



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**I PROGRAMA DE ELABORACION DE TESIS**

# **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA  
ILUMINAR LA CARRETERA MONSEFU – LA  
VICTORIA”**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. CAPUÑAY LLUEN JHON JAIRO**

**ASESOR:**

**ING. HECTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ**

**Lambayeque - PERU**

**2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**I PROGRAMA DE ELABORACION DE TESIS**

**TESIS**

Para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PRESENTADO POR:

**Bach. CAPUÑAY LLUEN JHON JAIRO**

APROBADO POR EL JURADO EXAMINADOR:

**PRESIDENTE : MSC. NORMAN OSVALDO AGUIRRE ZAQUINAULA**

**SECRETARIO : MSC. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ**

**VOCAL : ING. TEOBALDO EGDAR JULCA OROZCO**

**ASESOR : ING. HECTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ**

**Lambayeque – Perú**

**2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**I PROGRAMA DE ELABORACION DE TESIS**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO  
ELECTRICISTA

**TESIS**

TÍTULO

**“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ILUMINAR LA  
CARRETERA MONSEFU – LA VICTORIA”**

CONTENIDO

INTRODUCCION

CAPITULO I : PROBLEMA DE INVESTIGACION

CAPITULO II : MARCO TEORICO

CAPITULO III : MARCO METODOLOGICO

CAPITULO IV : PROPUESTA DE INVESTIGACION

CAPITULO V : ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AUTOR

**Bach. CAPUÑAY LLUEN JHON JAIRO**

PRESIDENTE

MSC. NORMAN AGUIRRE ZAQUINAULA

SECRETARIO

MSC. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ

VOCAL

ING. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO

ASESOR

ING. HECTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ

## INDICE

<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>vii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>viii</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>x</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I</b>	<b>2</b>
<b>PROBLEMA DE INVESTIGACION</b>	<b>2</b>
<b>1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA</b>	<b>2</b>
<b>1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA</b>	<b>4</b>
<b>1.3. DELIMITACION DE LA INVESTIGACION</b>	<b>4</b>
<b>1.4. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION</b>	<b>5</b>
<b>1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION</b>	<b>6</b>
<b>1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION</b>	<b>6</b>
1.6.1. OBJETIVO GENERAL	6
1.6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
<b>CAPITULO II</b>	<b>8</b>
<b>MARCO TEORICO</b>	<b>8</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO</b>	<b>8</b>
2.1.1. EN EL AMBITO INTERNACIONAL	8
2.1.2. EN EL AMBITO NACIONAL	9
2.1.3. EN EL AMBITO LOCAL	10
<b>2.2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA</b>	<b>11</b>
2.2.1. COORDENADAS DE LA TIERRA	12
2.2.2. COORDENADAS SOLARES	13
2.2.3. ORIENTACION DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO	15
2.2.4. RADIACION SOLAR	17
2.2.5. EFECTO FOTOVOLTAICO	20
2.2.6. CELULA FOTOVOLTAICA	21
2.2.6.1. CURVA DE CORRIENTE VS TENSION (CURVA I-V)	22

2.2.6.2.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA CELULA FOTOVOLTAICA	23
2.2.6.3.	CONSTITUCION DE UNA CELULA FOTOVOLTAICA	24
2.2.6.4.	TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	25
2.2.7.	MODULOS FOTOVOLTAICOS	27
2.2.8.	BATERIAS	30
2.2.8.1.	Características de la Batería	30
2.2.8.2.	Tipos de baterías	31
2.2.8.3.	Conexión de las baterías	32
2.2.9.	REGULADORES	32
2.2.9.1.	Funciones del regulador	33
2.2.9.2.	Tipos de reguladores	33
2.2.9.3.	Características y dimensionado de los reguladores	34
2.2.9.4.	Instalación y mantenimiento de los reguladores	35
2.2.10.	INVERSORES FOTOVOLTAICOS	35
2.2.10.1.	Funciones y características	35
2.2.10.2.	Tipos de inversores	36
2.2.10.3.	Conexión del inversor	37
<b>CAPITULO III</b>		<b>39</b>
<b>MARCO METODOLOGICO</b>		<b>39</b>
3.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	39
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	39
3.3.	HIPOTESIS	39
3.4.	VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN	39
3.5.	MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	40
3.6.	DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS	41
3.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	41
<b>CAPITULO IV</b>		<b>42</b>
<b>PROPUESTA DE INVESTIGACION</b>		<b>42</b>
4.1.	INTRODUCCION	42
4.1.1.	CLASIFICACIÓN	42
<b>CAPITULO V</b>		<b>43</b>
<b>ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS</b>		<b>43</b>

<b>5.1.</b>	<b>ESTIMACION DEL CONSUMO DE ENERGIA PROMEDIO DIARIA PARA LA CARRETERA</b>	
	<b>MONSEFU – LA VICTORIA</b>	<b>43</b>
<b>5.2.</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO</b>	<b>46</b>
5.2.1.	POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO.	51
5.2.2.	DIMENSIONADO DEL REGULADOR DE CARGA.	54
5.2.3.	DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE ACUMULACION.	56
5.2.4.	DIMENSIONADO DEL INVERSOR.	59
5.2.5.	DIMENSIONADO DEL CONDUCTOR DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.	61
5.2.6.	ESTRUCTURAS SOPORTE	64
<b>5.3.</b>	<b>PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA</b>	
	<b>FOTOVOLTAICO</b>	<b>66</b>
5.3.1.	EVALUACION ECONOMICA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	67
5.3.2.	EVALUACION ECONOMICA DEL SISTEMA ELECTRICO CONVENCIONAL	68
5.3.3.	INDICADORES FINANCIEROS	70
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>73</b>
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>73</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>74</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>		<b>75</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>77</b>

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla N°1. Operacionalización de Variables</i>	40
<i>Tabla N°2. Comparación Luminaria LED y Luminaria de vapor de sodio.</i>	43
<i>Tabla N°3. Energía consumida en un día.</i>	43
<i>Tabla N°4. Máxima demanda.</i>	46
<i>Tabla N°5. Irradiación global promedio en un plano horizontal.</i>	47
<i>Tabla N°6. Irradiación global promedio en un plano horizontal.</i>	48
<i>Tabla N°7. Radiación solar y días de autonomía.</i>	49
<i>Tabla N°8. Parámetros de dimensionamiento.</i>	50
<i>Tabla N°9. Inclinación optima en función de la latitud y relación K.</i>	50
<i>Tabla N°10. Caída de tensión máxima por tramo.</i>	62
<i>Tabla N°11. Características eléctricas de los conductores THW-90.</i>	63
<i>Tabla N°12. Presupuesto referencial para el sistema fotovoltaico.</i>	66
<i>Tabla N°13. Costo unitario del montaje por sistema fotovoltaico.</i>	67
<i>Tabla N°14. Egreso referencial con sistema fotovoltaico en un periodo de 20 años.</i>	68
<i>Tabla N°15. Egreso anual por consumo de energía eléctrica convencional.</i>	69
<i>Tabla N°16. Egreso referencial con sistema eléctrico convencional en 20 años.</i>	70
<i>Tabla N°17. Flujo neto entre sistema convencional y sistema fotovoltaico en 20 años.</i>	71
<i>Tabla N°18. VAN, TIR y PR.</i>	71

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura N°1. Carretera Monsefú – La Victoria</i>	5
<i>Figura N°2. Latitud.</i>	12
<i>Figura N°3. Longitud.</i>	13
<i>Figura N°4. Elevación Solar.</i>	14
<i>Figura N°5. Acimut Solar.</i>	14
<i>Figura N°6. Acimut e inclinación de un panel solar.</i>	16
<i>Figura N°7. Esquema de distribución de radiación</i>	17
<i>Figura N°8. Tipos de radiación solar sobre una superficie</i>	18
<i>Figura N°9. Mapa irradiación de Sudamérica.</i>	19
<i>Figura N°10. Unión PN</i>	21
<i>Figura N°11. Célula Fotovoltaica</i>	22
<i>Figura N°12. Estructura básica de una célula fotovoltaica.</i>	25
<i>Figura N°13. Panel Solar de Silicio Monocristalino</i>	26
<i>Figura N°14. Panel solar de Silicio Policristalino</i>	27
<i>Figura N°15. Los elementos de un módulo fotovoltaico</i>	28
<i>Figura N°16. Bloque de 10 luminarias conectadas a un sistema fotovoltaico</i>	44
<i>Figura N°17. Vista lateral izquierda de un poste conectado a un sistema fotovoltaico</i>	45
<i>Figura N°18. Vista lateral derecha de un poste conectado a un sistema fotovoltaico</i>	45
<i>Figura N°19. Datos de irradiación anual en la carretera Monsefú – La Victoria.</i>	47
<i>Figura N°20. Datos de irradiación según Senamhi en la carretera Monsefú – La Victoria.</i>	48
<i>Figura N°21. Medición realizada en la carretera Monsefú – La Victoria.</i>	49
<i>Figura N°22. Panel solar JA Solar JAM72S20 450W.</i>	52
<i>Figura N°23. Características de panel solar JA Solar JAM72S20 450W.</i>	53
<i>Figura N°24. Controlador de carga SmartSolar MPPT 150/45.</i>	55
<i>Figura N°25. Características de controlador de carga SmartSolar MPPT 150/45.</i>	56
<i>Figura N°26. Batería Rolls 12 CS 13P.</i>	58
<i>Figura N°27. Características de batería Rolls 12 CS 13P.</i>	58
<i>Figura N°28. Inversor Phoenix Smart 48V 2000VA Victron Energy.</i>	60

<i>Figura N°29. Características técnicas de Inversor.</i>	<u>60</u>
<i>Figura N°30. (a) Estructura sobre suelo, (b) Estructura sobre mástil.</i>	<u>65</u>
<i>Figura N°31. (c) Estructura sobre pared, (d) Estructura sobre tejado.</i>	<u>66</u>

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Marco y Leonor, por ser los mentores fundamentales en mi vida, por demostrarme a diario su cariño y apoyo absoluto sin importar las diferencias de opiniones que puedan existir, también por haber inculcado en mí valores muy importantes como son: la perseverancia, la motivación y la constancia. Sin ellos no hubiera sido posible llegar hasta esta instancia de formación profesional.

A mis amigos, con los cuales siempre nos apoyamos mutuamente en nuestra vida universitaria, y hasta la actualidad, continuamos siendo muy amigos; y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente a realizar todas aquellas metas que me propuse.

**¡Muchas Gracias por todo!**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios, por regalarme la vida, la salud, las energías y ser mi guía; y por darme la oportunidad de ser cada día mejor. A los docentes de la FIME, quienes contribuyen en mi sendero de realización personal y profesional. Un agradecimiento especial a mi asesor el Ing. Hector Oliden Nuñez por su constante apoyo, para poder realizar esta tesis.

Gracias

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se ha planteado diseñar un sistema fotovoltaico para iluminar la carretera Monsefú – La Victoria ubicada en la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque; la cual consta de 7.9 kilómetros de extensión. Se ha planteado como alternativa reemplazar la energía eléctrica convencional por una energía renovable, la cual no genera contaminación ambiental, y que además genera un ahorro económico para la población que vive en la cercanía de la carretera en mención.

La propuesta consiste en ubicar luminarias tipo LED de 40 W, en reemplazo de las luminarias de vapor de sodio que tienen un consumo de potencia de 70 W. Estas luminarias tipo LED se han ubicado estratégicamente cada 30 metros a lo largo de la carretera, siendo en total 260 luminarias.

Para evitar tener largos tramos de conductores eléctricos que generen exceso de caída de tensión, se ha propuesto agrupar las luminarias en bloques de 10 unidades, los cuales se puedan conectar a un sistema fotovoltaico autónomo independiente, teniendo en total 26 sistemas fotovoltaicos idénticos a lo largo de la carretera. Cada sistema fotovoltaico consta de 4 paneles solares de 450W cada uno, 1 controlador de carga, 4 baterías, 1 inversor fotovoltaico y su estructura de soporte.

Esta propuesta tiene como fin optimizar varios factores ambientales y conocimientos técnicos para la generación de energía eficiente, donde se deben usar variables relacionadas con la elevación, el acimut y la posición del controlador de carga en el caso de los paneles solares aplicados al área donde se plantea implementar el sistema fotovoltaico, con el fin de lograr efectos socialmente beneficiosos para la población.

En base al análisis económico y de ingeniería se ha logrado diseñar un sistema que cubra la demanda eléctrica de la zona y que además genere un ahorro económico si lo comparamos con el costo que genera la energía eléctrica convencional, según se muestra en los indicadores financieros.

**Palabras clave:** sistema fotovoltaico, energía solar, panel fotovoltaico

## ABSTRACT

In the present research work, it has been proposed to design a photovoltaic system for the lighting of the Monsefú - La Victoria highway located in the province of Chiclayo, department of Lambayeque; which consists of 7.9 kilometers in length. It has been proposed as an alternative to replace conventional electrical energy with renewable energy, which does not generate environmental pollution, and which also generates economic savings for the population living in the vicinity of the highway in question.

The proposal consists of locating 40 W LED-type luminaires, to replace sodium vapor luminaires that have a power consumption of 70 W. These LED-type luminaires have been strategically located every 30 meters along the highway, being in total 260 luminaires.

To avoid having long stretches of electrical conductors that generate excess voltage drop, it has been proposed to group the luminaires in blocks of 10 units, which can be connected to an independent autonomous photovoltaic system, having a total of 26 identical photovoltaic systems throughout. Of the road. Each photovoltaic system consists of 4 solar panels of 450W each, 1 charge controller, 4 batteries, 1 photovoltaic inverter and its support structure.

The purpose of this proposal is to optimize several environmental factors and technical knowledge for the generation of efficient energy, where variables related to elevation, azimuth and position of the charge controller must be used in the case of solar panels applied to the area where they are installed. proposes to implement the photovoltaic system, in order to achieve socially beneficial effects for the population.

Based on the economic and engineering analysis, it has been possible to design a system that covers the electrical demand of the area and that also generates economic savings if we compare it with the cost generated by conventional electrical energy, as shown in the financial indicators.

## INTRODUCCION

El actual trabajo de investigación se ha elaborado para la carretera Monsefú – La Victoria; lugar en el cual se plantea implementar un sistema fotovoltaico para la iluminación de dicha carretera. El objetivo de este trabajo de investigación es examinar la puesta en marcha de dicho sistema fotovoltaico (SFV) generando energía eléctrica; y además plantear que estos sistemas sean desarrollados en otras comunidades del país, en las cuales todavía no se cuenta con energía eléctrica convencional; asimismo reducir la contaminación, como el dióxido de carbono, y educar a las personas sobre la importancia de la energía solar y sus diferentes usos.

En el capítulo II se detalló los antecedentes del sistema fotovoltaico en el ámbito local, nacional e internacional, así como los principales conceptos del sistema antes mencionado y sus características técnicas para entender de mejor manera su funcionamiento.

En el capítulo III se detalló los instrumentos y herramientas utilizados en el presente trabajo de investigación, lo cuales sirvieron de base para el análisis y desarrollo en la investigación.

En el capítulo IV se detalló la propuesta de investigación a raíz de la clasificación general de los sistemas fotovoltaicos, seleccionando para este caso el sistema fotovoltaico con almacenamiento.

Conociendo la propuesta de investigación, en el capítulo V se procedió a detallar el análisis de los cálculos para el diseño del sistema, teniendo como base la máxima demanda de energía que se requiere para la iluminación de la carretera Monsefú – La Victoria y la radiación solar que cae sobre el área donde se encuentra la carretera utilizando datos estadísticos, lo cual facilita la selección de los componentes a utilizar.

Asimismo, con el análisis económico realizado se pudo determinar que el sistema fotovoltaico autónomo a diseñar en la carretera Monsefú – La Victoria es viable gracias a su costo beneficio y rentabilidad de la instalación en el área proyectada.

# CAPITULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACION

### 1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la actualidad el uso de energía eléctrica es muy importante en el crecimiento y desarrollo de una población, sin embargo, esto ha generado una crisis energética principalmente por la cada vez más alta demanda de energía eléctrica por parte de las industrias en sus procesos productivos.

Ante ésta impactante realidad, una solución inmediata, eficaz y de gran ayuda en el cuidado del medio ambiente es el uso de las energías renovables, que son energías que se obtiene principalmente de fuentes naturales renovables como por ejemplo radiación solar, viento, agua, calor de la tierra, materia acumulada, etc.

Los sistemas fotovoltaicos, que permiten la generación de electricidad a partir de la radiación solar, constituyen una alternativa importante en aplicaciones en que se requiere alimentar equipos eléctricos en áreas que se encuentran excesivamente alejadas de la red eléctrica, o en que las condiciones del terreno circundante imposibilitan la extensión de las líneas de transmisión para cubrir las necesidades de electrificación en estas zonas (Universidad Politécnica Salesiana - Ingeniería Ambiental, s.f)

A **nivel internacional** los avances de la energía solar son palpables y se demuestran en varios trabajos de investigación, antes imposibles de realizar, entre los llamativos logros está el reto de volar alrededor del mundo con el avión Solar Impulse. La primera versión de la nave ya voló por 26 horas sin interrupción en julio del 2010 exclusivamente empujado por su propia energía solar. En el 2013 cruzó los EEUU de costa a costa. El 8 de marzo de 2015, la Solar Impulse 2 inició su vuelta al mundo desde Abu Dhabi. En abril 2016, después de un cambio de baterías en Hawaii, aterrizó en California, EEUU. Actualmente está en su etapa final desde Egipto a Abu Dhabi para terminar la vuelta completa alrededor del mundo sin ninguna gota de gasolina, exclusivamente impulsado por la energía del sol. (Delta Volt, s.f)

En Australia, la capacidad total de energía solar de Australia ha alcanzado los 6 GW y se espera que la potencia instalada se duplique en los próximos años a medida que los hogares australianos sigan comprando paneles para sus casas y el sector solar a gran escala despegue después de años de promesas. En abril de 2017, había un total de 1,67 millones de instalaciones fotovoltaicas en Australia, que cubren el 21% de los tejados del país, lo que supone la mayor penetración de la energía solar en la azotea del mundo. En total, estas instalaciones solares generan 8.400 gigavatios hora (GWh) de electricidad cada año, que suponen, a su vez, el 3,3% de la demanda australiana (Roca, 2017).

“En países con las características territoriales y demográficas del Perú el acceso al sistema eléctrico interconectado nacional no es económicamente factible en el mediano plazo para las comunidades rurales del país. Por ello la atención de la demanda energética de sus comunidades, tiene que abordarse considerando la instalación de sistemas energéticos independientes” (Muñoz Anticona, 2005, pág. 10)

A **nivel nacional**, existen investigaciones y trabajos de tesis referente al sistema de electrificación rural utilizando energía solar fotovoltaica. Tal es así; Muñoz Anticona (2005), realiza su investigación relacionada a la Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país, donde concluye que los sistemas fotovoltaicos son confiables y duraderos, no ocasionan ningún desequilibrio al ambiente y son competitivos cuando la cantidad de energía demanda es pequeña y los sitios son lejanos o es difícil llegar a ellos no teniendo acceso a la red eléctrica.

A **nivel local**, en Lambayeque, más de 370 hectáreas del santuario Bosque de Pómac, han sido reforestadas con la especie algarrobo mediante el riego con un sistema tecnificado que usa energía solar, el cual permite la renovación aún en época de sequía y constituye una alternativa amigable con el medio ambiente. El sistema de riego continuo con energía renovable consta de 16 paneles solares de 50W cada uno, que funcionan con una bomba solar sumergible instalada dentro de un pozo para la extracción de agua (Perú21, 2013).

En Chiclayo, se registran diversos accidentes de tránsito cuyas consecuencias son múltiples personas heridas y/o muertas, muchos de estos accidentes de deben a la poca iluminación de las carreteras en dicha provincia por el bajo presupuesto

otorgado a la iluminación pública y al alto consumo de energía en la ciudad, esta realidad no es ajena a la Carretera Monsefú – La Victoria, lo cual genera un peligro en los conductores y peatones.

## **1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA**

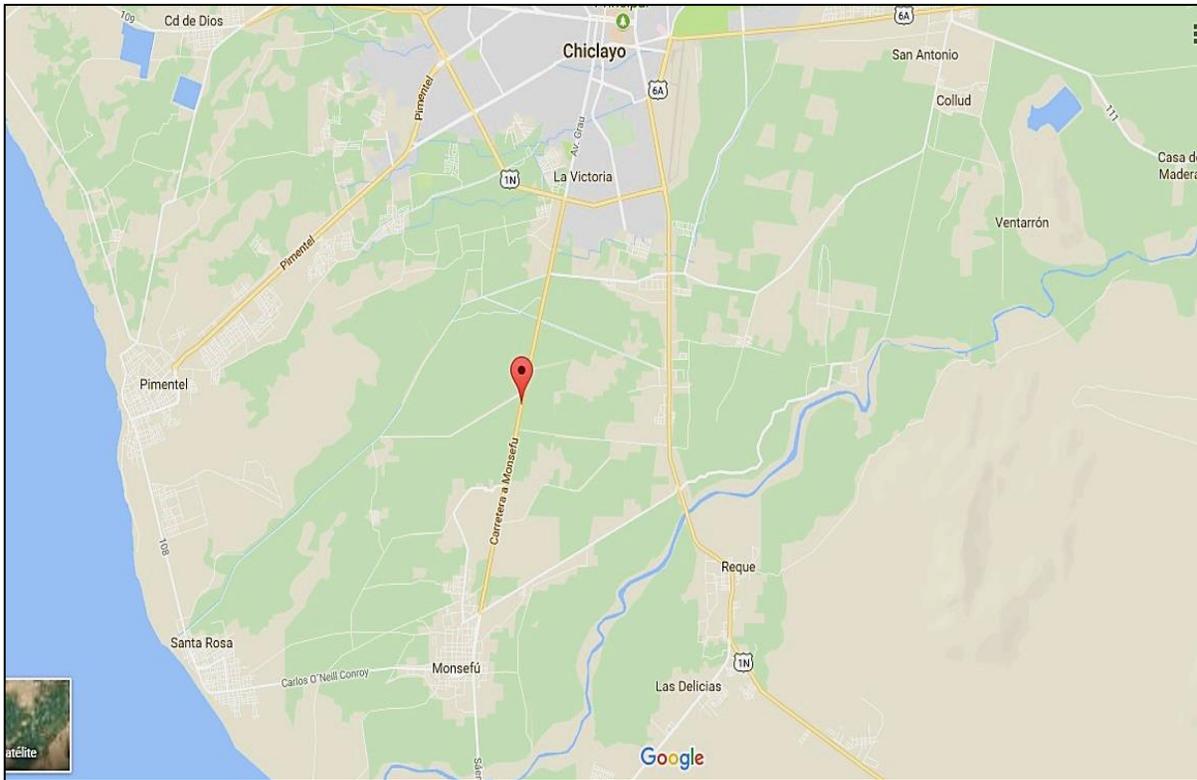
La importante alternativa del sistema fotovoltaico ante la crisis energética nacional lleva a la pregunta: ¿Es posible el crecimiento de electrificación rural a través de sistemas fotovoltaicos? ¿La energía fotovoltaica ha tenido progreso en Chiclayo? ¿Cuáles son las condiciones necesarias para el empleo de energía solar para la iluminación de la carretera Monsefú – La victoria? ¿Es eficiente el uso de la energía fotovoltaica en reemplazo de la energía eléctrica convencional?

Las interrogantes planteadas llevan a formular el siguiente problema de Investigación:

¿Cuál es el beneficio de la población alrededor de la carretera Monsefú – La Victoria con el uso de la energía fotovoltaica?

## **1.3. DELIMITACION DE LA INVESTIGACION**

El presente tema de tesis incluye el estudio de cargas de iluminación más efectivas utilizando paneles solares, los cuales suministrarán energía eléctrica para la iluminación de la Carretera Monsefú – La Victoria, ubicada en la frontera de los distritos del mismo nombre, en la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.



*Figura N°1. Carretera Monsefú – La Victoria*

*Fuente: Google maps*

#### **1.4. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION**

A continuación, mencionaremos los beneficios que se pueden obtener de este trabajo de investigación.

##### **Justificación Técnica**

Tendrá un buen aprovechamiento debido a la buena radiación solar durante el año para la generación de energía eléctrica, lo que permitirá iluminar correctamente la Carretera Monsefú – La Victoria.

##### **Justificación Económica**

El crecimiento de las energías renovables en los últimos años en conjunto con un buen diseño de paneles solares genera menor uso de energía eléctrica convencional,

lo cual permitirá reducir los gastos excesivos que ésta genera, basándose siempre en la normatividad actual.

### **Justificación Social**

Este trabajo de investigación tendrá un alto grado de estudio, por lo que puede ser usado como ejemplo para diversos trabajos de investigación que ayuden al beneficio del país.

Además, contribuye con una mejor calidad de vida para los pobladores y al mismo tiempo contribuye con un mejor tránsito nocturno digno de una ciudad en crecimiento

### **Justificación Ambiental**

Este trabajo de investigación ayudará a conservar el medio ambiente, ya que mediante el sistema fotovoltaico se puede generar energía limpia, dejando a un lado a las centrales termoeléctricas o las hidroeléctricas que afectan considerablemente a la naturaleza.

## **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION**

Falta de apoyo por parte de las autoridades en la mejora del servicio del sistema eléctrico en la zona.

Los sistemas fotovoltaicos dependen mucho de la climatización de la zona para que se pueda convertir la energía solar en energía eléctrica. Se espera que el clima sea soleado en la mayor parte del año.

## **1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

### **1.6.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema fotovoltaico para iluminar la carretera Monsefú – La Victoria, en la provincia de Chiclayo para mejorar el confort de la población que habita en su cercanía.

## **1.6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- a) Identificar la demanda máxima eléctrica estimando una correcta iluminación de la Carretera Monsefú – La Victoria.
- b) Diagnosticar el nivel de radiación solar de la zona.
- c) Realizar los cálculos y selección de unidades fotovoltaicas de acuerdo a la normatividad vigente.
- d) Evaluar la viabilidad económica financiera del sistema fotovoltaico en la Carretera Monsefú – La Victoria.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO**

##### **2.1.1. EN EL AMBITO INTERNACIONAL**

- Nombre: Proyecto de factibilidad para el uso de paneles solares en generación voltaica de electricidad en el complejo habitacional “San Antonio”
- Autor : Chávez Guerrero Mónica Alejandra
- Año : 2012
- Lugar : Riobamba – Ecuador

En este artículo, la autora realiza estudios ambientales del proyecto, revisa su implementación e identifican, evalúan y describen los impactos ambientales mínimos causados por la energía solar como fuente de energía renovable que no contamina. Evaluó las necesidades energéticas de una casa estándar en la zona residencial y propuso instalar un panel fotovoltaico con una capacidad de 11,88 Kw y una corriente de suministro de 55,76 A, utilizando 9 paneles fotovoltaicos, un juego de 27 baterías en serie, adicionalmente de 3 inversores de 48v 4000VA, un controlador anti-sobrecarga y que evite que la batería esté completamente descargada, el nivel de descarga no debe superar el 60% para garantizar una vida útil de 25 años.

Los resultados de la evaluación económica muestran un retorno de casi 23 años debido a los altos costos de los equipos, pero la inversión se basa en la naturaleza ecológica de la energía solar.

En comparación con otros modelos de producción de energía utilizados en Ecuador, la conversión de energía en el panel es simple y según las estadísticas de CONELEC, Ecuador produce el 45% de los contaminantes

ecológicos, por lo que el uso de estos nuevos sistemas puede reducir alrededor de 1 kg CO<sub>2</sub>/kWh por el uso de los nuevos sistemas, que es obtenido de la quema de combustibles en el sector energético, creando “bonos o certificados verdes” para el país (Chávez Guerrero, 2012, pág. 14).

- Nombre: Análisis de un sistema de iluminación, utilizando ampolletas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos
- Autor : Danilo Osvaldo Pérez Garrido
- Año : 2009
- Lugar : Valdivia – Chile

En este estudio de investigación el autor realizó el diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda, la cual será iluminada con ampolletas Led, el objetivo de esto fue analizar la conveniencia de la utilización de los sistemas fotovoltaicos en la ciudad de Valdivia.

La utilización de sistemas alternativos de generación eléctrica, como lo son los sistemas fotovoltaicos, ha permitido disminuir la demanda de energía eléctrica de la red de distribución, o bien alimentar de energía a aquellos sectores en los que no existen servicios eléctricos.

Actualmente es una alternativa relativamente cara para sectores de baja radiación solar, ya que es necesario contar con una gran superficie captadora para poder generar la energía requerida. En el norte de Chile el caso es distinto, ya que cuenta con condiciones excepcionales de radiación solar y horas de sol diarias. (Pérez Garrido, 2009, pág. 14).

## **2.1.2. EN EL AMBITO NACIONAL**

- Nombre: Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadores portátiles en la PUCP
- Autor : Valdiviezo Salas Paulo Daniel
- Año : 2014
- Lugar : Lima – Perú

En este estudio de investigación el autor realizó “el diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP. El objetivo fue aprovechar la energía proveniente del sol, almacenarla para su posterior uso, tomando en cuenta factores mecánicos de mantenimiento e implementos de fácil acceso en el mercado local” (Valdiviezo Salas, 2014, pág. 7).

- Nombre: Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país
- Autor : Delfor Flavio Muñoz Anticona
- Año : 2005
- Lugar : Lima – Perú

En este trabajo de investigación el autor busco dar a “conocer la conveniencia y viabilidad del uso de la energía solar mediante los sistemas fotovoltaicos para solucionar la falta de energía eléctrica de las comunidades rurales que se encuentran apartadas del sistema interconectado nacional, con el propósito fundamental de promover la elaboración de proyectos destinados a atender las necesidades eléctricas básicas de los poblados marginales, con el uso de los sistemas solares fotovoltaicos” (Muñoz Anticona, 2005, pág. 10) .

### **2.1.3. EN EL AMBITO LOCAL**

- Nombre: Propuesta de implementación de lámparas led con suministro fotovoltaico para reducir el consumo de energía eléctrica de origen convencional en el Solec Business Hotel Chiclayo - Chiclayo - Lambayeque
- Autor : Mirko Lorenzo Antonio Sampen Mego
- Año : 2018
- Lugar : Lambayeque – Perú

En este trabajo de investigación el autor “propuso reducir el consumo de energía eléctrica, así como la necesidad que nuestro país y en general el

mundo, tiene una generación de energía eléctrica de menor impacto ambiental, basados en la implementación de un sistema solar fotovoltaico e iluminación con lámparas LED de 6 W.

El sistema fotovoltaico consta de 16 paneles solares y suministrará la tensión al sistema en 220 VAC” (Sampen Mego, 2018, pág. 6).

- Nombre: Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el Restaurant El Cruceñito.
- Autor : Llauce Chozo Anthony Joel
- Año : 2016
- Lugar : Lambayeque – Perú

En este estudio de investigación el autor realizó la “implementación de un sistema fotovoltaico comercial, en reemplazo de la generación eléctrica a través de un motor diesel. El objetivo principal fue la evaluación técnica y económica de dicha implementación para su uso en diversas regiones que no cuentan con el suministro eléctrico convencional” (Llauce Chozo, 2016, pág. 6)

## **2.2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

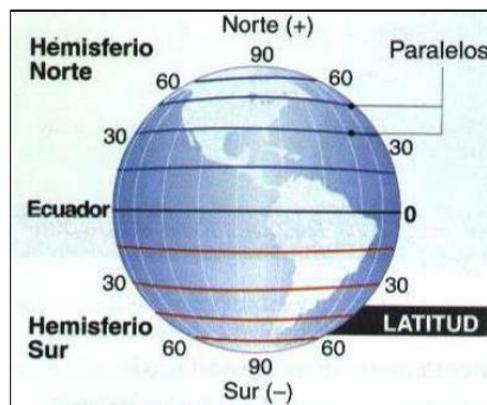
“La energía solar fotovoltaica es la energía procedente del Sol que se convierte en energía eléctrica de forma directa, sin ninguna conversión intermedia. Se produce mediante generadores fotovoltaicos compuestos por módulos fotovoltaicos conectados entre sí y que a su vez están compuestos por unidades básicas denominadas células solares o fotovoltaicas” (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012, pág. 8)

Para optimizar la energía recibida del sol y definir una posición del sistema fotovoltaico a usar, es necesario conocer conceptos básicos sobre el movimiento de la Tierra alrededor del Sol.

## 2.2.1. COORDENADAS DE LA TIERRA

### Latitud:

“La latitud es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el Ecuador, medida sobre el meridiano que pasa por dicho punto. La latitud del Ecuador es, por definición, de  $0^\circ$ . Todos los puntos ubicados sobre el mismo paralelo tienen la misma latitud. Se mide de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  y se define como positiva en el hemisferio norte y negativa en el hemisferio sur” (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012, pág. 8).



*Figura N°2. Latitud.*

*Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas*

### Longitud:

“La longitud es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el meridiano de Greenwich, medida sobre el paralelo que pasa por dicho punto. El meridiano de Greenwich divide a la Tierra en dos hemisferios llamados Este y Oeste.

La longitud se mide  $0^\circ$  a  $180^\circ$  y se define como positiva hacia el Oeste y negativa hacia el Este” (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012, pág. 9).

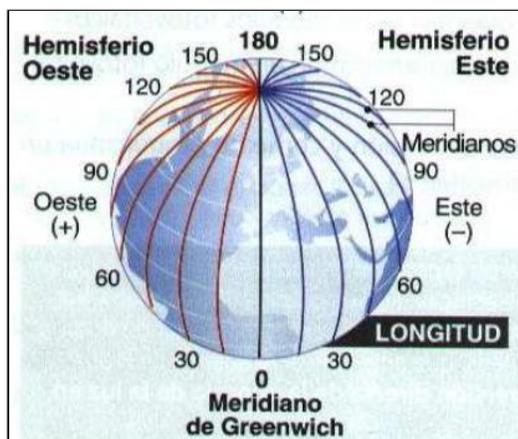


Figura N°3. Longitud.

Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas

### Declinación:

Es el ángulo formado por el ecuador de la Tierra con una línea en la eclíptica que conecta el centro del Sol con la Tierra. Este ángulo cambia en la órbita de la Tierra alrededor del sol, e incluso si cambia el desplazamiento, se puede inferir que permanece constante a lo largo del día. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

La fórmula de la declinación para un cierto día se estima con la expresión:

$$\delta = 23,45 * \sin\left(360 * \frac{284 + \delta_n}{365}\right) \dots (\text{Ec.2.1})$$

Donde:

$\delta$  = declinación (grados)

$\delta_n$  = día del año (1 al 365, tomando 1 para el primer día del enero)

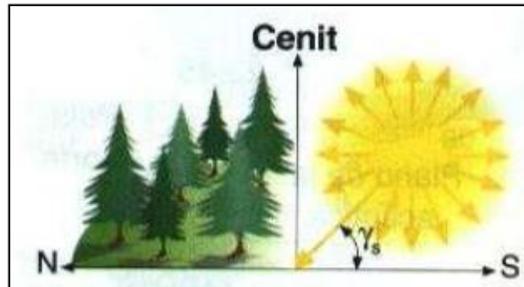
## **2.2.2. COORDENADAS SOLARES**

A causa de a los movimientos de rotación y traslación de la Tierra, es necesario realizar un acompañamiento al sol durante el transcurso de los días, puesto que su ubicación cambia en el transcurso del año.

El concepto de las coordenadas solares es:

### Elevación solar:

Es el ángulo entre la radiación solar y el plano horizontal. Permite un cambio continuo de  $(90^\circ - \phi - \delta)$  a  $(90^\circ - \phi + \delta)$ , donde  $\phi$  es la latitud del área y  $\delta$  es la declinación. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

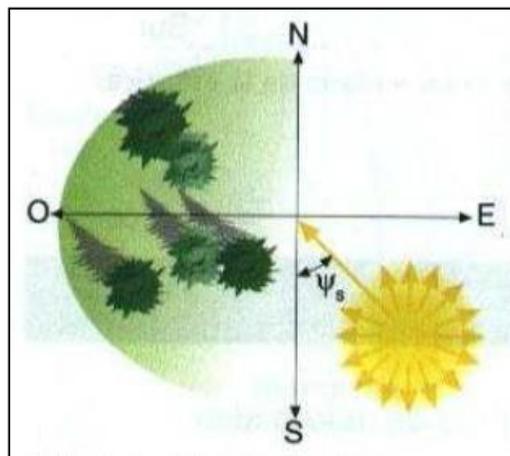


*Figura N°4. Elevación Solar.*

*Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas*

### Acimut Solar:

Es el ángulo conformado por el Meridiano del Sol y el Meridiano del área, representa el Sur en el hemisferio norte y el Norte en el hemisferio sur. Admite constantes positivas de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  oeste y constantes negativas de  $0^\circ$  a  $-180^\circ$  este. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).



*Figura N°5. Acimut Solar.*

*Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas*

### Ángulo o distancia cenital:

Ángulo conformado por el sentido del sol y el sentido de la vertical. Es el ángulo adicional de la elevación solar (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

### Carta solar:

La carta solar es un instrumento donde se representa el conglomerado de trayectorias del Sol en una ubicación determinada, revela la ubicación del Sol, acimut y la elevación, en cada hora, desde el enfoque de un espectador que observa hacia el Sur (en el hemisferio norte) o de un espectador que observa hacia el norte (en el hemisferio sur).

La carta solar es un instrumento bastante apropiado para obtener las mermas por sombras que se crean en un generador fotovoltaico (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

## **2.2.3. ORIENTACION DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO**

Para determinar la orientación en un generador fotovoltaico se precisa utilizar coordenadas angulares, similares a las empleadas para determinar la posición del Sol:

### Ángulo de acimut:

Es el ángulo que conforma el alcance sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del generador y la dirección Sur. Si concuerda con la orientación sur vale  $0^\circ$ , es positivo si concuerda hacia el oeste y negativo si concuerda hacia el este (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

### Ángulo de inclinación:

Es el ángulo que conforma el plano del generador con el plano horizontal. Si el módulo está en posición horizontal toma el valor es  $0^\circ$  y si el módulo se coloca en posición vertical toma el valor de  $90^\circ$ .

Si bien es cierto que existen generadores fotovoltaicos que pueden perseguir la trayectoria solar, lo usual es que el generador fotovoltaico tenga una orientación fija. La dirección será constante, su inclinación se ve afectada por el ancho del área y su azimut se ve afectado por el hemisferio donde se encuentra el generador. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Para establecer la inclinación óptima de un generador con orientación fija, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,67 * |\Phi| \dots(\text{Ec.2.2})$$

Donde:

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

$|\Phi|$  = latitud del lugar (grados)

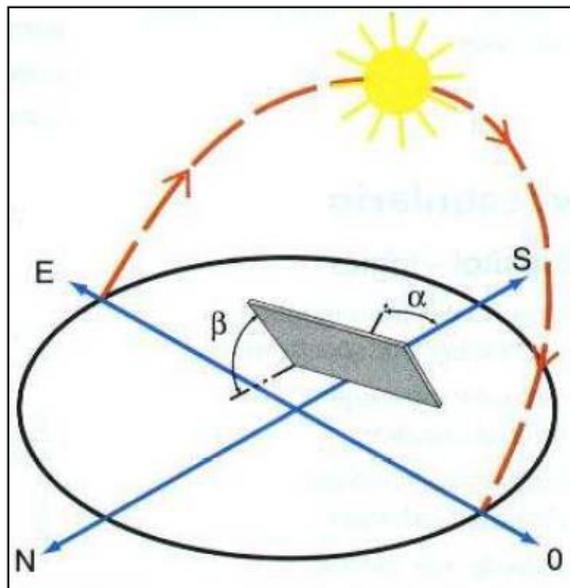


Figura N°6. Acimut e inclinación de un panel solar.

Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas

## 2.2.4. RADIACION SOLAR

La radiación solar se refiere a toda la radiación electromagnética emitida por el sol. El sol es en realidad como un cuerpo negro, emitiendo la energía de Planck a una temperatura de alrededor de 6000K. La distribución de la radiación solar va desde el infrarrojo hasta el ultravioleta.

No toda la radiación llega a la superficie de la Tierra porque los rayos UV de menor duración son absorbidos por los gases atmosféricos, principalmente por el ozono. La medida de la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, una medida de la energía transmitida a la Tierra por unidad de tiempo y área. Su unidad es  $W/m^2$  (Manzini Poli, 2004).

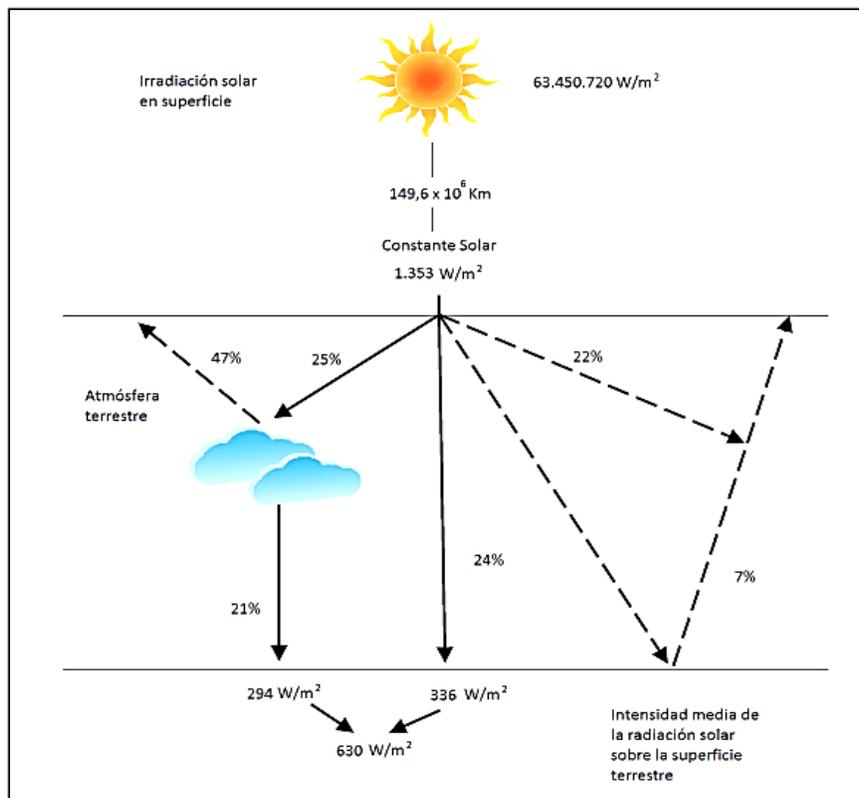


Figura N°7. Esquema de distribución de radiación

Fuente: Meteorología Descriptiva

### Tipos de radiación solar:

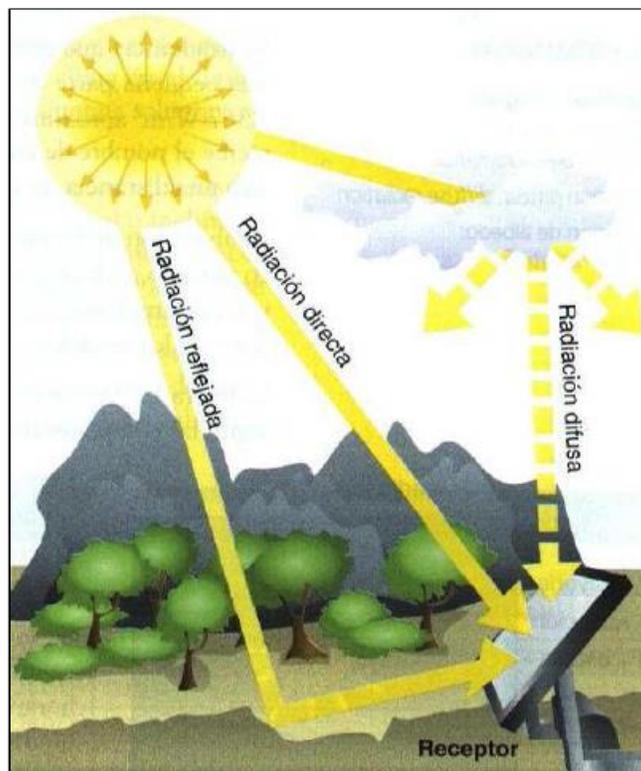
La radiación solar que cae sobre el plano de la Tierra puede cambiar con el tiempo, como la neblina, el cambio de estaciones y el cambio de día causado por el movimiento de la Tierra.

Hay tres elementos de la radiación solar:

**Directa:** es un tipo de radiación solar que no se pierde en su movimiento por la atmósfera.

**Difusa:** sujeta a variaciones de acuerdo con la difusión y reflexión atmosférica.

**Albedo o reflejada:** es la que se percibe por reflejos del suelo u otros planos adyacentes de forma directa o difusa (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).



*Figura N°8. Tipos de radiación solar sobre una superficie*

*Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas*

La radiación directa es la dimensión más grande e importante en la proyección del sistema fotovoltaico.

Perú es uno de los países con mayor radiación solar en la tierra, lo que es un testimonio del enorme potencial del desarrollo de la energía solar. En América Latina, solo Chile lo supera.



Figura N°9. Mapa irradiación de Sudamérica.

Fuente: <https://www.dw.com>

### Irradiancia e irradiación:

Se utilizan dos factores para determinar la radiación solar, que se refiere a la potencia y energía de la radiación recibida en una unidad de un plano particular.

**-Irradiancia:** Es la potencia o radiación proyectada en una unidad de superficie, señala la intensidad de la radiación solar. Se puede cuantificar en vatios por metro cuadrado. (Calculation Solar Blog, 2013)

**-Irradiación:** Es la integración o sumatoria de las irradiancias en un determinado espacio de tiempo; es la cuantificación de la energía solar recepcionada durante un espacio de tiempo. Se puede cuantificar en julios por metro cuadrado por un espacio de tiempo según sea la circunstancia. (Calculation Solar Blog, 2013)

### **2.2.5. EFECTO FOTOVOLTAICO**

El efecto fotovoltaico es la base del proceso mediante el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. Las células se montan en serie sobre paneles o módulos para conseguir un voltaje adecuado.

Las células solares se fabrican con semiconductores. Los semiconductores son elementos sólidos que tienen una conductividad eléctrica inferior a la de un conductor metálico pero superior a la de un buen aislante. El semiconductor más utilizado es el silicio (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012)

Al iluminar un semiconductor se generan electrones y huecos que se mueven por su interior aleatoriamente, cada vez que un electrón encuentra un hueco, lo ocupa y libera la energía adquirida previamente en forma de calor.

Los electrones y los huecos se separan de manera que se agrupan en zonas diferentes para formar un campo eléctrico, de forma que el semiconductor se comporte como un generador eléctrico. Al conseguir mantener esta separación y se mantiene constante la iluminación aparece una diferencia de potencial. Esta conversión de luz en diferencia de potencial recibe el nombre de efecto fotovoltaico.

Para conseguir la separación de electrones y huecos se utiliza una unión de semiconductores P y N por un lado se añaden impurezas negativas y por otras

impurezas positivas, formando una unión PN con dos regiones, N y P separadas.

La distribución de carga en esta unión establece una barrera eléctrica o potencial que evita que los electrones restantes se muevan de la región N a la región, impidiendo la difusión y manteniendo aislados los portadores de electricidad de cada zona. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012)

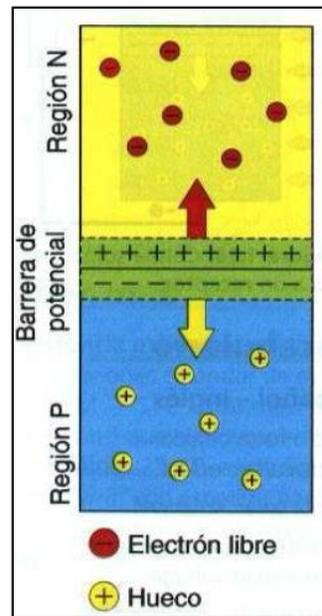


Figura N°10. Unión PN

Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas

## 2.2.6. CELULA FOTOVOLTAICA

Una célula fotovoltaica básicamente es un dispositivo capaz de convertir la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica. La gran mayoría de las células solares que actualmente están disponibles comercialmente son de Silicio mono o policristalino.

El primer tipo se encuentra más generalizado y aunque su proceso de elaboración es más complicado, suele presentar mejores resultados en cuanto a su eficiencia. (Universidad de Jaén, s.f)



Figura N°11. Célula Fotovoltaica

Fuente: <https://www.tecpa.es/celula-fotovoltaica/>

### 2.2.6.1. CURVA DE CORRIENTE VS TENSIÓN (CURVA I-V)

El concepto tradicional de la característica de salida de los elementos fotovoltaicos (células, módulos, sistemas) se denomina curva de tensión - corriente. La corriente de salida real se mantiene constante en todo el rango de voltaje operativo, por lo que el elemento fotovoltaico se puede estimar como una fuente de corriente constante para este nivel.

Los dos parámetros de funcionamiento anteriores ( $I_L$ ,  $V_L$ ) están determinados por las características específicas de la radiación solar incidente, la temperatura ambiente y las cargas conectadas al sistema (Llauce Chozo, 2016).

$$V_L = I_L * R \dots(\text{Ec.2.3})$$

Dónde: R: resistencia del receptor ( $\Omega$ )

$I_L$ : intensidad proporcionada por la célula (A)

$V_L$ : tensión en el receptor enlazado a la célula (V)

Por tanto:

$$P_L = V_L * I_L$$

Dónde:  $P_L$ : potencia entregada por la célula (W)

## 2.2.6.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA CELULA FOTOVOLTAICA

Cuando una fotocélula está conectada a una carga y la célula está encendida, hay un desequilibrio de voltaje en la carga y la corriente fluye a través de la carga, lo que se conoce como efecto fotoeléctrico.

La corriente suministrada por la celda solar a la carga es el resultado de los dos elementos de corriente internos dirigidos entre sí. Las cuales son:

**Corriente de iluminación:** debido a la generación de vectores producidos por la luz.

**Corriente de oscuridad:** voltaje externo requerido para alimentar la carga debido a la recombinación de portadores.

**Potencia máxima:** este es el punto en el que la energía proporcionada por la célula alcanza su valor máximo (Universidad de Jaén, s.f)

$$P_{max} = V_M * I_M \dots(\text{Ec.2.4})$$

Dónde:  $P_{max}$ : potencia máxima de la célula (W)

$I_M$ : intensidad máxima de la célula (A)

$V_M$ : tensión máxima de la célula (V)

**Factor de forma (FF):** se determina dividiendo la potencia máxima disponible para la carga por la corriente de cortocircuito multiplicada por el voltaje de circuito abierto.

$$FF = \frac{I_M * V_M}{V_{OC} * I_{SC}} \dots(\text{Ec.2.5})$$

Dónde: FF: Factor de forma  
I<sub>M</sub>: Intensidad máxima  
V<sub>M</sub>: Voltaje máximo  
V<sub>OC</sub>: Voltaje de corto circuito  
I<sub>SC</sub>: Intensidad de corto circuito

**Eficiencia de conversión energética o rendimiento:** se define como la relación entre la potencia eléctrica máxima (P<sub>max</sub>) que se puede entregar a la carga y la radiación incidente (P<sub>L</sub>) que cae en la celda, debido al producto de la radiación incidente G y la superficie de la celda S:

$$n = \frac{P_{max}}{P_L} \dots(\text{Ec.2.6})$$

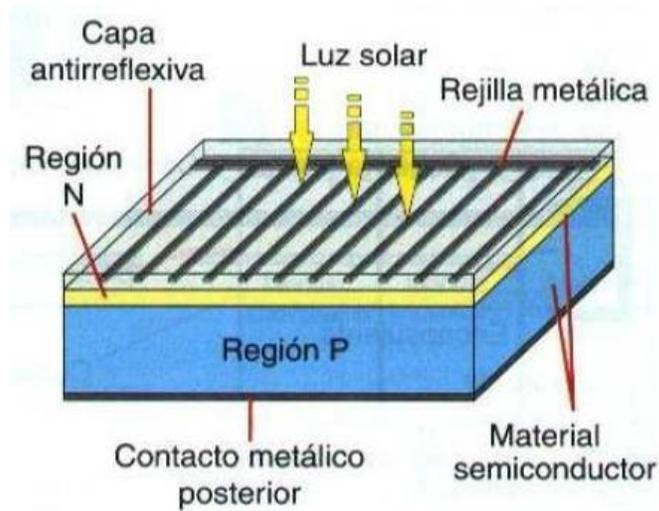
Estos parámetros se implementan en las características metrológicas estándares comunes según EN61215 (Universidad de Jaén, s.f)

**Efectos de la temperatura en los parámetros básicos de una celda fotovoltaica:** El aumento de la temperatura de la celda degrada el funcionamiento:

- Incrementa levemente la intensidad de cortocircuito.
- Reduce el voltaje de circuito abierto, aproximadamente en -2.3 mV/°C
- Reduce el Factor de Forma.
- Disminuye el rendimiento (Universidad de Jaén, s.f).

### 2.2.6.3. CONSTITUCION DE UNA CELULA FOTOVOLTAICA

Las células fotovoltaicas tradicionales están hechas de una lámina de material semiconductor como el silicio con un espesor de alrededor de 100 a 500 μm (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012)



*Figura N°12. Estructura básica de una célula fotovoltaica.*

*Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas*

#### **2.2.6.4. TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS**

Existen diferentes tipos de células solares en función de las propiedades y características de los materiales utilizados. El tipo de celda más común utilizado es el silicio cristalino (Si), un material que se corta en láminas muy delgadas en forma de disco, otros tipos son monocristalinos y policristalinos, según el proceso de fabricación

la primera celda cristalina producida fue monosilicio puro, que tiene una buena eficiencia energética, pero tiene un valor económico superior a otros tipos de celdas.

Debido a esto, hoy en día existen en un nivel de implantación reducido.

Un grupo de células fotovoltaicas enlazadas en serie forma un panel solar. es decir, paneles solares fotovoltaicos (Energía Solar, 2016).

### **Silicio Monocristalino:**

Las células de este tipo están elaboradas esencialmente por escamas monocristalinas muy puras con una estructura cristalina muy cercana a la perfección. Estas láminas tienen un grosor aproximado de 0,4 a 0,5 mm y se cortan a partir de barras o lingotes monocristalinos grandes. Su eficiencia en la transformación de la luz solar en electricidad supera el 12% (Energía Solar, 2016)



*Figura N°13. Panel Solar de Silicio Monocristalino*

*Fuente: <https://autosolar.es/>*

### **Silicio Policristalino:**

Estos tipos de células tienen una alta densidad de cristales porque se obtienen a partir de bloques de silicio, que es el resultado de combinar obleas de silicio de alta pureza en patrones especiales. Estos tipos de celdas son más baratos de fabricar, pero menos eficientes para convertir la luz solar en electricidad que las celdas de silicio monocristalino. (Energía Solar, 2016)



*Figura N°14. Panel solar de Silicio Policristalino*

*Fuente: <https://blogs.upm.es/>*

## **2.2.7. MODULOS FOTOVOLTAICOS**

La mayor cantidad de módulos fotovoltaicos fabricados cuentan con 36 hasta 96 células enlazadas en serie. En ciertos casos hasta se puede añadir la conexión en paralelo de grupos de células enlazadas en serie, adicionalmente hay que otorgar a este grupo de células una defensa frente a los elementos atmosféricos externos, una protección eléctrica al nivel recomendado por el fabricante y una solidez mecánica que ayude a su manipulación fácil y práctica. A las células fotovoltaicas reunidas en las condiciones antes mencionadas se les otorga el nombre de modulo fotovoltaico (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Estructura de un módulo fotovoltaico:

- Cubierta frontal.
- Encapsulante
- Cubierta posterior
- Marco
- Conexiones
- Células

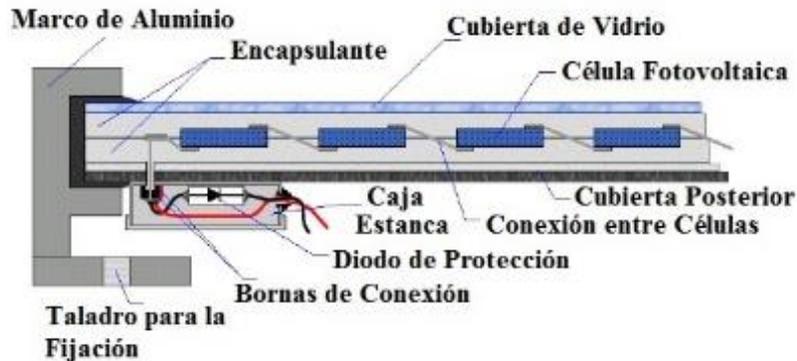


Figura N°15. Los elementos de un módulo fotovoltaico

Fuente: <https://ingemecanica.com>

Parámetros característicos de un módulo fotovoltaico:

- El punto de trabajo.
- Potencia máxima
- Intensidad de la corriente.
- Efectos de la temperatura.

Parámetros adicionales:

Existen un conjunto de parámetros derivados de la integración de módulos en un generador fotovoltaico en serie o en paralelo con otros módulos. Estos parámetros son los límites máximos de corriente y tensión inversa que puede alcanzar el sistema fotovoltaico. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012)

Enlazado de módulos fotovoltaicos:

La corriente y el voltaje de los módulos fotovoltaicos a veces no cumplen con el nivel de voltaje y corriente requerido por el sistema fotovoltaico. En tales casos, se deben ensamblar diferentes módulos fotovoltaicos con los valores mínimos requeridos, para este propósito se debe recordar que los módulos conectados en serie incrementarán el voltaje del sistema y los módulos paralelos incrementarán la potencia del sistema. La combinación de todos los módulos del sistema se denomina generador fotovoltaico. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Cada vez que se junten módulos fotovoltaicos se tiene la necesidad de cumplir la característica de igualdad. Esta igualdad contempla que tengan las mismas condiciones y que adicionalmente sean fabricados por la misma fábrica.

Existen tres tipos de conexiones que se pueden utilizar según sus necesidades:

- Conexión serie: con el fin de incrementar el voltaje del generador.
- Conexión en paralelo: con el fin de incrementar la corriente del generador.
- Conexión serie/paralelo: con el fin de incrementar el voltaje y la corriente del generador (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012)

Puede haber algunas diferencias en los parámetros eléctricos de los componentes del generador fotovoltaico debido a las diferencias naturales en el proceso de fabricación, lo que da como resultado componentes diferentes y características operativas alteradas durante los procedimientos operativos de producción, por ejemplo, solo en un área determinada del generador: nubes de sombra, niveles variables de suciedad o ventilación, etc. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012)

Las diferencias en los parámetros mencionadas en el anterior párrafo pueden tener como consecuencias lo siguiente:

- La potencia máxima que entregue el generador puede ser inferior a la potencia máxima total de sus módulos constituyentes. Estas pérdidas de potencia se denominan pérdidas por dispersión y se pueden reducir mediante el uso de módulos fotovoltaicos con una tolerancia de fabricación igual o inferior al  $\pm 5\%$ .
- Algunas unidades o incluso módulos pueden actuar como colectores y suprimir la energía generada por otras unidades. Sin embargo, este efecto causará algunos daños que pueden ser limitados por el diodo de derivación, la desventaja es que el diodo de derivación cortocircuita la batería y no genera corriente. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

## **2.2.8. BATERIAS**

La batería es el componente que acumula la energía del transcurso del día en el que hay radiación solar para suministrarla en la noche o en los días nublados. Adicionalmente, es un elemento capaz de convertir la energía potencial química en energía eléctrica. El dimensionamiento del banco de baterías será en función de la disposición de días claros y nublados de acuerdo con el lugar donde se instalará, teniendo en cuenta que su almacenamiento aproximado debe ser desde 4 hasta 8 veces el consumo diario (Llauce Chozo, 2016)

La utilización de las baterías en un sistema fotovoltaico permite: Otorgar al sistema de una fuente eléctrica que no dependa de las condiciones de radiación solar presente; a su vez otorgar autonomía al suministro eléctrico para los periodos de paralización de los módulos, empleando la energía que pueden almacenar. Para determinar un punto de funcionamiento adecuado, se debe establecer una tensión referencial y mantener su constante para los elementos que estarán ligados al consumo. (Llauce Chozo, 2016).

### **2.2.8.1. Características de la Batería**

Las características principales de las baterías se dan a través de los siguientes parámetros:

**Capacidad:** Se denota en amperios por hora (Ah). Precisa la cantidad de energía eléctrica, que cumpliendo ciertas consideraciones, es posible suministrar. El rango comercial varía desde 50 hasta 4000 Ah.

**Tensión:** A la batería se le conoce como una fuente de corriente continua. Su rango comercial se encuentra variando desde 2 hasta 12 V, siendo el valor de 12 V el más utilizado.

**Estado de carga:** Es la constante porcentual que existe entre la capacidad disponible y la capacidad total.

Profundidad de descarga: Es la constante porcentual que existe entre la capacidad útil y la capacidad total.

Ciclaje: Son los procesos periódicos de carga y descarga de la batería quienes establecen su periodo de vida útil. A pesar de ello, el fabricante tiende a determinar el tiempo de vida útil a través del número de ciclos de carga – descarga a los que estará sujeto la batería (Llauce Chozo, 2016).

### **2.2.8.2. Tipos de baterías**

Hay diversos tipos de baterías solares que se comercializan en el mercado. A continuación, algunos tipos de baterías que se utilizan en energías renovables:

Baterías Líquidas: cuya capacidad de almacenamiento es mayor en comparación al resto. Conocidas como baterías líquidas porque trabajan a elevadas temperaturas para que los electrolitos y electrodos se conserven en estado líquido, para ello es necesario tener alrededor de 500 grados centígrados para lograr este estado. Adicionalmente son muy económicas, tienen pocos problemas cuando se sobrecargan y presentan una durabilidad mayor (Llauce Chozo, 2016).

Baterías tipo VRLA: La batería VRLA, cuyas siglas significan Valve Regulated Lead Acid battery, que en español quiere decir “ácido - plomo regulado por válvula”, es un tipo de batería de plomo que es posible recargar. Además, no están del todo selladas, pero presentan una tecnología que mezcla el oxígeno e hidrógeno que deriva de las placas durante la carga y de esta forma eliminan la pérdida de agua cuando no son sobrecargadas. Por otro lado, son las únicas que pueden transportarse vía aérea. Asimismo, podemos encontrar 2 tipos de estas baterías:

\* **Baterías de Gel**: Tal y como lo menciona su nombre, estas baterías contienen un ácido en forma de gel, lo cual facilita evitar las pérdidas de líquido. Las ventajas de las baterías de gel es que trabajan en cualquier ubicación, presentan reducida corrosión, pueden ser utilizadas a bajas temperaturas y

cuentan con una vida útil más prolongada con relación a las baterías líquidas. Las desventajas de las baterías de gel es que son muy delicadas para su transporte y tienen un elevado precio.

\* Baterías tipo AGM: Cuyas siglas en inglés significan “Absorbed Glass Mat”, en español “Separador de vidrio absorbente”, presentan una malla de fibra de vidrio que está situada entre las placas de la batería, esta funciona como contenedor del electrolito. Las baterías tipo AGM pueden trabajar a bajas temperaturas, su eficiencia puede llegar a 95%, pueden trabajar a una elevada corriente y cuentan con una buena relación entre el costo por su vida útil (Llauce Chozo, 2016).

### **2.2.8.3. Conexión de las baterías**

Para la conexión entre baterías se debe tener en cuenta los niveles de tensión y capacidad de acumulación particulares en cada momento (ya sean conexiones en serie, paralelo o mixtas).

Por ejemplo, hay dos grupos de baterías a conectar y ambos grupos cuentan con bornes óptimos para una conexión estándar. El primer grupo cuenta con un sistema de conexión propio, diseñado exclusivamente para la batería, por ende, este grupo cuenta con flexibilidad para la conexión. El segundo grupo que es de libre mantenimiento cuenta con una conexión rígida, por lo tanto, los acumuladores y sus elementos de interconexión están predefinidos y son insustituibles. La ventaja de este segundo grupo es la fiabilidad y facilidad de instalación, debido a que es el fabricante quien otorga la solución práctica de la conexión tanto en el diseño como en sus elementos complementarios (cables, pletinas, fundas protectoras y cables flexibles) (Llauce Chozo, 2016).

### **2.2.9. REGULADORES**

Para que un sistema fotovoltaico autónomo pueda entregar energía eléctrica en diversos momentos al circuito de utilización, al margen de la situación ambiental, necesita un sistema de acumulación que almacene la energía eléctrica que se ha generado durante el día pero que no se ha consumido, ya

que esta energía sobrante se debe entregar para abastecer las horas con poca o inexistente radiación solar.

### **2.2.9.1. Funciones del regulador**

- Prevenir la sobredescarga o descarga de la batería.
- Proteger la batería de la sobrecarga, estableciendo el límite de la tensión de carga final.
- Prevenir la descarga en el horario nocturno de la batería de acumuladores para evitar afectar el funcionamiento del generador fotovoltaico (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012)

### **2.2.9.2. Tipos de reguladores**

Dependiendo del método de conexión y desconexión del regulador de voltaje, se puede dividir en:

- Regulador serie: este es un regulador que controla la carga de la batería al desconectar el generador fotovoltaico y la batería a través de un relé de estado sólido. La principal ventaja de los reguladores en serie es su bajo consumo de energía, lo que permite su uso en sistemas con suficiente potencia, pero su desventaja es la caída de tensión en el circuito de conmutación en el bucle del generador fotovoltaico y la batería, desventaja frente al regulador paralelo, mayor autodisipación. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).
- Regulador paralelo: un regulador que controla la carga de la batería cortocircuitando el ingreso del generador fotovoltaico. Los reguladores en paralelo presentan como ventajas que son económicamente más accesibles y tienen un autoconsumo menor en comparación con los reguladores en serie. Adicionalmente pueden trabajar sin necesidad de batería, actuando en este caso como limitador de voltaje producido por el generador fotovoltaico, que será constante, aunque la irradiancia varíe (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

De acuerdo a como se regule la carga de la batería, se pueden dividir en:

- Reguladores todo - nada: de acuerdo a las diversas etapas en la carga de la batería de acumuladores: carga profunda, ecualización, flotación, etc. Se efectúa conectando y desconectando el circuito en el lazo del generador y la batería de acumuladores para diferentes valores de tensión de la batería.
- Reguladores PWM: en estos reguladores la primera etapa es similar a la regulación todo-nada, el regulador tiene acceso a todo el canal por donde fluye la corriente generada por el generador fotovoltaico hacia la batería. La técnica de modulación de ancho de pulso se utiliza en la última fase de la primera etapa y en la etapa flotante. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

### **2.2.9.3. Características y dimensionado de los reguladores**

Tensión nominal: es el valor para el que está diseñado el regulador, adicionalmente debe concordar con el voltaje del sistema de almacenamiento. Los valores más comunes son 12, 24 y 48 V, sin embargo, existen reguladores que pueden operar con diversos niveles de tensiones, los cuales se pueden cambiar de forma manual o automática (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Intensidad nominal: es la intensidad de corriente del generador fotovoltaico que debe controlar el regulador. Normalmente tiene el mismo valor para el ingreso del generador fotovoltaico y para la intensidad que sale hacia el circuito de utilización (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Tensión máxima: en la entrada no debe ser sobrepasada por la tensión máxima de circuito abierto del generador fotovoltaico y la corriente de consumo propio, ya que el regulador se alimenta del propio sistema fotovoltaico y su consumo tiene que ser mínimo (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

#### **2.2.9.4. Instalación y mantenimiento de los reguladores**

El regulador se debe montar en un lugar protegido de la humedad y el polvo y no debe exponerse a la irradiación directa del sol y a otras fuentes de calor.

El regulador debe estar lo más cerca posible de la batería para reducir al máximo la caída de tensión en los conductores de conexión.

Los reguladores de carga requieren muy poco mantenimiento y únicamente se debe realizar una revisión anual para asegurar que no se obstruyan las entradas de aire de ventilación en los disipadores de calor y que las conexiones están correctamente realizadas comprobando el apriete de tornillos (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

### **2.2.10. INVERSORES FOTOVOLTAICOS**

Un inversor es un elemento que convierte la corriente continua generada por un generador fotovoltaico en corriente alterna manteniendo unos parámetros óptimos de tensión y frecuencia. De acuerdo para lo que esté destinado la utilización de la corriente alterna generada, se encuentran los siguientes tipos de inversores:

- Inversores para sistemas fotovoltaicos autónomos
- Inversores para sistemas fotovoltaicos conectados a la red (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

#### **2.2.10.1. Funciones y características**

Tensión Nominal: Es la tensión que se tiene que entregar a los terminales de ingreso (Llauce Chozo, 2016)

Potencia Nominal: Esta es la potencia que el inversor puede proporcionar de forma continua y su rango comercial es de 100W a 5KW (Llauce Chozo, 2016).

Rendimiento: Esta es la característica más importante del inversor y se denomina relación entre la potencia de salida del inversor y la potencia de entrada. El rendimiento es un indicador de la pérdida experimentada por los inversores (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Capacidad de sobrecarga: Esta es una característica que debe tener en cuenta un inversor ya que debe proporcionar más potencia que la potencia nominal durante un período de tiempo determinado, lo que facilita la conexión de varios receptores que requieren más intensidad de corriente para operar, por ejemplo, como ocurre en el motor (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

### **2.2.10.2. Tipos de inversores**

Inversor central: aquel en el que el generador está enlazado a un inversor. Se emplea en instalaciones que requieren elevada potencia (10 kW - 1 MW), donde el generador consta de muchas ramas paralelas de módulos enlazados en serie.

Tiene como ventaja la generación de altas potencias con un rendimiento eficiente y un costo accesible debido a que dispone de un montaje centralizado con únicas protecciones.

Tiene como desventaja que limita la fiabilidad del sistema fotovoltaico ya que depende de un único inversor, por lo que si presentara algún desperfecto implicaría la parada de todo el sistema (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Inversor de cadena: para un generador fotovoltaico que ha sido conformado por múltiples ramas de módulos enlazados en serie se emplea de un inversor para cada una de las ramas. Se les conoce como inversores de cadena debido a que tienen en su ingreso solamente una rama o cadena de módulos fotovoltaicos enlazados en serie.

Estos inversores disponen de potencias nominales que varían desde 1 kW hasta 10 kW aproximadamente. Asimismo, tienen la ventaja de poder conectar

múltiples inversores en paralelo para lograr la potencia requerida, además presentan un mayor rendimiento que los inversores centrales (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Inversores multicadena: son aquellos inversores que tienen la ventaja de poder conectar múltiples ramas de módulos, a pesar de que cuentan únicamente con una sola etapa inversora.

Se elaboran para ser utilizadas con potencias que varían desde 3 kW hasta 10 kW. Son económicamente accesibles para el empleo de instalaciones en las que hay ramas de módulos con diversas características de funcionamiento (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Inversor integrado en el módulo: son aquellos inversores que están directamente conectados en el módulo fotovoltaico.

Normalmente se emplean en sistemas fotovoltaicos de baja potencia que varían desde 50 w a 500 w. Dado que la conversión de corriente continua a corriente alterna tiene lugar en el mismo módulo, toda la instalación se realiza con corriente alterna, por lo que no hay cableado de corriente continua.

Su eficiencia es menor al de los inversores de cadena y el hecho de tener que conectar cada módulo a la red de corriente alterna con el incremento de cableado que supone, hace que se utilicen en sistemas de poca potencia (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

### **2.2.10.3. Conexión del inversor**

Es un proceso bastante sencillo ya que el fabricante proporciona la información necesaria tanto en el propio componente como en el manual de instalación.

Los inversores suelen incluir dos terminales de entrada consecutivos para la conexión a una batería (o regulador de voltaje) o al campo fotovoltaico (según el tipo de inversor) y pueden tener dos o tres salidas de corriente alterna, para fase, neutro y tierra; para la conexión a circuitos y para redes fuera de la alimentación de corriente alterna.

Para el dimensionamiento de los inversores se debe tener en cuenta la potencia eléctrica que puede entregar durante su trabajo continuo o también se puede considerar de acuerdo con la potencia de arranque.

La eficiencia de los inversores decrece cuando se emplea a una fracción de su capacidad, por lo que el tamaño no debe ser demasiado grande y lo mejor es elegir una capacidad muy cercana a la potencia consumida (Llauce Chozo, 2016).

## CAPITULO III

### MARCO METODOLOGICO

#### 3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación a utilizar en el presente trabajo de investigación es el **descriptivo**; que es la que se utiliza para describir la realidad de situaciones, eventos, personas, grupos o comunidades que se estén abordando y que se pretenda analizar. En este tipo de investigación la cuestión no va mucho más allá del nivel descriptivo; ya que consiste en plantear lo más relevante de un hecho o situación concreta. (Universia, 2017)

El diseño de investigación a utilizar en el presente trabajo de investigación es **no experimental**; ya que en ellos el investigador observa los fenómenos tal y como ocurren naturalmente, sin intervenir en su desarrollo. (Alojamientos, 2013)

#### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación la población es igual a la muestra y es la carretera Monsefú – La Victoria.

#### 3.3. HIPOTESIS

Si se aprovecha la energía solar de la zona para generar energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico aislado del sistema eléctrico convencional, entonces podremos iluminar la carretera Monsefú – La Victoria.

#### 3.4. VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN

X: Variable independiente:

Nivel de radiación solar

Y: Variable dependiente:

Energía eléctrica

Tabla N°1.  
Operacionalización de Variables

TIPO DE VARIABLE	DEFINICION	TECNICA	INSTRUMENTOS	INDICADORES
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	Nivel de radiación solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Observación</li> <li>✓ Encuesta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Guía de Observación</li> <li>✓ Mapas Conceptuales</li> <li>✓ Cuadro Sinópticos</li> <li>✓ Cuestionario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Energía Solar</li> <li>✓ Potencia</li> <li>✓ Eficiencia</li> <li>✓ Costos Fijos</li> <li>✓ Costos Variables</li> <li>✓ Horas Sol Pico</li> </ul>
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	Energía Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Observación</li> <li>✓ Encuesta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Guía de Observación</li> <li>✓ Mapas Conceptuales</li> <li>✓ Cuadro Sinópticos</li> <li>✓ Cuestionario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Energía Consumida</li> <li>✓ Máxima Demanda</li> <li>✓ Costos de Energía</li> <li>✓ Condiciones de Uso</li> </ul>
<b>VARIABLE DE LOCALIZACION</b>	Carretera Monsefú – La Victoria	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Observación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Guía de Observación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ubicación</li> <li>✓ Acceso</li> <li>✓ Nivel Socioeconómico</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

En el presente de trabajo de investigación se han utilizado los siguientes métodos y técnicas de investigación:

Observación directa:

Se utiliza esta técnica de investigación con el fin de definir la longitud de la carretera, el peligro de la falta de iluminación nocturna y el aprovechamiento de la energía solar en la zona.

Documentales:

Se acudió a diferentes fuentes a diversos textos de investigación en los cuales se trató la generación de energía eléctrica a raíz de la energía solar a través de un sistema fotovoltaico.

### **3.6. DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS**

Para obtener la información necesaria para el presente trabajo de investigación, se utilizó los siguientes instrumentos de acuerdo a cada técnica de investigación:

Para la observación; se utilizó un mapa, lápiz, papel.

Para el análisis de documentales; se acudió a escritos tales como tesis, libros, páginas web.

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

La longitud de la carretera Monsefú – La Victoria se obtuvo del mapa de Google Earth, mientras que la información sobre la radiación solar en la zona se obtuvo de los datos estadísticos de la NASA. La demanda de energía eléctrica se obtuvo proyectando la capacidad de las lámparas a utilizar y ubicándolas uniformemente a lo largo de la carretera. Para los cálculos se utilizará hojas en Excel y se elaborará un plano en AutoCAD.

## CAPITULO IV

### PROPUESTA DE INVESTIGACION

#### 4.1. INTRODUCCION

Los sistemas fotovoltaicos se emplean para alimentar algunas viviendas aisladas que no pueden conectarse a la red de distribución tradicional. Los sistemas fotovoltaicos autónomos más utilizados suelen ser eficientes energéticamente, y van desde un solo módulo que entrega decenas de vatios hasta 10 kilovatios (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

##### 4.1.1. CLASIFICACIÓN

Los sistemas fotovoltaicos autónomos se dividen en:

- Sistemas fotovoltaicos directos sin almacenamiento
- Sistemas fotovoltaicos con almacenamiento.
  
- Sistemas fotovoltaicos directos: Los generadores fotovoltaicos están enlazados directamente al sistema mediante circuitos eléctricos y no tienen sistemas de almacenamiento de energía. Este tipo de sistema se utiliza en instalaciones donde el consumo eléctrico se limita a las horas del día en que se produce la radiación solar (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).
  
- Sistemas fotovoltaicos con almacenamiento: se emplean en aquellas instalaciones que necesitan de una entrega de energía eléctrica durante diversos periodos del día discriminando la existencia de radiación solar. El sistema de almacenamiento, conformado normalmente por baterías, es quien acumula la energía eléctrica generada en el día, que no ha sido utilizada, para que luego se pueda emplear en las etapas de día de escasa o nula radiación solar (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

## CAPITULO V

### ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

#### 5.1. ESTIMACION DEL CONSUMO DE ENERGIA PROMEDIO DIARIA PARA LA CARRETERA MONSEFU – LA VICTORIA

El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo iluminar de forma óptima la carretera Monsefú – La Victoria, y también el ahorro de energía, por lo tanto, la única demanda es el consumo de energía por parte de la luminaria a utilizar, bajo estos parámetros se ha seleccionado una luminaria LED de potencia 40W.

Si se compara la luminaria LED a usar con la luminaria Vapor de sodio normalmente utilizada, se obtiene un importante ahorro de energía, pero similar nivel de iluminación:

Tabla N°2.

*Comparación Luminaria LED y Luminaria de vapor de sodio.*

	Luminaria LED L12	Luminaria Vapor de sodio
Potencia (W)	40	70
Lumen	6500	6320

Fuente: Elaboración propia.

La energía consumida en un día será:

Tabla N°3.

*Energía consumida en un día.*

Luminaria	Tensión	Cantidad	Potencia (W)	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)
LED L12	220 V	1	40	12	480

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de la tabla N°3, se propone ubicar las luminarias cada 30 metros de forma estratégica a lo largo de la carretera Monsefú – La Victoria, que tiene un recorrido de 7.9 Km; de acuerdo a ello se utilizarán 260 luminarias (Anexo 1).



*Figura N°16. Bloque de 10 luminarias conectadas a un sistema fotovoltaico  
Fuente: Elaboración propia.*

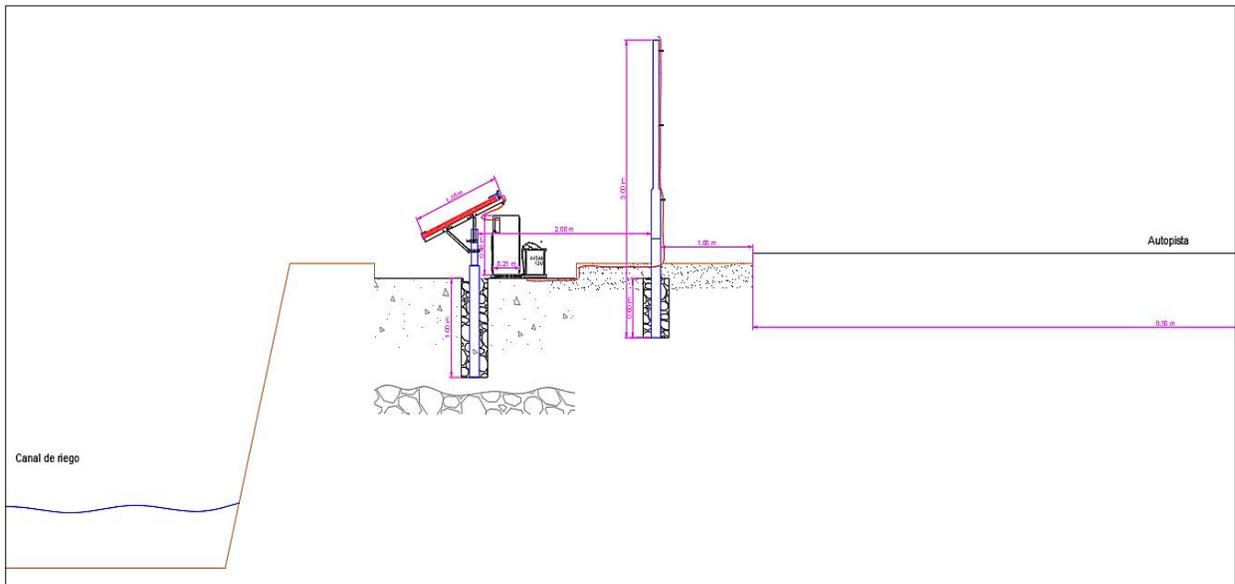


Figura N°17. Vista lateral izquierda de un poste conectado a un sistema fotovoltaico

Fuente: Elaboración propia



Figura N°18. Vista lateral derecha de un poste conectado a un sistema fotovoltaico

Fuente: Elaboración propia.

Debido a la distancia entre luminarias, estratégicamente se propone un sistema fotovoltaico por cada 10 luminarias. Entonces:

La demanda de energía eléctrica promedio diario en ( $L_{ca}$ ) será:

$$L_{CA} = \frac{(\text{Número de horas}) \times (\text{Potencia de la lámpara}) \times (\text{Número de Lámparas})}{1000} \dots (\text{Ec.5.1})$$

Se considera el número de horas promedio de trabajo de las lámparas es de 12 horas, entonces:

$$L_{CA} = \frac{(12h) \times (40W) \times (10)}{1000} = 4.8kWh \dots(\text{Ec.5.2})$$

El consumo de energía eléctrica promedio diario para 10 luminarias que forman parte de la iluminación de la Carretera Monsefú – La Victoria es de 4.8 kWh.

Asimismo, de acuerdo a los datos de la tabla N°3 y a lo descrito líneas arriba, se calcula la máxima demanda para el presente trabajo de investigación:

Tabla N°4.  
*Máxima demanda.*

Descripción	Cantidad de luminarias	Potencia de luminaria	Carga instalada	Factor de demanda	Máxima demanda
Iluminación	260	40 W	10,400 W	1	10.4 kW

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

En el diseño del sistema fotovoltaico de la carretera Monsefú – La Victoria, el consumo será constante y anual, por lo tanto, el diseño se establecerá teniendo en cuenta el mes de menor radiación solar (mes más desfavorable).

La tabla N°5 y figura N°19 muestran la irradiación directa en la carretera Monsefú – La Victoria según la Surface Meteorology and Solar Energy, Atmospheric Science Data Center de la NASA, los cuales se encuentran en su sitio web, los datos han sido medidos en base a un periodo de 5 años (Enero 2014 – Diciembre 2018).

Tabla N°5.  
Irradiación global promedio en un plano horizontal.

Mes	Irradiación directa (KWh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	5.68
Febrero	5.22
Marzo	5.11
Abril	5.48
Mayo	4.99
Junio	4.84
Julio	4.89
Agosto	5.71
Setiembre	6.19
Octubre	6.13
Noviembre	5.95
Diciembre	5.45

Fuente: Surface Meteorology and Solar Energy, Atmospheric Science Data Center de la NASA.

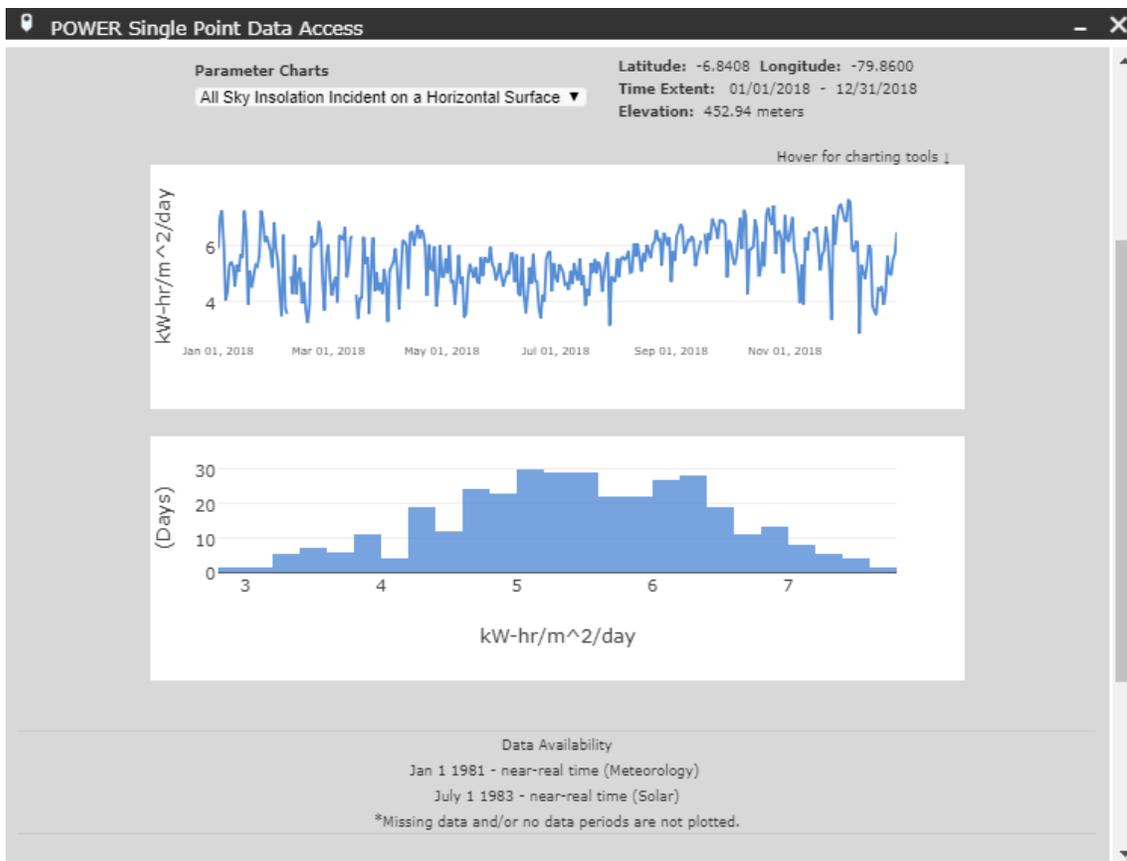


Figura N°19. Datos de irradiación anual en la carretera Monsefú – La Victoria.

Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Adicionalmente, se ha tomado la información de SENAMHI, como se muestra en la figura N°20, el valor mínimo de radiación solar promedio para la zona oscila entre 4,0 kWh/mm2/día a 5,0 kWh/mm2/día, con un promedio de 4,6 kWh/mm2/día.

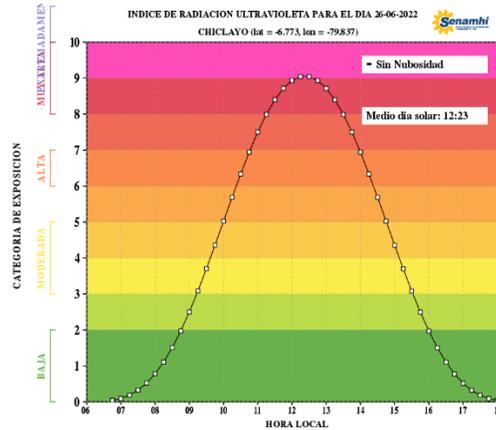


Figura N°20. Datos de irradiación según Senamhi en la carretera Monsefú – La Victoria.

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=radiacion-uv>

Para corroborar estos datos, se ha realizado mediciones en campo con el Piranómetro y se obtuvo valores oscilantes de 4.85 kWh/m2/día a 4.93 kWh/m2/día, las mediciones realizadas se hicieron en 5 días consecutivos, durante el día entre las 08:00 am a 5 pm. El promedio de estas mediciones es de 4.88 kWh/m2/día.

Tabla N°6.

Irradiación global promedio en un plano horizontal.

Mediciones en campo					
Hora	Radiación por día (kWh/mm2/día)				
	20/06/2022	21/06/2022	22/06/2022	23/06/2022	24/06/2022
08:00	4.85	4.86	4.85	4.86	4.85
09:00	4.85	4.86	4.86	4.87	4.85
10:00	4.86	4.87	4.87	4.88	4.86
11:00	4.87	4.88	4.88	4.89	4.86
12:00	4.88	4.90	4.88	4.90	4.87
13:00	4.90	4.90	4.91	4.92	4.87
14:00	4.91	4.91	4.91	4.93	4.88
15:00	4.92	4.91	4.92	4.93	4.87
16:00	4.91	4.90	4.90	4.91	4.86
17:00	4.90	4.90	4.89	4.90	4.86

Fuente: Elaboración propia.



*Figura N°21. Medición realizada en la carretera Monsefú – La Victoria.*

*Fuente: Elaboración propia.*

El mes menos favorable de radiación, en la carretera Monsefú – La Victoria, se da en junio con una radiación de 4.84 kWh/m<sup>2</sup> al día. Para ello se diseñará el sistema para las condiciones mensuales de menor de insolación y de esta forma asegurar abastecer de energía en la totalidad del año natural.

Los siguientes parámetros deben ser considerados al diseñar un sistema solar fotovoltaico:

Tabla N°7.

*Radiación solar y días de autonomía.*

Descripción	Valor
Radiación solar	4.84 kWh/m <sup>2</sup> /día
Días de autonomía	2 días

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°8.  
*Parámetros de dimensionamiento.*

Parámetros del Sistema Fotovoltaico	
Batería	
Rendimiento (nbat)	95 %
Profundidad de descarga máxima por estación (PD max,e)	70 %
Profundidad de descarga máxima en un día (PD max,d)	35 %
Inversor	
Rendimiento(ninv)	94 %
Conductor	
Rendimiento(ncon)	97 %
Sistema	
Tensión	48 Vcd
Factor global de funcionamiento (PR)	80 %
Factor de corrección de Temperatura (FCT)	97 %

Fuente: (Llauce Chozo, 2016)

Inclinación óptima:

La latitud de la carretera Monsefú – La Victoria es 6,83° y el valor medio mensual de radiación es de 4.84 KWh/m<sup>2</sup> diario de acuerdo con el periodo de diseño elegido. Como el generador está en el hemisferio sur, la superficie se debe orientar hacia el norte para obtener el acimut óptimo ( $\alpha = 0^\circ$ )

Tabla N°9.  
*Inclinación optima en función de la latitud y relación K.*

Periodo de diseño	$\beta_{opt}$	K
Diciembre	$\varphi + 10$	1
Junio	$\varphi - 20$	1.12
Anual	$\varphi - 10$	1.05

Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas.

Dónde:

$\Phi$  = latitud

K = relación entre el valor mensual medio de la irradiación del día que cae en el plano horizontal e igual valor para un plano inclinado.

De la tabla N°9, para el mes de diseño (junio), obtenemos:

- Inclinación óptima:  $\beta_{opt} = \varphi - 20 = -6.83^\circ - 20^\circ = -26,83^\circ$
- Constante para el mes de diseño:  $k = 1.12$

Cabe resaltar que en cualquier circunstancia es mejor tener una inclinación mayor a  $10^\circ$ , debido a que, de haber periodos de lluvia, el agua circule sin problemas sobre el panel y evitar la retención de polvo.

Como la inclinación que se va a dar al generador es de  $10^\circ$ , diferente de la óptima, el factor de irradiación F1 será:

$$F1 = 1 - [1,2 \cdot 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2]$$

$$F1 = 1 - [1,2 \cdot 10^{-4} (10 - (-26.83))^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2]$$

$$F1 = 0.837 \dots (\text{Ec.5.3})$$

En ausencia de sombras, el factor de sombreado  $F_s = 1$ .

Teniendo en cuenta estos factores, el promedio mensual de la intensidad de radiación global diaria que cae sobre la superficie del generador es:

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(o) * K * F1 * FS$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = 4.84 * 1.12 * 0.837 * 1$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = 4.54 \text{ KWh/m}^2 \dots (\text{Ec.5.4})$$

### 5.2.1. POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO.

Para determinar la capacidad de un generador fotovoltaico, primero debe calcular la electricidad diaria con ayuda de la siguiente fórmula:

$$E_{elec} = \left( \frac{L_{DC}}{n_{bat}} + \frac{L_{AC}}{n_{bat} \times n_{inv}} \right) \times \frac{1}{n_{cond}} \dots (\text{Ec.5.5})$$

Donde:

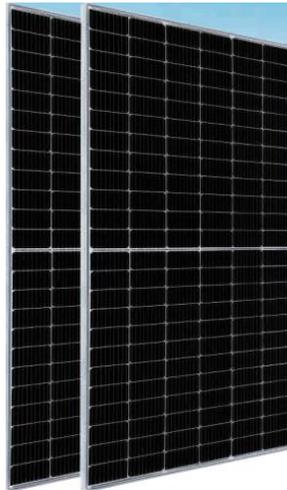
- $E_{elec}$ : Energía eléctrica
- $L_{DC}$ : Consumo de energía promedio diario en corriente continua

- $L_{AC}$ : Consumo de energía promedio diario en corriente alterna
- $n_{bat}$ : Eficiencia de la batería
- $n_{inv}$ : Eficiencia del inversor
- $n_{cond}$ : Perdidas en los cables

Para el presente trabajo de investigación se aplica solamente carga en corriente alterna, entonces  $L_{DC} = 0$  WH, obtenemos:

$$E_{elec} = \left( \frac{0}{0.95} + \frac{4.8}{0.95 \times 0.94} \right) \times \frac{1}{0.97} = 5.541 \text{ kWh/día ... (Ec.5.6)}$$

Para este proyecto se considera utilizar el panel solar JAM72S20 de 450W, que cuenta con las siguientes características (Anexo 2):



*Figura N°22. Panel solar JA Solar JAM72S20 450W.*

*Fuente: Catálogo JA SOLAR.*

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC						
TYPE	JAM72S20 -440/MR	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	440	445	450	455	460	465
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.40	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	40.90	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43
Short Circuit Current(Isc) [A]	11,28	11,32	11,36	11,41	11,45	11,49
Maximum Power Current(Imp) [A]	10,76	10,80	10,84	10,88	10,92	10,96
Module Efficiency [%]	19,7	20,0	20,2	20,4	20,6	20,8
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc( $\alpha_{Isc}$ )	+0.044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc( $\beta_{Voc}$ )	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax( $\gamma_{Pmp}$ )	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

*Figura N°23. Características de panel solar JA Solar JAM72S20 450W.*

*Fuente: Catálogo JA SOLAR.*

Una vez que se sepa la radiación solar que llega al generador fotovoltaico, se tiene que determinar la potencia del generador, teniendo en cuenta que parte de la electricidad que recolecte se perderá en el camino antes de llegar al receptor.

Para simplificar el dimensionamiento de la potencia del generador, las pérdidas se agrupan en una constante que integra la eficiencia energética del sistema, denominada PR. (Performance Ratio) (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

El valor típico de PR que se recomienda utilizar es 0.8

En base a estos datos, se calculará la cantidad de paneles solares necesarios para implementar el sistema, con ayuda de la fórmula que se muestra a continuación:

$$N_p \times W_p = \frac{E_{elec}}{HSP \times PR} \dots (Ec.5.7)$$

Dónde:

- $N_p$ : Número de paneles
- $W_p$ : Potencia pico
- HSP: Radiación solar pico

- PR: Factor global de funcionamiento
- E<sub>elec</sub>: Energía eléctrica

Por lo tanto:

$$N_p \times 450 = \frac{5541}{4.84 \times 0.8}$$

$$N_p = 3.18 \cong 4 \dots (\text{Ec.5.8})$$

Se obtiene **4 paneles solares**.

Se elige que el voltaje de los paneles solares sea de 24 V y el voltaje del sistema fotovoltaico sea de 48 V, por lo que los paneles solares se conectarán en serie y las ramas en paralelo.

Número de paneles en serie:

$$N_{S\ mf} = \frac{V_{de\ trabajo}}{V_{modulo\ f}} = \frac{48}{24} = 2 \dots (\text{Ec.5.9})$$

Número de ramas de módulos en paralelo:

$$N_{P\ mf} = \frac{N_{modulos}}{N_{modulos\ en\ serie}} = \frac{4}{2} = 2 \dots (\text{Ec.5.10})$$

De acuerdo a estos datos, el generador fotovoltaico tendrá una capacidad de:

$$P_G = 4 \times 450 = 1.8\ kW$$

### 5.2.2. DIMENSIONADO DEL REGULADOR DE CARGA.

Elegir el controlador de carga más eficiente para un sistema fotovoltaico independiente requiere conocer su clasificación de voltaje, así como la clasificación actual y el voltaje de entrada máximo que debe soportar.

- El voltaje nominal  $U_R$ , debe de concordar con el voltaje nominal del sistema de almacenamiento  $U_n$ .
- La intensidad nominal  $I_R$ , se determina multiplicando la corriente de cortocircuito del módulo por el número de ramas del módulo en paralelo, con un factor de seguridad de 1,25.
- El voltaje máximo de entrada debe ser superior al voltaje máximo de circuito abierto del generador fotovoltaico, a la temperatura más adecuada ( $-10^{\circ}\text{C}$ ) para las celdas unitarias (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Por lo tanto:

- $U_R = 48\text{ V}$
- $I_R = 1.25 \times I_{CC} \times N_{Pmf} = 1.25 \times 11.36 \times 2 = 28.4\text{ A} \dots(\text{Ec.5.11})$

Se ha considerado utilizar el controlador 150/45 Blue Solar (Anexo 3)



Figura N°24. Controlador de carga SmartSolar MPPT 150/45.

Fuente: Catálogo Blue Solar.

Controlador de carga SmartSolar	150/45	150/60	150/70	150/85	150/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 ó 48 V (Se precisa una herramienta de <i>software</i> para ajustar el sistema en 36 V)				
Corriente de carga nominal	45A	60A	70A	85A	100A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	650W	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia FV nominal, 36V 1a,b)	1950W	2580W	3000W	3600W	4350W
Potencia FV nominal, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	50A (máx. 30A por conector MC4)			70A (máx. 30A por conector MC4)	
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo				
Eficacia máxima	98%				

Figura N°25. Características de controlador de carga SmartSolar MPPT 150/45.

Fuente: Catálogo Blue Solar.

Una vez seleccionado el controlador de carga, se calcula el número de controladores que se utilizarán para este trabajo de investigación:

$$N_{controladores} = \frac{I_{controlador}}{I_{controlador\ MPPT\ 150/45}} = \frac{28.4}{45} = 0.631 \cong 1 \dots (Ec.5.12)$$

Por lo tanto, se utilizará **1 controlador de carga MPPT de 45 A.**

Para corroborar si el controlador elegido tiene la capacidad de tolerar la potencia se multiplica la potencia del panel solar por la cantidad de módulos fotovoltaicos por controlador, y ésta debe ser menor que la potencia del controlador seleccionado.

$$\begin{aligned} W_P \times N_{P\ mf} &= 450 \times 2 = 900\ W \\ 900\ W &< \text{Potencia FV nominal } 48V \\ 900\ W &< 2600\ W \cong \mathbf{SI\ CUMPLE} \dots (Ec.5.13) \end{aligned}$$

### 5.2.3. DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE ACUMULACION.

En un sistema fotovoltaico aislado de la red tradicional, la tarea principal de la batería es proporcionar energía para las horas con poca o ninguna radiación durante la noche y el día. Por tanto, un factor necesario para determinar la capacidad de un sistema de almacenamiento de energía es que debe suministrar electricidad diariamente en base a un número predeterminado de días de autonomía. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Para la localidad de instalación se tomará un número de días de autonomía de 2 días, para el rendimiento del inversor se tomará el valor típico ( $\eta_{inv} = 94\%$ ), así como para la eficiencia del regulador de voltaje y batería ( $\eta_{rb} = 95\%$ ), la profundidad máxima de descarga ( $PD_{m\acute{a}x}$ ) para este tipo de aplicaciones será de 70%.

El dimensionamiento de la batería será:

$$C_T = \frac{E_{elec} \times A}{PD_{m\acute{a}x} \times V_{Trabajo} \times \eta_{inv} \times \eta_{rb}} \dots(\text{Ec.5.14})$$

Dónde:

- $C_T$ : Capacidad mínima del banco de baterías (Ah)
- $E_{elec}$ : Energía eléctrica total promedio diaria (Wh/día)
- $A$ : Días de autonomía del sistema (días)
- $PD_{m\acute{a}x}$ : Profundidad máxima de descarga
- $\eta_{inv}$ : Eficiencia del inversor
- $\eta_{rb}$ : Eficiencia del conjunto de batería y regulador de carga (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Entonces:

$$C_T = \frac{5541 \times 2}{0.7 \times 48 \times 0.94 \times 0.95}$$

$$C_T = 369.34 \text{ Ah}$$

Para este caso se ha seleccionado una batería Rolls 12 CS 13P de 445 Ah (Anexo 4).



Figura N°26. Batería Rolls 12 CS 13P.

Fuente: Catálogo Rolls.

Capacity				
Cold Crank Amps (CCA) 0°F / -18°C	1045			
Marine Crank Amps (MCA) 32°F / 0°C	1306			
Reserve Capacity (RC @ 25A)	1068 Minutes			
Reserve Capacity (RC @ 75A)	356 Minutes			
Capacity Affect by Temperature	40°C (104°F)	25°C (77°F)	0°C (32°F)	-15°C (5°F)
	105%	100%	75%	50%
Hour Rate	Capacity / AMP Hour	Current / AMPs		
@ 100 Hour Rate	<b>574 AH</b>	<b>5.74 A</b>		
@ 72 Hour Rate	<b>543 AH</b>	<b>7.54 A</b>		
@ 50 Hour Rate	<b>514 AH</b>	<b>10.28 A</b>		
@ 20 Hour Rate	<b>445 AH</b>	<b>20.25 A</b>		
@ 15 Hour Rate	<b>414 AH</b>	<b>27.59 A</b>		
@ 10 Hour Rate	<b>396 AH</b>	<b>39.61 A</b>		
@ 8 Hour Rate	<b>383 AH</b>	<b>47.84 A</b>		
@ 5 Hour Rate	<b>356 AH</b>	<b>71.20 A</b>		
@ 1 Hour Rate	<b>200 AH</b>	<b>200.25 A</b>		
Ampere hour capacity ratings based on specific gravity of 1.280 at 25°C (77°F). Reduce capacities 5% for specific gravity of 1.265 and 10% for 1.250.				

Figura N°27. Características de batería Rolls 12 CS 13P.

Fuente: Catálogo Rolls.

Con la batería seleccionada y con sus características técnicas establecidas, se calculará la cantidad de baterías necesarias para el presente proyecto:

El número de baterías conectadas en serie se calculará según la siguiente expresión:

$$N_{S\ bat} = \frac{V_{de\ trabajo}}{V_{bateria}} = \frac{48}{12} = 4 \dots(\text{Ec.5.15})$$

Para calcular el número de ramas de deben de tener las baterías en paralelo se empleará la siguiente fórmula:

$$N_{P\ bat} = \frac{Cap.\ total}{Cap.\ bateria} = \frac{369.34}{445} = 0.829 \cong 1 \dots(\text{Ec.5.16})$$

El número total de baterías será:

$$N_{S\ bat} \times N_{P\ bat} = 4 \times 1 = 4 \dots(\text{Ec.5.17})$$

#### **5.2.4. DIMENSIONADO DEL INVERSOR.**

Para elegir el inversor más adecuado para un sistema fotovoltaico instalado, es necesario conocer su voltaje nominal de entrada y su potencia nominal.

- El voltaje nominal de entrada debe coincidir con el voltaje nominal del sistema de almacenamiento.
- La potencia nominal del inversor se determinará sumando todas las potencias de los receptores funcionando simultáneamente. Para encontrar esta potencia, tenga en cuenta el valor aparente de la potencia del receptor y el tiempo que tarda en arrancar el inverso (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

La salida del inversor del sistema fotovoltaico generalmente proporciona 220 V en corriente alterna y 60 Hz como de costumbre (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

La potencia necesaria para el inversor se calculará con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$Potencia\ de\ inversor = 1.2 \times \frac{Potencia\ de\ la\ carga}{n_{inversor}} = 1.2 \times \frac{1.8}{0.94} = 1.53\ kW \dots(Ec.5.18)$$

Con estos datos, se elige un inversor Phoenix Smart 48V 2000VA Victron Energy, con un rendimiento de 94%.



Figura N°28. Inversor Phoenix Smart 48V 2000VA Victron Energy.

Fuente: <https://www.victronenergy.com/>

Inversor Phoenix Smart	12/1600 24/1600 48/1600	12/2000 24/2000 48/2000	12/3000 24/3000 48/3000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	No		
INVERSOR			
Rango de tensión de entrada (1)	9,3 – 17V 18,6 – 34V 37,2 – 68V		
Salida	Tensión de salida: 230VCA ±2% 50 Hz o 60Hz ± 0,1% (1)		
Potencia cont. de salida a 25°C (2)	1600VA	2000VA	3000VA
Potencia cont. de salida a 25°C	1300W	1600W	2400W
Potencia cont. de salida a 40°C	1200W	1450W	2200W
Potencia cont. de salida a 65°C	800W	1000W	1700W
Pico de potencia	3000VA	4000VA	6000VA
Desconexión dinámica (según carga) por CC baja (totalmente ajustable)	Desconexión dinámica, ver <a href="https://www.victronenergy.com/live/ve-direct-phoenix-inverters-dynamic-cutoff">https://www.victronenergy.com/live/ve-direct-phoenix-inverters-dynamic-cutoff</a>		
Eficacia máx. 12 / 24 / 48 V	92 / 94 / 94%	92 / 94 / 94%	93 / 94 / 95%
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V	8 / 9 / 11W	8 / 9 / 11W	12 / 13 / 15W
Consumo en vacío en modo ECO	0,6 / 1,3 / 2,1W	0,6 / 1,3 / 2,1W	1,5 / 1,9 / 2,8W

Figura N°29. Características técnicas de Inversor.

Fuente: <https://www.victronenergy.com/>

## 5.2.5. DIMENSIONADO DEL CONDUCTOR DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Las dimensiones mínimas codificadas de los conductores de líneas eléctricas de baja tensión están determinadas por los límites y las caídas de tensión que ocurren en el mismo conductor, los cálculos detallados se realizan de acuerdo con los requisitos de la norma (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Los tramos de línea más comunes de este tipo de montajes son:

- En todo momento se multiplica el valor de la corriente por 1,25 para cumplir con la directiva ITC BT 40, que se aplica a las instalaciones de baja tensión, y en el apartado 5 de la directiva dice “Los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador” (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).
- Conectar los módulos en serie en cada lazo a la caja de conexiones del generador fotovoltaico. La corriente de funcionamiento es la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico en condiciones CEM, es un circuito de corriente continua (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

*Intensidad de corriente del generador fotovoltaico al controlador de carga:*

$$I_{MAX\ mf} = 1.25 \times I_{CC\ mf} \times N_{ramas\ en\ paralelo}$$
$$I_{MAX\ mf} = 1.25 \times 11.36 \times 2 = 28.4\ A \dots (Ec.5.19)$$

- Conectar el regulador de carga al inversor. Los puntos fuertes a considerar son la corriente de entrada del inversor, su potencia nominal y el voltaje nominal del sistema de almacenamiento. Este es un circuito de corriente continua (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

*Intensidad de corriente del regulador al inversor:*

$$I_{MAX\ inv} = \frac{P\ inv}{\eta_{inv} \times V_n}$$
$$I_{MAX\ inv} = \frac{2000}{0.94 \times 48} = 44.33\ A \dots(\text{Ec.5.20})$$

Además, se estimará una caída de tensión máxima por cada tramo para la instalación del sistema, para ello se ha tomará la siguiente tabla:

Tabla N°10.

*Caída de tensión máxima por tramo.*

Subsistema	Caída de tensión máxima
Paneles - regulador	3%
Regulador - baterías	1%
Baterías - inversor	1%

Fuente: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-seccion-de-cable-para-paneles-solares/>

Para la selección del calibre del conductor eléctrico, se utilizará la ecuación que se muestra a continuación:

$$S_{conductor} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V} \dots(\text{Ec.5.21})$$

Donde:

$S_{cable}$  = Sección mínima del conductor (mm<sup>2</sup>)

L = Longitud del tramo (m)

I = Intensidad de corriente por tramo (A)

$\Delta V$  = Caída de tensión máxima por tramo (V)

Entonces:

Sección mínima del conductor del lazo del generador fotovoltaico al controlador de carga:

$$S_{conductor} = \frac{2 \times 3 \times 28.4}{56 \times (0.03 \times 48)} = 2.11 \text{ mm}^2 \dots(\text{Ec.5.22})$$

Sección mínima del conductor del tramo del controlador de carga al inversor:

$$S_{conductor} = \frac{2 \times 3 \times 44.33}{56 \times (0.01 \times 48)} = 9.89 \text{ mm}^2 \dots(\text{Ec.5.23})$$

Sección mínima del conductor del tramo del controlador de carga a las baterías:

$$S_{conductor} = \frac{2 \times 3 \times 28.4}{56 \times (0.01 \times 48)} = 6.34 \text{ mm}^2 \dots(\text{Ec.5.24})$$

La sección del conductor mínimo definitivo será la mayor: 9.89 mm<sup>2</sup>, comercialmente se elegirá el conductor THW-90 de 16mm<sup>2</sup>.

Tabla N°11.

Características eléctricas de los conductores THW-90.

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm <sup>2</sup> )								
CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (°)	
							AIRE	DUCTO
mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

Fuente: Catálogo de INDECO.

## 5.2.6. ESTRUCTURAS SOPORTE

En la implementación de un sistema de paneles solares se debe tener en cuenta un elemento muy importante que es la estructura en el cual se montará los diferentes componentes fotovoltaicos que conforman el generador. Los soportes del generador fotovoltaico deben cumplir dos características:

- La construcción de la estructura del generador debe estar asegurada con suficiente resistencia mecánica y anclaje adecuado.
- Proporcionar la orientación y la inclinación correctas para la aplicación que se está diseñando.

Para elegir el mejor diseño estructural para esta aplicación, considere la ubicación de instalación del generador (piso, techo, etc.), ya que la superficie del generador fotovoltaico es dañada por la intemperie, principalmente por la fuerza del viento (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

### Tipos de estructuras soporte

Se sabe clasificar la estructura portante del generador fotovoltaico según el estado del diagrama del generador.

- Sobre suelo: se utiliza en generadores con múltiples módulos fotovoltaicos. Tiene la ventaja de ser fácil de instalar debido a su disponibilidad, también puede tener una estructura muy fuerte y duradera, tiene la desventaja de proyectar sombras entre los módulos cuando el ángulo de la luz del sol disminuye y también está expuesto a actos deliberados de vandalismo y robo que han llevado a otros casos a asegurar los estantes con vallas metálicas.
- Sobre mástil: Se utiliza para pequeños generadores de superficie reducida (uno o dos módulos) y piezas que requieren postes o columnas para su funcionamiento.

- Sobre pared: este es el mejor sistema para su instalación en viviendas o edificios con paredes orientadas al sur. Tiene ventajas como una estructura sencilla ya que la pared es el principal elemento portante y está protegida del viento al estar situada en la parte trasera del módulo.
- Sobre tejado o cubierta: en el caso de una superficie plana, la instalación es muy sencilla, similar a la instalación en el suelo. Si los módulos están en un plano inclinado, el plano del generador debe ser paralelo a la pendiente del techo, lo que facilita el uso de los rieles al instalar los módulos (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

Se deben seleccionar los materiales que se utilizarán para la instalación de la estructura portante, teniendo en cuenta que estarán en el exterior y por lo tanto deberán tener una vida útil de más de 30 años. Comúnmente se utiliza aluminio y/o acero inoxidable para ensamblar la estructura, y en algunos otros casos, como estructuras prefabricadas, se utiliza fibra de vidrio. Otros accesorios y sujetadores están disponibles en acero inoxidable (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2012).

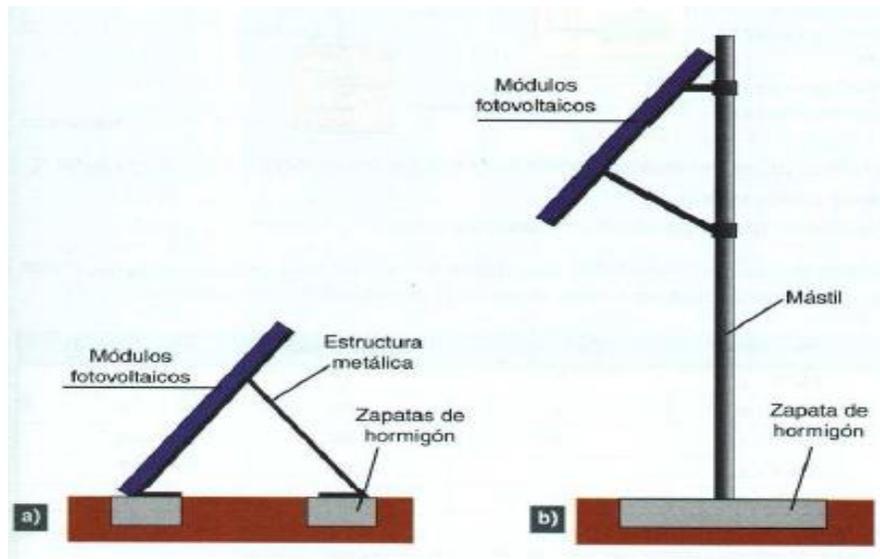


Figura N°30. (a) Estructura sobre suelo, (b) Estructura sobre mástil.

Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas

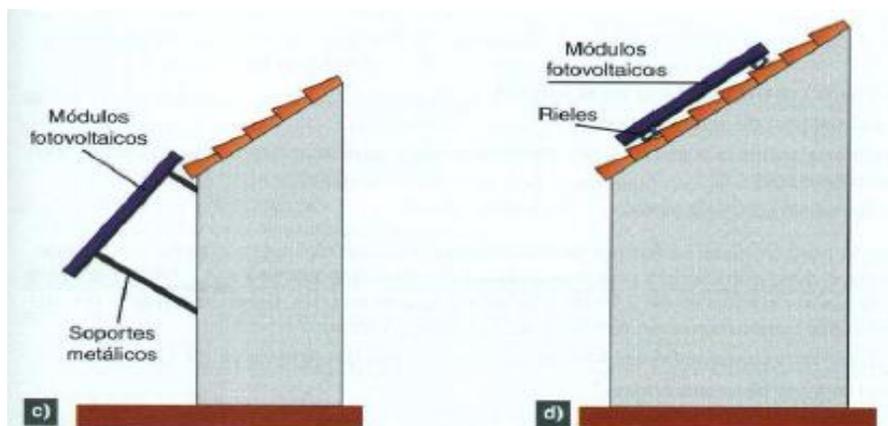


Figura N°31. (c) Estructura sobre pared, (d) Estructura sobre tejado.

Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas

### 5.3. PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para la iluminación de la carretera Monsefú – La Victoria, se ha elaborado un presupuesto referencial de acuerdo a los cálculos anteriormente realizados, el cual se presenta a continuación:

Tabla N°12.

Presupuesto referencial para el sistema fotovoltaico.

Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario S/	Precio S/
1	Panel solar JA Solar JAM72S20 450W	104	und	S/ 700.00	S/ 72,800.00
2	Controlador de carga SmartSolar MPPT 150/45	26	und	S/ 1,380.00	S/ 35,880.00
3	Batería Rolls 12 CS 13P	104	und	S/ 2,760.00	S/ 287,040.00
4	Inversor Phoenix Smart 48V 2000VA	26	und	S/ 2,300.00	S/ 59,800.00
5	Estructura metálica de soporte	26	und	S/ 1,000.00	S/ 26,000.00
6	Luminaria	260	und	S/ 115.00	S/ 29,900.00
7	Montaje por sistema fotovoltaico	26	glb	S/ 1,459.00	S/ 37,934.00
Sub Total					S/549,354.00
Transporte (5%)					S/ 27,467.70
Costos indirectos (5%)					S/ 27,467.70
Nuevo Sub Total					S/ 604,289.40
IGV (18%)					S/ 108,772.09
Total Referencial					<b>S/ 713,061.49</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°13.  
*Costo unitario del montaje por sistema fotovoltaico.*

Actividad	Proceso	Descripción	Precio S/	
Montaje por sistema fotovoltaico	Accesorios	Tubería PVC	S/	50.00
		Cajas de paso	S/	25.00
		Tablero	S/	20.00
		Interruptor termomagnético 2x15A	S/	35.00
		Interruptor diferencial 2x25A	S/	150.00
	Conductores	Conductor THW-90 16mm <sup>2</sup>	S/	250.00
		Conductor THW-90 2.5 mm <sup>2</sup>	S/	234.00
	Instalación	Herramientas	S/	100.00
		Horas Hombres	S/	595.00
	<b>Total Referencial</b>			<b>S/</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°12 se observa el presupuesto referencial para el suministro y montaje del sistema fotovoltaico, tomando en consideración el valor de mercado de los equipos propuestos y un costo estimado del montaje del sistema (Tabla N°13).

### 5.3.1. EVALUACION ECONOMICA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para confirmar la viabilidad en la implementación del proyecto, se evaluará económicamente los egresos en 20 años:

El presupuesto referencial es un gasto que se realizará eventualmente cada 10 años aproximadamente, porque es la vida media de los equipos instalados. Por lo tanto, en 20 años se realizarán 2 compras y se tendrá en cuenta el costo de mantenimiento anual:

Tabla N°14.

*Egreso referencial con sistema fotovoltaico en un periodo de 20 años.*

Sistema fotovoltaico						
Año	Egresos					
	Instalación		Mantenimiento		Sub total	
0	S/	713,061.49		-	S/	713,061.49
1		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
2		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
3		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
4		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
5		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
6		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
7		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
8		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
9		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
10	S/	713,061.49		-	S/	713,061.49
11		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
12		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
13		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
14		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
15		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
16		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
17		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
18		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
19		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
20		-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
Total en 20 años					S/	1,454,622.98

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.2. EVALUACION ECONOMICA DEL SISTEMA ELECTRICO CONVENCIONAL

En el análisis económico del sistema eléctrico convencional, se definirá el costo de energía eléctrica anual, teniendo en cuenta que el costo de energía es de aproximadamente S/ 0.70 por KWh, se obtiene lo siguiente:

Tabla N°15.  
*Egreso anual por consumo de energía eléctrica convencional.*

Luminaria	Potencia (W)	Cantidad	Consumo diario (Wh)	Consumo anual (Kwh)	Egreso anual
Vapor de sodio	70	260	218,400.00	79,716.00	S/ 55,801.20

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del sistema eléctrico convencional, se utilizan luminarias de vapor de sodio que tienen un promedio de vida de 4 años, por lo que en un periodo de 20 años se realizarán 5 cambios, así mismo, se tendrá en cuenta el egreso anual por el consumo eléctrico y el costo de mantenimiento anual para el sistema:

El costo de instalación del sistema convencional se ha tomado un estimado de acuerdo a proyectos ejecutados anteriormente por la empresa de distribución de la zona; asimismo el costo de mantenimiento se ha estimado de acuerdo al valor del mercado de la zona; por otro lado, el consumo eléctrico anual se basa en la tabla N°15.

Tabla N°16.

*Egreso referencial con sistema eléctrico convencional en un periodo de 20 años.*

Sistema eléctrico convencional						
Año	Egresos			Sub total		
	Instalación	Consumo eléctrico	Mantenimiento			
0	S/ 120,000.00	S/ 55,801.20	-	S/ 175,801.20		
1	-	S/ 62,497.34	S/ 1,500.00	S/ 63,997.34		
2	-	S/ 69,997.03	S/ 1,500.00	S/ 71,497.03		
3	-	S/ 78,396.67	S/ 1,500.00	S/ 79,896.67		
4	S/ 70,000.00	S/ 87,804.27	S/ 1,500.00	S/ 159,304.27		
5	-	S/ 98,340.78	S/ 1,500.00	S/ 99,840.78		
6	-	S/ 110,141.67	S/ 1,500.00	S/ 111,641.67		
7	-	S/ 123,358.68	S/ 1,500.00	S/ 124,858.68		
8	S/ 70,000.00	S/ 138,161.72	S/ 1,500.00	S/ 209,661.72		
9	-	S/ 154,741.12	S/ 1,500.00	S/ 156,241.12		
10	-	S/ 173,310.06	S/ 1,500.00	S/ 174,810.06		
11	-	S/ 194,107.26	S/ 1,500.00	S/ 195,607.26		
12	S/ 70,000.00	S/ 217,400.14	S/ 1,500.00	S/ 288,900.14		
13	-	S/ 243,488.15	S/ 1,500.00	S/ 244,988.15		
14	-	S/ 272,706.73	S/ 1,500.00	S/ 274,206.73		
15	-	S/ 305,431.54	S/ 1,500.00	S/ 306,931.54		
16	S/ 70,000.00	S/ 342,083.32	S/ 1,500.00	S/ 413,583.32		
17	-	S/ 383,133.32	S/ 1,500.00	S/ 384,633.32		
18	-	S/ 429,109.32	S/ 1,500.00	S/ 430,609.32		
19	-	S/ 480,602.44	S/ 1,500.00	S/ 482,102.44		
20	-	S/ 538,274.73	S/ 1,500.00	S/ 539,774.73		
Total en 20 años				S/ 4,988,887.48		

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.3. INDICADORES FINANCIEROS

Teniendo como referencia a la tabla N°14 y N°16, se calcula los indicadores financieros.

Tabla N°17.

*Flujo neto entre sistema convencional y sistema fotovoltaico en 20 años.*

Flujo neto				
Año		SC - SF Valor		Acumulado
Inv. Inicial	-S/	713,061.49		
1	S/	62,497.34	S/	62,497.34
2	S/	69,997.03	S/	132,494.37
3	S/	78,396.67	S/	210,891.04
4	S/	157,804.27	S/	368,695.31
5	S/	98,340.78	S/	467,036.09
6	S/	110,141.67	S/	577,177.76
7	S/	123,358.68	S/	700,536.44
8	S/	208,161.72	S/	908,698.15
9	S/	154,741.12	S/	1,063,439.28
10	-S/	39,108.39	S/	1,024,330.88
11	S/	194,107.26	S/	1,218,438.15
12	S/	287,400.14	S/	1,505,838.28
13	S/	243,488.15	S/	1,749,326.44
14	S/	272,706.73	S/	2,022,033.17
15	S/	305,431.54	S/	2,327,464.70
16	S/	412,083.32	S/	2,739,548.03
17	S/	383,133.32	S/	3,122,681.35
18	S/	429,109.32	S/	3,551,790.67
19	S/	480,602.44	S/	4,032,393.10
20	S/	538,274.73	S/	4,570,667.83

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos en la tabla N°17, se calcula el VAN (Valor actual neto) y TIR (Tasa interna de retorno) y PR (Periodo de recuperación).

Tabla N°18.

*VAN, TIR y PR.*

Indicador	Valor
VAN	S/ 1,862,836.30
TIR	18%
PR	7.06 años

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla N°18 obtenemos el VAN = S/ 1,862,836.30 y la TIR = 18 % por lo que el proyecto es rentable.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

Según los datos obtenidos de la investigación realizada en el presente trabajo se pueden obtener las conclusiones que se mencionan a continuación:

- a) De acuerdo con la evaluación técnica, se ha logrado diseñar el sistema fotovoltaico para la zona indicada.
- b) Se obtuvo que la máxima demanda para la iluminación de la Carretera Monsefú – La Victoria es de 10,4 kW.
- c) La radiación máxima de 6.19 kWh/m<sup>2</sup> al día (setiembre) y mínima de 4.84 kWh/m<sup>2</sup> al día (junio), teniendo una media anual de 5.47 kWh/m<sup>2</sup> al día, hace posible la implementación del sistema fotovoltaico en la Carretera Monsefú – La Victoria.
- d) Se realizaron los cálculos para el sistema de iluminación de la Carretera Monsefú – La Victoria para la satisfacer la demanda del presente trabajo de investigación de acuerdo a la normatividad vigente.
- e) Se realizó la evaluación económica del sistema fotovoltaico obteniendo los indicadores económicos evaluados para un periodo de 20 años que fueron: VAN de S/ 1,862,836.30 y TIR de 18%, esto sumándole a la contribución al cuidado del medio ambiente, hace que la propuesta del sistema fotovoltaico resulte conveniente.

## RECOMENDACIONES

Según los datos obtenidos de la investigación realizada en el presente trabajo se puede realizar las recomendaciones que se mencionan a continuación:

- a) Si la demanda eléctrica aumenta en más de un 15%, se deberá aumentar el número de paneles y baterías y así poder cubrir completamente la nueva demanda eléctrica de la carretera Monsefú - La Victoria.
- b) Se debe seleccionar una entidad bancaria que cuente con una tasa de interés mínima, de esta forma se busca rentabilizar la inversión para la implementación del trabajo de investigación.
- c) El presente trabajo de investigación puede replicarse para comunidades lejanas y con clima soleado, a las cuales no llega el sistema eléctrico convencional. Con el fin de mejorar la calidad de vida de las comunidades más aisladas del país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alojamientos. (2013). *Guía docente*. Obtenido de [https://alojamientos.uva.es/guia\\_docente/uploads/2013/475/46197/1/Documento3.pdf](https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/475/46197/1/Documento3.pdf)
- Calculation Solar Blog. (2013). *Calculation Solar Blog*. Obtenido de Calculation Solar Blog: <http://calculationsolar.com/blog/?cat=2>
- Castejón Oliva, A., & Santamaría Herranz, G. (2012). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Valencia.
- Chávez Guerrero, M. A. (2012). Proyecto de factibilidad para el uso de paneles solares en generación voltaica de electricidad en el completo habitacional San Antonio. Riobamba - Ecuador.
- Delta Volt. (s.f). *Delta Volt*. Obtenido de <http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar>
- Energía Solar. (Febrero de 2016). *Energía solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/modulo-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/tipos>
- Llauce Chozo, A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el Restaurant El Cruceñito*. Lambayeque.
- Manzini Poli, F. (2004). *Nuevas energías renovables: una alternativa energética sustentable para México*. México.
- Muñoz Anticona, D. F. (2005). *Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país*. Lima.
- Pérez Garrido, D. O. (2009). *Análisis de un sistema de iluminación, utilizando ampollitas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos*. Valdivia - Chile.
- Perú21. (Enero de 2013). *Reforestan 370 hectáreas del Bosque de Pómac con energía solar*. Obtenido de Reforestan 370 hectáreas del Bosque de Pómac con energía solar: <https://peru21.pe/lima/reforestan-370-hectareas-bosque-pomac-energia-solar-88614>

Roca, J. (Abril de 2017). *El periodico de la energía*. Obtenido de El periodico de la energía: <http://elperiodicodelaenergia.com/australia-el-paraiso-del-autoconsumo-supera-los-6-gw-de-capacidad-solar-con-un-92-de-sistemas-sobre-la-azotea/>

Sampen Mego, M. (2018). *Propuesta de implementación de lámparas led con suministro fotovoltaico para reducir el consumo de energía eléctrica de origen convencional en el Solec Business Hotel Chiclayo - Chiclayo - Lambayeque*. Lambayeque.

Universia. (2017). *Universia*. Obtenido de <https://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa.html#:~:text=Existen%20varios%20tipos%20de%20investigaci%C3%B3n,combinaci%C3%B3n%20de%20m%C3%A1s%20de%20uno.>

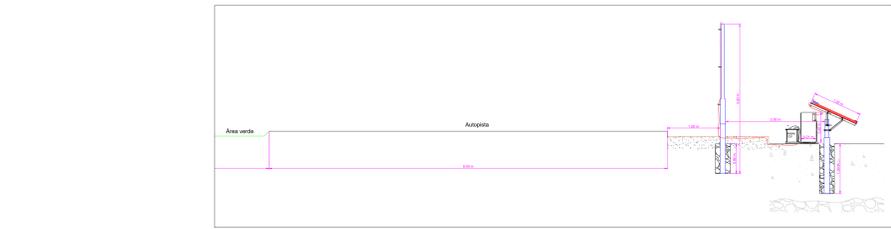
Universidad de Jaén. (s.f). *Universidad de Jaén*. Obtenido de Universidad de Jaén: [http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/03\\_celula/01\\_basico/3\\_celula\\_04.htm](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_04.htm)

Universidad Politécnica Salesiana - Ingeniería Ambiental. (s.f). *Scridb*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/78113305/Sistema-Fotovoltaico-Final>

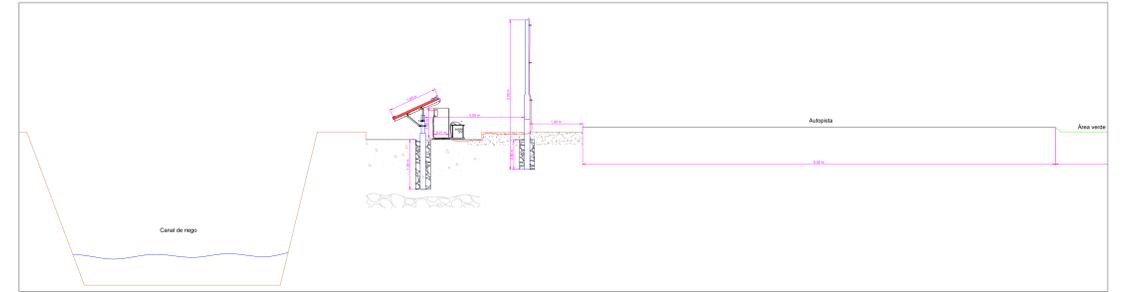
Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadores portátiles en la PUCP*. Lima.

## **ANEXOS**

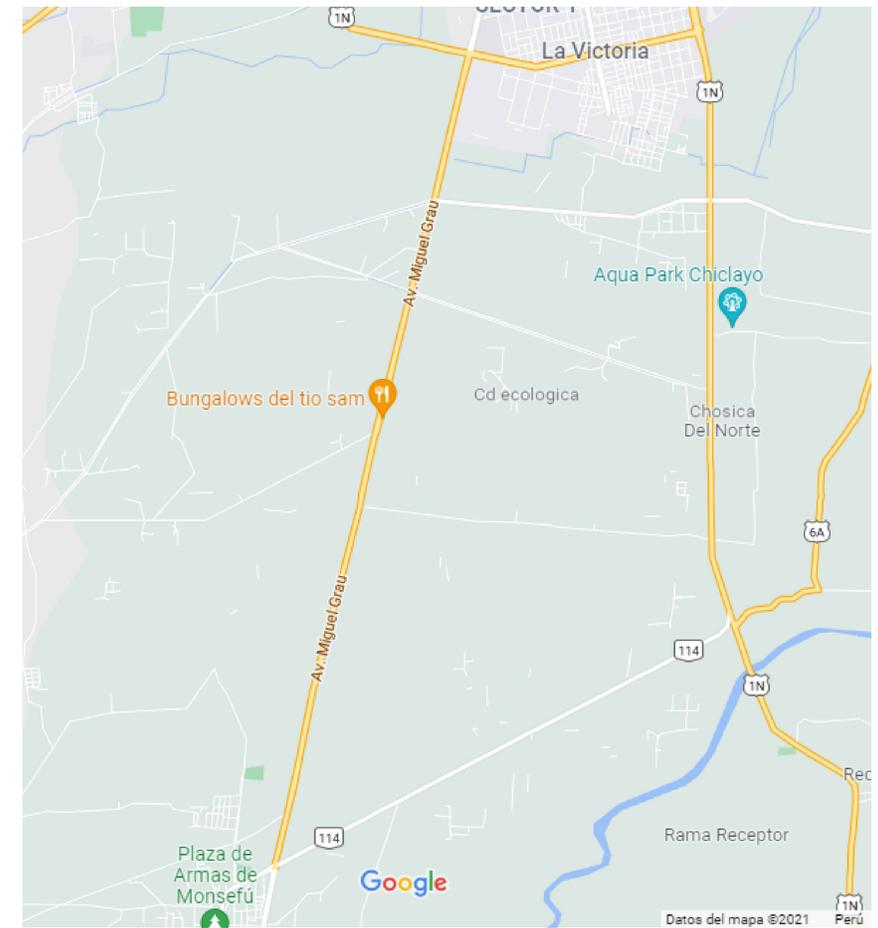
## **ANEXO 1**



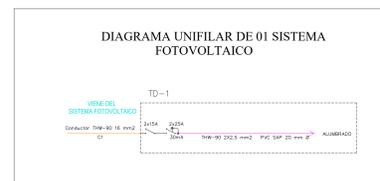
CORTE A-A LADO DERECHO



CORTE A-A LADO IZQUIERDO



LEYENDA		
SIMBOLO	DESCRIPCION	POSICION(m)
	PANEL FOTOVOLTAICO	Adosado en piso
	POSTE DE ILUMINACION	Empotrado en piso
	LUMINARIA	Adosado en poste
	CABLE LSOH-80 2X2.5 mm2 PVC SAP 19 mm Ø PARA ALUMBRADO	Enterrado en piso



ESC: 1/50

**PLANO:**  
**SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ILUMINAR LA CARRETERA MONSEFU - LA VICTORIA, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE**

**PLANO:**  
**SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ILUMINACIÓN**

**UBICACION:**  
 PROVINCIA : CHICLAYO  
 DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE

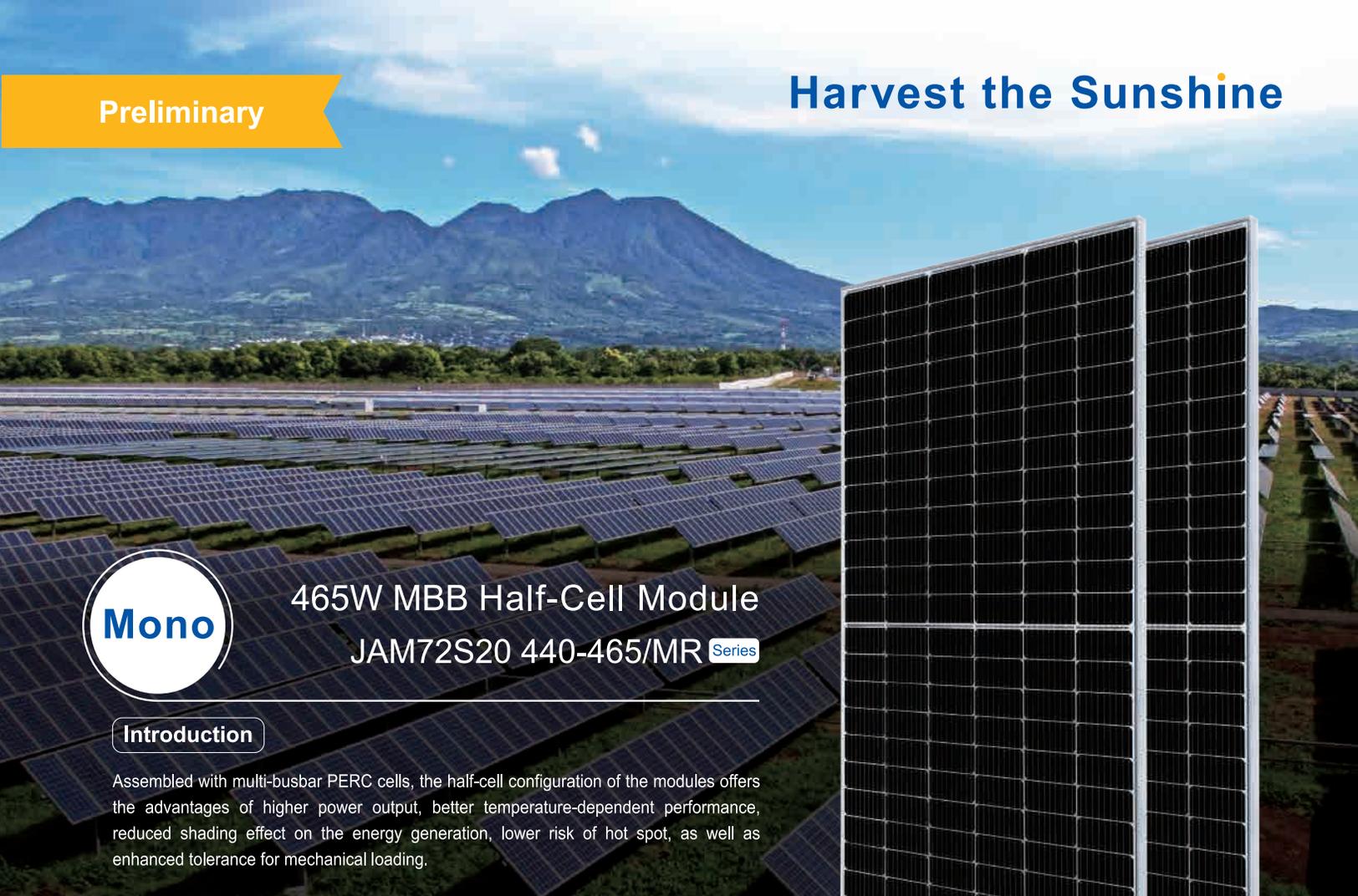
**ELABORADO POR:**  
 JHON JAIRO CAPUÑAY LLUEN

**ESCALA:** INDICADA

**FECHA:** OCTUBRE - 2021

**LAMINA:** SF - 01

## **ANEXO 2**



## 465W MBB Half-Cell Module JAM72S20 440-465/MR Series

### Introduction

Assembled with multi-busbar PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



Lower LCOE



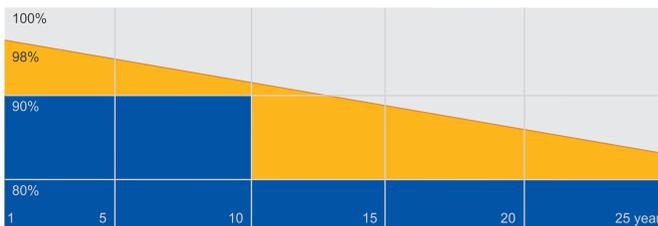
Less shading and lower resistive loss



Better mechanical loading tolerance

### Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty



■ JA Linear Power Warranty ■ Industry Warranty

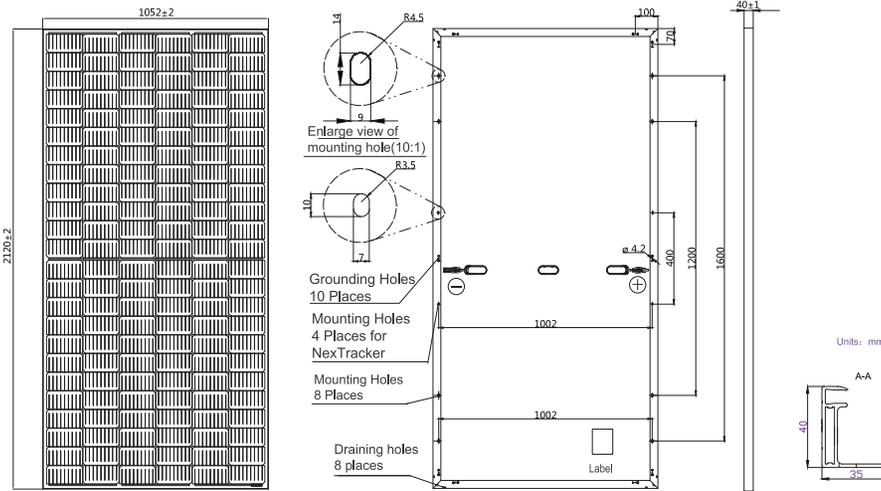
### Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- OHSAS 18001: 2007 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval



**MECHANICAL DIAGRAMS**

**SPECIFICATIONS**



Remark: customized frame color and cable length available upon request

Cell	Mono
Weight	25.0kg±3%
Dimensions	2120±2mm×1052±2mm×40±1mm
Cable Cross Section Size	4mm <sup>2</sup> (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	27pcs/pallet 594pcs/40ft Container

**ELECTRICAL PARAMETERS AT STC**

TYPE	JAM72S20 -440/MR	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	440	445	450	455	460	465
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.40	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	40.90	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.28	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.76	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96
Module Efficiency [%]	19.7	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α <sub>Isc</sub> )	+0.044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β <sub>Voc</sub> )	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ <sub>Pmp</sub> )	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

**ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT**

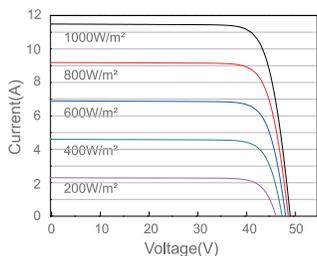
**OPERATING CONDITIONS**

TYPE	JAM72S20 -440/MR	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR		
Rated Max Power(Pmax) [W]	333	336	340	344	348	352	Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.40	46.65	46.90	47.15	47.38	47.61	Operating Temperature	-40 C ~+85 C
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.70	38.95	39.19	39.44	39.68	39.90	Maximum Series Fuse	20A
Short Circuit Current(Isc) [A]	9.16	9.20	9.25	9.29	9.33	9.38	Maximum Static Load,Front*	5400Pa
Max Power Current(Imp) [A]	8.60	8.64	8.68	8.72	8.76	8.81	Maximum Static Load,Back*	2400Pa
NOCT	Irradiance 800W/m <sup>2</sup> , ambient temperature 20°C,wind speed 1m/s, AM1.5G						NOCT	45±2 C
							Safety Class	Class II
							Fire Performance	UL Type 1

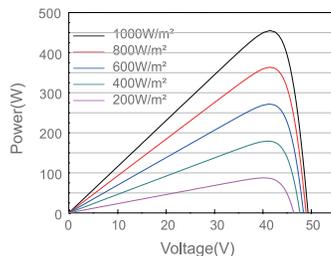
\*For NexTracker installations ,Maximum Static Load, Front is 2400Pa while Maximum Static Load, Back is 2400Pa.

**CHARACTERISTICS**

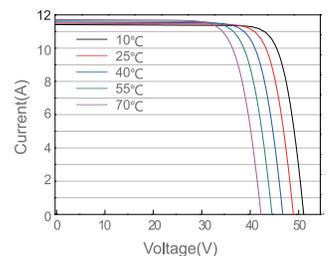
Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Power-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



## **ANEXO 3**

## Controladores de carga SmartSolar con conexión de rosca o FV MC4 MPPT 150/45 hasta MPPT 150/100



**Controlador de carga SmartSolar  
MPPT 150/100-Tr  
Con pantalla conectable opcional.**



**Controlador de carga SmartSolar  
MPPT 150/100-MCA  
Sin pantalla**

### Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT)

Especialmente con cielos nublados, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

### Detección avanzada del Punto de Máxima Potencia en caso de nubosidad parcial

En caso de nubosidad parcial, pueden darse dos o más puntos de máxima potencia (MPP) en la curva de tensión de carga.

Los MPPT convencionales suelen seleccionar un MPP local, que no necesariamente es el MPP óptimo.

El innovador algoritmo de SmartSolar maximizará siempre la recogida de energía seleccionando el MPP óptimo.

### Excepcional eficiencia de conversión

Sin ventilador. La eficiencia máxima excede el 98%.

### Algoritmo de carga flexible

Un algoritmo de carga totalmente programable (consulte la página de *software* de nuestra página web) y ocho algoritmos de carga preprogramados, que se pueden elegir con un selector giratorio (consulte más información en el manual).

### Amplia protección electrónica

Protección de sobretemperatura y reducción de potencia en caso de alta temperatura.

Protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV.

Protección de corriente inversa FV.

### Sensor de temperatura interna

Compensa la tensión de carga de absorción y flotación en función de la temperatura.

### Bluetooth Smart integrado: no necesita mochila

La solución inalámbrica para configurar, supervisar y actualizar el controlador con un teléfono inteligente, una tableta u otro dispositivo Apple o Android.

### VE.Direct

Para una conexión de datos con cable a un Color Control GX, otros productos GX, PC u otros dispositivos.

### On/Off remoto

Para conectarse a un VE.BUS BMS, por ejemplo.

### Relé programable

Se puede programar (entre otros, con un teléfono inteligente) para activar una alarma u otros eventos.

### Opcional: pantalla LCD conectable

Simplemente retire el protector de goma del enchufe de la parte frontal del controlador y conecte la pantalla.



Controlador de carga SmartSolar	150/45	150/60	150/70	150/85	150/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 ó 48 V (Se precisa una herramienta de <i>software</i> para ajustar el sistema en 36 V)				
Corriente de carga nominal	45A	60A	70A	85A	100A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	650W	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia FV nominal, 36V 1a,b)	1950W	2580W	3000W	3600W	4350W
Potencia FV nominal, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	50A (máx. 30A por conector MC4)			70A (máx. 30A por conector MC4)	
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo				
Eficacia máxima	98%				
Autoconsumo	Menos de 35 mA a 12 V / 20 mA a 48 V				
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)				
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)				
Tensión de carga de "ecualización"	Valores predeterminados: 16,2V / 32,4V / 48,6V / 64,8V (regulable)				
Algoritmo de carga	variable multietapas (ocho algoritmos preprogramados) o algoritmo definido por el usuario				
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C				
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobrettemperatura				
Temperatura de trabajo	De -30 a +60 °C (potencia nominal completa hasta los 40 °C)				
Humedad	95%, sin condensación				
Altura máxima de trabajo	5.000 m (fpotencia nominal completa hasta los 2.000 m)				
Condiciones ambientales	Para interiores, no acondicionados				
Grado de contaminación	PD3				
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct o Bluetooth				
Interruptor on/off remoto	Sí (conector bifásico)				
Relé programable	DPST Capacidad nominal CA 240 V AC / 4 A		Capacidad nominal CC 4A hasta 35VCC, 1A hasta 60VCC		
Funcionamiento en paralelo	Sí (no sincronizado)				
<b>CARCASA</b>					
Color	Azul (RAL 5012)				
Terminales FV 3)	35 mm <sup>2</sup> / AWG2 (modelos Tr) Dos pares de conectores MC4 (modelos MC4)			35 mm <sup>2</sup> / AWG2 (modelos Tr) Tres pares de conectores MC4 (modelos MC4)	
Bornes de la batería	35mm <sup>2</sup> / AWG2				
Grado de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)				
Peso	3 kg			4,5kg	
Dimensiones (al x an x p) en mm	Modelos Tr: 185 x 250 x 95 mm Modelos MC4: 215 x 250 x 95 mm			Modelos Tr: 216 x 295 x 103 Modelos MC4: 246 x 295 x 103	
<b>NORMAS</b>					
Seguridad	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2				

1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la entrada de potencia.

1b) La tensión FV debe exceder Vbat + 5V para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V.

2) Un generador fotovoltaico con una corriente de cortocircuito más alta puede dañar el controlador.

3) Modelos MC4: se podrían necesitar varios pares de separadores para conectar en paralelo las cadenas de paneles solares

## **ANEXO 4**

# OPzS

## Vented lead-acid battery



Motive Power Systems

**Reserve Power Systems**

Special Power Systems

Service

### Your benefits with HOPPECKE OPzS

- **Very high expected service life** - due to optimized low-antimony selenium alloy
- **Excellent cycle stability** - due to tubular plate design
- **Maximum compatibility** - design according to DIN 40736-1
- **Higher short-circuit safety even during the installation** - based on HOPPECKE system connectors
- **Extremely extended water refill intervals up to maintenance-free** - optional use of AquaGen® recombination system minimizes emission of gas and aerosols<sup>1</sup>

### Typical applications of HOPPECKE OPzS

- **Telecommunications**
  - Mobile phone stations
  - BTS-stations
  - Off-grid/on-grid solutions
- **Power Supply**
- **Security lighting**



Similar to the illustration, AquaGen® optional



**HOPPECKE**

POWER FROM INNOVATION

## Type Overview

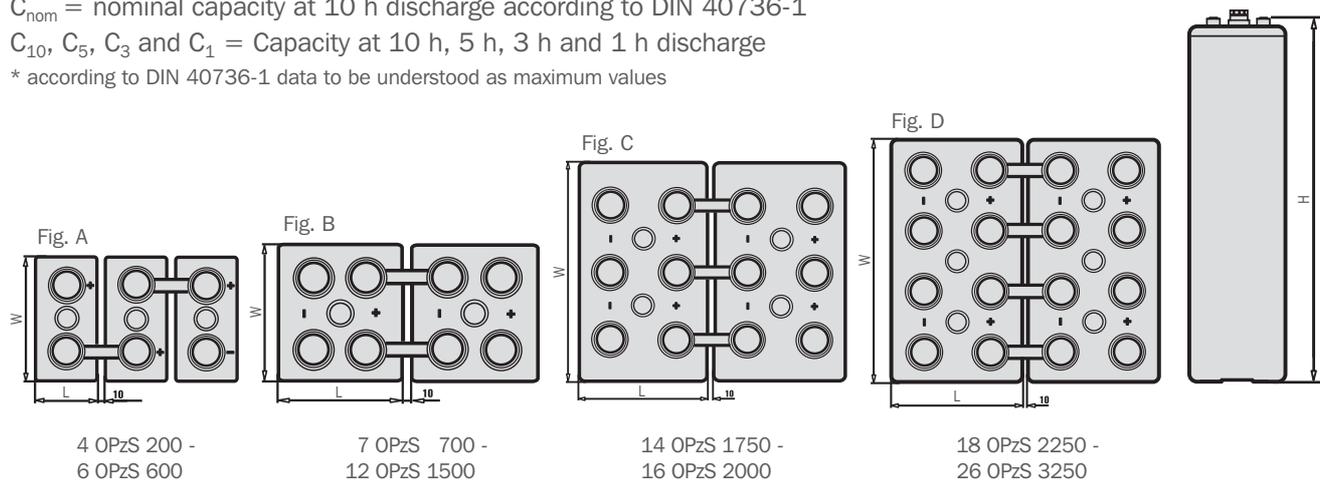
Capacities, dimensions and weights

Type	C <sub>nom</sub> /1.80 V Ah	C <sub>10</sub> /1.80 V Ah	C <sub>5</sub> /1.77 V Ah	C <sub>3</sub> /1.75 V Ah	C <sub>1</sub> /1.67 V Ah	max.* Weight kg	Weight electrolyte kg (1.24 kg/l)	max.* Length L mm	max.* Width W mm	max.* Height H mm	Fig.
4 OPzS 200	200	200	213	182	161	118	17.3	105	208	420	A
5 OPzS 250	250	250	266	227	201	147	21.0	126	208	420	A
6 OPzS 300	300	300	320	273	241	177	24.9	147	208	420	A
5 OPzS 350	350	350	390	345	303	217	29.3	126	208	535	A
6 OPzS 420	420	420	468	414	363	261	34.4	147	208	535	A
7 OPzS 490	490	490	546	483	426	304	39.5	168	208	535	A
6 OPzS 600	600	600	686	590	510	353	46.1	147	208	710	A
7 OPzS 700	700	700	801	691	596	411	59.1	215	193	710	B
8 OPzS 800	800	800	915	790	681	470	63.1	215	193	710	B
9 OPzS 900	900	900	1026	887	767	529	72.4	215	235	710	B
10 OPzS 1000	1000	1000	1140	985	852	588	76.4	215	235	710	B
11 OPzS 1100	1100	1100	1256	1086	938	647	86.6	215	277	710	B
12 OPzS 1200	1200	1200	1370	1185	1023	706	90.6	215	277	710	B
12 OPzS 1500	1500	1500	1610	1400	1197	784	110.4	215	277	855	B
14 OPzS 1750	1750	1750	1881	1632	1397	914	142.3	215	400	815	C
15 OPzS 1875	1875	1875	2016	1748	1496	980	146.6	215	400	815	C
16 OPzS 2000	2000	2000	2150	1865	1596	1045	150.9	215	400	815	C
18 OPzS 2250	2250	2250	2412	2097	1796	1176	179.1	215	490	815	D
19 OPzS 2375	2375	2375	2546	2213	1895	1242	182.9	215	490	815	D
20 OPzS 2500	2500	2500	2680	2330	1995	1307	187.3	215	490	815	D
22 OPzS 2750	2750	2750	2952	2562	2195	1437	212.5	215	580	815	D
23 OPzS 2875	2875	2875	3086	2678	2294	1503	216.8	215	580	815	D
24 OPzS 3000	3000	3000	3220	2795	2394	1568	221.2	215	580	815	D
26 OPzS 3250	3250	3250	3488	3028	2594	1699	229.6	215	580	815	D

C<sub>nom</sub> = nominal capacity at 10 h discharge according to DIN 40736-1

C<sub>10</sub>, C<sub>5</sub>, C<sub>3</sub> and C<sub>1</sub> = Capacity at 10 h, 5 h, 3 h and 1 h discharge

\* according to DIN 40736-1 data to be understood as maximum values



Design life: up to 20 years

**Optimal environmental compatibility - closed loop for recovery of materials in an accredited recycling system**

<sup>1</sup> Similar to sealed lead-acid batteries



**ACTA DE SUSTENTACION  
DE TESIS VIRTUAL N°039**

En la ciudad de Lambayeque, siendo las 10 horas del día jueves 16 junio del año 2022 en la sala de sustentaciones virtuales de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, se reunieron virtualmente los miembros del jurado, tal como se comprueba en la grabación, designados mediante **Resolución N° 116-2022-D-VIRTUAL-FIME**, de fecha 01 de junio de 2022 conformado por los siguientes catedráticos:

Mg NORMAN OSVALDO AGUIRRE ZAQUINAULA	PRESIDENTE
MSC. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ	SECRETARIO
ING. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO	MIEMBRO
ING. HECTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ	ASESOR

Se recibió el Trabajo de Tesis titulada:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ILUMINAR LA CARRETERA  
MONSEFU - LA VICTORIA.”**

Presentada virtualmente por su autor, Bachiller: **CAPUÑAY LLUEN JHON JAIRÓ**

Finalizada la sustentación virtual, el sustentante respondió a través de la plataforma virtual de manera acertada las preguntas formuladas por el jurado examinador procediendo a deliberar y se acordó aprobar con nota QUINCE (15) la sustentación de Tesis.

Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, debiendo cumplir antes con las exigencias de las normas legales vigentes.

Siendo las 11.05 horas del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:

Presidente

Secretario

Miembro

Asesor

**“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”**

Lambayeque, 25 de febrero de 2022

**OFICIO N°04-2022-HON-VIRTUAL**

**Dr. ANIBAL JESUS SALAZAR MENDOZA**

**DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FIME UNPRG**

**Asunto: CONFORMIDAD DE INFORME DE TESIS**

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y a la vez informarle que el suscrito ha asesorado al bachiller **CAPUÑAY LLUEN JHON JAIRO**, en la elaboración de su trabajo de investigación titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACIÓN DE LA CARRETERA MONSEFÚ – LA VICTORIA”**.

En tal sentido, después de haber revisado dicho trabajo mediante el software Turnitin, este presenta un índice de similitud de 16 % (menor al 20 % de acuerdo a lo establecido en el reglamento), por lo que procedo a dar la **CONFORMIDAD**, quedando el bachiller en mención, **APTO** para la sustentación respectiva, en la hora y fecha que su despacho tenga a bien designar.

Se adjunta el reporte y el recibo digital de Turnitin.

Agradecido por la atención a la presente, me despido de usted, renovándole mi consideración y estima.

Atentamente,



---

Ing. Héctor Antonio Oliden Núñez  
Asesor

# Diseño de un sistema fotovoltaico para la iluminación de la carretera Monsefú – La Victoria

## INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.unprg.edu.pe:8080">repositorio.unprg.edu.pe:8080</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="https://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	1%
4	<a href="https://podcast.unesp.br">podcast.unesp.br</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://idus.us.es">idus.us.es</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://repositorio.uss.edu.pe">repositorio.uss.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

9	Submitted to Universidad de Piura Trabajo del estudiante	<1 %
10	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
11	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
12	www.usfx.bo Fuente de Internet	<1 %
13	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.upct.es Fuente de Internet	<1 %
16	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	<1 %
18	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
19	www.victronenergy.com Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1 %

---

21 [www.construccion-sustentable.cl](http://www.construccion-sustentable.cl) <1 %  
Fuente de Internet

---

22 [creativecommons.org](http://creativecommons.org) <1 %  
Fuente de Internet

---

23 [repositorio.pucp.edu.pe](http://repositorio.pucp.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet

---

24 [cybertesis.uach.cl](http://cybertesis.uach.cl) <1 %  
Fuente de Internet

---

25 [repositorio.ucv.edu.pe](http://repositorio.ucv.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet

---

26 Submitted to Universidad Tecnologica del Peru <1 %  
Trabajo del estudiante

---

27 Submitted to Universidad Militar Nueva Granada <1 %  
Trabajo del estudiante

---

28 Submitted to Universidad de Málaga - Tii <1 %  
Trabajo del estudiante

---

29 [elsolyvida.blogspot.com](http://elsolyvida.blogspot.com) <1 %  
Fuente de Internet

---

30 [essex.edu](http://essex.edu) <1 %  
Fuente de Internet

---

31 [repositorio.uncp.edu.pe](http://repositorio.uncp.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet

---

32	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
33	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad Europea de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
35	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	avatarenergia.com Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.utp.edu.co Fuente de Internet	<1 %
38	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	<1 %
39	Submitted to University of La Guajira Trabajo del estudiante	<1 %
40	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
41	Submitted to Consorcio CIXUG Trabajo del estudiante	<1 %
42	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
43	Submitted to Universitat Politècnica de València	<1 %

44

documentop.com

Fuente de Internet

<1 %

---

45

edoc.pub

Fuente de Internet

<1 %

---

46

revistas.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 12 words

Excluir bibliografía

Activo



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jhon Jairo Capuñay Lluen  
Título del ejercicio: Revisión de Tesis  
Título de la entrega: Diseño de un sistema fotovoltaico para la iluminación de la ...  
Nombre del archivo: ma\_fotovoltaico\_para\_la\_iluminacion\_de\_la\_carretera\_Monse...  
Tamaño del archivo: 6.76M  
Total páginas: 88  
Total de palabras: 14,646  
Total de caracteres: 79,749  
Fecha de entrega: 24-feb.-2022 01:22p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 1770067111

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

I PROGRAMA DE ELABORACION DE TESIS

**TESIS**

Para Optar el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**"DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA  
ILUMINACION DE LA CARRETERA MONSEFU - LA  
VICTORIA"**

PRESENTADO POR:

**Bach. CAPUÑAY LLUEN JHON JAIRO**

Lambayeque - PERU  
2022

pág. 1