times 10^{-3}$	$1,308 \times 10^{-6}$
<b>20</b>	998,2	$1,005 \times 10^{-3}$	$1,007 \times 10^{-6}$
<b>40</b>	992,2	$0,656 \times 10^{-3}$	$0,661 \times 10^{-6}$
<b>60</b>	983,2	$0,469 \times 10^{-3}$	$0,477 \times 10^{-6}$
<b>80</b>	971,8	$0,357 \times 10^{-3}$	$0,367 \times 10^{-6}$
<b>100</b>	958,4	$0,284 \times 10^{-3}$	$0,296 \times 10^{-6}$

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la instalación de riego nos interesa la viscosidad cinemática del agua a 20°C, que es de  $1,007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

En cuanto a la rugosidad relativa de la tubería ( $\varepsilon_r$ ), esta viene dada en función de la rugosidad absoluta ( $\varepsilon$ ) del material del que está fabricada la tubería y de su diámetro interior ( $D$ ) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (5.21)$$

En la tabla siguiente se detallan los valores de rugosidad absoluta para distintos materiales:

Tabla 21: Rugosidades absolutas de materiales.

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\varepsilon$ (mm)	Material	$\varepsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y solado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Fuente: Ingemecánica

En nuestra instalación se utilizarán tuberías de polietileno para toda la instalación, siendo la rugosidad absoluta de este tipo de tuberías de  $\varepsilon = 0,0015 \text{ mm}$ , según lo indicado.

Volviendo al concepto de número de Reynolds ( $Re$ ), éste presenta la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas que posee el flujo de agua en la tubería.

Cuando las fuerzas predominantes son las viscosas (ocurre para  $Re$  con valores bajos), el fluido discurre de forma laminar por la tubería y la importancia de la rugosidad de la tubería en la pérdida de carga es

menor que las debidas al propio comportamiento viscoso del fluido. Por otro lado, en régimen turbulento ( $Re$  grande), las fuerzas de inercia predominan sobre las viscosas y la influencia de rugosidad se hace más patente.

Para el caso del agua, los valores de transición entre régimen laminar y turbulento se encuentra con el número de Reynolds en la franja de 2000 a 4000. Es decir, en función del valor del número de Reynolds se tiene el siguiente comportamiento del flujo de agua por el interior de la tubería:

- $Re < 2000$ : Régimen laminar.
- $2000 < Re < 4000$ : Zona crítica o de transición.
- $Re > 4000$ : Régimen turbulento.

Conocer si el flujo que circula por una tubería se encuentra en el régimen laminar o turbulento es importante porque marca la manera de calcular el factor de fricción ( $f$ ).

En efecto, el factor de fricción ( $f$ ) para valores del número de Reynolds por debajo del límite turbulento ( $Re < 2000$ ), es decir, en régimen laminar, se puede calcular aplicando la fórmula de Poiseuille:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (5.22)$$

Para la otra situación, es decir, que nos encontremos en régimen turbulento ( $Re > 4000$ ), el cálculo para conocer el factor de fricción ( $f$ ) ya nos es tan inmediato, y depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa de la tubería. En este caso existen diversas formulaciones que pueden ser utilizadas para el cálculo del factor de fricción (Ecuación de Colebrook-White).

No obstante, afortunadamente además de estas expresiones existen representaciones gráficas y ábacos empíricos que nos permiten calcular cómodamente el factor de fricción ( $f$ ). Uno de ellos es el Diagrama de Moody que es la representación gráfica en escala doblemente logarítmica del factor de fricción ( $f$ ) en función del número de Reynolds ( $Re$ ) y de la rugosidad relativa de la tubería ( $\varepsilon/D$ ), según se representa en la figura 29.

A continuación, se va a aplicar lo anterior, para calcular la pérdida de carga que se produce en el tramo más desfavorable considerado de la instalación de riego.

Como ya se indicó en el inicio de este apartado, el recorrido más desfavorable, donde las pérdidas de carga serán mayores, será el formado por los tramos indicados por las letras *OAB*.

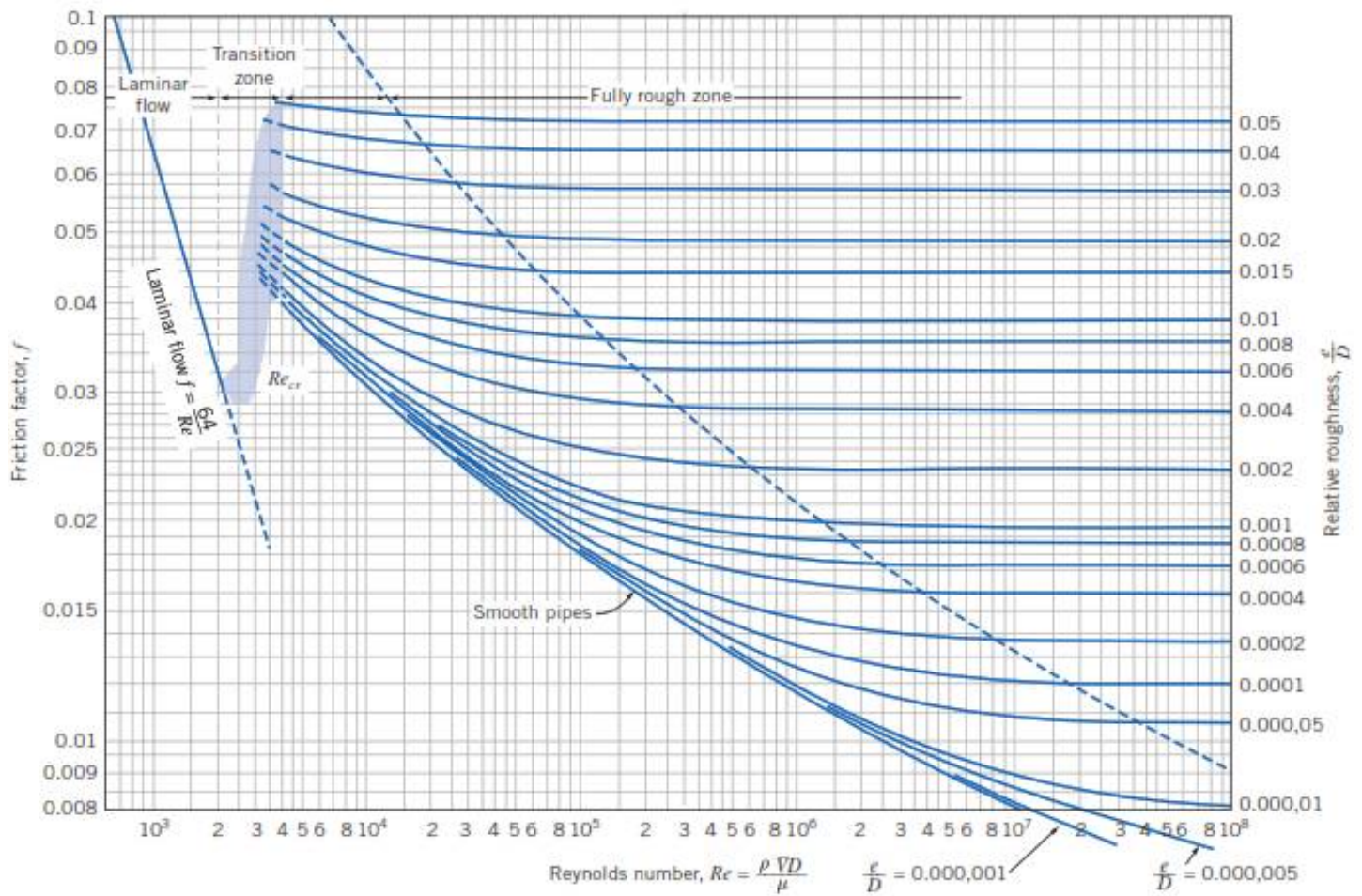


Figura 38: Diagrama de Moody.

Fuente: Fluid Mechanics, Fox<sup>42</sup>

A su vez, en este recorrido se distinguen dos tramos diferentes con tuberías de distinto diámetro, a saber:

- **Tramo OA**, correspondiente al tramo de la línea principal de polietileno con DN63.
- **Tramo BC**, ramal aéreo porta goteros de tubería de polietileno DN16.

<sup>42</sup> Fluid Mechanics, Fox and McDonald's, Manhattan College, Eighth Edition, 2011.



Los resultados se muestran a continuación:

- **Tramo OA** (*Línea principal de distribución enterrada*).
  - Material tubería: polietileno de baja densidad PE-32.
  - Diámetro nominal,  $DN=63\text{ mm}$
  - Diámetro interior,  $Di=45,8\text{ mm}$
  - Longitud del tramo,  $L=261,86\text{ m}$
  - Velocidad del agua en el tramo,  $v=1,38\text{ m/s}$
  - Rugosidad absoluta de la tubería,  $\varepsilon=0,0015\text{ mm}$
  - Rugosidad relativa ( $\varepsilon_r=\varepsilon/Di$ ):  $0,000033$
  - Número de Reynolds ( $Re$ ) en el tramo:  $Re=62\ 765$
  - Del diagrama de Moody con  $Re$  y  $\varepsilon_r$ :  $f=0,018$
  - Pérdidas de carga (*Ecuación de Darcy-Weisbach*):  $\Delta p_{OA}=9,99\text{ m}$
- **Tramo AB** (*Ramales porta goteros*).
  - Material tubería: polietileno de baja densidad PE-32.
  - Diámetro nominal,  $DN=16\text{ mm}$
  - Diámetro interior,  $Di=13,6\text{ mm}$
  - Longitud del tramo,  $L=87,49\text{ m}$
  - Velocidad del agua en el tramo,  $v=0,50\text{ m/s}$
  - Rugosidad absoluta de la tubería,  $\varepsilon=0,0015\text{ mm}$
  - Rugosidad relativa ( $\varepsilon_r=\varepsilon/Di$ ):  $0,00011$
  - Número de Reynolds ( $Re$ ) en el tramo:  $Re=6\ 753$
  - Del diagrama de Moody con  $Re$  y  $\varepsilon_r$ :  $f=0,034$
  - Pérdidas de carga (*Ecuación de Darcy-Weisbach*):  $\Delta p_{AB}=2,79\text{ m}$

Como conclusión, sumando las pérdidas obtenidas en ambos tramos, se obtiene la pérdida de carga producida en los tramos rectos de tubería, de acuerdo a la distancia más desfavorable:

$$\Delta p_{OAB} = \Delta p_{OA} + \Delta p_{AB} = 9,99 \text{ m} + 2,79 \text{ m} = 12,78 \text{ m}$$

**b) Pérdida de carga en puntos y elementos localizados de la red;**

En el apartado a) anterior, se ha indicado el procedimiento para calcular la pérdida de carga en los tramos rectos de tuberías, pero en la instalación hay otros elementos, como válvulas, filtros, derivaciones, codos, cambios de dirección, etc., que también incrementan pérdidas de carga en la instalación.

Para calcular las pérdidas locales que se originan en estos elementos que se encuentran intercalados en la instalación (codos, derivaciones en T, bifurcaciones, reducciones...) se emplea la siguiente formulación de naturaleza empírica:

$$\Delta p = K \frac{v^2}{2g} \quad (5.23)$$

o bien

$$\Delta p = K \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^4} \quad (5.24)$$

Donde, el coeficiente adimensional k (coeficiente de pérdida) es de utilidad para medir la caída de presión que se produce en cada elemento de la instalación.

El valor de este coeficiente se obtiene experimentalmente y lo suele suministrar cada fabricante de los distintos elementos.

A falta de más información de un determinado fabricante, se pueden emplear los siguientes valores orientativos para el coeficiente  $k$  de la siguiente tabla:

Tabla 22: Coeficientes de pérdida de carga,  $K$ .

Válvulas (abiertas)	Coeficiente de pérdida, $K$
De bola	$K = 0,1$
Compuerta	$K = 0,1 - 0,3$
Anti-retorno	$K = 1,0$
De asiento estándar. Asiento de fundición	$K = 4,0 - 10,0$
De asiento estándar. Asiento de forja (pequeña)	$K = 5,0 - 13,0$
De asiento a 45°. Asiento de fundición	$K = 1,0 - 3,0$
De asiento en ángulo. Asiento de fundición	$K = 2,0 - 5,0$
De asiento en ángulo. Asiento de forja (pequeña)	$K = 1,5 - 3,0$
Mariposa	$K = 0,2 - 1,5$
Diafragma	$K = 2,0 - 3,5$
De macho o tapón. Rectangular	$K = 0,3 - 0,5$
De macho o tapón. Circular	$K = 0,2 - 0,3$
Otros elementos	Coeficiente de pérdida, $K$
Codos a 90°	$K = 0,2$
Filtros	$K = 3,0$
Derivación	$K = 0,7$

Fuente: Fundamentals of Fluid mechanics, Munson

Para el caso que las válvulas se encuentren parcialmente abiertas, el valor de los coeficientes de pérdida de carga respecto al valor del coeficiente en apertura total, se puede tomar de esta otra tabla:

Tabla 23: Coeficientes de pérdida de carga en válvulas parcialmente abiertas.

Cociente $K_{(parcialmente\ abierta)}/K_{(abierta)}$			
Situación	Compuerta	Esfera	Mariposa
Abierta	1,0	1,0	1,0
Cerrada 25%	3,0 - 5,0	1,5 - 2,0	2,0 - 15,0
50%	12 - 22	2,0 - 3,0	8 - 60
75%	70 - 120	6,0 - 8,0	45 - 340

Fuente: Fundamentals of Fluid mechanics, Munson

La manera de proceder para realizar el cálculo de este tipo de pérdidas de carga será la siguiente:

1. Identificar los tramos que constituyen el recorrido del agua donde se va a producir la mayor pérdida de carga, es decir, el tramo más desfavorable.
2. Contabilizar los elementos singulares intercalados en la instalación en ese tramo (válvulas, filtros, codos, derivaciones...) y se le asigna el coeficiente de pérdida ( $k$ ) correspondiente, según las tablas mostradas anteriormente.
3. Empleando la formulación empírica anterior para cada elemento, se obtendrá la pérdida de carga con la que contribuye ese elemento en cuestión.
4. Finalmente, se suman todas las pérdidas de los diferentes elementos para obtener la pérdida de carga total debida a los distintos elementos de la red.

Como se ha identificado el recorrido *OAB* como los tramos de la instalación donde se producirá la mayor pérdida de carga, se realiza el cálculo de las pérdidas de carga de los elementos instalados en estos tramos. En la siguiente tabla se indican los valores obtenidos:

Tabla 24: Pérdidas de carga localizadas.

Tramo	Caudal, Q (l/h)	Diámetro interior, D (mm)	Tipo de elemento	Unidades	Coefficiente de pérdida del elemento, k	Pérdida de carga, $\Delta p_{local}$ (m)
<b>OA</b>	8 208	45,8	Válvula antirretorno	1	1,0	0,098
			Válvula de bola	1	0,1	0,010
			Codos a 90°	8	0,2	0,156
			Derivaciones de ramales portagoteros	31	0,7	2,118
<b>BC</b>	264	13,6	Inserción de los goteros	33	0,7	0,300
Total (m)						<b>2,68</b>

Fuente: Elaboración Propia

En la anterior tabla se han contabilizado las pérdidas de carga que se producen en elementos singulares tales como válvulas, codos o cambios de dirección en la tubería. También se han tenido en cuenta las originadas por las derivaciones de los ramales porta goteros de la tubería principal, así como las interferencias con el flujo debida a la inserción de los goteros en el ramal.

Sin embargo, y por ser elementos singulares que aportan gran pérdida de carga, los filtros deben ser consultados en sus fichas de características técnicas para conocer su valor.

En este caso, se intercalará a la salida de la bomba los siguientes elementos de filtrado con su correspondiente valor de pérdida de carga:

Tabla 25: Filtros instalados en el sistema de riego.

Tipo de filtro	Pérdida de carga (m.c.a.)
<b>Filtro hidrociclón</b>	2,5 metros
<b>Filtro de malla</b>	1,2 metros

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, sumando las pérdidas de carga producida en los dos filtros instalados a las obtenidas en la tabla anterior correspondiente a válvulas

y ramificaciones, se obtiene una pérdida de carga localizada debida a los elementos intercalados en la instalación de:

$$\Delta p_{local} = 2,68 \text{ m} + 2,50 \text{ m} + 1,20 \text{ m} = 6,38 \text{ m}$$

**c) Pérdida de carga producida en los emisarios o goteros.**

La inserción del gotero a la tubería porta goteros produce una pérdida de carga que se puede expresar en forma de longitud equivalente de la tubería donde se inserta el gotero.

En función del diámetro nominal del ramal porta goteros, esta longitud equivalente toma el valor que se indica en la siguiente tabla:

Tabla 26: Longitudes equivalentes de pérdida de carga en goteros.

	Diámetro del portagoteros	12 mm	16 mm	20 mm	25 mm
	Longitud equivalente	0,35 m	0,23 m	0,18 m	0,12 m

Fuente: Ingemecánica

Por tanto, y concluyendo con el cálculo, una vez obtenidas las distintas pérdidas de carga anteriores (a, b y c), se suman todas ellas, con objeto de obtener la pérdida de carga total de la instalación, resultando ser de:

$$\Delta p_{TOTAL} = 12,78 \text{ m} + 6,38 \text{ m} + 0,23 \text{ m} = 19,39 \text{ m}$$

#### 5.4. DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE BOMBEO

En los apartados anteriores se ha obtenido las necesidades de caudal de agua y presión que debe generar el grupo de bombeo para el regado de la plantación de palta.

El caudal necesario para nuestro cultivo se obtuvo en la sección 5.1 obteniendo el siguiente resultado:

- ✚ N° de árboles de palta : 341
- ✚ N° de sectores de riego : 2
- ✚ Caudal de riego por planta : 24 l/h
- ✚ Caudal Total necesario : 8 208 l/h ( $2,28 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ )

Tomando en cuenta futuras ampliaciones o necesidades de agua, consideramos un incremento en 20%, entonces el caudal a suministrar la bomba será de  $9,85 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Por otra parte, en cuanto a la presión que debe dar la bomba de agua para el riego, también llamada altura manométrica ( $H$ ), esta se compone de la suma de los siguientes términos:

$$H = H_g + \Delta p \quad (5.25)$$

Donde,

$H_g$  : altura geométrica, profundidad a la que se encuentra el nivel del agua en el reservorio, pozo o depósito diario ( $m$ ).

$\Delta p$  : pérdida de carga del flujo de agua a su paso por tuberías, filtros, válvulas, etc., en la instalación hasta que sale por el gotero. ( $m$ ) obtenida en el apartado anterior.

Para obtener el valor de la altura geométrica ( $H_g$ ), éste coincidirá con la profundidad a la que se encuentra el nivel del agua en el pozo (a 1,20 metros de profundidad. A este valor habrá que sumarle la variación de nivel que experimente el nivel freático a medida que el bombeo de agua se desarrolla, o bien, por las variaciones debida a la estacionalidad (en verano al ser la época seca el nivel freático de los acuíferos baja).

Con estas consideraciones, se establece que el nivel del agua en el pozo variará de 1,20 a 1,80 metros de profundidad, debiéndose instalar una sonda de nivel que desconecte automáticamente el bombeo de agua cuando el nivel en el pozo baje por debajo de los 1,80 metros de profundidad.

En este sentido, la altura geométrica ( $H_g$ ) que deberá vencer la bomba será, para el caso más desfavorable, de 1,80 metros.

El otro término que proporciona la altura manométrica de la bomba son las pérdidas de carga que se producen en la instalación. Este valor se calculó en el apartado 5.3 anterior resultando ser,  $\Delta p = 19,39$  m.

Sumando ambos conceptos se obtendrá la altura manométrica total o presión que debe dar la bomba:

$$H = H_g + \Delta p = 1,80 + 19,39 = 21,19 \text{ metros}$$

En resumen, los criterios para realizar la selección de la bomba serán:

Tabla 27: Resultados para selección de bomba.

Caudal [ $m^3/h$ ]	Presión [m]
9,85	21,19 m

Fuente: Elaboración Propia



Para la selección de la bomba, cada fabricante dispone generalmente de tablas y herramientas informáticas de selección rápida que permite obtener el modelo de bomba que mejor se adapta a nuestros requerimientos de entre toda la gama de productos. Para nuestro diseño utilizaremos el aplicativo informático del fabricante *Grundfos*<sup>43</sup>, luego este resultado será contrastado con lo que se obtendrá de la metodología aplicada en los párrafos siguientes.

Los resultados del aplicativo informático se muestran a continuación<sup>44</sup>:

Tabla 28: Resultados para selección de bomba.

Modelo de Bomba: CRIF 10-02 A-CA-I-E-HQQE de Grundfos	
	Son Bombas centrífugas verticales de varias etapas. Estas bombas en línea (no autocebantes) pueden utilizarse en sistemas en tuberías y están diseñadas para montarse sobre una base. El motor MGF de estas bombas admite un suministro eléctrico tanto de c.c. como de c.a. Dado que los sistemas electrónicos del motor incorporan funciones de protección del motor, no se requiere ningún tipo de protección adicional para el motor. La función de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) permite al motor funcionar de forma eficiente al conectarlo a un panel solar. El motor tiene un valor P1 de 1250 W y alcanza una velocidad máxima de 3350 rpm.
Caudal nominal	12,1 m <sup>3</sup> /h
Altura nominal	22,1 m
Velocidad para datos de bomba	3466 rpm
<b>MATERIALES</b>	
Cuerpo hidráulico	Acero inoxidable, DIN W.-Nr. 1.4408, AISI 316
Impulsor	Acero inoxidable, DIN W.-Nr. 1.4301
<b>DATOS ELÉCTRICOS</b>	
Tipo de motor	90SC
Potencia de entrada – P1	1,73 kW
Potencia nominal – P2	1,5 kW
Tensión nominal ac	1 x 90-240 V
Tensión nominal dc	30 - 300 V
Cos phi - Factor de potencia	0,99
Velocidad nominal	500-3600 rpm
Grado de protección (IEC 34-5)	IP55
Clase de aislamiento (IEC 85)	F
<b>INSTALACIÓN</b>	
Temperatura amb. Máx.	323 K
Presión máx. a la temp. declarada	16 bar/120 °C - 16 bar/-20°C
<b>OTROS</b>	
Peso neto/bruto	40/44 kg

Fuente: Grundfos

<sup>43</sup> <https://product-selection.grundfos.com>

<sup>44</sup> Los resultados del cálculo, así como los catálogos respectivos se muestran en los Anexos E y F.

A continuación, se describe el método seguido para determinar los componentes y sus resultados respectivos:

#### 5.4.1. Energía hidráulica necesaria por mes ( $E_h$ )

El objetivo de la presente sección es el dimensionado tanto de la instalación fotovoltaica que alimentará al motor del sistema de bombeo, como del propio conjunto motor – bomba. Se deberá determinar, por tanto, la potencia fotovoltaica a instalar para cubrir las necesidades hídricas del cultivo en las condiciones establecidas en las secciones anteriores (Estudio de Necesidades Hídricas) y el número máximo de sectores de riego que podrán funcionar simultáneamente dependiendo de la oferta energética.

Los componentes de la instalación de bombeo fotovoltaico que se va a dimensionar en este documento son los siguientes:

✚ **Subsistema de generación:** está compuesto por el conjunto de módulos conectados en serie y/o paralelo que transforman la energía incidente en energía eléctrica.

✚ **Subsistema de acondicionamiento de potencia:** su función principal es la de proporcionar al conjunto motor – bomba la combinación más adecuada de voltaje/corriente, a la vez que asegurar que el generador fotovoltaico opera en su punto de máxima potencia. Como se verá durante el desarrollo de esta sección, en este caso está formado por un regulador de carga y un inversor. En la actualidad los conjuntos motor-bomba para sistemas de bombeo fotovoltaico incluyen este subsistema, por lo que como veremos más adelante bastará con este tipo de motor-bomba.

✚ **Subsistema de acumulación de energía:** como se explicó en apartados anteriores, el subsistema de acumulación de energía a largo plazo será el propio suelo de la parcela.

✚ **Subsistema motor – bomba:** compuesto por un motor que acciona una bomba, es el principal destino de la energía obtenida en el subsistema de generación.

Dado que la potencia que suministra el campo generador fotovoltaico depende de la intensidad de la radiación, variará para cada lugar y para cada día del año, debido a los cambios de estación y a las condiciones climáticas y geográficas de cada lugar específico.


Necesitamos, pues, datos medios mensuales de radiación solar del lugar donde se vayan a montar la instalación y, en caso de no disponer de valores para la población en concreto donde se instale, tomaremos los de la población más cercana de la que se dispongan estos.

Partiremos de los datos de radiación media diaria de cada mes sobre superficie horizontal, y a partir de estos, con la ayuda de las tablas, podremos calcular la irradiancia incidente sobre superficie inclinada. Se dispone de información de la NASA, referente a Meteorología de Superficie y Energía Solar<sup>45</sup>, que es un aplicativo informático que mediante el ingreso de información geográfica (Latitud y Longitud de la zona) nos proporciona información diversa (entre ellos radiación solar horizontal) de la zona del estudio. También disponemos de información del fabricante Grundfos se ha obtenido los valores promedio de irradiancia mensual, los cuales son tabulados en forma de HSP (horas


---

<sup>45</sup> <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi>

solar pico). Como se recuerda las “horas de sol pico” pueden definirse como el número de horas al día con una hipotética irradiancia de 1 000 W/m<sup>2</sup> que en conjunto suman la misma irradiación total que la real de ese día. A continuación, se muestran las dos tabulaciones (correspondiente a NASA y al fabricante *Grundfos*) en donde se puede apreciar que la segunda opción muestra valores más conservadores y por lo tanto trabajaremos con ellos.



# NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data



Latitude **-6.2** / Longitude **-72.73** was chosen.

	Unit	Climate data location
Latitude	°N	-6.2
Longitude	°E	-72.73
Elevation	m	169
Heating design temperature	°C	21.00
Cooling design temperature	°C	35.57
Earth temperature amplitude	°C	10.7
Frost days at site	day	0

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	27.4	66.3%	4.62	99.0	1.4	27.2	0	545
February	26.9	69.3%	4.41	99.1	1.5	26.7	0	484
March	27.2	67.3%	4.43	99.1	1.5	27.1	0	541
April	26.8	66.8%	4.26	99.1	1.6	26.6	0	508
May	27.4	57.3%	4.24	99.2	1.9	26.9	0	543
June	27.4	48.6%	4.29	99.3	2.2	26.7	0	524
July	27.6	39.3%	4.67	99.4	2.1	26.7	0	544
August	28.8	34.6%	5.02	99.3	1.8	28.1	0	580
September	30.1	35.4%	5.15	99.1	1.6	29.7	0	603
October	30.4	39.7%	5.10	99.0	1.5	30.2	0	632
November	29.3	50.4%	4.76	99.0	1.5	29.3	0	580
December	28.2	61.0%	4.61	99.0	1.4	28.1	0	569
<b>Annual</b>	<b>28.1</b>	<b>53.0%</b>	<b>4.63</b>	<b>99.1</b>	<b>1.7</b>	<b>27.8</b>	<b>0</b>	<b>6653</b>
Measured at (m)					10.0	0.0		

Figura 39: Datos de Radiación y Meteorológicos de la Zona de Estudio.

Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi>

Tabla 29: Valores de Radiación en zona de estudio.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Irradiación hztal [kWh/m <sup>2</sup> día]	4,4	4,0	4,1	4,4	4,7	4,8	5,0	5,5	5,2	5,0	5,1	4,5

Fuente: Grundfos

A continuación, se muestra el resultado de cálculo de la energía hidráulica requerida por mes ( $E_h$ ), se puede observar que se ha considerado un factor que toma en cuenta las mayores necesidades de agua durante los meses de verano.

Tabla 30: Energía hidráulica requerida por mes ( $E_h$ ).

MES	V' (teórico) [m <sup>3</sup> /día]	FACTOR	V (real) [m <sup>3</sup> /día]	Altura estática Hg[m]	Altura dinámica Hd[m]	Abatimiento Ab[m]	Altura total H[m]	Eh[kWh]	HSP	Eh/HSP
Enero	39,40	1,25	49,250	1,30	19,39	0,50	21,19	2,841	4,40	0,646
<b>Febrero</b>	<b>39,40</b>	<b>1,25</b>	<b>49,250</b>	<b>1,30</b>	<b>19,39</b>	<b>0,50</b>	<b>21,19</b>	<b>2,841</b>	<b>4,00</b>	<b>0,710</b>
Marzo	39,40	1,25	49,250	1,30	19,39	0,50	21,19	2,841	4,10	0,693
Abril	39,40	1,00	39,400	1,30	19,39	0,50	21,19	2,273	4,40	0,517
Mayo	39,40	1,00	39,400	1,30	19,39	0,50	21,19	2,273	4,70	0,484
Junio	39,40	1,00	39,400	1,30	19,39	0,50	21,19	2,273	4,80	0,473
Julio	39,40	1,00	39,400	1,30	19,39	0,50	21,19	2,273	5,00	0,455
Agosto	39,40	1,00	39,400	1,30	19,39	0,50	21,19	2,273	5,50	0,413
Septiembre	39,40	1,00	39,400	1,30	19,39	0,50	21,19	2,273	5,20	0,437
Octubre	39,40	1,00	39,400	1,30	19,39	0,50	21,19	2,273	5,00	0,455
Noviembre	39,40	1,00	39,400	1,30	19,39	0,50	21,19	2,273	5,10	0,446
Diciembre	39,40	1,20	47,280	1,30	19,39	0,50	21,19	2,727	4,50	0,606

Fuente: Elaboración propia

La orientación de los paneles fotovoltaicos será hacia el norte geográfico y en cuanto al ángulo de inclinación será de 7,98° de acuerdo a la expresión anteriormente vista:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|\Phi| = 3,7 + 0,69 * 6,2 = 7,98^\circ$$

donde  $|\Phi|$  = Latitud del lugar, sin signo (grados)

#### 5.4.2. Mes condicionante

El mes de dimensionado será aquel en el cual el cociente entre la energía hidráulica necesaria, y la energía solar disponible, sea máximo. Por lo tanto, será el mes más deficitario energéticamente para satisfacer la demanda de agua.

Para obtener este mes se calcularon los cocientes entre las energías hidráulicas y las radiaciones de cada mes, eligiendo el mes cuyo cociente sea máximo, es decir donde la radiación solar sea mínima. Los datos energéticos de este mes se utilizarán como base para dimensionar los componentes de la instalación. Cabe destacar que para nuestro caso el mes de dimensionado es febrero (resaltado en la tabla anterior).

#### **5.4.3. Determinación de la potencia del campo fotovoltaico**

Consta en calcular la potencia pico del campo de paneles necesaria para satisfacer la demanda hídrica a lo largo de todo el año. En el momento de calcular esto supondremos que los módulos operan en sus condiciones estándar (25 °C y 1 000 W/m<sup>2</sup>) y que están suministrado su potencia máxima durante todo el día.

En la realidad, la potencia de salida de los módulos será inferior a la nominal (pico), debido a factores tales como que la irradiancia a lo largo del día toma valores inferiores a 1 000 W/m<sup>2</sup>, debido a la influencia de la temperatura de operación de los módulos, a las pérdidas por conexionado de estos, etc.

Para calcular la potencia pico del generador se procederá siguiendo los pasos detallados a continuación.

En primer lugar, se calculará la energía eléctrica diaria,  $E_e$ , expresada en kWh como:

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{mb}} \quad (5.26)$$

Donde  $\eta_{mb}$  es el rendimiento medio diario mensual del subsistema motor –bomba y cuyo valor se estima en:

- 0,3 para unidades de succión superficial, o unidades flotantes de succión sumergida que utilizan motores de imán permanente c.c con o sin escobillas y bombas centrífugas.
- 0,4 para unidades flotantes de c.c con bomba sumergida o unidades de bomba sumergida con motor en la superficie o con motor de c.c con o sin escobillas y bomba centrífuga multiestado.
- 0,42 para bombas centrífugas multiestado sumergibles de c.c o c.a y bombas de desplazamiento positivo sumergidas en motor de c.c en la superficie.

La demanda de energía mecánica se va a corresponder con un consumo de energía eléctrica que vendrá determinado por las características y prestaciones del grupo motor-bomba. El parámetro descriptivo en este caso es el rendimiento electromecánico, que se define como el porcentaje de la energía eléctrica que es capaz de transformarse en energía mecánica en un sistema de impulsión de agua.

Una vez obtenida  $E_e$ , se calculará el área de generador necesaria para suministrar dicha energía:

$$A = \frac{E_e}{\eta_{fv} G_{dm}} \quad (5.27)$$

$G_{dm}$ , es la energía media diaria mensual incidente sobre el generador fotovoltaico para el peor mes, expresada en kWh/m<sup>2</sup>/día y que se calculará a partir del dato que tenemos en las tablas de la energía media diaria mensual incidente sobre superficie horizontal (habrá que pasar los Mj a kWh) y aplicando el factor de corrección, k, por inclinación de paneles (1 Mj = 1/3,6 kWh).

$\eta_{fv}$ , es el rendimiento medio diario del generador, que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\eta_{fv} = F_m \cdot F_t \cdot \eta_g \quad (5.28)$$

$F_m$ , es el factor de acoplo medio y se define como el cociente entre la energía eléctrica que se genera en condiciones reales de operación, y la que se generaría si el generador trabajase en el punto de máxima potencia. Se tiene pues en cuenta el hecho de que el generador no trabaja siempre en condiciones estándar. Si no conocemos su valor tomaremos 0,95 si se dispone de un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia, 0,9 para bombas centrífugas y 0,8 para las de desplazamiento positivo.

$F_t$ , es un término que tiene en cuenta el efecto de la temperatura sobre los módulos fotovoltaicos y se estima en 0,8 para climas cálidos y 0,9 para climas fríos.

$\eta_g$ , es el rendimiento del generador a la temperatura de referencia, 25°C. La potencia eléctrica de salida de un generador fotovoltaico a 25 °C y 1 000 W/m<sup>2</sup> es:

$$P_p = \eta_g \cdot A \cdot 1\,000 \quad (5.29)$$

Sustituyendo  $\eta_g$  y A por sus valores, tendremos:

$$P_p = \frac{E_h \cdot 1\,000}{\eta_{mb} \cdot F_m \cdot F_t \cdot G_{dm}} = \frac{2,841 \times 1\,000}{0,3 \times 0,9 \times 0,8 \times 3,6} = 3\,653,46 \text{ W} \quad (5.30)$$

Cabe destacar que en la expresión anterior se ha considerado un factor  $k$  de inclinación de paneles de 0,9 y la radiación solar correspondiente al mes de febrero (4,0 kWh/m<sup>2</sup>/día).



#### 5.4.4. Selección de la bomba

A continuación, se exponen las condiciones de funcionamiento, ventajas e inconvenientes de los principales tipos de bomba:

✚ **Bombas centrífugas superficiales:** tienen la ventaja de fácil acceso para reparaciones y mantenimiento. Sin embargo, están limitadas en términos de capacidad de succión (8 metros máximo). Son de bajo costo, larga durabilidad y toleran cierta cantidad de arena y otros sedimentos. Se recomiendan para aplicaciones que requieran grandes volúmenes de agua (20,000 a 100,000 litros por día) a mediana carga dinámica total (1 a 25 metros).

✚ **Bombas centrífugas sumergibles:** son las más comunes en sistemas de bombeo FV. Hay una gran variedad de modelos. Estas bombas no deben operar en vacío porque sufren daños por sobrecalentamiento. La mayoría pueden tener una vida útil de más de 10 años en servicio continuo, aunque su costo inicial es mayor que las bombas superficiales. Se recomiendan para bombear cantidades moderadas de agua (5,000 a 20,000 litros por día) a carga dinámica total media (20 a 35 metros).

✚ **Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo:** son adecuadas para el bombeo de bajas cantidades de agua (1,000 a 5,000 litros por día). Son más eficientes que las bombas centrífugas, especialmente mayor carga dinámica total. Este tipo de bombas son menos resistentes a la arena. Los diafragmas y sellos se desgastan y deben ser reemplazados periódicamente.

***Considerando la necesidad de bombear grandes volúmenes de agua y la baja altura de aspiración (inferior a 3 m) resultado del depósito de regulación se ha elegido una bomba centrífuga superficial.***

Con los datos de caudal y altura calculados y mostrados en la Tabla N°27, procedemos a seleccionar la bomba a utilizar en nuestro sistema de riego, tal y como puede observarse en la Tabla N°28 las características de la bomba, del fabricante Grundfos, más ideales para los valores de caudal y altura necesarios son los de la bomba obtenida en el aplicativo informático del fabricante.

Por lo tanto, como conclusión utilizaremos:


***Modelo de Bomba: CRIF 10-02 A-CA-I-E-HQQE de Grundfos***

#### **5.4.5. Cálculo del arreglo del campo fotovoltaico**

Para determinar la cantidad y forma de conexionado necesitamos saber con qué tipo de paneles vamos a trabajar, la tensión nominal del motor eléctrico que utilizará la bomba y la potencia del campo fotovoltaico determinada en 5.4.3.

En primer lugar, el panel fotovoltaico a utilizar será el *GF 270 de Grundfos*, el cual tiene las siguientes características:

**GF 270**



Advierta! la foto puede diferir del actual producto

Código: [99299012](#)

The GF 270 is a polycrystalline solar module. The module is equipped with MC4 plugs for easy connection and comes as 30 pieces per pallet without individual packing.  
It must be mounted on a support structure, tilted at an angle ensuring optimum utilization of the solar energy.

**Instalación:**  
Rango de temperaturas ambientes: 233 .. 358 K

**Datos eléctricos:**  
Tensión del punto de potencia máximo: 31,6 V  
Tensión del circuito abierto: 38,4 V  
Potencia máx. en el momento: 8.76 A  
Corriente de corte del módulo: 9.11 A  
Potencia de salida máx.: 270 W  
Tipo de modulo solar: cristalino o amorfo: POLICRISTALINO

Figura 40: Panel solar empleado.

Fuente: Fabricante Grundfos

Como se puede observar en la Tabla N°28 la tensión nominal dc de trabajo del motor a utilizar está entre 30 - 300V, por lo que para que el sistema trabaje en condiciones adecuadas la tensión nominal (a plena carga) de nuestro campo fotovoltaico debe estar comprendida en este rango de tensiones. Como la tensión del punto de potencia máximo del panel empleado es de 31,6V podemos emplear seis paneles en serie por lo que la tensión nominal de nuestro arreglo será de:

$$\text{Tensión nominal del campo fotovoltaico} = 6 \times 31,6 = 189,6 \text{ V}$$

El cual como se observa está comprendido en el rango de trabajo de la bomba.

Por otra parte, necesitamos conocer el número de ramas en paralelo a instalar. También es necesario saber que la potencia del campo fotovoltaico ahora deberá ser necesariamente por lo menos igual a la potencia  $P_p$  del campo fotovoltaico (obtenido de la ec. 5.30). Podemos usar la siguiente expresión:

$$\text{ramales en paralelo} = \frac{\text{Potencia } P_p}{\# \text{paneles serie} \times \text{Potencia panel}} \quad (5.31)$$

Reemplazando valores tenemos:







$$\text{ramales en paralelo} = \frac{3\,653,46}{6 \times 270} = 2,3 \approx 3$$

**Conclusión:**

***Nuestro campo fotovoltaico empleará paneles GF 270 del fabricante Grundfos y tendrá 6 módulos en serie y 3 ramas en paralelo. Es decir, se emplearán 18 módulos fotovoltaicos y la potencia total será de 4,86kW.***

#### 5.4.6. Configuración de la instalación fotovoltaica

Una vez realizado el cálculo y selección de los componentes del sistema de bombeo fotovoltaico, tenemos las características principales, las cuales son:

 Potencia FV instalada	: 4,86 kW
 Número de sectores de riego	: 2
 Potencia máxima de entrada del motor $P_1$	: 1,73 kW
 Potencia nominal $P_2$	: 1,50 kW
 Caudal máximo de bombeo	: 12,1 m <sup>3</sup> /h
 Altura nominal	: 22,1 m

El diagrama unifilar del sistema propuesto se muestra en el plano DU-01.

#### 5.4.7. Volumen de agua bombeada al año

La cantidad de agua en riego anual aproximada que será capaz de producir nuestro sistema fotovoltaico será:

Tabla 31: Cantidad de agua bombeada al año [m<sup>3</sup>].

MES	HSP	N° días	m3/mes
Enero	4,40	31	1343,540
Febrero	4,00	28	1103,200
Marzo	4,10	31	1251,935
Abril	4,40	30	1300,200
Mayo	4,70	31	1435,145
Junio	4,80	30	1418,400
Julio	5,00	31	1526,750
Agosto	5,50	31	1679,425
Septiembre	5,20	30	1536,600
Octubre	5,00	31	1526,750
Noviembre	5,10	30	1507,050
Diciembre	4,50	31	1374,075
			<b>17003,070</b> m3/año

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.8. Cálculo de sección del conductor alimentador

Para el cálculo de la sección del conductor que alimentará al sistema de bombeo desde nuestro campo fotovoltaico disponemos de la siguiente información:

- Potencia a transmitir : 4,86 kW
- Tensión de operación : 189,6 V
- Corriente nominal ( $I_n$ ) :  $9,11 \times 3 = 27,33$  A
- Corriente de diseño ( $I_d = 1,25I_n$ ) : 34,16 A
- Longitud del conductor : 20 m
- Máxima caída de tensión : 1% (CNE-U Regla 050-102)

Para conductores de cobre la sección de los cables para corriente continua y alterna monofásica se calculará mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{2LI}{56 \Delta V} \quad (5.32)$$

Donde,

$S$  : Sección en  $mm^2$ .

$L$  : Longitud en  $m$ .

$56$  : Conductividad del cobre.

$I$  : Intensidad en amperios.

$\Delta V$  : Máxima caída de tensión en voltios ( $1\% \times 189,6V = 1,90 V$ )

Reemplazando valores:

$$S = \frac{2 \times 20 \times 34,16}{56 \times 1,90} = 12,84 mm^2$$

**Conclusión:**

**Se empleará conductor NYY de 16mm<sup>2</sup>.**

## **5.5. ANÁLISIS ECONÓMICO - FINANCIERO**

En la presente sección del capítulo se procederá a realizar el análisis económico – financiero del proyecto. De esta manera el análisis financiero que se expondrá a continuación permitirá conocer la viabilidad económica del proyecto propuesto para nuestro sistema de bombeo fotovoltaico para dos sectores. En este sentido se hará uso de algunos indicadores que permitirán evaluar la implementación del Sistema Fotovoltaico.

Los indicadores que se utilizarán son el Valor Actual Neto (VAN), el cual nos mostrará en el presente el valor de los flujos de dinero del fondo utilizando una Tasa de Descuento; la Tasa Interna de Retorno (TIR) será otro indicador a utilizar, la cual representa la rentabilidad porcentual del proyecto.

Sin embargo, para hacer uso de estos indicadores, en primer lugar, se procederá a determinar los diferentes ingresos y egresos monetarios del proyecto.

### **5.6.1. Inversión y estructura del financiamiento**

Para comenzar, se procederá a describir tanto la inversión necesaria del proyecto como la estructura del mismo.

#### **Inversión**

Se ha estimado que en el proyecto se invertirá S/. 41 243,44 para la implementación del sistema de bombeo fotovoltaico para el cultivo de rosas propuesto.

A continuación, se muestran las siguientes tablas que describe el costo total del proyecto:

Tabla 32: Costo de Inversión del Proyecto.

## RESUMEN DE PRESUPUESTO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA PLANTACIÓN DE 2,18 Ha DE PALTAS EN EL FUNDO PRADA, DISTRITO DE MOTUPE, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

### SUBCAPÍTULO 1.1 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA, EQUIPOS, INSTALACIONES ELÉCTRICAS

ITEM	DESCRIPCION DE PARTIDAS	UNID	METRADO	COSTO UNITARIO	PARCIAL
<b>1,00</b>	<b>EQUIPOS INSTALACIÓN BOMBEO FOTOVOLTAICO</b>				
1,01	MÓDULO FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO GF 270, 270 Wp, GRUNDFOS O SIMILAR , CON TOLERANCIA +/-25%, CLASE DE PROTECCIÓN II, TENSIÓN DEL PUNTO DE POTENCIA MÁXIMO DE 31,6 V, VOC=38,4 V, ISC=9,11 A.	u	18,00	785,00	14 130,00
1,02	BOMBA CRIF 10-02 A-CA-I-E-HQQE; 3466 rpm; 12,1 m <sup>3</sup> /h; 22,1 m; 1,73-1,5kW(P1, P2); GRUNDFOS O SIMILAR; CUERPO HIDRÁULICO DE ACERO INOXIDABLE DIN W.-Nr. 1.4408 AISI 316; IMPULSOR DE ACERO INOXIDABLE DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304	u	1,00	9 538,69	9 538,69
1,03	ESTRUCTURA METÁLICA DE SOPORTE PARA SUPERFICIE DE 30m <sup>2</sup> DE CAPTADORES A 7° DE INCLINACION CON LA HORIZONTAL, PARA SUPERFICIE PLANA, A ANCLAR O LASTRAR, FORMADO CON PERFILES DE ACERO EN FRIO, INCLUSO IMPRIMACION COMO PROTECCIÓN ANTIOXIDANTE, ACCESORIO Y PEQUEÑO MATERIAL NECESARIO, COMPLETAMENTE MONTADO Y PROBADO.	glb.	1,00	1 250,00	1 250,00
<b>Sub Total 1,00</b> .....					<b>24 918,69</b>
<b>2,00</b>	<b>INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>				
2,01	CABLE NYY, 1 KV, 2-1x16 mm <sup>2</sup>	m	15,00	10,80	162,00
2,02	CABLE TW, 1 KV, 1x10 mm <sup>2</sup> (TIERRA)	m	15,00	3,95	59,25
2,03	TUBO DE PVC SAP 38mmØ, 3.20m long.	m	5,00	6,85	34,25
2,04	CURVA PVC SAP 38mmØ	u	4,00	4,90	19,60
2,05	CINTA AISLANTE	rl	1,00	5,80	5,80
<b>Sub Total 2,00</b> .....					<b>280,90</b>
<b>3,00</b>	<b>PUESTAS A TIERRA</b>				
3,01	ELECTRODO DE ACERO RECUBIERTO CON COBRE DE 16mm ø X 2,40 m. PROVISTO CON CO	u	1,00	40,84	40,84
3,02	CAJA DE REGISTRO DE CONCRETO PARA INSPECCION DE P.T. (INC. SEÑALIZACIÓN)	u	1,00	35,85	35,85
3,03	CONECTOR DE COBRE TIPO AB	u	1,00	5,30	5,30
3,04	TUBO PVC 20mmØ x 3.20m	u	2,00	6,75	13,50
3,05	BENTONITA (50 Kg.)	Bls.	1,00	32,50	32,50
<b>Sub Total 3,00</b> .....					<b>127,99</b>

#### RESUMEN GENERAL

1.0 SUMINISTRO DE MATERIALES	25 327,58
2.0 MONTAJE ELECTROMECHANICO	3 799,14
3.0 TRANSPORTE	1 266,38
4.0 COSTO DIRECTO	30 393,10
5.0 GASTOS GENERALES	3 039,31
6.0 UTILIDADES	1 519,66
7.0 COSTO SUBTOTAL	34 952,07
8.0 I.G.V. (18%)	6 291,37
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>41 243,44</b>

Fuente: Elaboración propia



La fuente de donde provendrán los fondos para cubrir la inversión inicial descrita anteriormente será por un préstamo bancario.

A continuación, se describe los detalles.

**Préstamo Bancario:** La inversión total (S/. 42 000.00) será cubierto con un préstamo bancario. El préstamo se realizará con un banco mediante un crédito comercial a un plazo de 24 meses, la tasa de interés que se elegirá será con la que el proyecto resulte lo suficientemente rentable; los pagos mensuales dependerán de la tasa de interés.

#### **5.6.2. Flujo de caja proyectado**

El flujo de caja permitirá observar los ingresos y/o egresos netos que tendrá el proyecto durante los años de operación, es decir en un horizonte de 20 años.

##### **Estructura del flujo de caja**

Los componentes del flujo de caja son la inversión inicial, los diferentes ingresos y egresos que se darán durante el tiempo de operación del proyecto.

**a) Ingresos y egresos proyectados:** Los ingresos que el proyecto recibirá se obtendrán de los fondos generados al dejar de utilizar el sistema de riego por inundación actualmente utilizado con todos los gastos que implica; mientras que los egresos a considerar son la cuota anual por el préstamo bancario (se analizará con una tasa de interés máxima y la depreciación de los equipos según su vida útil. A continuación, se muestran los gastos (ingresos para el flujo de caja) anuales calculados:

Tabla 33: Gastos anuales con riego tradicional.

Descripción	Unidad	Cant.	Costo [\$/.]	Total [\$/.]
Costo de agua de riego	h	576	15,00	8640,00
Ayudantes de riego	dh	180	30,00	5400,00
<b>Total Anual</b>				<b>14040,00</b>

**Fuente:** Elaboración propia

A continuación, se presenta un resumen de los flujos de cajas:

Tabla 34: Flujos de caja proyectados en un horizonte de 20 años.

FLUJO DE CAJA DE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO																						
AÑOS		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FLUJO DE CAPITAL																						
Inversión Fija	S/.	-41 243,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOTAL FLUJO CAPITAL	S/.	-41 243,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
FLUJO OPERATIVO																						
INGRESOS																						
Ahorro en Combustible	S/.		14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	14 040,00	
Ahorro por manito y otros en Motobomba	S/.		2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	2 808,00	
TOTAL DE INGRESOS	S/.		16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	16 848,00	
EGRESOS																						
Costos Variables																						
Manito en SBFV	S/.		206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	
TOTAL EGRESOS	S/.		206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	206,22	
UTILIDAD DE OPERACIÓN	S/.		16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	
FLUJO EFECTIVO (OPERATIVO)	S/.		16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	
FLUJO TOTAL																						
Flujo de caja operativos	S/.	-	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	
Flujo de caja de capital	S/.	-41 243,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	
TOTAL	S/.	-41 243,44	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	16 641,78	
ACUMULATIVO	S/.	-41 243,44	-24 601,66	-7 959,87	8 681,91	25 323,69	41 965,47	58 607,26	75 249,04	91 890,82	108 532,61	125 174,39	141 816,17	158 457,95	175 099,74	191 741,52	208 383,30	225 025,08	241 666,87	258 308,65	274 950,43	
VALOR ACTUAL DE FLUJO DE CAJA	S/.	-41 243,44	15 128,89	13 753,54	12 503,22	11 366,56	10 333,24	9 393,85	8 539,87	7 763,51	7 057,74	6 416,13	5 832,84	5 302,58	4 820,53	4 382,30	3 983,91	3 621,74	3 292,49	2 993,17	2 721,06	
VAN	S/.		100 437,44	100 437,44																		
TIR (%)			40,30%																			
VAN Beneficios	S/.		141 680,88																			
VAN Costos de inversión	S/.		41 243,44																			
INDICE DE RENTABILIDAD (B/C)			3,44																			
TIEMPO DE RETORNO DE INVERSIÓN			2,48 Años																			

$$\text{Periodo de Payback} = \left[ \frac{\text{Periodo último con Flujo}}{\text{Acumulado Negativo}} \right] + \left[ \frac{\text{Valor absoluto del último Flujo acumulado negativo}}{\text{Valor del Flujo de Caja en el siguiente periodo}} \right]$$

Fuente: Elaboración propia

### 5.6.3. Rentabilidad del proyecto

Luego de haber establecido los ingresos y egresos del proyecto, podemos hacer uso de los indicadores que ayudarán a analizar de manera objetiva lo atractivo de la inversión desde el punto de vista monetario. Para ello necesitamos determinar la tasa de descuento y el horizonte de evaluación del proyecto.

#### Tasa de descuento

Esta tasa representa una medida de la rentabilidad mínima que se exigirá al proyecto de acuerdo a su riesgo. Además, al obtenerla podremos utilizarla para conocer el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto.

Los flujos de caja se descontarán a una tasa de descuento igual a la tasa de interés activa vigente en el mercado. Para ello se han considerado las siguientes tasas para un préstamo a cuota fija a más de 360 días.

Tabla 35: Tasa Activa Anual.

Crédito a Microempresas	Tasa de Activa Anual
<b>BBVA Continental</b>	12,3%
<b>Mi Banco</b>	33,95%

**Fuente:** Superintendencia de Banca y Seguros (SBS).

#### Horizonte del Proyecto

El proyecto se ha sido evaluado en un horizonte de 20 años, en la cual se determinará si el proyecto es rentable.

#### 5.6.4. Valor Actual Neto (VAN)

El valor Actual Neto es la cantidad monetaria que resulta de regresar los flujos netos del futuro hacia el presente con una tasa de descuento. El proyecto se acepta siempre y cuando el VAN sea mayor a cero, caso contrario se rechaza.

La tasa de descuento (costo de capital) con la que se ha evaluado la inversión es del 12,3%

Con estas consideraciones obtenemos nuestros VAN donde podemos concluir que el proyecto es económicamente rentable durante los 20 años de operación del proyecto.

Tabla 36: Valor Anual Neto del proyecto.

Tasa de Descuento	VAN	Decisión
12,3%	S/. 100 437,44	El proyecto es rentable, la inversión debe realizarse.

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 5.6.5. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR), es aquella tasa de interés que hace igual a cero el valor de flujos de beneficios netos.

El criterio para aceptar o rechazar el proyecto se fundamenta en que, si la TIR es menor que la tasa de descuento se debe rechazar el proyecto, en caso contrario se le acepta.

Tabla 37: Tasa Interna de Retorno del proyecto.

Tasa de Descuento	TIR	Decisión
<b>12,3%</b>	40,30%	El proyecto se debe aceptar

**Fuente:** Elaboración Propia

Al calcular la TIR para nuestro proyecto vemos que es mayor a la tasa de descuento mínima y máxima respectivamente, con lo cual confirmamos la rentabilidad del proyecto.

## 5.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a la información proporcionada por el propietario del predio actualmente se emplean 24 horas de agua corriente (por acequia) y se emplean 3 peones como apoyo para los trabajos de riego al mes lo que nos da un gasto anual (de acuerdo a la tabla 33) de S/. 14 040,00. Este valor fue utilizado como ingreso, que es el monto ahorrado anual, que se haría con la utilización de nuestro sistema de bombeo.

Por otro lado, la carga instalada considerada para el funcionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico es de 1,73 kW y 1,5 kW (potencia eléctrica e hidráulica respectivamente), la cual será alimentada con un campo fotovoltaico de 4,86 kW, con paneles fotovoltaicos de 270 W (en arreglo serie paralelo de 6 x 3).

La zona donde se encuentra la parcela cuenta con muy buena radiación entre 3,90 a 6,60 HPS como promedio mensual.

Este sistema de bombeo fotovoltaico (SBFV), en el mes con menos radiación solar tendrá una producción de hasta 1 103,2 m<sup>3</sup>/mes cubriendo ampliamente las necesidades hídricas de la plantación de paltas de la parcela.

Por otro lado, en el análisis económico y financiero realizado para determinar la rentabilidad del proyecto se tiene un VAN de S/. 100 437,44 soles a una tasa del 12,3% (tasa de interés bancario mínima) en un horizonte de 20 años con una TIR de 40,30% lo que hace viable económicamente nuestro proyecto.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1. CONCLUSIONES**

De acuerdo al estudio que se ha seguido en el presente trabajo de investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Se cuantificaron los niveles de radiación existentes en la zona, para lo cual se utilizaron la data existente proveniente de la página Web de la Nasa y el software especializado del fabricante con el cual se trabajó.
2. Se determinaron las necesidades hídricas de la plantación, para lo cual se hizo un análisis agronómico siguiendo metodología especializada para el tipo de cultivo y las condiciones climáticas de la zona. Dichos cálculos nos permitieron estimar el caudal de diseño de nuestro sistema.
3. Se dimensionaron los componentes del proyecto dando como resultado como datos principales: motor bomba con caudal nominal de 12,1 m<sup>3</sup>/h - 22,1 m de altura nominal y potencia nominal de 1,73 kW – 1,5 kW (potencia de entrada eléctrica e hidráulica respectivamente). Por otra parte, nuestro campo fotovoltaico tendrá 6 módulos en serie y 3 ramas en paralelo, cada uno de 270W dando una potencia total de 4,86 kW.
4. Se realizó el análisis financiero del proyecto, llegando a la conclusión que la metodología aplicada para evaluar la viabilidad técnica y económica para implementar el sistema de bombeo fotovoltaico en el fundo “Prada” es rentable frente a la alternativa riego tradicional por inundación, actualmente utilizado.



5. El sistema de bombeo fotovoltaico (SBFV), después de realizado el análisis nos proporcionó una viabilidad con una producción mensual mínima de agua de 1 103,20 m<sup>3</sup>/mes cubriendo ampliamente las necesidades hídricas de la plantación de palta, y con una TIR promedio del 40,30 %.
6. Efectuando el análisis económico y financiero se obtuvo un VAN de S/. 100 437,44 y la TIR de 40,30% a una tasa mínima del 12,3% (BBVA), así; esto hace que la inversión sea rentable frente a cualquier tasa de interés bancario del mercado local y actual.
7. Con los resultados obtenidos se demuestra que el sistema de riego fotovoltaico propuesto no solamente es rentable económicamente, sino que, también lo es desde el punto de vista técnico, pues como se ha indicado se mejora el rendimiento hídrico de la plantación, se asegura también la no existencia de salinidad en el suelo.
8. Desde el punto de vista de un riego que se aplica mediante una instalación solar fotovoltaica y que emplea el suelo como principal subsistema de acumulación de energía, se trata de una programación más eficiente ya que la demanda energética mensual se acomoda a la oferta. De esta forma, las dimensiones del captador no están condicionadas por necesidades energéticas en meses con poca oferta, como puede producirse mediante una programación de riegos convencional.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

De acuerdo al estudio que se ha seguido en el presente trabajo de investigación se ha llegado a las siguientes recomendaciones:

1. Se debe realizar una limpieza por la acumulación de tierra en la superficie de los paneles en un mínimo dos veces por semana.
2. Se recomienda para la utilización del riego tecnificado propuesto hacerlo estrictamente por sectores para poder aprovechar de manera adecuada el caudal proporcionado por nuestro sistema.
3. Se recomienda el mantenimiento del sistema de conducción para evitar depósitos de sedimentos que puedan obstruir los goteros.
4. Capacitar al agricultor en relación con el uso y mantenimiento de los equipos.
5. Llevar un control en relación con la producción para determinar las horas de riego necesarias y cambiarlas en función de la experiencia que se va adquiriendo.
6. Señalar la trayectoria de las tuberías, tanto eléctricas como hidráulicas, en el terreno para evitar la ruptura de estas a la hora de realizar trabajos de mantenimiento en la finca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### BIBLIOGRAFÍA

- a) ADRA Perú. (2009). MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO SISTEMA DE RIEGO. Recuperado el 18 de octubre de 2014, de [http://www.adra.org.pe/en/archivos/publicaciones/pub\\_719\\_Manual\\_OYM\\_RG\\_23mar.pdf](http://www.adra.org.pe/en/archivos/publicaciones/pub_719_Manual_OYM_RG_23mar.pdf)
- b) Allen, Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56. ROMA.
- c) Alonso M., Chenlo F., “Sistemas de Bombeo Fotovoltaico”, Departamento de Energías Renovables CIEMAT, 2015.
- d) Arceda M., Hernandez A., “Proyecto de Riego por Goteo Utilizando Energía Solar para Cultivo de Aguacate en la Finca Ojo de Agua en la Localidad de San Francisco Libre”, Universidad Nacional de Ingeniería, 2012, Nicaragua.
- e) “Atlas de Energía Solar del Perú”, Senamhi, MEM
- f) Decreto Legislativo N° 1002. Decreto legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.
- g) Guía para el desarrollo de proyecto de bombeo de agua con energía fotovoltaica volumen 1 Southwest Technology Development Institute New Mexico State University
- h) I. García, “Instalación de Riego Fotovoltaico de 4 ha de Olivar en Calahorra (Rioja)”, Universidad Pública de Navarra, 2011, España.
- i) Medina Rengifo, J., Himeur, Y., Romero Zeballos, J. L., Zúñiga Velando, C., & Alvarado Paco, L. (2005). Manual de Operación y Mantenimiento de un Sistema

de Riego por Goteo. Recuperado el 18 de Octubre de 2014, de [http://www.predes.org.pe/predes/cartilla\\_riegoteo.pdf](http://www.predes.org.pe/predes/cartilla_riegoteo.pdf)

- j) Proyecto de Norma Técnica Peruana PNTD 399.403 – 2003 Sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp. “configuración y método para la determinación de la eficiencia energética del sistema” primera edición.
- k) R.D. N° 003-2007-EM/DGE. Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural. (22/02/2007).
- l) Reglamento General de Electricidad con Energías Renovables DS N°. 050-2008-EM de 2 de mayo 2008.
- m) Reglamento técnico “Especificaciones Técnicas y Ensayos de los componentes de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos hasta 500 Wp”, Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Electricidad, Febrero – 2005.
- n) Texto único refundido de las especificaciones técnicas de diseño y montaje de instalaciones solares fotovoltaicas para la producción de electricidad, SODEAN S. A.

**o) LINKORAFÍA**

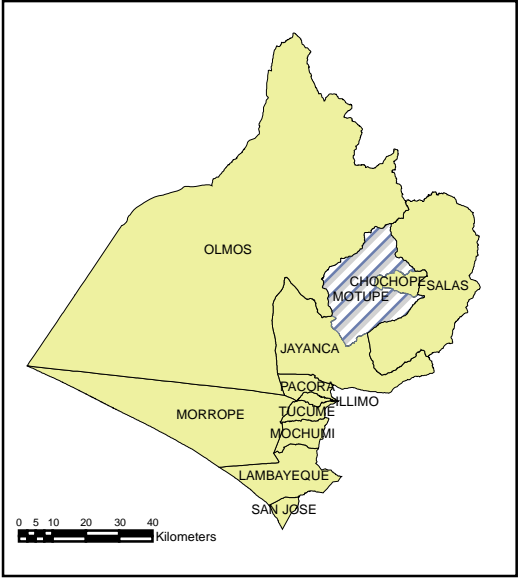
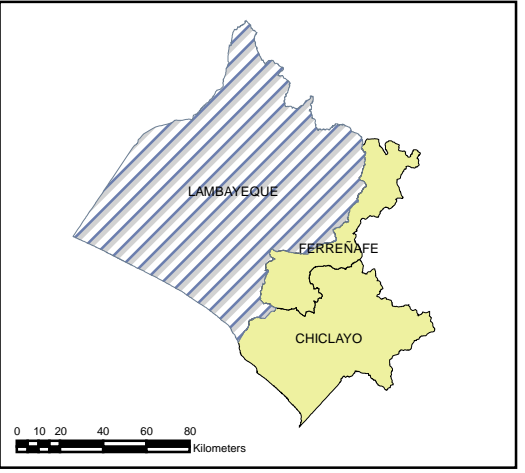
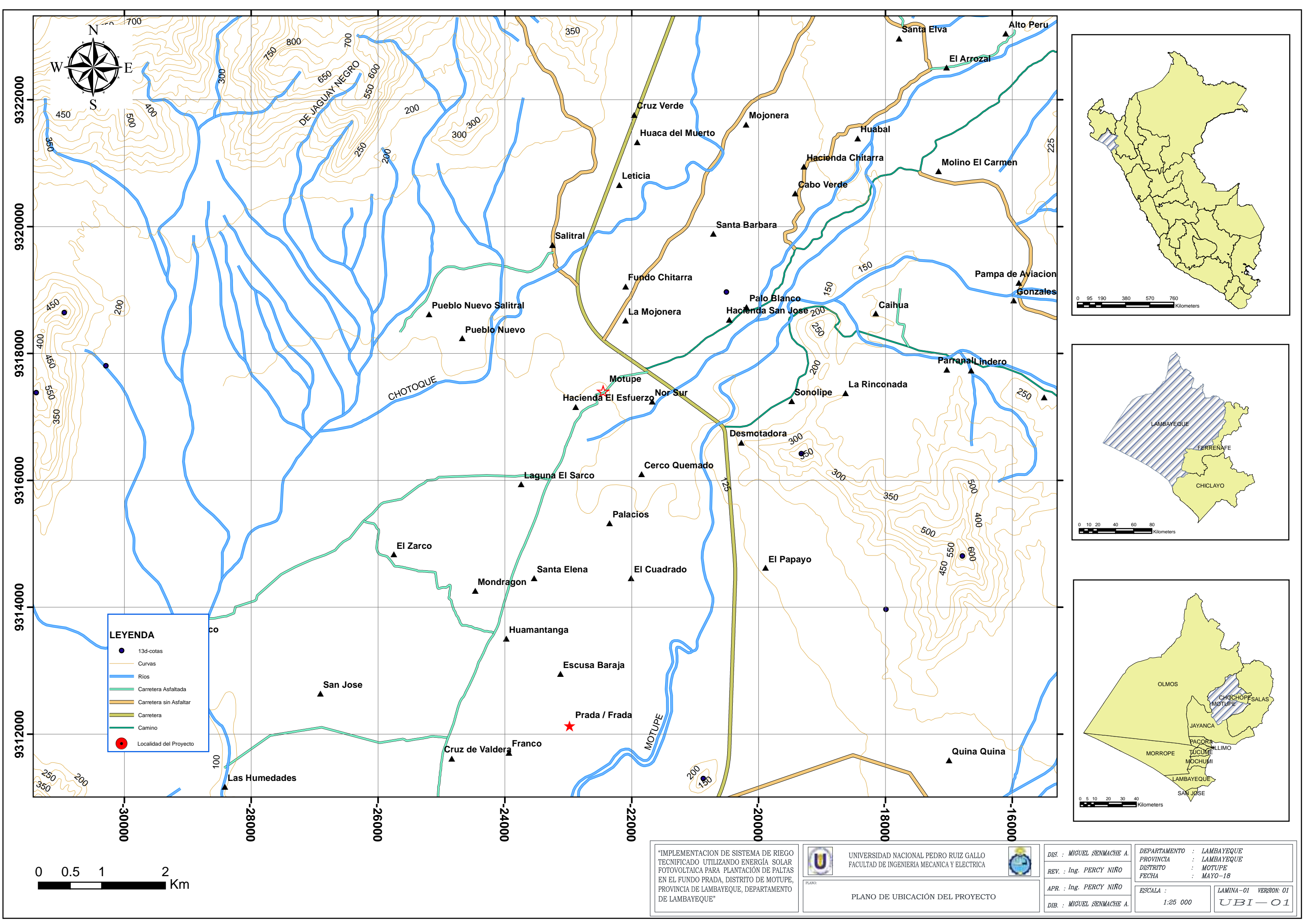
- a) <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>
- b) Delta Volt. Energía Solar Fotovoltaica. <http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar>.
- c) Europe Sun Fields. Manual de cálculo de sistemas fotovoltaicos aislados/autónomos. <http://www.sfe-solar.com/suministros-fotovoltaica-aislada-autonoma/manual-calculo/>.
- d) NASTEC. [http://solar.nastec.eu/Systems/Edit/1173?search&order=0\\_asc&length=10&page=0](http://solar.nastec.eu/Systems/Edit/1173?search&order=0_asc&length=10&page=0).

- e) Sitio Web oficial de monsolar. <http://www.monsolar.com/blog/como-funcionan-los-reguladores-de-carga-solares-pwm-y-mppt/>.
- f) Sun Earth Tools.com. [http://www.sunearthtools.com/es/tools/CO<sub>2</sub>-emissions-calculator.php#txtCO<sub>2</sub>\\_5](http://www.sunearthtools.com/es/tools/CO2-emissions-calculator.php#txtCO2_5).
- g) Sitio Web oficial de Scribd. <https://es.scribd.com/doc/134113350/La-combustion-de-hidrocarburos-y-su-impacto-ambiental-docx#scribd>.
- h) Superintendencia de Banca y Seguros. <http://www.sbs.gob.pe/>.

## **ANEXOS**

- ANEXO A : PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.**
- ANEXO B : PLANO DE RECORRIDO DE REDES Y SECTORIZACIÓN.**
- ANEXO C : OBRA DE TOMA.**
- ANEXO D : CABEZAL DE RIEGO.**
- ANEXO E : SOPORTE DE MODULOS FOTOVOLTAICOS Y CIMENTACION.**
- ANEXO F : PLANO DE DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO (SBFV).**
- ANEXO G : ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO (SBFV)**
- ANEXO H : ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.**

## **ANEXO A: PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.**



"IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA PLANTACION DE PALTAS EN EL FUNDO PRADA, DISTRITO DE MOTUPE, PROVINCIA DE LAMBAYEQUE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE"

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
PLANO:  
PLANO DE UBICACION DEL PROYECTO

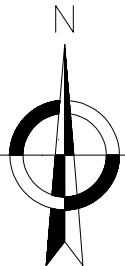
DIS. : MIGUEL SENMACHE A.  
REV. : Ing. PERCY NIÑO  
APR. : Ing. PERCY NIÑO  
DIB. : MIGUEL SENMACHE A.

DEPARTAMENTO : LAMBAYEQUE  
PROVINCIA : LAMBAYEQUE  
DISTRITO : MOTUPE  
FECHA : MAYO-18  
ESCALA : 1:25 000  
LAMINA-01 VERSION: 01  
UBI-01



## **ANEXO B: PLANO DE RECORRIDO DE REDES Y SECTORIZACIÓN.**

N 9314600



N 9314500

E 640700

N 9314400

CANAL DE REGADIO

L1.1-PE Ø16mm-76m

L1.2-PE Ø16mm-76m

L1.3-PE Ø16mm-83m

L1.4-PE Ø16mm-83m

L1.5-PE Ø16mm-83m

L1.6-PE Ø16mm-83m

L1.7-PE Ø16mm-83m

L1.8-PE Ø16mm-83m

L1.9-PE Ø16mm-84m

L1.10-PE Ø16mm-84m

L1.11-PE Ø16mm-84m

L1.12-PE Ø16mm-84m

L1.13-PE Ø16mm-85m

L1.14-PE Ø16mm-85m

L1.15-PE Ø16mm-85m

L1.16-PE Ø16mm-85m

L2.1-PE Ø16mm-85m

L2.2-PE Ø16mm-86m

L2.3-PE Ø16mm-86m

L2.4-PE Ø16mm-86m

L2.5-PE Ø16mm-86m

L2.6-PE Ø16mm-86m

L2.7-PE Ø16mm-86m

L2.8-PE Ø16mm-86m

L2.9-PE Ø16mm-86m

L2.10-PE Ø16mm-87m

L2.11-PE Ø16mm-87m

L2.12-PE Ø16mm-87m

L2.13-PE Ø16mm-87m

L2.14-PE Ø16mm-87m

L2.15-PE Ø16mm-87m

SECTOR 1

SECTOR 2

FUNDO PRADA  
2,18 Ha

T1 - Primaria  
PVC Ø63mm - 15m

T2 - Primaria  
PVC Ø63mm - 6,6m

T3 - Primaria  
PVC Ø63mm - 242m

Reservorio

	DESAGÜE DEL SECTOR
	LÍMITE DEL SECTOR
	TUBERÍA SECUNDARIA / RAMAL PORTAGOTEROS DIÁM. INDICADO
	TUBERÍA PRIMARIA DE DIÁMETRO INDICADO
	DESCRIPCION
	LEYENDA

"IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA PLANTACIÓN DE PALTAS EN EL FUNDO PRADA, DISTRITO DE MOTUPE, PROVINCIA DE LAMBAYEQUE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE"



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



PLANO:

PLANO DE RECORRIDO DE REDES Y SECTORIZACIÓN

DIS. : MIGUEL SENMACHE A.

REV. : Ing. PERCY NIÑO

APR. : Ing. PERCY NIÑO

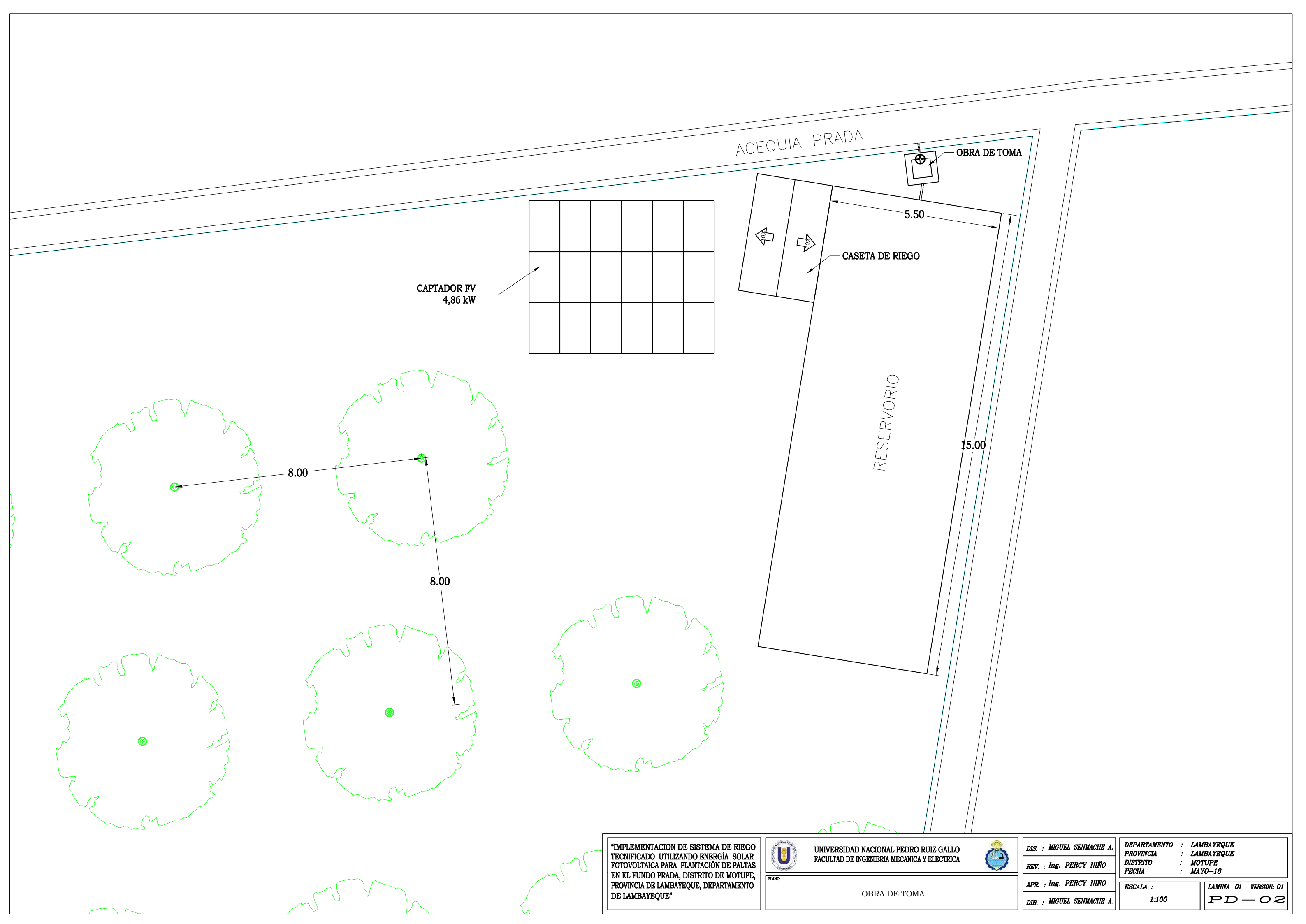
DIB. : MIGUEL SENMACHE A.

DEPARTAMENTO : LAMBAYEQUE  
PROVINCIA : LAMBAYEQUE  
DISTRITO : MOTUPE  
FECHA : MAYO-18

ESCALA :  
1:25 000

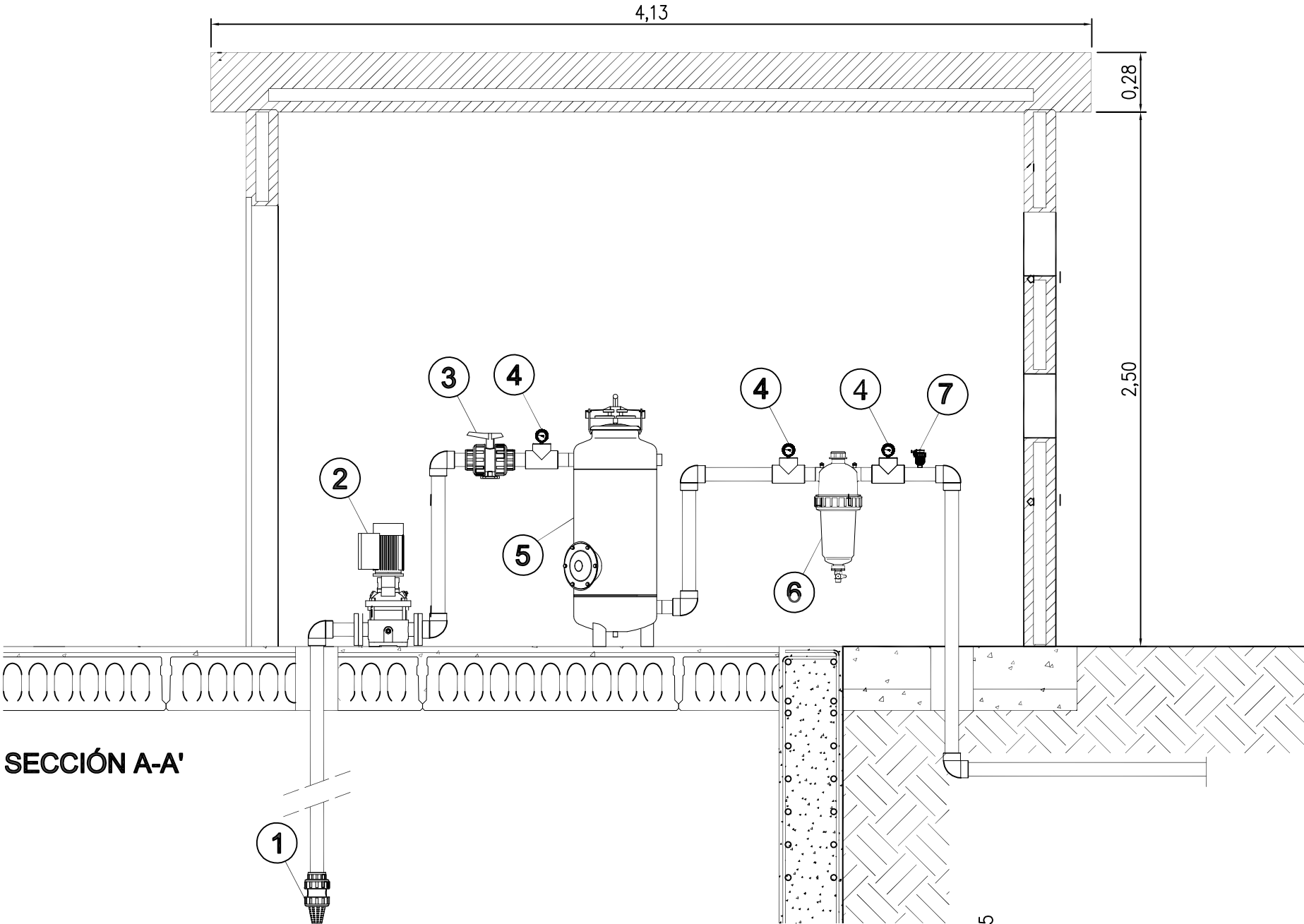
LAMINA-01 VERSION: 01  
PD-01

## **ANEXO C: OBRA DE TOMA**

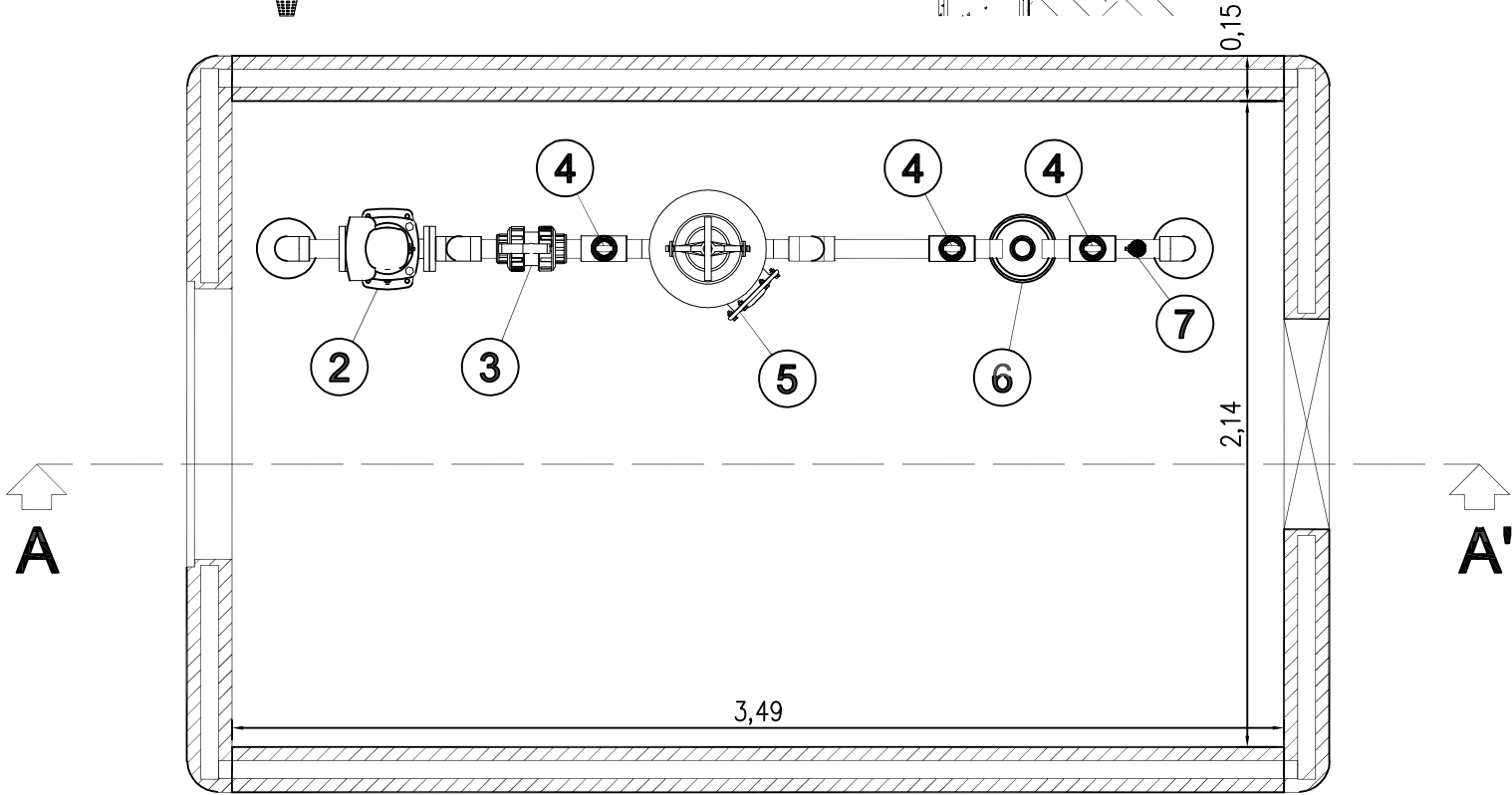


■

## **ANEXO D: CABEZAL DE RIEGO.**



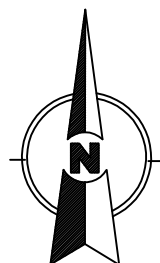
SECCIÓN A-A'



VISTA EN PLANTA

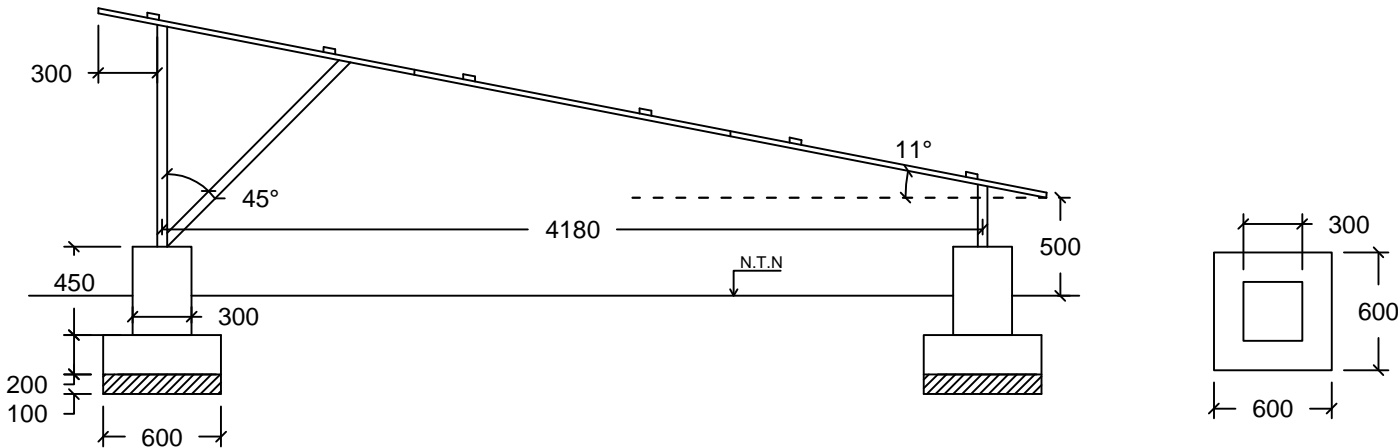
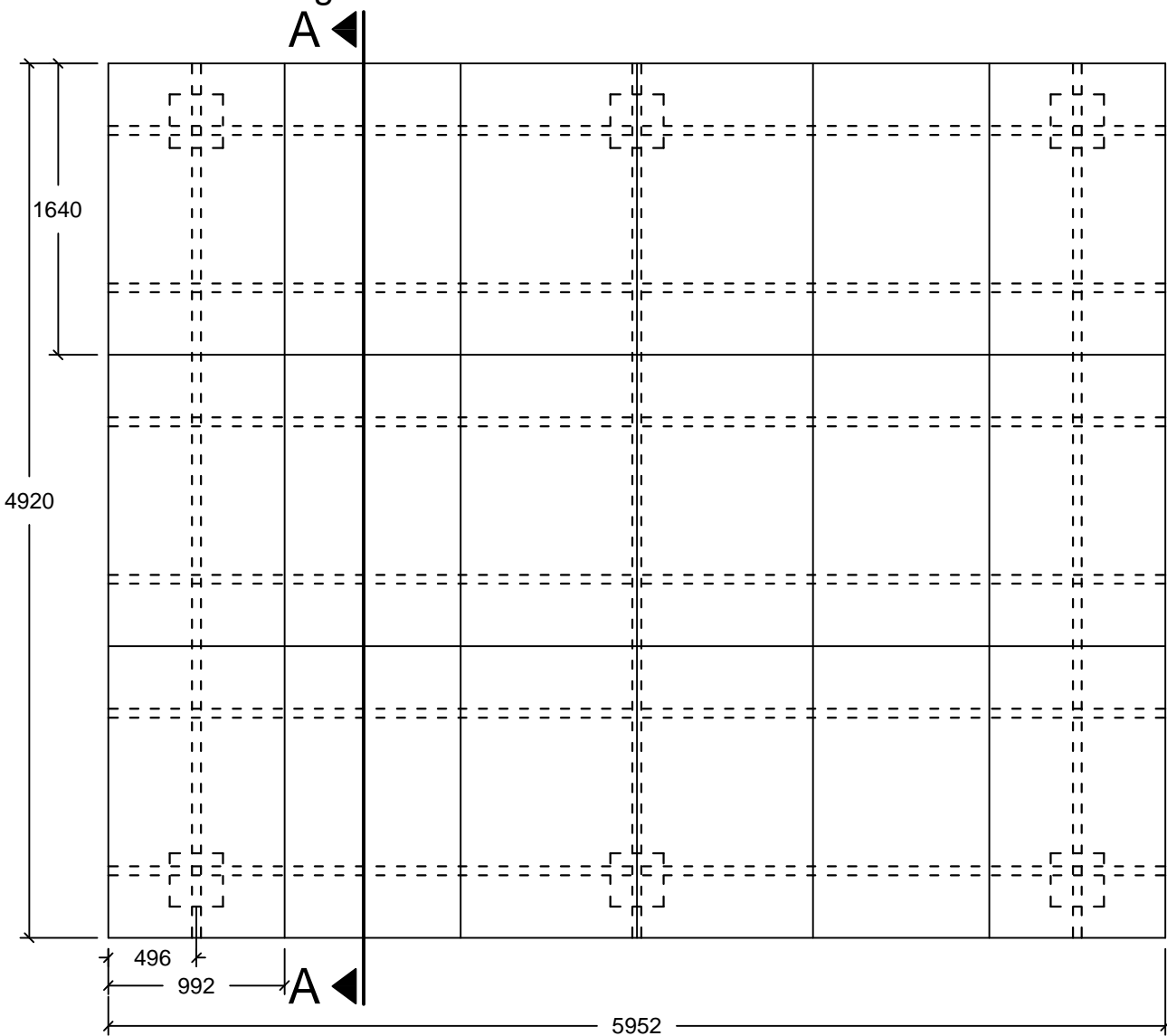
LEYENDA	
1	VÁLVULA ANTIRRETORNO DE PIE CON BOLA PVC D32 mm PN16
2	MOTOR-BOMBA CENTRIFUGA VERTICAL SUPERFICIAL 1,73-1,5kW(P1, P2)
3	VÁLVULA DE BOLA PVC 63mm PN16
4	MANÓMETRO
5	FILTRO DE ARENA 20"
6	FILTRO DE DISCOS 2" 130 micron
7	VENTOSA TRIPLE EFECTO 1" PN16

**ANEXO E: SOPORTE DE  
MODULOS FOTOVOLTAICOS Y  
CIMENTACION.**





# Soportes Metálicos Para Matriz Fotovoltaica

Arreglo de Tres Filas de Modulos Fotovoltaicos



Corte A - A

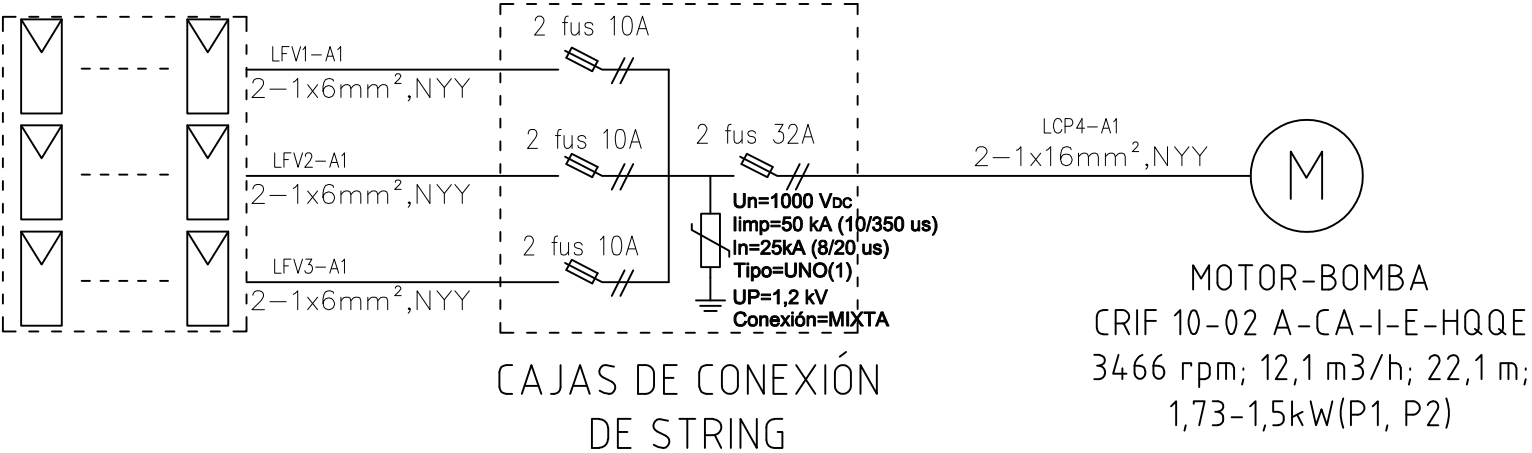
Vista de Planta Cimentación



"IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA PLANTACIÓN DE PALTAS EN EL FUNDO PRADA, DISTRITO DE MOTUPE, PROVINCIA DE LAMBAYEQUE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE"	 <div>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA</div> 	DIS. : MIGUEL SENMACHE A.		DEPARTAMENTO : LAMBAYEQUE	
		REV. : Ing. PERCY NIÑO		PROVINCIA : LAMBAYEQUE	
	PLANO: SOPORTE DE MODULOS FOTOVOLTAICOS Y CIMENTACION	APR. : Ing. PERCY NIÑO		DISTRITO : MOTUPE	
		DIB. : MIGUEL SENMACHE A.		FECHA : MAYO-18	
		ESCALA : S/E		LAMINA-01 VERSION: 01 PD-04	



**ANEXO F: PLANO DE DIAGRAMA  
UNIFILAR DEL SISTEMA DE  
BOMBEO FOTOVOLTAICO (SBFV).**

3 string de 6 MFV en serie 270Wp  
(18 MFV 4,86 kwp)



"IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA PLANTACIÓN DE PALTAS EN EL FUNDO PRADA, DISTRITO DE MOTUPE, PROVINCIA DE LAMBAYEQUE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE"	 <div>UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA</div> 	DIS. : MIGUEL SENMACHE A.		DEPARTAMENTO : LAMBAYEQUE	
		REV. : Ing. PERCY NIÑO		PROVINCIA : LAMBAYEQUE	
		APR. : Ing. PERCY NIÑO		DISTRITO : MOTUPE	
		DIB. : MIGUEL SENMACHE A.		FECHA : MAYO-18	
PLANO: DIAGRAMA UNIFILAR - CONEXIONADO		ESCALA : S/E		LAMINA-01 VERSION: 01 PD-05	

**ANEXO G: ESPECIFICACIONES  
TÉCNICAS SISTEMA DE BOMBEO  
FOTOVOLTAICO (SBFV).**

Posición	Contar	Descripción
	1	<p><b>CRIF 10-02 A-CA-I-E-HQQE</b></p>  <p>Advertir! la foto puede diferir del actual producto</p> <p>Código: <a href="#">98414726</a></p> <p>Las bombas CRIF y CRNF son bombas centrífugas verticales de varias etapas. Estas bombas en línea (no autocebantes) pueden utilizarse en sistemas en tuberías y están diseñadas para montarse sobre una base.</p> <p>El motor MGF de estas bombas admite un suministro eléctrico tanto de c.c. como de c.a. Dado que los sistemas electrónicos del motor incorporan funciones de protección del motor, no se requiere ningún tipo de protección adicional para el motor. La función de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) permite al motor funcionar de forma eficiente al conectarlo a un panel solar. El motor tiene un valor P1 de 1250 W y alcanza una velocidad máxima de 3350 rpm.</p> <p>Se puede conectar un sensor externo para controlar el funcionamiento de la bomba.</p> <p><b>Líquido:</b>          Líquido bombeado: Agua          Rango de temperatura del líquido: 253 .. 393 K          Liquid temperature during operation: 293 K          Densidad: 998.2 kg/m<sup>3</sup>          Viscosidad cinemática: 1 mm<sup>2</sup>/s</p> <p><b>Técnico:</b>          Velocidad para datos de bomba: 3466 rpm          Caudal nominal: 12.1 m<sup>3</sup>/h          Altura nominal: 22.1 m          Código del cierre. 1:Tipo 2:Cara giratoria 3:Cara estacionaria 4:Cierre secunda.: HQQE          Homologaciones en placa: CE,TR</p> <p><b>Materiales:</b>          Cuerpo hidráulico: Acero inoxidable          DIN W.-Nr. 1.4408          AISI 316          Impulsor: Acero inoxidable          DIN W.-Nr. 1.4301          AISI 304</p> <p><b>Instalación:</b>          Temperatura ambiental máxima: 323 K          Presión máxima a la temp. declarada: 16 bar / 120 °C          16 bar / -20 °C          Tipo de brida: CLAMP</p>



**Empresa:** Consultor  
**Creado Por:** Miguel Senmache  
**Teléfono:**

**Datos:** 16/05/2018

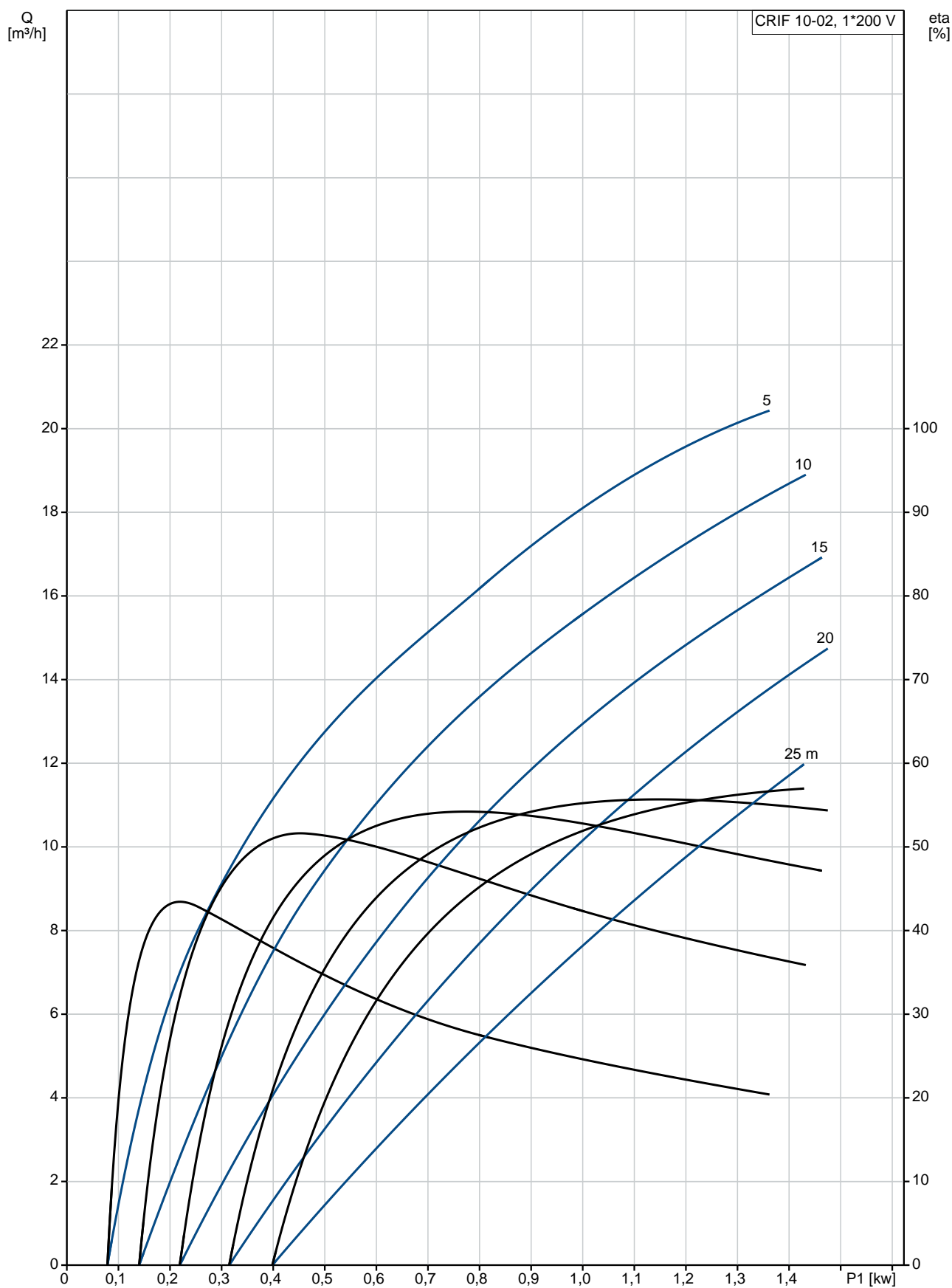
Posición	Contar	Descripción
		<p>Diámetro de conexiones: FlexiClamp Tamaño de la brida del motor: FT115</p> <p><b>Datos eléctricos:</b> Tipo de motor: 90SC Potencia de entrada - P1: 1.73 kW Potencia nominal - P2: 1.5 kW Tensión nominal ac: 1 x 90-240 V Tensión nominal dc: 30 - 300 V Cos phi - Factor de potencia: 0,99 Velocidad nominal: 500-3600 rpm Grado de protección (IEC 34-5): IP55 Clase de aislamiento (IEC 85): F</p> <p><b>Otros:</b> Peso neto: 40 kg Peso bruto: 44 kg Country of origin: DK Custom tariff no.: 0000.00.00.000A</p>



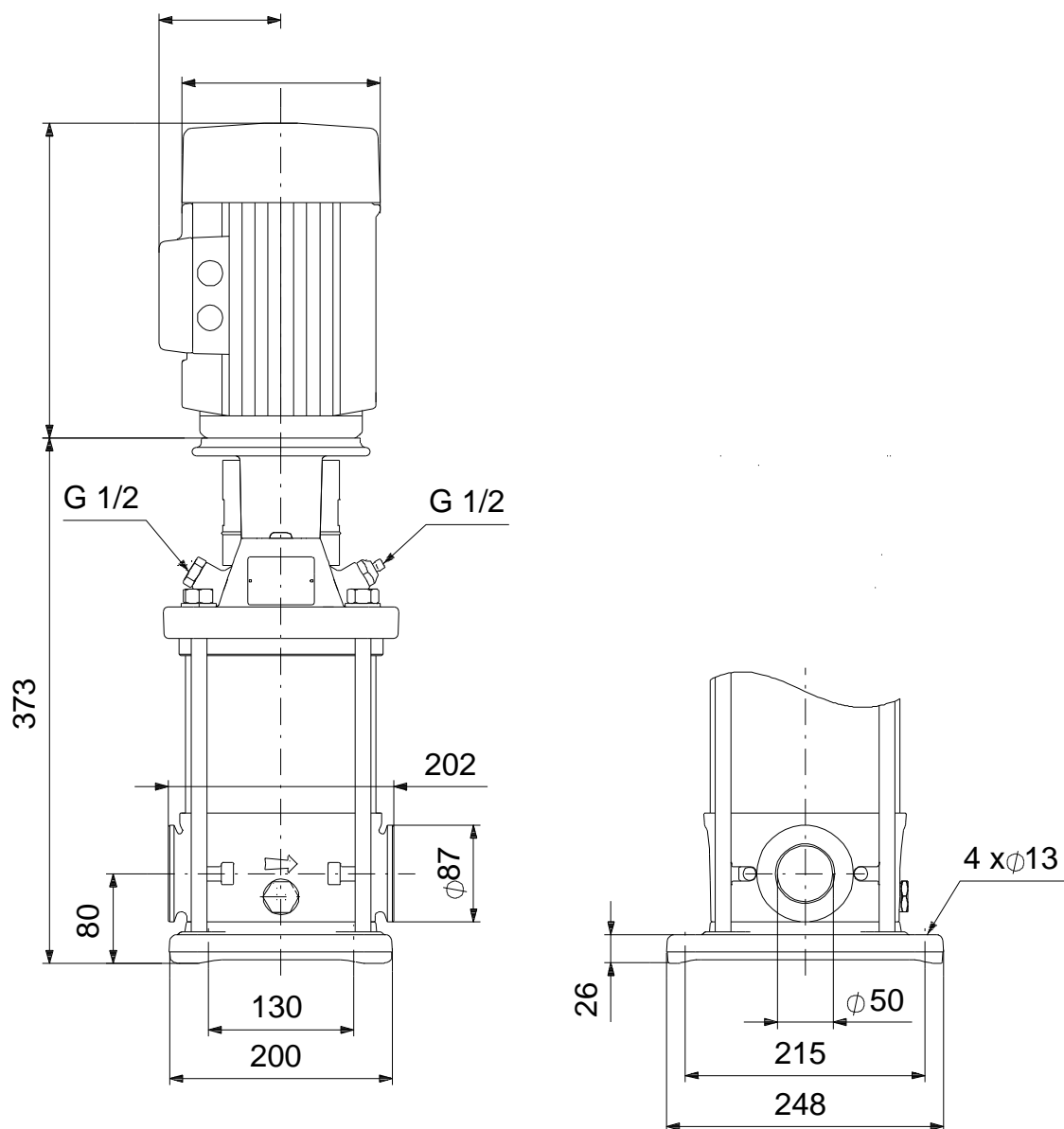
Empresa: Consultor  
Creado Por: Miguel Senmache  
Teléfono:

Datos: 16/05/2018

## 98414726 CRIF 10-02 A-CA-I-E-HQQE

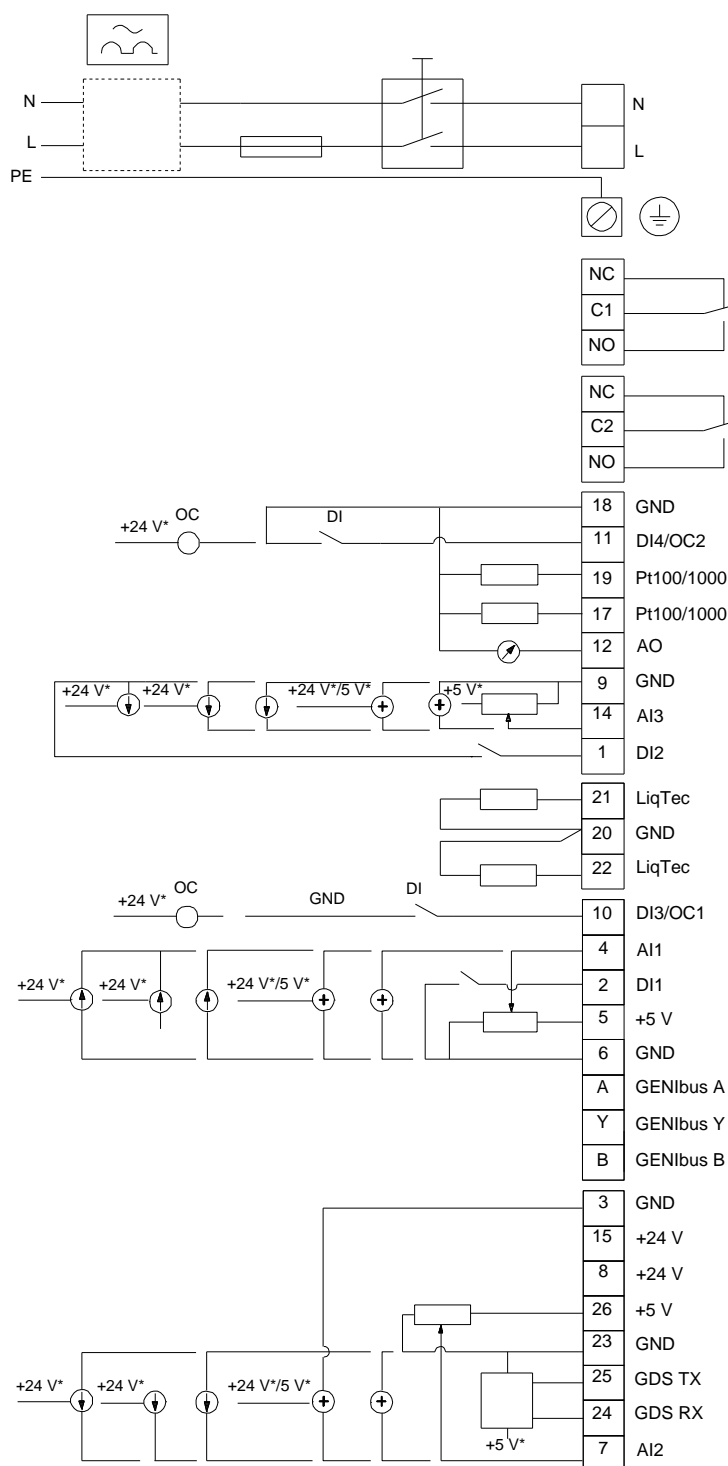


**98414726 CRIF 10-02 A-CA-I-E-HQQE**



Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se establezcan otras.

## 98414726 CRIF 10-02 A-CA-I-E-HQQE



¡Nota! Uds en [mm] a menos que otras estén expresadas





**Empresa:** Consultor  
**Creado Por:** Miguel Senmache  
**Teléfono:**

**Datos:** 16/05/2018

## 98414726 CRIF 10-02 A-CA-I-E-HQQE

### Entrada - resumen

Caudal: 59.1m<sup>3</sup>/día, 9.85m<sup>3</sup>/h (10h - 16h, limit 14.8m<sup>3</sup>/h)  
Mes de intensidad máxima: Enero  
"Lectura" solar: No (fijo)  
Ubicación: Motupe, Lambayeque, Peru  
Latitud: -6.1997 DD, Longitud: -79.7276 DD

### Productos

Bomba: CRIF 10-02, 1 x 98414726  
Modulo solar: 18 x GF 270

### Resul de selec - resumen

#### Produc. de agua, Caudal máx. y Precio

Producción de agua total por año: 34800 m<sup>3</sup>  
producc diaria agua: 95.4 m<sup>3</sup>/día  
Producción agua media por vatio por día: 19.63 l/Wp/day

#### Configuración módulo solar:

Número de modulos solares en serie: 6, en paralelo: 3  
Potencia nominal del sistema solar: 4.86 kW  
Tensión nominal del sistema solar: 189.6 V  
"Lectura" solar: No (fijo)  
Ángulo de inclinación: 7 deg.

#### Prestaciones típicas irradiación sol 800 W/m<sup>2</sup>

Caudal: 9.9 m<sup>3</sup>/h  
Altura total: 21.2 m

#### Cables y tuberías:

Pump cable length: 10 m  
Pump cable size: 2.5 mm<sup>2</sup>  
Pérdida en el cable total: 1.7 %

Longitud de la tubería: 261.9 m  
Diámetro de la tubería: DN63(55.4)  
Pérdida de carga: 19.4 m

### Prestación del sist. - media mensual

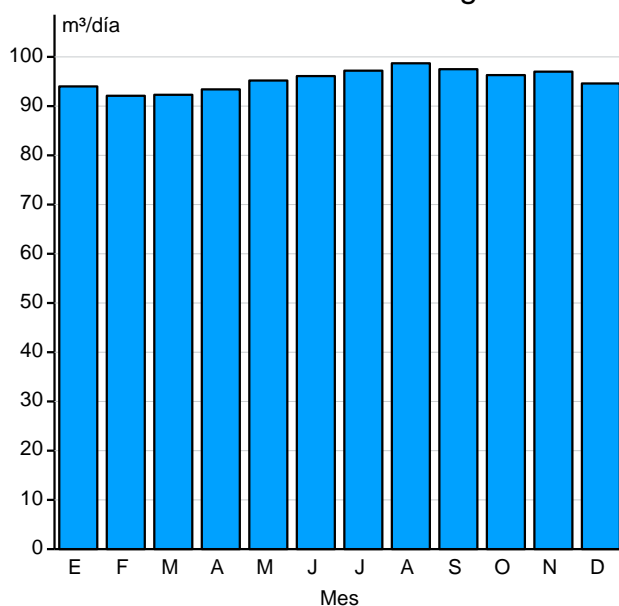
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Producción agua [m <sup>3</sup> /día]	94	92.1	92.3	93.4	95.2	96.1	97.2	98.7	97.5	96.3	97	94.6
Prod. de energía [kWh/day]	18.6	17.2	17.8	19.3	21.3	22.1	23.2	24.4	22.9	21.2	21.6	19.0
Irradiación hztal [kWh/m <sup>2</sup> día]	4.4	4.0	4.1	4.4	4.7	4.8	5.0	5.5	5.2	5.0	5.1	4.5
Inclinación de irradiación [kWh/m <sup>2</sup> día]	4.2	3.9	4.0	4.4	4.9	5.1	5.3	5.6	5.2	4.8	4.9	4.3
Media de la temperatura [K]	16.	16.	17.	17.	17.	17.	17.	17.	17.	17.	16.	16.

Local. dat. solares: Latitud: -7 DD, Longitud: -79 DD

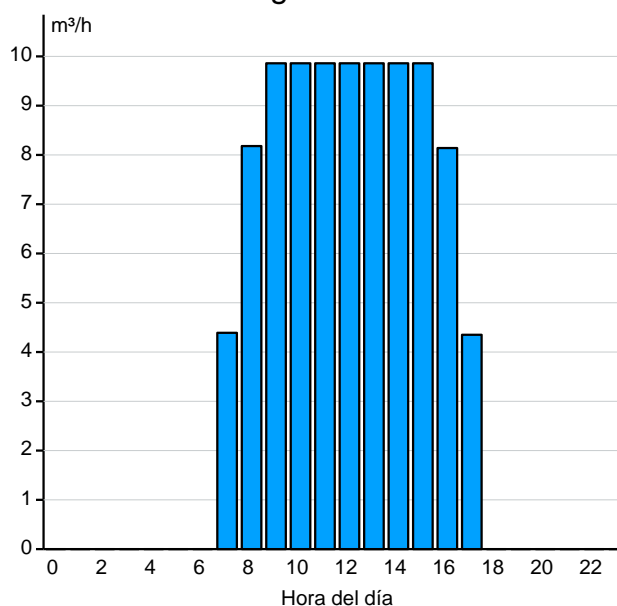
#### Po AC - produc. de agua

Rendimiento mín. requerido: 1.83 kW  
AC 115 V: Productos: 0 m<sup>3</sup>/h  
AC 230 V: Productos: 0 m<sup>3</sup>/h

Producción mensual de agua



Producción agua - diaria: enero





**Empresa:** Consultor  
**Creado Por:** Miguel Senmache  
**Teléfono:**

**Datos:** 16/05/2018

### Perfil carga



### Altura total

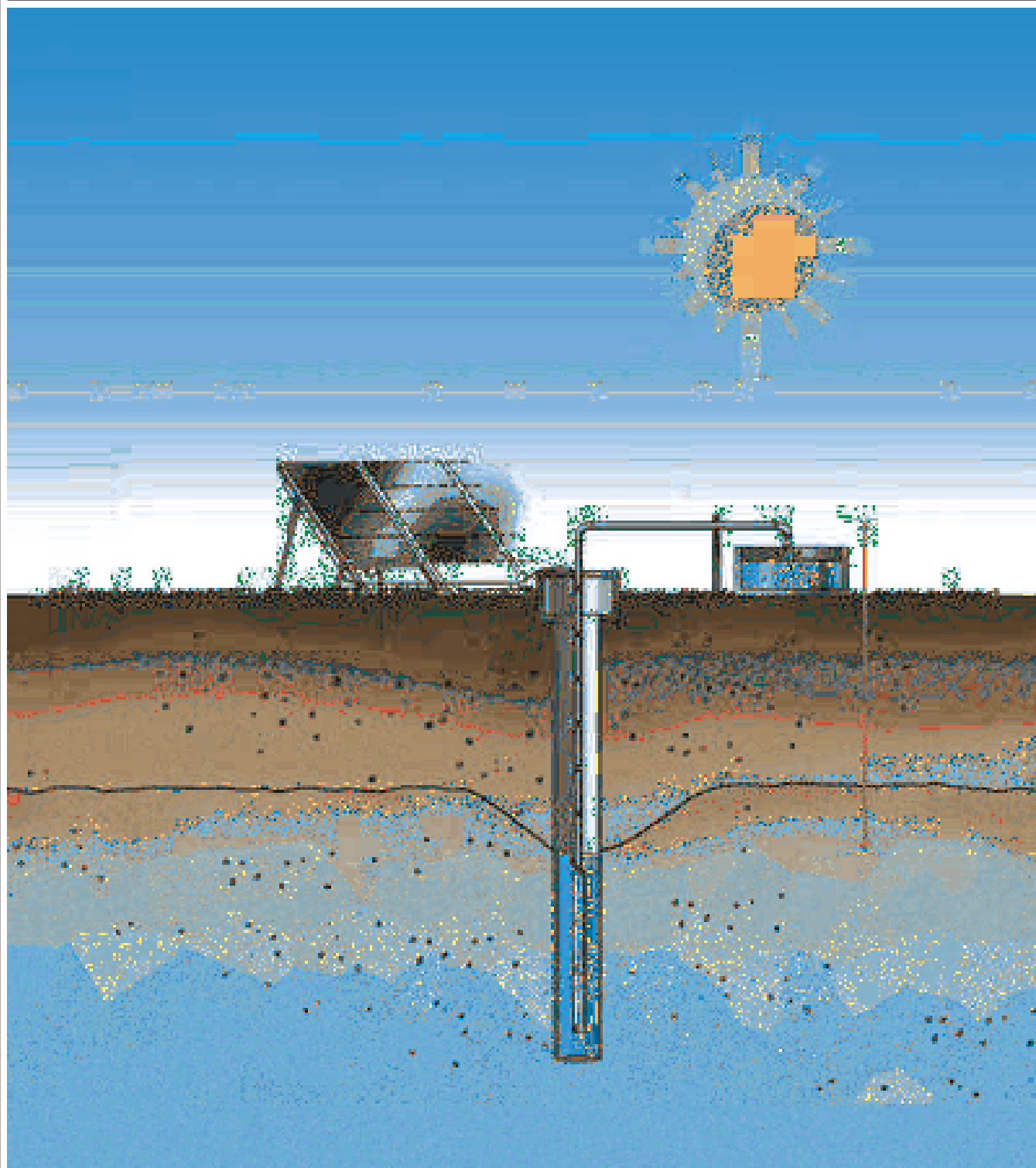
Caudal requerido

TRUE



**Empresa:** Consultor  
**Creado Por:** Miguel Senmache  
**Teléfono:**

**Datos:** 16/05/2018






**Empresa:** Consultor  
**Creado Por:** Miguel Senmache  
**Teléfono:**

**Datos:** 16/05/2018

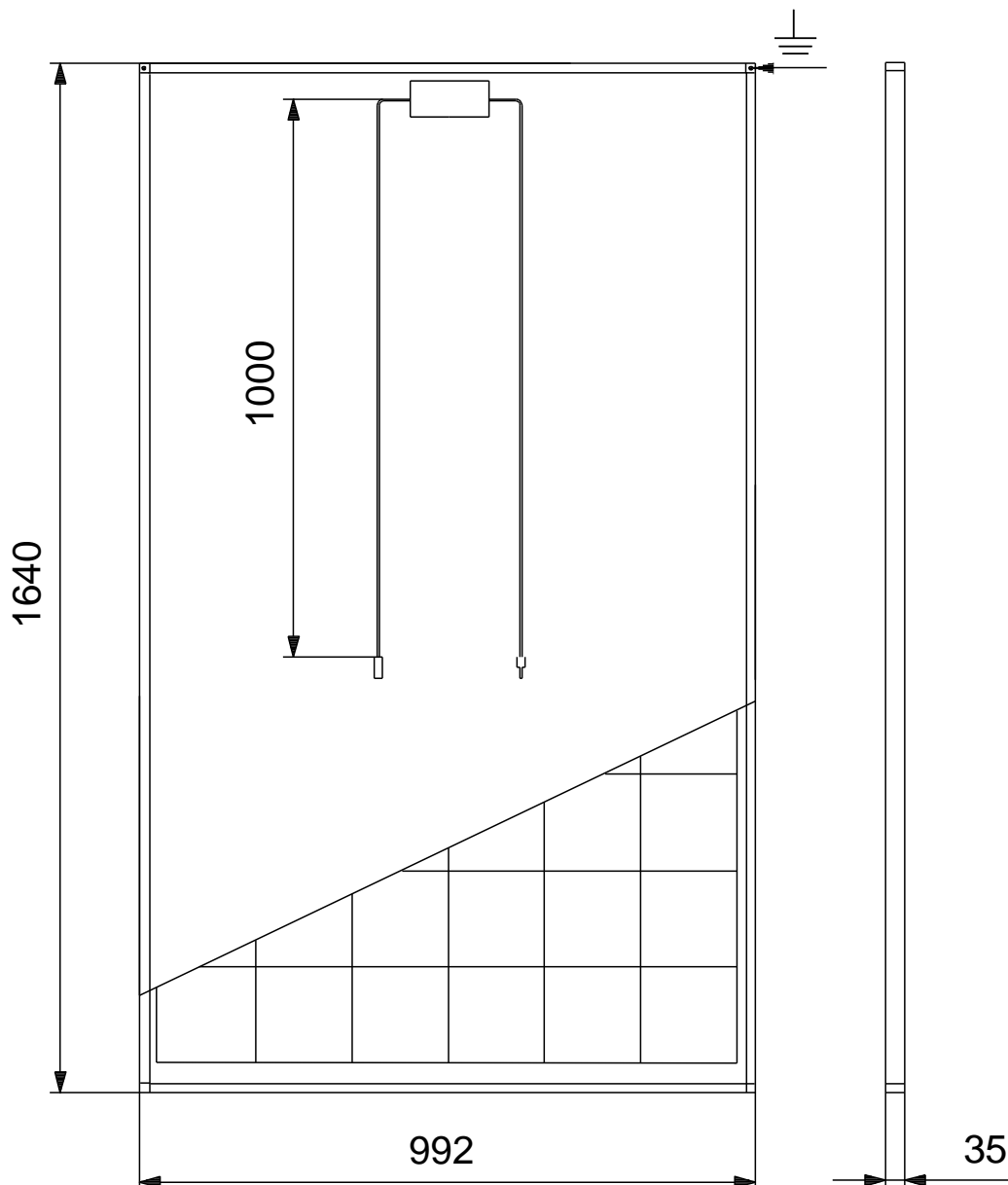
---

## Valores Zeta

---

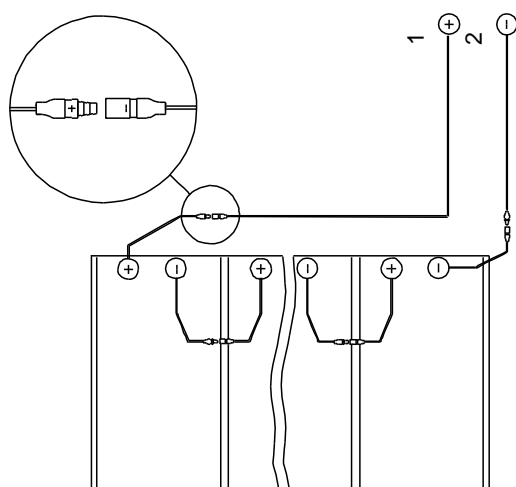
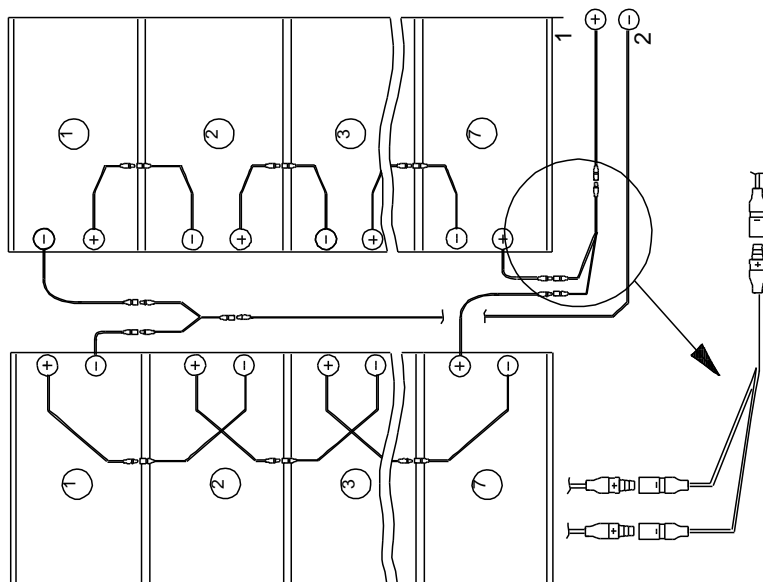
Posición	Contar	Descripción
	324	<p><b>GF 270</b></p>  <p>Advierta! la foto puede diferir del actual producto</p> <p>Código: <a href="#">99299012</a></p> <p>The GF 270 is a polycrystalline solar module. The module is equipped with MC4 plugs for easy connection and comes as 30 pieces per pallet without individual packing. It must be mounted on a support structure, tilted at an angle ensuring optimum utilization of the solar energy.</p> <p><b>Instalación:</b>  Rango de temperaturas ambientes: 233 .. 358 K</p> <p><b>Datos eléctricos:</b>  Tensión del punto de potencia máximo: 31,6 V  Tensión del circuito abierto: 38,4 V  Potencia máx. en el momento: 8.76 A  Corriente de corte del módulo: 9.11 A  Potencia de salida máx.: 270 W  Tipo de modulo solar: cristalino o amorfo: POLICRISTALINO</p> <p><b>Otros:</b>  Marca: GRUNDFOS  Peso neto: 18 kg  Volumen: 2 m3  Country of origin: HR  Custom tariff no.: 0000.00.00.000A</p>

**99299012 GF 270 60 Hz**



Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se establezcan otras.

## 99299012 GF 270 60 Hz

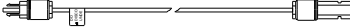


¡Nota! Uds en [mm] a menos que otras estén expresadas



**Empresa:** Consultor  
**Creado Por:** Miguel Senmache  
**Teléfono:**

**Datos:** 16/05/2018

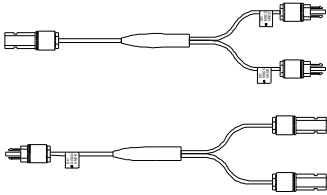
Posición	Contar	Descripción
	1	<p><b>Producto::</b> Wire kit array to control box (MC4)</p>  <p>Advierta! la foto puede diferir del actual producto</p> <p>Código: <a href="#">98257868</a></p> <p>Número EAN:: 5711492200964</p>





**Empresa:** Consultor  
**Creado Por:** Miguel Senmache  
**Teléfono:**

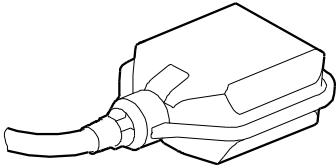
**Datos:** 16/05/2018

Posición	Contar	Descripción
	4	<p><b>Producto::</b> Wire kit array to array (MC4)</p>  <p><b>Advierta! la foto puede diferir del actual producto</b></p> <p>Código: <a href="#">98257892</a> Número EAN:: 5711492201152</p>



**Empresa:** Consultor  
**Creado Por:** Miguel Senmache  
**Teléfono:**

**Datos:** 16/05/2018

Posición	Contar	Descripción
	1	<p><b>Producto::</b> Interruptor de nivel (arranque/parada)</p>  <p>Advierta! la foto puede diferir del actual producto</p> <p>Código: 10748 Número EAN:: 5700391999659</p> <p><b>Datos eléctricos:</b> Longitud de cable: 3 m</p> <p><b>Otros:</b> Country of origin: DE Custom tariff no.: 0000.00.00.000A</p>



**Empresa:** Consultor  
**Creado Por:** Miguel Senmache  
**Teléfono:**

**Datos:** 16/05/2018

Posición	Contar	Descripción
	1	<p><b>Producto::</b> Level Switch (Normally Close)</p> <p>Código: 97911220</p> <p>Número EAN:: 5710626261987</p> <p><b>Otros:</b></p> <p>Country of origin: DE</p> <p>Custom tariff no.: 0000.00.00.000A</p>

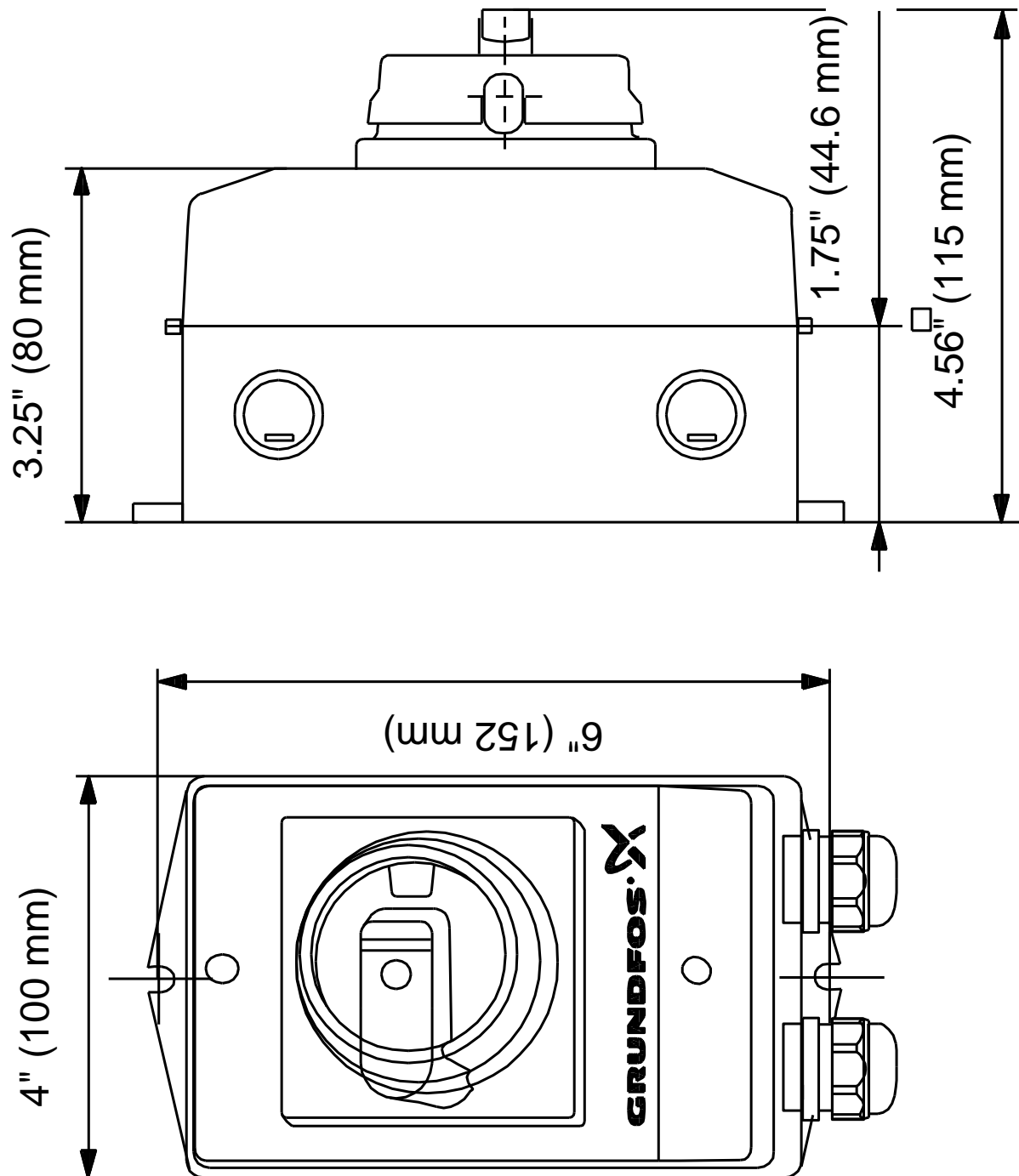


**Empresa:** Consultor  
**Creado Por:** Miguel Senmache  
**Teléfono:**

**Datos:** 16/05/2018

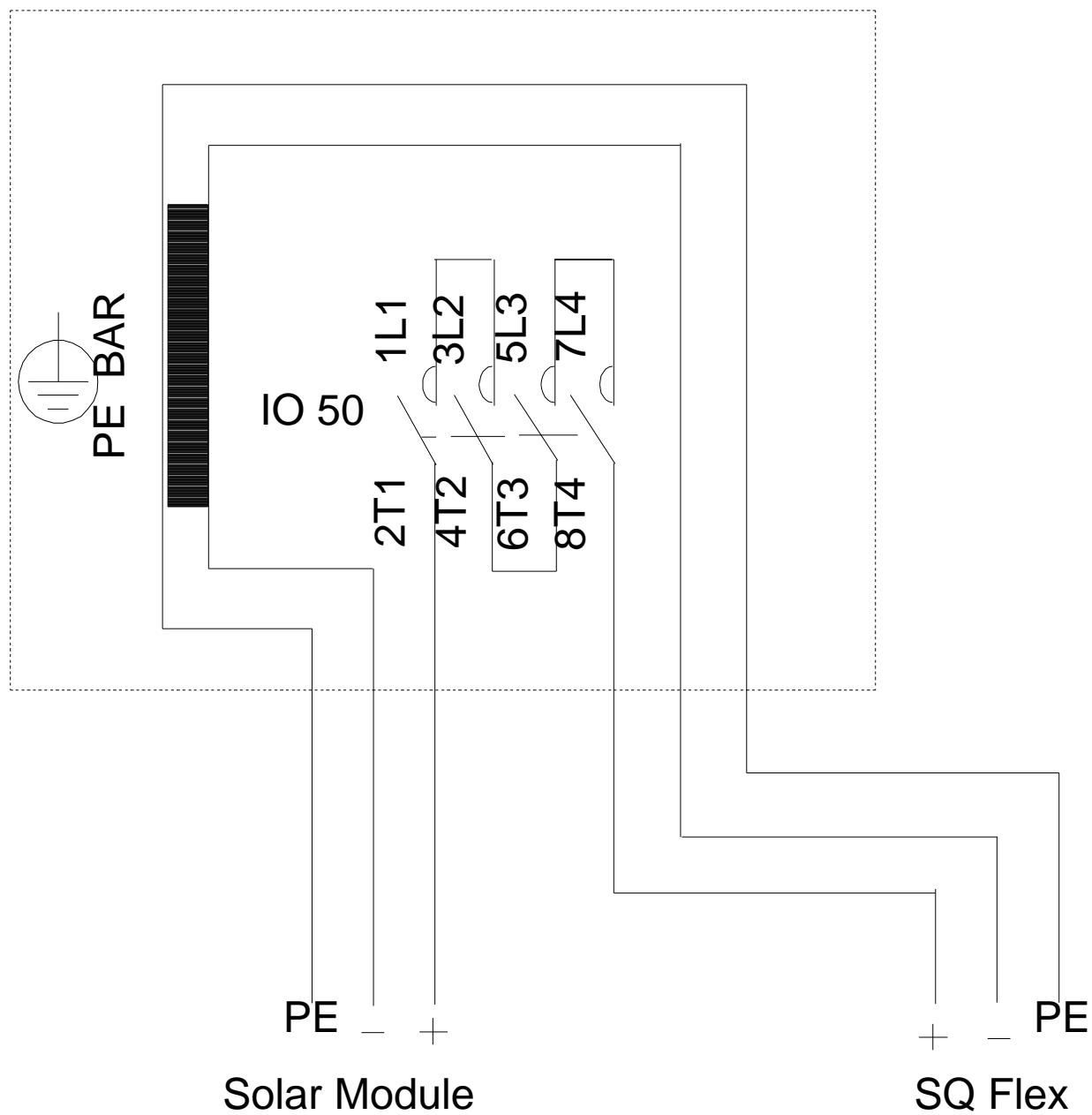
Posición	Contar	Descripción
	1	<b>Producto::</b> Dry Running Protection Sensor Código: 97911215 Número EAN:: 5710626261802  <b>Otros:</b> Country of origin: GB Custom tariff no.: 0000.00.00.000A

## 97907253 IO50, Metric 60 Hz




Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se establezcan otras.

## 97907253 IO50, Metric 60 Hz

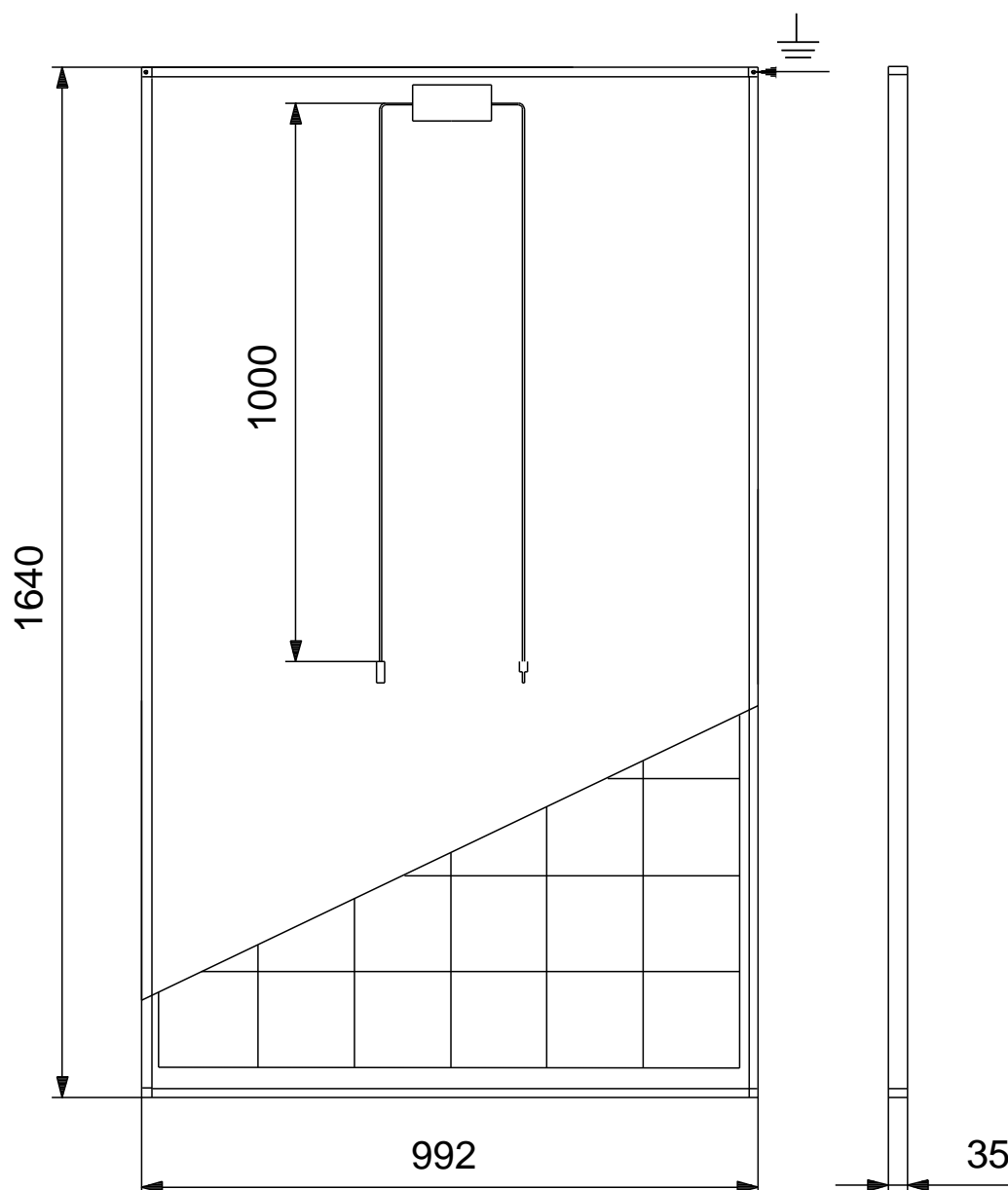


**ANEXO H: ESPECIFICACIONES  
TÉCNICAS DE LOS MÓDULOS  
FOTOVOLTAICOS.**

Posición	Contar	Descripción
	18	<p><b>GF 270</b></p>  <p>Advierta! la foto puede diferir del actual producto</p> <p>Código: <a href="#">99299012</a></p> <p>The GF 270 is a polycrystalline solar module. The module is equipped with MC4 plugs for easy connection and comes as 30 pieces per pallet without individual packing. It must be mounted on a support structure, tilted at an angle ensuring optimum utilization of the solar energy.</p> <p><b>Instalación:</b>  Rango de temperaturas ambientes: 233 .. 358 K</p> <p><b>Datos eléctricos:</b>  Tensión del punto de potencia máximo: 31,6 V  Tensión del circuito abierto: 38,4 V  Potencia máx. en el momento: 8.76 A  Corriente de corte del módulo: 9.11 A  Potencia de salida máx.: 270 W  Tipo de modulo solar: cristalino o amorfo: POLICRISTALINO</p> <p><b>Otros:</b>  Marca: GRUNDFOS  Peso neto: 18 kg  Volumen: 2 m3  Country of origin: HR  Custom tariff no.: 0000.00.00.000A</p>

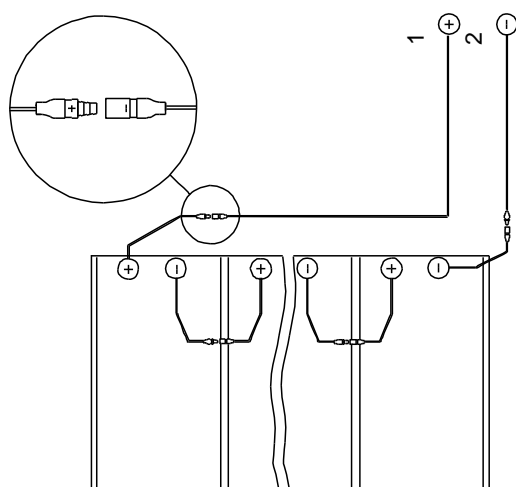
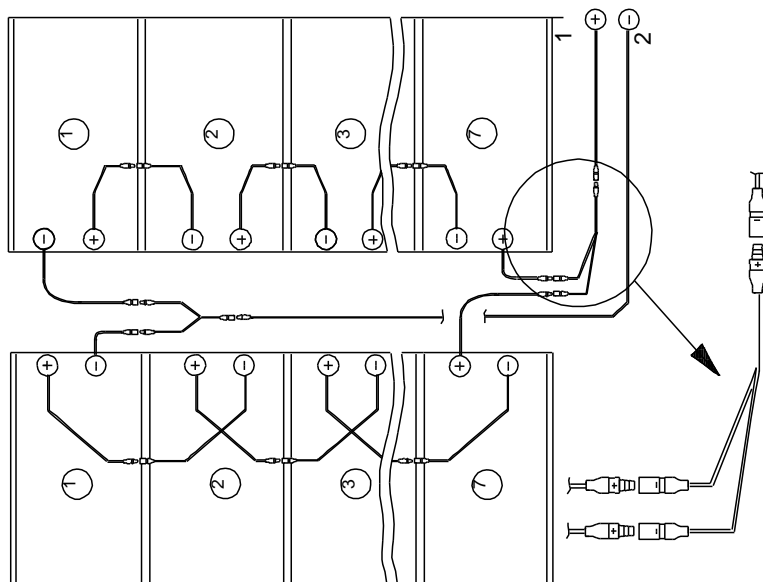


**99299012 GF 270 60 Hz**



Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se establezcan otras.

## 99299012 GF 270 60 Hz



¡Nota! Uds en [mm] a menos que otras estén expresadas



**Empresa:** Consultor  
**Creado Por:** Miguel Senmache  
**Teléfono:**

**Datos:** 16/05/2018

---

**Dados da encomenda:**

Producto: GF 270  
Cantidad: 18  
Código prod.: 99299012

Total: Precio bajo pedido

---