



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“MICROGENERACION FOTOVOLTAICA CON EL
SOFTWARE PVSYST EN EL CENTRO POBLADO SAN
MARCOS - LAMBAYEQUE”**

Autor:

Bach. ISAAC GABRIEL CÓRDOVA CHAPOÑAN

Asesor:

Dr. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

LAMBAYEQUE – PERÚ

Mayo del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS DE INGENIERÍA

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“MICROGENERACION FOTOVOLTAICA CON EL
SOFTWARE PVSYST EN EL CENTRO POBLADO SAN
MARCOS - LAMBAYEQUE”**

Autor:

Bach. ISAAC GABRIEL CÓRDOVA CHAPOÑAN

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE:

SECRETARIO:

MIEMBRO:

ASESOR:

LAMBAYEQUE – PERÚ

Mayo del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS DE INGENIERÍA

TITULO

**“MICROGENERACION FOTOVOLTAICA CON EL SOFTWARE PVSYST EN EL
CENTRO POBLADO SAN MARCOS - LAMBAYEQUE”**

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES.

Autor: Bach. ISAAC GABRIEL CÓRDOVA CHAPOÑAN

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ

Mayo del 2019

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, Por todas las bendiciones y protecciones que me ha dado, llenarme de sabiduría para poder luchar y alcanzar mis metas, por la vida que me ha regalado al lado de mis padres, hermanos, esposa y mis 2 hijos, que en cada momento de felicidad y tristeza siempre están a mi lado.

Bach. Isaac Gabriel Córdova Chapoñan

AGRADECIMIENTO

A todos los docentes de la facultad de ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Agradeces a mis padres y las personas que lo hicieron posible con su apoyo incondicional.

Agradecer a mi asesor, Dr. Daniel Carranza Montenegro por su tiempo, atención, apoyo incondicional y aporte científico en el desarrollo de la presente Tesis, así como su amistad y comprensión.

Bach. Isaac Gabriel Córdova Chapoñan

RESUMEN

La presente Tesis tuvo por objetivo general: Dimensionar un sistema de micro generación con el software PVSYST en el centro poblado San Marcos perteneciente al distrito de Lambayeque. El tipo de investigación fue aplicada. Los resultados obtenidos luego de procesar los datos son los siguientes: El número de viviendas proyectadas en base a la tasa de crecimiento poblacional del INEI (2,37%) es de 48. La energía promedio proyectada es de 19,152 kW.h con una máxima demanda de 5,424 kW.

De los datos de irradiación solar según el atlas solar del Perú el menos valor es de 4,50 kWh/m²/día y según la NASA con un valor mínimo de 4,34 kWh/m²/día, valor que se utilizó para calcular el sistema fotovoltaico con el criterio del mes crítico. Los equipos seleccionados por el método del mes son los siguientes: 30 paneles fotovoltaicos YINGLI SOLAR de 220 Wp, 03 controladores STUDER VARIO TRACK de 65 A, 20 baterías de la marca ROLLS ,01 inversor MUST SOLAR de 8 000 W. Los resultados obtenidos al aplicar el software PVSYST tenemos lo siguiente: el generador fotovoltaico formado por 27 paneles fotovoltaicos, 9 ramas en paralelo de 3 paneles en serie; 01 controlador STUDER VARIO TRACK de 5 kW de 80 A; el banco de baterías estará conformado por 16 de la Marca ROLLS de 290 A.h de capacidad. La pérdida de carga anual es de 1,11%. Se dimensiono la red secundaria en la cual el conductor eléctrico que satisface los requerimientos mínimos de capacidad de corriente y caída de tensión es el de 2x16/25 y 1x16/25, en el ANEXO 06 se muestra el plano en AUTOCAD. El presupuesto para suministrar energía eléctrica al centro poblado San Marcos es de: S/ 155 693,18

Palabras claves: panel fotovoltaico, software PVSYST, inversor, controlador

ABSTRACT

The main objective of this thesis was to dimension a microgeneration system with the PVSYST software in the San Marcos town center belonging to the district of Lambayeque. The type of research was applied. The results obtained after processing the data are as follows: The number of households projected based on the population growth rate of INEI (2,37%) is 48. The projected average energy is 19,152 kW.h with a maximum demand of 5,424 kW.

Of the data of solar irradiation according to the solar atlas of Peru, the least value is 4,50 kWh / m² / day and according to NASA with a minimum value of 4,34 kWh / m² / day, value that was used to calculate the photovoltaic system with the criterion of the critical month. The equipment selected by the month method are the following: 30 YINGLI SOLAR photovoltaic panels of 220 Wp, 03 STUDER VARIO TRACK 65 A controllers, 20 batteries of the ROLLS brand, 01 MUST SOLAR inverter of 8,000 W. The results obtained when applying the PVSYST software we have the following: the photovoltaic generator formed by 27 photovoltaic panels, 9 branches in parallel of 3 panels in series; 01 STUDER VARIO TRACK controller with 5 kW of 80 A; the battery bank will consist of 16 of the ROLLS brand of 290 A.h capacity. The annual load loss is 1,11%. The secondary network is dimensioned in which the electrical conductor that satisfies the minimum requirements of current capacity and voltage drop is 2x16 / 25 and 1x16 / 25, in APPENDIX 06 the plan is shown in AUTOCAD. The budget to supply electricity to the San Marcos farmhouse is: S / 155 693,18

Keywords: photovoltaic panel, PVSYST software, inverter, controller

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Realidad Problemática	1
1.2. Formulación del Problema	1
1.3. Delimitación de la Investigación	1
1.3.1. Delimitación espacial	1
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS	5
1.5. Limitaciones de la TESIS	6
1.6. Objetivos de la TESIS	6
1.6.1. Objetivo General	6
1.6.2. Objetivo Específicos	6
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de Estudios	7
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	15
2.2.1. Cambio climático.....	15
2.2.2. Fuentes no convencionales de energía	16
2.2.3. Energía solar fotovoltaica	18
2.2.4. Sistemas fotovoltaicos	24
2.2.5. Software PVSYST.....	59
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.	60
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	64
3.1. Tipo y diseño de investigación	64

3.1.1. Tipo de investigación	64
3.1.2. Diseño de investigación	64
3.2. Población y muestra.....	65
3.3. Hipótesis	65
3.4. Variables - Operacionalización.....	65
3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	66
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados	68
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	68
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	69
4.1. Propuesta de la investigación	69
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	72
5.1. Cálculo de la energía promedio diaria proyectada y máxima demanda. 72	
5.1.1. Energía promedio proyectada.....	72
5.2. Irradiación Solar en el centro poblado San Marcos.....	75
5.1. Cálculo del sistema fotovoltaico	77
5.2. Dimensionamiento del sistema con PVSYST	81
5.2.1. Resultados de la simulación	88
5.2.2. Comparación entre el método del peor mes y PVSYST	91
5.3. Dimensionamiento del sistema de distribución en 220 V	95
5.3.1. Cálculos eléctricos	95
5.4. Presupuesto	99
5.4.1. Presupuesto del sistema fotovoltaico	99
CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....	101
6.1. Conclusiones.....	101
BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXOS	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Ubicación geográfica del Centro poblado San Marcos.....	4
Tabla N° 2: Acontecimientos importantes en el desarrollo de la tecnología fotovoltaica	19
Tabla N° 3: Operacionalización de variables.....	66
Tabla N° 4: Técnicas e instrumentos.....	68
Tabla N° 5: Tasas de crecimiento en el departamento de Lambayeque	72
Tabla N° 6: Consumo de energía eléctrica diaria para vivienda.....	73
Tabla N° 7: Consumo de energía eléctrica para el centro poblado San Marcos	74
Tabla N° 8: Consumo diario de energía eléctrica	74
Tabla N° 9: Comparación entre los resultados del método del peor mes y PVSYST	92
Tabla N° 11: Conductores electricos	93
Tabla N° 12: Características de los cables autoportantes	96
Tabla N° 13: Caída de tensión C-I.....	97
Tabla N° 14: Caída de tensión C-II.....	98
Tabla N° 15: Valor referencial para el suministro de materiales para el sistema fotovoltaico	99
tabla N° 16: costo directo del sistema fotovoltaico	99
Tabla N° 17: Presupuesto total de la propuesta	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: temperatura máxima y mínima promedio	3
Figura N° 2: Ubicación geográfica del centro poblado San Marcos	4
Figura N° 3: Vista del centro Poblado San Marcos	5
Figura N° 4: Algunos efectos del cambio climático que afectan nuestro planeta	16
Figura N° 5: Fuentes no convencionales de energía.....	17
Figura N° 6: Concepto de horas sol pico.....	23
Figura N° 7: Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año.....	24
Figura N° 8: Componentes de un sistema fotovoltaico.....	26
Figura N° 9: Panel fotovoltaico	30
Figura N° 10: Curva característica I vs V de una celular solar de 100 cm ²	31
Figura N° 11: Circuito equivalente de un dispositivo fotovoltaico	31
Figura N° 12: Variación de las curvas I-V con la irradiancia incidente a una temperatura de 25 ° C	34
Figura N° 13: Variación de las características I-V de un módulo fotovoltaico típico con la temperatura de operación para una irradiancia constante de 1000 W/m ²	35
Figura N° 14: Conexión en serie de módulos fotovoltaicos	37
Figura N° 15: Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos	38
Figura N° 16: Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos	38
Figura N° 17: Tipos de paneles solares	39
Figura N° 18: Estructura fija	40
Figura N° 19: Instalación de seguidor solar.....	41
Figura N° 20: Baterías para sistemas fotovoltaicos.....	46
Figura N° 21: Conexiones de baterías	47
Figura N° 22: Controladores para sistemas fotovoltaicos.....	49
Figura N° 23: Inversores para sistemas fotovoltaicos	52
Figura N° 24: Calculadora solar	54
Figura N° 25: UVI móvil con sistema fotovoltaico autónomo	55
Figura N° 26: Coche de carrera solar	56

Figura N° 27: Coche de golf solar	56
Figura N° 28: Barco de paseo solar	57
Figura N° 29: Satélite con paneles solares	58
Figura N° 30: Vehículo explorador en la superficie de Marte	59
Figura N° 31: ventana de inicio al software	60
Figura N° 32: Entrevistando a un habitante del centro poblado San Marcos ..	67
Figura N° 33: Flujograma para el desarrollo de la propuesta	71
Figura N° 34: irradiación solar en Lambayeque	75
Figura N° 35: Ingreso de datos a la página de la NASA.....	76
Figura N° 36: Datos de irradiación solar en el centro poblado San Marcos	76
Figura N° 37: Batería ROLLS de 290 Ah.....	78
Figura N° 38: Paneles fotovoltaicas YINGLI SOLAR de 220 Wp	79
Figura N° 39: Controlador STUDER VARIO TRACK.....	80
Figura N° 40: Página principal de PVSYST.....	81
Figura N° 41: selección del tipo de sistema fotovoltaico	82
Figura N° 42: Datos del proyecto	83
Figura N° 43: Ingreso de los datos de ubicación geográfica del centro poblado San Marcos	84
Figura N° 44: Angulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos.....	85
Figura N° 45: Ingreso de los artefactos electrodomésticos y sus potencias....	86
Figura N° 46: Configuración de los días de autonomía, pérdida de carga y tensión del sistema.....	86
Figura N° 47: Especificaciones de la batería elegida	87
Figura N° 48: Especificaciones del módulo fotovoltaico	87
Figura N° 49: Especificaciones del controlador	87
Figura N° 50: Software con todos los datos ingresados.....	88
Figura N° 51: Factores de pérdidas del sistema.....	89
Figura N° 52: Utilización de la energía	90
Figura N° 53: Diagrama de perdidas en el sistema	91
Figura N° 54: Diagrama unifilar C-I	97
Figura N° 55: Diagrama unifilar C-II	98

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la demanda energética ha crecido a un ritmo acelerado e imparable al tiempo que baja la eficiencia y aumentan descontroladas las emisiones de gases de efecto invernadero, pues se vive en una sociedad que está regida por el consumo de combustibles fósiles para satisfacer sus necesidades energéticas (Joachin Barrios, 2008).

La presente tesis tiene como finalidad Utilizar la energía fotovoltaica para la microgeneración de energía eléctrica en el centro poblado San Marcos. La tesis inicia con una descripción de la problemática existente en el centro poblado, con la finalidad de solucionar el problema se plantea el objetivo general y específicos. seguidamente, se presenta los antecedentes que vienen a ser estudios anteriores información tesis, proyectos relacionados con nuestro tema investigación. En el Capítulo III, se describe el marco metodológico es decir la metodología seguida desde la recolección de datos, procesamiento hasta obtención de los resultados con la finalidad de lograr el objetivo propuesto. Luego en el capítulo IV se describe la propuesta que va dar una solución a la realidad problemática existente.

En el Capítulo V se presenta los resultados obtenidos el dimensionamiento con el método de mes crítico y otro apoyándonos en la herramienta computacional PVSYST.

Por último, se describe las conclusiones a las que se llegó en relación directa con los objetivos específicos planteados inicialmente en este trabajo de investigación y se adjuntan los anexos.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

Centro poblado San Marcos el distrito de Lambayeque

Este centro poblado no tiene electricidad tiene 30 viviendas y sus habitantes sufren las consecuencias de la falta de energía eléctrica.

Una de las alternativas para satisfacer la energía eléctrica del centro poblado es utilizando las energías no convencionales debido a que la irradiación solar es mayor¹ de 3 kW.h/m².

El gobierno peruano promueve el uso de las energías no convencionales según el Artículo 3° de DLEG-1002-2008.

1.2. Formulación del Problema

¿La irradiación solar será la suficiente para que con un sistema de micro generación fotovoltaica logre satisfacer la demanda de energía del centro poblado San Marcos?

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial²

El centro poblado San Marcos se encuentra ubicado en el distrito de Lambayeque.

¹ <https://power.larc.nasa.gov/>

² https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Yambrasbamba

Lambayeque³:

Creado por Bolívar, su extensión territorial es de 336 52 Km²., según el censo de 2007 su población es de 63 386 habitantes, la densidad 91,47 habitantes por Km². Su capital es la ciudad de Lambayeque, situada al Noroeste de Chiclayo, a una distancia de 11,4 Km. y a 18 m.s.n.m.

Las principales actividades económicas son la agricultura, la ganadería, la agroindustria, la artesanía y los servicios. Sus cultivos principales son el arroz, algodón, maíz, sorgo, chileno, lenteja de palo. En la industria; existen numerosos molinos de pilar arroz. Además, se fabrican ladrillos de construcción, elaboran los exquisitos kingkones y dulces diversos.

Limites:

Por el Norte limita con Mórrope y Mochumí, por el Sur con José Leonardo Ortiz, Chiclayo y San José; por el Este con Picsi y Pueblo Nuevo, por el Oeste con el Océano Pacífico.

Temperatura⁴

La *temporada calurosa* dura 2,8 meses, del 16 de enero al 8 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 29 °C. El día más caluroso del año es el 1 de marzo, con una temperatura máxima promedio de 31 °C y una temperatura mínima promedio de 22 °C.

La *temporada fresca* dura 4,6 meses, del 14 de junio al 1 de noviembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 25 °C. El día más

³ <https://www.monografias.com/trabajos95/bagua-grande/bagua-grande.shtml>

⁴ <https://es.weatherspark.com/y/19287/Clima-promedio-en-Lambayeque-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

frío del año es el 19 de septiembre, con una temperatura mínima promedio de 16 °C y máxima promedio de 24 °C.

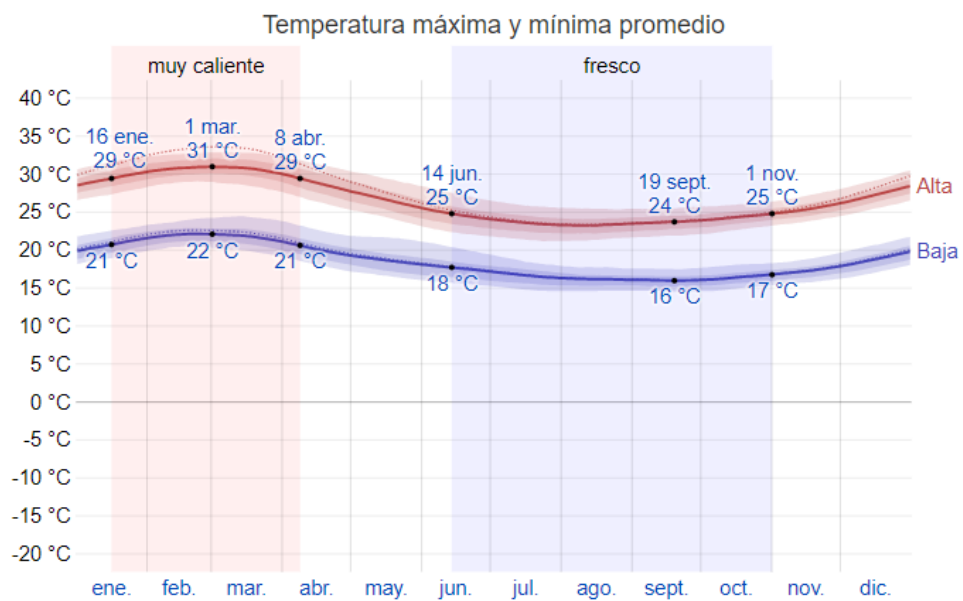


Figura N° 1: temperatura máxima y mínima promedio⁵

⁵ <https://es.weatherspark.com/y/19287/Clima-promedio-en-Lambayeque-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

El centro poblado San Marcos geográficamente se encuentra ubicado en:

Tabla N° 1: Ubicación geográfica del Centro poblado San Marcos⁶

Latitud	Longitud	m.s.n.m..
-6.716923	-79.887518	18



Figura N° 2: Ubicación geográfica del centro poblado San Marcos⁷

⁶ <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

⁷ Google maps



Figura N° 3: Vista del centro Poblado San Marcos⁸

1.4. Justificación e Importancia de la TESIS

Justificación social

Con la ejecución de la tesis posibilitara beneficios en cuanto al aumento de la calidad de vida de los habitantes, dando lugar a expectativas de progreso y desarrollo para el centro poblado San Marcos brindándoles un mejor futuro para sus habitantes.

Justificación ambiental

Con la implementación de esta tesis se logrará la disminución de los gases contaminantes producidos por las energías convencionales ya que se aprovechar la energía solar para producir electricidad.

⁸ Fuente: fotografía tomada por el autor

Justificación Científica

Promover el uso de las energías no convencionales. En caso específico de la energía solar como fuente para ser transformada en energía eléctrica a través de la tecnología fotovoltaica.

1.5. Limitaciones de la TESIS

Las fuentes de irradiación solar se limitaron a datos del Atlas solar del PERÚ y de la NASA.

1.6. Objetivos de la TESIS

1.6.1. Objetivo General

Dimensionar un sistema de microgeneración con el software PVSYST en el centro poblado San Marcos perteneciente al distrito de Lambayeque.

1.6.2. Objetivo Específicos

- a) Calcular el número de viviendas futuras, la energía promedio diaria proyectada y máxima demanda.
- b) Obtener los datos de los niveles promedios de irradiación solar en el centro poblado San Marcos.
- c) Dimensionar y seleccionar los equipos para el sistema fotovoltaico por método de mes crítico.
- d) Dimensionar y seleccionar equipos para el sistema fotovoltaico utilizando el software PVSYST
- e) Dimensionar la red de distribución de energía en B.T.
- f) Estimar el costo necesario para la ejecución del proyecto.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Contexto Internacional

Juana Kareli Tercero Ubau en su trabajo de tesis de "Diseño de una minicentral solar fotovoltaica autónoma con una capacidad de 2,7 kWp para electrificar la comunidad de La Fortuna-MiraFlor Moropotente, Estelí". Este proyecto está dividido en dos fases: La primera fase es el diseño y/o dimensionado del sistema solar fotovoltaico, llevada a cabo en Alemania, en FH Bielefeld, Universidad de Ciencias Aplicadas y la segunda fase es el diseño de la Red de Distribución de la energía producida. como objetivo principal con dichas fases culminada es ejecutar este pequeño proyecto, que está dirigido a beneficiar a la comunidad de La Fortuna, proporcionando energía eléctrica con fuentes de energía renovable y así evitar daños al lugar que pertenece a un área protegida, con esto se espera mejorar la calidad de vida de las personas, proporcionándoles el servicio de energía eléctrica, con la energía que nos proporciona el sol, transformándola en energía eléctrica a través de módulos fotovoltaicos, la cual está diseñada para generar 2,7 kWp a 11 viviendas y una iglesia a las que se les distribuirá la energía en la comunidad La Fortuna, que con el

tiempo cuya capacidad puede aumentar en base a la cantidad demandada de energía⁹.

Según **Carmencita De Los Ángeles Joachin Barrios** en su trabajo de tesis de "Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía a la comunidad rural de Buena Vista, San Marcos". Se plantea la energía solar fotovoltaica para generación eléctrica se está aplicando en áreas rurales, ya que su uso es relativamente reciente en Guatemala; en el presente proyecto se diseñaron dos tipos de instalaciones o sistemas de energía solar fotovoltaica para suministrarle energía eléctrica a una comunidad en el área rural del municipio de Esquipulas Palo Gordo, perteneciente al departamento de San Marcos, llamada Buena Vista.

Con esto se logra impulsar el uso de fuentes renovables de energía y se soluciona el problema del suministro de energía eléctrica. A través de un análisis sobre la disponibilidad de los recursos naturales en la zona (San Marcos) se realizó el diseño de un sistema solar fotovoltaico; previamente se efectuó la comparación y análisis de las ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico y un sistema eólico, para esta aplicación, sistema aislado individual en una comunidad rural¹⁰.

Según **Roberto Andrés Velásquez Céspedes**¹¹ en su tesis titulado: "Proyecto de instalación solar fotovoltaica en el departamento de ingeniería

⁹ Tercero Ubau, Juana Karelía. «Diseño de una minicentral solar fotovoltaica autónoma con una capacidad de 2,7 kWp para electrificar la comunidad de La Fortuna-MiraFlor Moropotente, Estelí.» Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Estelí-Nicaragua, 2015.

¹⁰ Acevedo Garcés, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. Bogotá.

¹¹ (Velasquez Céspedes, 2012)

eléctrica de la universidad de Santiago de Chile” En este caso se utilizó el software PVSYST para la estimación de generación del proyecto cumplió con las expectativas, entre ellas es posible mencionar la potencialidad de entregar estimaciones referenciales de las pérdidas totales, pérdidas detalladas, rendimiento de equipos, rendimiento del sistema y porcentajes de eficiencia del proyecto. Todo lo anterior permitió cumplir con uno de los objetivos planteados al inicio de este trabajo.

Con respecto al tipo de tecnología, el estudio del proyecto de ingeniería de una instalación fotovoltaica conectada a la red ha permitido definir las ventajas que posee sobre las instalaciones aisladas, sobre todo en un sector urbano. En particular destaca la capacidad de prescindir de sistemas de respaldo de energía o baterías lo que conlleva a una disminución en la inversión cercana a un 30 %, disminución en el espacio requerido para el almacenamiento y reducción en el costo por mantención, por ser equipos que involucran riesgos explosivos. (Velasquez Cespedes, 2012)

Según **Celemín Cuellar (2016)** en su trabajo de grado titulado “ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO ALTERNATIVA RURAL SOSTENIBLE DE LA VEREDA SAN ROQUE EN EL MUNICIPIO DE ORTEGA-TOLIMA” nos explica que la implementación de las energías renovables no convencionales es una gran oportunidad para diversificar las fuentes de generación; la tendencia del consumo de energía va a incrementarse y necesariamente a su vez hay que reducir el impacto ambiental de esa utilización masiva de la energía. La energía fotovoltaica se postula como una alternativa válida desde el punto de vista social, económico y ambiental de cara a lograr un desarrollo sostenible, en

las regiones no interconectadas sin dejar de lado las conectadas. La comunidad del sector energético estatal y privado asumirá el compromiso de la mano de la población en la protección del medio ambiente, mediante proyectos alternativos, implantación de sistemas de gestión y de la promoción de las fuentes de energías no convencionales. En la comunidad del municipio de Ortega se dimensiona un sistema fotovoltaico y se utiliza una herramienta (software) o programa de cálculo ampliamente conocido a nivel global llamado **PVSYST**, que modela y optimiza sistemas de potencia distribuida y simplifica la tarea de evaluación de diseños tanto de sistemas de energía fuera de la red como conectadas a la red para una variedad de aplicaciones. Con ello se modeló y se llegó al diseño de un sistema fotovoltaico básico para viviendas rurales que no tienen posibilidad de acceder a la energía eléctrica convencional. (Celemin Cuellar, 2016)

Contexto Nacional

Según **José Zegner Alva Silva**¹² en su tesis titulado “ Estudio de factibilidad de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en el caserío de Vigaspampa, Celendín, Cajamarca, 2016” En este trabajo de tesis que fue elaborado en la ciudad de Cajamarca, durante los meses de abril hasta noviembre del año 2016, que tiene como principal objetivo realizar un estudio de factibilidad técnico económico de un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica en el caserío de Vigaspampa, Celendín, Cajamarca. En este trabajo se demuestra a través de las

¹² (Alva Silva, 2016)

observaciones directas y encuestas que se utilizó, la necesidad de los habitantes de la comunidad que tienen por la falta de la energía eléctrica, que le sería de mucha utilidad para ayudar al desarrollo y mejorar la calidad de vida, que por la geografía que presenta su localidad, por la dispersión de sus casas entre sí y por el nivel de pobreza no es factible la inversión de las empresas proveedoras de electricidad, frente a eso con este trabajo se pretende dar una alternativa de solución para suministrar electricidad a través de un sistema fotovoltaico autónomo. El desarrollo se realizó con una investigación aplicada no experimental, la población es de 60 viviendas que en este caso fue igual a la muestra. Durante el desarrollo vimos el potencial energético que hay en la zona de estudio que es un elemento indispensable para realizar un sistema solar fotovoltaico, esto ayuda para el proyecto sea factible técnicamente ya que los elementos fotovoltaicos lo tenemos disponibles en el mercado local (Alva Silva, 2016).

Según **Delfor Flavio Muños Anticona**¹³ en su trabajo de tesis de "Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país". En esta tesis se plantea el uso de la energía solar, como alternativa de solución inmediata a los problemas de electrificación rural en zonas aisladas y de frontera, con población dispersa y baja demanda de energía y que no cuentan con la posibilidad de acceder a los sistemas de electrificación convencionales. La aplicación de esta alternativa se basa en criterios principales tales como el de priorización,

¹³ (Muñoz Anticona, 2005)

análisis de sostenibilidad y un escenario probable con el cual se desea cumplir las metas propuestas en el Plan Nacional de Electrificación Rural.

Así mismo **Héctor Raúl Avalos Vallejos**¹⁴ en su tesis titulado. “Diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer la demanda de energía eléctrica del servicio habitacional gran hotel, San Ignacio 2016” en este estudio se obtuvo que :

La máxima demanda del servicio habitacional está referida a la estadística y datos brindados por la misma concesionaria de la zona teniéndose una potencia de 10 kW y una energía consumida promedio de 2 010,7 kW mensual.

Para elaborar el sistema fotovoltaico se consideró una energía teórica que es la referenciada por el consumo del hotel y una real que es dispuesta para el cálculo del campo solar, con un factor de perdidas global de 0.686 lo que nos brinda una energía real de 97 671,04 Wh, y se tomó la radiación del mes más crítico de 3,93 kWh/m², el campo solar tendrá una cantidad de 92 paneles solares de 270 Wp dispuestos en paralelo configurados de 3 para conectarlos a los 24 reguladores, las acumuladores será 12V, 230 Ah en un total de 93 baterías dispuestas entre los 24 reguladores (21 grupos de 4 y 3 grupos de 3), el inversor se determinó de acuerdo a la potencia de suministro se consideraron 3 inversores de 4 KW con capacidad de trabajar en paralelo y cumplir con la potencia requerida.

¹⁴ Avalos Vallejos, H. R. (2016). *Diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer la demanda de energía eléctrica del servicio habitacional gran hotel, San Ignacio 2016*. Jaen.

La evaluación económica se realizó a 25 años, tiempo de vida útil promedio de un panel solar y el resto de equipos exceptuando las baterías que deberán cambiarse cada 7 años, no resulta abrumadora, pero considerando los costos obtenidos nos brinda un TIR 13 % y un VAN de S/. 175 116,07, lo que nos brinda la seguridad que el proyecto será rentable (Avalos Vallejos, 2016).

Contexto Local

Según **Llauce Chozo Anthony Joel** en su tesis titulado “Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación eléctrica en el restaurant el Cruceño, ubicado en el km 90, carretera a Lambayeque-Piura” Nos dice que el restaurant está en un lugar donde no hay el servicio eléctrico en redes de baja tensión, se optó por la implementación de un sistema fotovoltaico comercial, remplazando la generación eléctrica de un motor diésel. El objetivo del presente trabajo de investigación es evaluar técnica y económicamente la implementación de un sistema fotovoltaico (SFV) autónomo en la generación de energía eléctrica, y así proponer que estos sistemas sean implementados a comunidades de nuestra región que aún no cuentan con el suministro eléctrico, además de contribuir a la reducción de emisiones de CO₂, así mismo capacitar a la población sobre la gran importancia que tiene la energía solar y sus diferentes aplicaciones. Por otra parte, este tipo de tecnología presenta numerosas ventajas: instalación simple, emplea una fuente de energía limpia y gratuita, su operación es automática y silenciosa, requiere poco mantenimiento y es amigable con el ambiente.

Para el desarrollo del proyecto se realizó el estudio de la máxima demanda de energía eléctrica en el restaurant “El Cruceñito” propiedad del Sr. Orlando Santamaría Valdera y así aplicarla al diseño. Se tuvo en cuenta la radiación solar existe en la región de Piura usando datos estadísticos de NASTEC y de esta manera poder seleccionar los componentes a utilizar. La orientación del panel fotovoltaico tendrá la inclinación adecuada para captar la mayor radiación posible y nuestro sistema sea lo más eficiente posible. La potencia requerida para el sistema es de 870 Wp, que se obtuvo según cálculos realizados, y cada panel tendrá una potencia de 145 Wp para que su funcionamiento sea con total eficiencia.

Al realizar el presente trabajo se logró determinar que el sistema fotovoltaico autónomo a implementar si es económicamente rentable, satisfaciendo la demanda eléctrica considerada en el proyecto, el cual me permitirá reducir el consumo de combustible diésel en 912 galones/año. Se recomienda difundir y apoyar la investigación sobre este tipo de tecnología y así desarrollar proyectos en beneficio de comunidades que aún no tienen el servicio de electricidad en sus domicilios.

Jorge Máximo Moran Santamaría; en su tesis de Ingeniería titulado “Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá – Distrito de Mórrope”; hace un estudio de electrificación con energía solar para el centro poblado Cruz de Pañalá, el cual carece de energía eléctrica de manera geográfica por tener limitaciones al acceso de redes eléctricas por su distancia, altos costos de transporte y recursos energéticos limitados, lo que hace tener un costo elevado en la generación de energía;

el cual lo llevo a la evaluación de otros recursos de energía renovable y su rentabilidad.

En este estudio el autor concluye que en el centro poblado Cruz de Pañalá distrito de Mórrope, si es rentable implementar un Sistema Fotovoltaico para uso doméstico y productivo (en uso productivo se hizo el diseño de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua) frente a otras alternativas de generación eléctrica como la convencional, por ser una zona aislada. Y de acuerdo a la evaluación económica, la inversión a realizar en beneficio de las 40 familias suministrando energía con sistemas fotovoltaicos es de S/. 393 154,87 y con la electrificación convencional es de S/. 1 584,052,88 la cual es muy superior¹⁵

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Cambio climático¹⁶

El cambio climático es un problema que se ha ido agudizando a través de los años, debido a que las empresas regularmente trabajan con hidrocarburos que son totalmente dañinos para el ambiente, aunado a esto la quema de pastizales, la sobrepoblación, el crecimiento inmoderado y el uso de vehículos de combustión interna. El cambio climático genera cambios bastante severos en la naturaleza uno de los más comunes es que existen

¹⁵ Moran Santamaria, Jorge Maximo. «Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá – Distrito de Mórrope.» Lambayeque, 2013.

¹⁶

<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/521/1/Tesis%20Rafael%20Luna%20Punte%2C%20Humberto%20Ramos%20L%C3%B3pez.pdf>

grandes huracanes formados en una zona o bien terremotos, lluvias excesivas, temperaturas elevadas, tormentas de nieve entre, sequias otras que generalmente provocan catástrofes mundiales (ver Figura N° 4).



Figura N° 4: Algunos efectos del cambio climático que afectan nuestro planeta¹⁷

2.2.2. Fuentes no convencionales de energía¹⁸

A pesar de que tuvo sus inicios casi a la par con las convencionales, pero no fue prioridad en su momento, su necesidad se hizo verídica en la crisis energética que se inició en 1973 por la oferta de petróleo a tan bajo precio;

¹⁷

<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/521/1/Tesis%20Rafael%20Luna%20Pue%20nte%2C%20Humberto%20Ramos%20L%C3%B3pez.pdf>

¹⁸ (Celemin Cuellar, 2016)

esta crisis obligó a los países a reducir o posponer el desarrollo de los programas de desarrollo importantes, por lo que podía comprar petróleo para mantener sus economías en funcionamiento. Se planteó la urgente necesidad de encontrar y desarrollar fuentes de energía alternativas, como otros combustibles fósiles (carbón, gas), energía nuclear y fuentes de energía renovables (OEA, 1987). Son fuentes primarias inagotables con capacidad de regeneración en un periodo de tiempo inferior al de su uso. En general todas las fuentes provenientes directa o indirectamente del sol son consideradas renovables. Adicionalmente se clasifican como fuentes renovables el calor proveniente de la tierra y las mareas ocasionadas por la atracción gravitacional entre la Tierra y la Luna. (Celemin Cuellar, 2016).



Figura N° 5: Fuentes no convencionales de energía¹⁹

Algunos de los principales inconvenientes de la explotación a gran escala de las energías renovables o en cantidades suficientes para desplazar energías convencionales radican en que su disponibilidad está sujeta a la geografía: recursos como el viento, el agua o el sol tienen altos potenciales de

¹⁹ <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/las-energias-renovables-ya-compiten-en-coste-con-las-energias-convencionales/>

explotación en sitios específicos. Existe además una gran variabilidad en el recurso, esto es particularmente cierto para la energía eólica, solar e hidráulica sin embalse, cuya capacidad de generación está asociada directamente a la disponibilidad del recurso y este puede presentar grandes variaciones de una hora a otra o entre el día y la noche (Celemin Cuellar, 2016).

2.2.3. Energía solar fotovoltaica

La energía solar es la energía obtenida directamente del Sol. La radiación solar incidente en la Tierra puede aprovecharse, por su capacidad para calentar, o directamente a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo; pues es un tipo de energía renovable y limpia, lo que se conoce como energía verde.

2.2.3.1. Inicios de la tecnología de la generación fotovoltaica²⁰

Sus inicios datan del siglo XIX, (Galdabini,1991) dicen que el físico francés Edmound Becquerel (1839) evidencio su descubrimiento del efecto fotovoltaico al observar que ciertos materiales producían cantidades pequeñas de corriente eléctrica cuando se exponían a la luz, “observó que por la acción de un rayo de luz del sol sobre dos líquidos diferentes, que interactúan químicamente y cuidadosamente superpuestas en un recipiente de vidrio, una corriente eléctrica se desarrolló, como se indica

²⁰ (Celemin Cuellar, 2016)

por un galvanómetro muy sensible conectada con dos placas de platino sumergiendo en las dos soluciones diferentes” (Becquerel, 1867). Este sería el punto de partida el cual encaminaría el sendero para desarrollo de la tecnología de la energía fotovoltaica, según Asociación de la Industria Fotovoltaica (Asif, 2008) de manera general, referencia algunos acontecimientos importantes en la historia de la tecnología:

Tabla N° 2: Acontecimientos importantes en el desarrollo de la tecnología fotovoltaica²¹

1873	Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos, en el selenio.
1877	W.G.Adams y R.E.Day producen la primera célula fotovoltaica de selenio.
1904	Albert Einstein publica su artículo sobre el efecto fotovoltaico, al mismo tiempo que un artículo sobre la teoría de la relatividad 1921 Einstein gana el premio Nobel de 1921 por sus teorías de 1904 explicando el efecto fotovoltaico (“for his services to Theoretical Physics, and especially for his discovery of the law of the photoelectric effect”). Recibe el premio y lee el discurso en Gotemburgo- Suecia, en 1923)
1954	Los investigadores D.M.Chaplin, C.S. Fuller y G.L.Pearson de los Laboratorios Bell en Murray Hill, New Jersey, producen la primera célula de silicio, publican en el artículo “A New Silicon p-n junction Photocell for converting Solar Radiation into Electrical Power”, y hacen su presentación oficial en Washington (26 abril).
1955	Se le asigna a la industria americana la tarea de producir elementos solares fotovoltaicos para aplicaciones espaciales. Hoffman Electronic, empresa de Illinois (EE.UU.) ofrece células del 3% de 14mW a 1.500 \$/Wp).
1957	Hoffman Electronic alcanza el 8 % de rendimiento en sus células.
1958	El 17 de marzo se lanza el Vanguard I, primer satélite alimentado con energía solar. El satélite lleva 0,1W superficie aproximada de 100 cm ² , para alimentar un transmisor de respaldo de 5 mW, que estuvo operativo 8 años. La Unión Soviética, muestra en la exposición Universal de Bruselas sus células con tecnología de silicio.
1959	Hoffman Electronic alcanza el 10 % de rendimiento en sus células comerciales.
1962	Se lanza el primer satélite comercial de telecomunicaciones, el Telstar, con una potencia fotovoltaica de 14W.

²¹ (Celemin Cuellar, 2016)

1963	Sharp consigue una forma práctica de producir módulos de silicio; en Japón se instala un sistema de 242W en un faro, el más grande en aquellos tiempos.
1964	El navío espacial Nimbus se lanza con 470W de paneles fotovoltaicos.
1966	El observatorio astronómico espacial lleva 1kW de paneles solares.
1973	La producción mundial de células es 100 kW. El Skylab lleva 20kW de paneles.
1975	Las aplicaciones terrestres superan a las aplicaciones espaciales.
1977	La producción de paneles solares fotovoltaicos en el mundo es de 500 kW.
1980	ARCO Solar es la primera empresa que alcanzó, una fabricación industrial de 1 MW de módulos al año.
1983	La producción mundial excede los 20 MW al año.
1994	Se celebra la primera Conferencia Mundial fotovoltaica en Hawai.
1998	Se alcanza un total de 1.000 MW de sistemas fotovoltaicos instalados.
2004-2014	Según REN 21 (2015) da a conocer que la energía solar FV registró un crecimiento anual, con un estimado de 40 GW instalados, lo que da una capacidad mundial total de cerca de 117 GW a 2014.
2015	Nuevo panel solar puede producir energía por alrededor de \$ 0,55 USD por vatio, según Elon Musk solar Solar City venture, pueden alcanzar una eficiencia 22,5%, superando ligeramente la eficiencia del 21,5% alcanzado por el líder anterior, SunPower (www.extremetech.com, 2015).

2.2.3.2. Energía solar en el Perú²²

En el **Perú**, con su alta radiación solar, se usa esta forma de energía en la telecomunicación y cada vez más en la industria por ejemplo en la agricultura para el bombeo de agua, en minas y otros sectores.

Electrificación en zonas aisladas

De importancia es el uso para la **electrificación rural**. Con una parte importante de la población rural todavía sin conexión a la red, la energía solar fotovoltaica es, en vista de una escasa densidad de población, las vastas distancias y otros retos, frecuentemente la forma más económica para brindar electricidad a

²² <https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar>

casas, oficinas, escuelas, centros de salud y otros establecimientos. Desde los años 80 (más de 25 años) existen proyectos de energía solar y el gobierno cada vez más promueve esta forma de energía para la población rural aislada. Actualmente un proyecto del gobierno para electrificar hasta 500,000 hogares con energía solar está en proceso.

El escaso **poder adquisitivo de la población rural es un problema fundamental** que no permite a muchos comprar estos sistemas inicialmente costosos. Para cambiar esta situación, existen varios propuestos, desde usar picosistemas de muy bajo consumo y económicamente accesibles hasta facilitar créditos de condiciones favorables para la población rural. El insuficiente conocimiento y la poca familiaridad con sistemas solares representan otras barreras para aceptar ampliamente esta tecnología. Existe la necesidad, pero todavía no resulta en una demanda extendida por gran parte de la población.

Perú, consciente de su situación privilegiado por la cantidad de la radiación solar, elaboró, como parte de su programa de electrificación rural, el Atlas Solar que comprueba las condiciones excelentes para aprovechar de la energía solar.

En la página del Ministerio de Energía y Minas (MEM) se encuentra la versión interactiva del **Atlas Solar del Perú**, publicado en 2003 como parte de los programas para reforzar la electrificación rural con sistemas fotovoltaicos. Aquí mostramos como ejemplo el mapa con la situación para Agosto (invierno). El promedio anual de la irradiancia (la radiación solar que llega a la tierra) varía desde 4,5 en la Amazonía hasta 6,5 kWh/día en el sur. En la zona del altiplano es más de 5,5 kWh/día

Estos valores son excelentes y altamente favorecen instalaciones en todo el país. Para poner estos datos en relación: por ejemplo, en Alemania, donde la

mayoría de los sistemas fotovoltaicos al nivel mundial están instalados, el promedio anual de la radiación llega solamente a 3,01 kWh/día.

Aquí se puede descargar mapas adicionales con la **radiación solar por departamento** o con la **radiación solar por mes**. Fuente: **Dirección General de Electrificación Rural** (DGER-MEM) del Ministerio de Energía y Minas (MEM).

2.2.3.1. Insolación²³

La Insolación corresponde a la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual). En otras palabras, es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Su unidad de medida es el Watts-hora por metro cuadrado (W.h/m²). La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora solar de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1 000 W/m². La energía útil que entrega el panel(es) fotovoltaico(s) es directamente proporcional a la insolación incidente. Para calcularla se puede asumir que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de ella y se denomina insolación diurna o anual no atenuada, otra forma es medir en la superficie de la Tierra teniendo en cuenta la presencia de la atmósfera, en este caso se denomina insolación atenuada siendo más complejo calcularla. En la Figura N° 6 se muestra la insolación correspondiente a un día, la cual es representada por el área amarilla de la figura. (Perez Garrido, Análisis de un sistema de

²³ (Perez Garrido, Análisis de un sistema de iluminación utilizando ampolletas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos, 2009)

iluminación utilizando ampolletas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos, 2009)

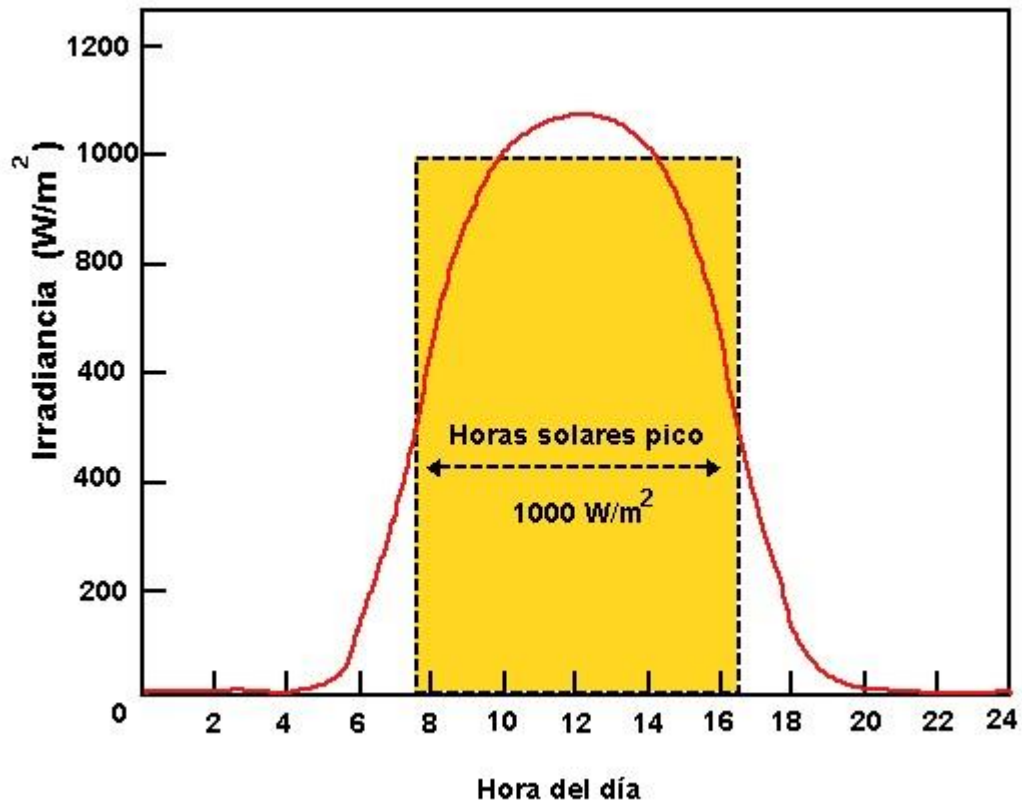


Figura N° 6: Concepto de horas sol pico²⁴

La insolación es un parámetro muy importante en el diseño de sistemas solares. Los factores climáticos y el ángulo de posicionamiento del panel con respecto al sol afectan en demasía la insolación sobre la superficie de captación. En zonas de poco sol, ya sea por nubes, neblina u otro factor, la insolación promedio en un periodo de tiempo es menor. En días de invierno los niveles de insolación promedio son considerablemente menores en comparación a los días de verano, esto se da para lugares cuya latitud sea mayor a los 15° . (Perez Garrido, Análisis de un sistema de iluminación

²⁴ <http://calculationsolar.com/blog/?cat=3>

utilizando ampolletas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos, 2009)

Debido a que la insolación depende del ángulo del panel con respecto a la posición del sol, se usa la insolación horizontal para referirse al potencial solar del lugar. A partir de la insolación horizontal se puede estimar la insolación a un azimut y elevación determinado. La insolación será máxima cuando el panel se encuentre en posición horizontal frente al sol. Para conseguir esto sería necesario ajustar el ángulo de azimut para seguir el movimiento diario del sol de este a oeste y el ángulo de elevación para seguir el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección norte-sur.

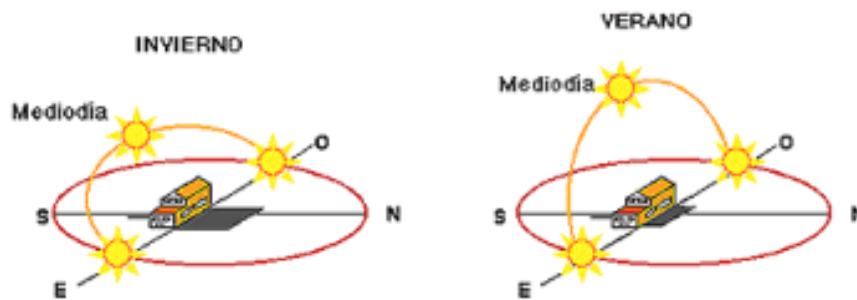


Figura N° 7: Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año²⁵

2.2.4. Sistemas fotovoltaicos²⁶

Se llama sistema fotovoltaico al conjunto de elementos, debidamente acoplados, que permiten utilizar la energía eléctrica obtenida por conversión de la energía solar mediante las células o celdas solares. Los sistemas

²⁵ (Perez Garrido, Análisis de un sistema de iluminación utilizando ampolletas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos, 2009)

²⁶ (Rivas Celi, 2015)

fotovoltaicos presentan una importante simplificación respecto a los procesos energéticos convencionales, debido a que transforman una energía primaria la energía solar en electricidad de un modo directo, es decir, sin transformaciones intermedias en otras formas de energía. Por lo tanto, las células solares o celdas fotovoltaicas son dispositivos capaces de transformar la radiación solar en electricidad de un modo directo. (Rivas Celi, 2015)

Las celdas fotovoltaicas son placas fabricadas principalmente de silicio. Cuando al silicio se le añaden cantidades relativamente pequeñas de ciertos materiales con características muy particulares obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de luz solar, los electrones son excitados por los fotones asociados a la luz y se mueven a través del silicio produciendo una corriente eléctrica, este efecto es conocido como fotovoltaico. La eficiencia de conversión de estos sistemas es de alrededor de 15%, por lo que un metro cuadrado puede proveer aproximadamente unos 150 W. (Rivas Celi, 2015).

Las celdas fotovoltaicas para poder proveer de energía eléctrica en las noches, requieren de baterías donde se acumula la energía eléctrica generada durante el día, lo cual encarece su aplicación. También existen otra posibilidad de utilización de este sistema, como por ejemplo sistema fotovoltaico conectado directamente a la red eléctrica, evitando así el uso de baterías, por lo que la energía que se genera se usa de inmediato, con la posibilidad de vender los excedentes de electricidad a las compañías generadoras, sistema que ya se ha implementado en varios países. (Rivas Celi, 2015).

Para tener una idea clara del crecimiento de las ventas de módulos FV en las últimas dos décadas es importante mencionar que en 1984 las ventas

mundiales sólo alcanzaron los 25 MW, mientras que en el año 2007 se reportaron ventas del orden de los 2 700 MW, lo que representa un crecimiento de dos órdenes de magnitud. (Rivas celis, 2015)



Figura N° 8: Componentes de un sistema fotovoltaico²⁷

2.2.4.1. El Panel solar fotovoltaico²⁸

Los módulos o paneles fotovoltaicos están formados por la interconexión de células solares dispuestas en serie y/o en paralelo de manera que la tensión y corriente que finalmente proporcione el panel se ajusta al valor requerido conexión entre células puede ir en serie y/o en paralelo, para adaptar el panel a los niveles de tensión y corriente requeridos. Cada célula de las que compone un panel fotovoltaico es capaz de ofrecer una

²⁷ <http://jokainnovation.blogspot.com/2014/11/implementacion-de-sistema-fotovoltaico.html>

²⁸ <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

tensión del orden de 0,5 voltios y una potencia eléctrica alrededor de los 3 watios, aunque este valor dependerá de la superficie que mida la célula. De esta manera la potencia que pueda ofrecer un módulo dependerá del número de células que posea, estando diseñado para el suministro eléctrico en corriente continua (directa, *DC*), a un determinado voltaje (normalmente 12 ó 24 V).

La tensión e intensidad de corriente que es capaz de ofrecer un panel fotovoltaico dependerá del número de células que disponga y el tipo de conexión entre células. Como norma general, los paneles solares se fabrican disponiendo primero las células necesarias en serie hasta que se alcance la tensión que se desee a la salida del panel, y a continuación, estos ramales de células se asocian en paralelo hasta alcanzar el nivel de corriente deseado.

Por otro lado, al sistema completo formado por el conjunto de módulos o paneles fotovoltaicos dispuestos o conexicionados en serie y/o en paralelo se le suele denominar generador fotovoltaico. Con el fin de poder ofrecer la potencia eléctrica deseada, así como de la tensión e intensidad de corriente a la salida del generador, los distintos módulos o paneles serán distribuidos en serie y/o en paralelo, según convenga.

Para formar un panel o módulo fotovoltaico, las células conectadas unas con otras se dispondrán encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conformando el llamado módulo fotovoltaico.

Los elementos que componen un módulo fotovoltaico son los siguientes:

- Una cubierta exterior transparente realizado en vidrio templado de unos 3 ó 4 mm de espesor, con su cara exterior texturada de modo que mejore el rendimiento cuando la radiación solar ocurre a bajo ángulo de incidencia, así como para absorber mejor la radiación solar difusa del ambiente.
- Un material de relleno interior, que funciona de encapsulante, hecho a base de vinilo de acetato etileno (EVA), que sirve para recubrir las células fotovoltaicas dentro del módulo, protegiéndolas de la entrada de aire o humedad, y evitando así que se produzca la oxidación del silicio que conforma las células, dado que de producirse dejarían de funcionar.
- Una cubierta posterior realizada normalmente a base de fluoruro de polivinilo (PVF), que además de sus propiedades como aislante dieléctrico, ofrece gran resistencia a la radiación ultravioleta, contribuyendo a servir de barrera a la entrada de humedad y ofreciendo una gran adhesión al material del que está hecho el encapsulante interior.
- Las propias células fotoeléctricas, ya estudiadas en apartados anteriores.
- Elementos de conexión eléctrica entre células, para establecer el circuito eléctrico.
- Una caja estanca de conexiones, dotada de bornes de conexión normalizados y con grado de protección IP65, de donde parte el cableado exterior del módulo para su conexión con otros módulos que

conforman el sistema completo de generación fotovoltaica. En dicha caja se incluyen los diodos de protección cuya misión es la de reducir la posibilidad de pérdida de energía debido a un mal funcionamiento por sombreados parciales de paneles y de evitar la rotura del circuito eléctrico por este efecto. Ello es así porque cuando se produce una sombra parcial sobre un panel, éste deja de generar corriente y se convierte en absorbedor de energía, lo que produciría un recalentamiento excesivo del mismo que podría dañarlo.

- El marco estructural realizado generalmente en aluminio anodizado que ofrece resistencia mecánica y soporte al conjunto. Se deberá comprobar en las especificaciones del fabricante del módulo su resistencia mecánica frente al viento y cargas de nieve, de manera que el conjunto se adecue a las condiciones ambientales del lugar donde se instalen.

Las prestaciones de los módulos que aparecen en la información técnica que proporciona cualquier fabricante están obtenidas sometiendo a los módulos a unas *Condiciones Estándar de Medida (CEM)* de irradiancia y temperatura, que son siempre las mismas y son utilizadas universalmente para caracterizar células, módulos y generadores solares. Estas condiciones son las siguientes:

- Irradiancia solar: 1000 W/m²;
- Distribución espectral: AM 1,5 G;
- Temperatura de célula: 25 °C.

No obstante, las condiciones reales de operación de los módulos serán distintas a los estándares anteriores, por lo que habrá que aplicar los correspondientes coeficientes correctores a los procedimientos de cálculos que se realicen.

Según se indican en las siguientes gráficas de la figura N° 9, donde se define el funcionamiento de un módulo fotovoltaico, el valor de corriente generado por el módulo crece con la intensidad de radiación solar, mientras que la tensión que ofrece cae conforme aumenta la temperatura alcanzada en las células del módulo.

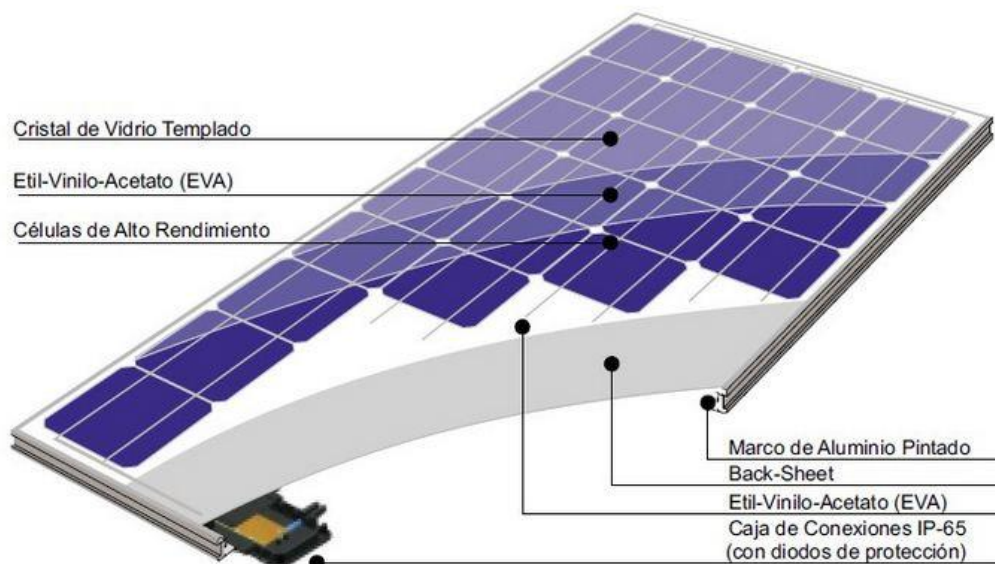


Figura N° 9: Panel fotovoltaico²⁹

El generador fotovoltaico

Está formado por un conjunto de paneles solares denominado generador fotovoltaico los cuales pueden estar conectados en serie

²⁹ <https://eliseosebastian.com/elementos-con-panel-solar-fotovoltaico/>

y/o en paralelo, que transforman la energía solar incidente en energía eléctrica. (Ver figura N° 10)

La corriente de salida de un generador es corriente continua y la potencia eléctrica máxima que puede suministrar es variable y depende fundamentalmente de la irradiancia solar incidente y de la temperatura ambiente (Alonso Abella & Chemlo Romero).

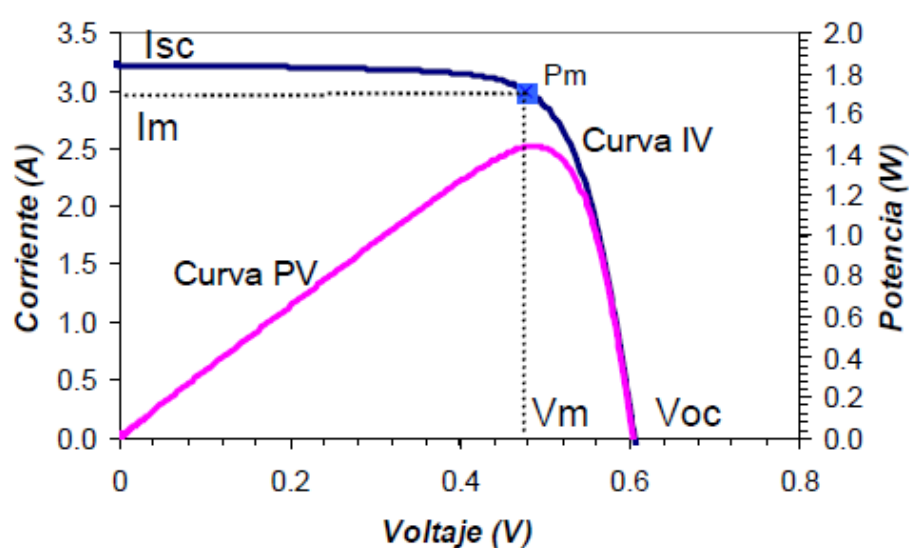


Figura N° 10: Curva característica I vs V de una celular solar de 100 cm²

Fuente: (Alonso Abella & Chemlo Romero)

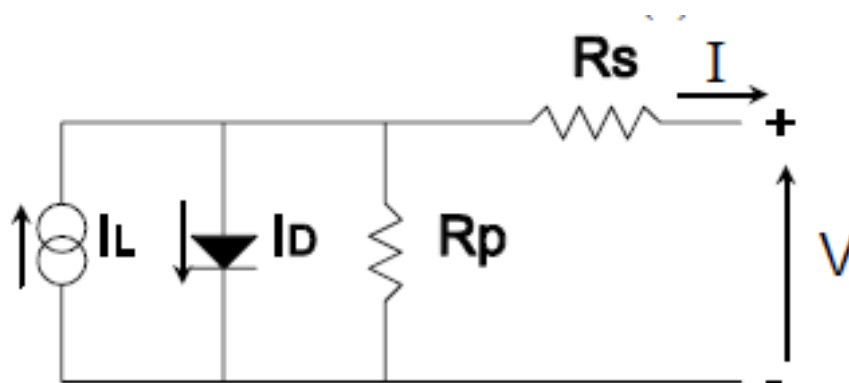


Figura N° 11: Circuito equivalente de un dispositivo fotovoltaico

Fuente: (Alonso Abella & Chemlo Romero)

La célula fotovoltaica como el generador fotovoltaico FV se caracterizan por medio de la curva I-V que se puede describir mediante la siguiente ecuación:

La ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + IR_s}{mv_t} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \dots (1)$$

donde I_L , I_0 , m , R_s y R_p son los parámetros característicos para el dispositivo en cuestión:

I_L es la corriente fotogenerada

I_0 es la corriente de oscuridad

m es el factor de idealidad del diodo

R_s es la resistencia serie

R_p es la resistencia paralela

v_t : voltaje térmico (kT/q , siendo k la constante de Boltzman, $k=1.3854 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$, T la temperatura del dispositivo [K] y “ q ” la carga del electrón, $q=1.6021 \times 10^{-19} \text{ C}$).

Los parámetros usados habitualmente para caracterizar las células solares, para una irradiancia dada, una temperatura de operación y una determinada área son:

Corriente de cortocircuito, I_{sc} , la corriente máxima, a voltaje cero.

Idealmente si $V=0$, $I_{sc} = I_L$. I_{sc} es directamente proporcional a la luz disponible.

Voltaje de circuito abierto, V_{oc} , máximo voltaje, a corriente cero.

V_{oc} aumenta logarítmicamente con la luz irradiancia incidente y disminuye linealmente con la temperatura.

Punto de máxima potencia, P_m , donde el producto

$$P_m = V_m \cdot I_m \dots (2)$$

El factor de forma, FF, es una medida de la calidad de la unión y de la resistencia serie de la célula.

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \dots (3)$$

Los módulos solares fotovoltaicos se construyen para una vida útil al menos de 20 años. Las causas principales de las fallas de los módulos son la rotura de las celdas, la de laminación del encapsulante que permite la entrada de la humedad y la rotura de las interconexiones de las celdas.

a) Efecto de la variación de la irradiancia

Cuando varía la irradiancia incidente sobre una célula FV se produce un cambio en la corriente y en el voltaje de salida. La corriente de cortocircuito varía linealmente con la irradiancia, mientras que el voltaje de circuito abierto se ve menos afectado, presentando una dependencia logarítmica.

b) Efecto de la variación de la irradiancia

El principal efecto del aumento de la temperatura de la célula es una reducción del voltaje de circuito abierto. La corriente de cortocircuito aumenta en una proporción muy pequeña. Las variaciones de los parámetros de célula son diferentes para cada tecnología y para cada fabricante (ver figura N° 12).

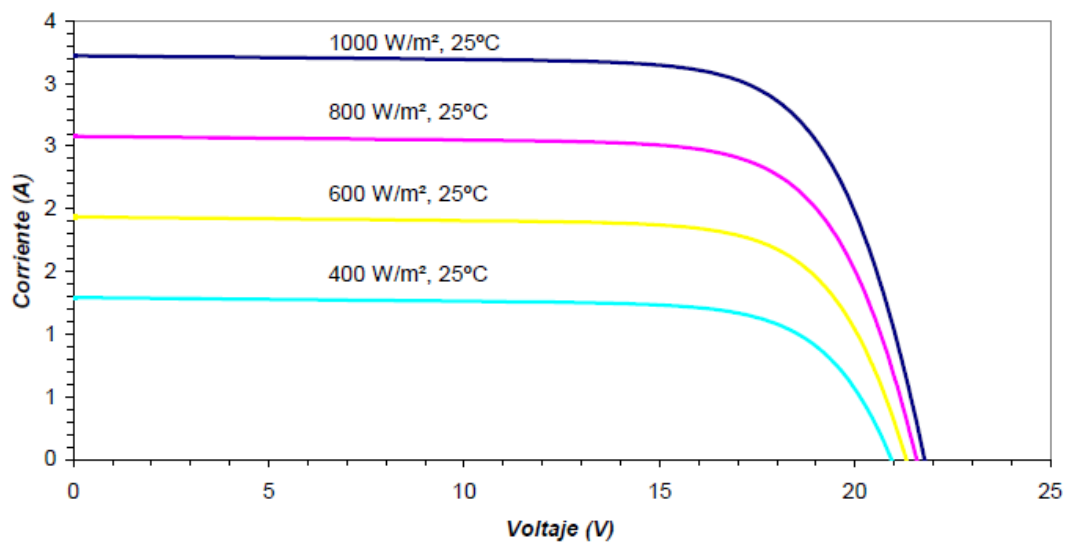


Figura N° 12: Variación de las curvas I-V con la irradiancia incidente a una temperatura de 25 ° C

Fuente: (Alonso Abella & Chemlo Romero)

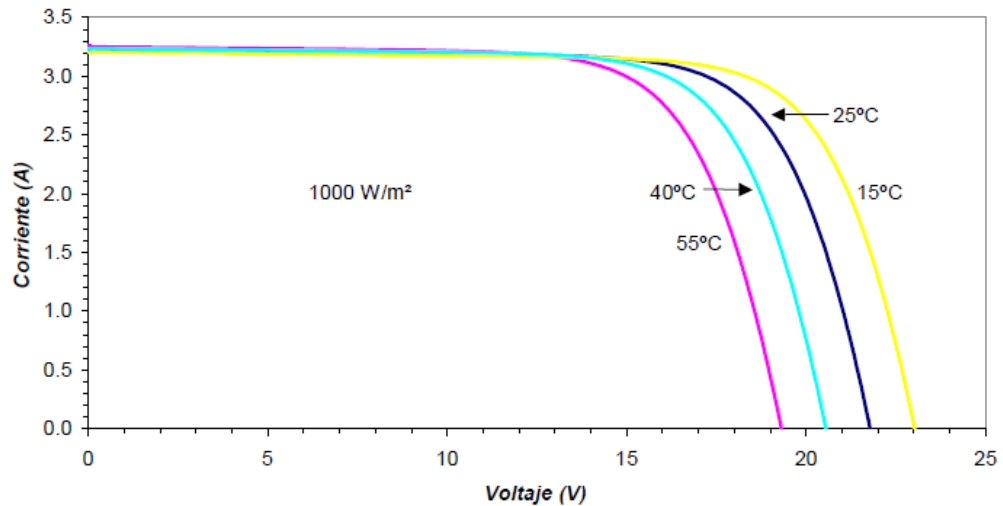


Figura N° 13: Variación de las características I-V de un módulo fotovoltaico típico con la temperatura de operación para una irradiancia constante de 1000 W/m²

Fuente: (Alonso Abella & Chemlo Romero)

En las figuras 13 y 14 se presenta la variación de la curva I-V de un generador con la irradiancia y con la temperatura de operación. La corriente de cortocircuito aumenta linealmente con la irradiancia, mientras que el voltaje de circuito abierto disminuye con la temperatura y en consecuencia la potencia máxima disminuye con la temperatura (Alonso Abella & Chemlo Romero).

El rendimiento o eficiencia de conversión fotovoltaica se define como:

$$n_g = \frac{P_m}{P_{radiacion}} = \frac{V_m I_m}{G A_g} \dots (4)$$

donde G es la irradiancia solar y Ag es el área activa del generador.

Para dimensionar el generador fotovoltaico consiste en determinar la potencia pico que se necesita instalar para satisfacer los consumos a lo largo de todo el año. El cálculo se hace para el mes crítico, utilizando valores medios mensuales.

Conexiones de módulos fotovoltaicos

La intensidad y la tensión de un módulo fotovoltaico no siempre satisfacen los recursos de tensión e intensidad de un sistema. Es necesario agrupar varios módulos para conseguir valores adecuados, teniendo en cuenta que conectando módulos en serie aumenta la tensión del sistema y conectando módulos en paralelo se aumenta la intensidad de corriente del sistema más características de tensión y de corriente no siempre satisfacen³⁰.

A. Conexión de módulos Serie

Al conectar los paneles en serie, lo que estamos haciendo es conectar un polo positivo de un módulo con el polo negativo del siguiente módulo. Con ello se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada (Figura N° 14).

La tensión generada es igual a la suma de todas las tensiones por cada módulo fotovoltaico, o lo que es lo mismo al producto de la tensión de un módulo por el número de módulos fotovoltaicos (ya que se supone que tienen las mismas características).

³⁰ (Castejon, 1998)

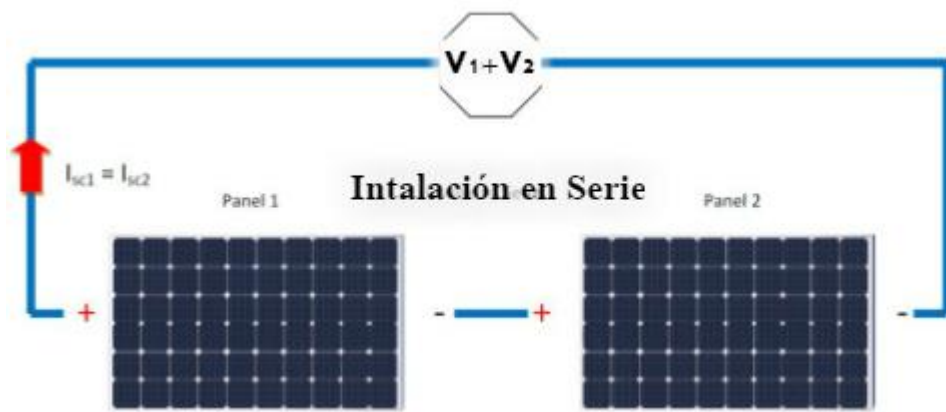


Figura N° 14: Conexión en serie de módulos fotovoltaicos³¹

B. Conexión de módulos en paralelo

Cuando conectamos los paneles en paralelo, lo que estamos haciendo es conectar todos los polos positivos y por separado todos los polos negativos. Con ello conseguimos aumentar la corriente generada (sumar la intensidad eléctrica de los paneles) y mantener fijo el voltaje, tal como se muestra en la Figura N° 15

La corriente generada es igual a la suma de todas las corrientes generadas por cada módulo, o lo que es lo mismo al producto de la corriente generada por un módulo por el número de módulos (ya que se supone que tienen las mismas características).

³¹ <https://eliseosebastian.com/conexion-entre-paneles-solares-fotovoltaicos/>

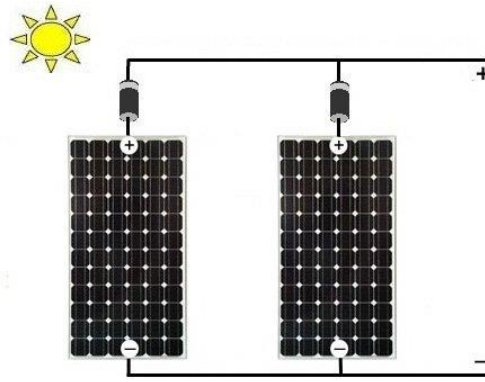


Figura N° 15: Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos³²

C. Conexión de módulos en serie/paralelo

La tensión del generador es la tensión del módulo multiplicado por el número de módulos en serie y la corriente de generador fotovoltaico es igual a la corriente de cada módulo multiplicado por el número de ramas de módulos

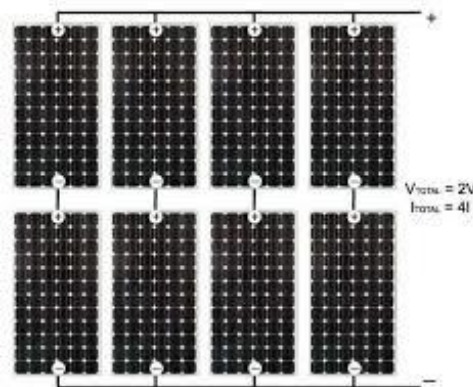


Figura N° 16: Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos³³

³² <https://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>

³³ <http://globalem.co/paneles-solares-para-casa/>



Figura N° 17: Tipos de paneles solares³⁴

Estructura de soporte para paneles solares³⁵

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

Sistema Fijo: este sistema está fijo y para ello se debe realizar un estudio de determinación de la inclinación adecuada. El mantenimiento es mínimo, es la estructura que genera menor eficiencia, pero es la más económica. El sistema fijo (ver figura N° 18) tiene mayor duración y casi no requiere mantenimiento. Debido a que no puede variar la inclinación,

³⁴ <https://www.pinterest.com/pin/93449760996978119/>

³⁵ (Valdiviezo Salas, 2014)

se debe considerar la lluvia y efecto de sombras en la elección de la inclinación.



Figura N° 18: Estructura fija³⁶

Seguidores solares: especialmente en cielos despejados, con alto efecto de radiación directa (nubosidad baja), se suele utilizar seguidores solares. Estos incrementan los costos iniciales, ya que se necesitan sistemas de control para modificar la inclinación (seguir al sol), un motor, engranajes y demás elementos mecánicos (ver figura N° 19). Además, se necesitan realizar un mantenimiento a estos equipos mecánicos. Sin embargo, al seguir al sol en su trayectoria, suelen incrementar las potencias generadas. Existen diversos tipos de seguidores solares en la actualidad.

³⁶ (Valdiviezo Salas, 2014)



Figura N° 19: Instalación de seguidor solar³⁷

2.2.4.2. El banco de baterías³⁸

Las instalaciones de sistemas de generación eléctrica aislados o no conectados a la red eléctrica, tienen la característica principal de necesitar un sistema de almacenamiento para hacer frente a las demandas energéticas en los períodos en los que no hay producción de energía (Joaquín Barrios, 2008). La forma más común para almacenar la energía eléctrica producida se basa en el empleo de acumuladores electroquímicos o baterías. Una batería almacena electricidad para ser utilizada durante la noche en el caso de la energía solar o para satisfacer la demanda energética de las cargas cuando los módulos o el aerogenerador no están generando suficiente potencia para ello, es decir, cuando las condiciones

³⁷ (Valdiviezo Salas, 2014)

³⁸ (Rivas celis, 2015)

meteorológicas no son buenas (Joachin Barrios, 2008). Un acumulador electroquímico es una pila que puede regenerarse mediante el paso de una corriente eléctrica. Se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas en los procesos de carga o descarga. De hecho, los acumuladores actúan como pilas durante la descarga y como células electrolíticas durante la carga. La fuerza electromotriz que producen es pequeña, por lo que, se asocian varios acumuladores constituyendo una batería.

misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas³⁹:

- a) Almacenar energía durante un determinado número de días.
- b) Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- c) Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Uno de los parámetros más importantes que tener en cuenta a la hora de elegir un acumulador es la capacidad. Se define como la cantidad de electricidad que puede lograr-se en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en amperios hora (Ah), y se calcula como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que está actuando: $C = t I$.

Además de la capacidad, debemos considerar otros parámetros en los acumuladores que vamos a utilizar en las instalaciones fotovoltaicas:

³⁹ Componentes de una instalación fotovoltaica.pdf

Eficiencia de carga: relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Interesa que sea un valor lo más alto posible (próximo al 100 %, lo que indicaría que toda la energía utilizada para la recarga es factible de ser empleada en la salida de la instalación). Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.

Autodescarga: proceso mediante el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.

Profundidad de descarga: cantidad de energía, en tanto por ciento, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo del acumulador totalmente cargado. Está relacionada con la duración o vida útil del acumulador. Si los ciclos de descargas son cortos (en torno al 20 %, por ejemplo), la duración del acumulador será mayor que si se les somete a descargas profundas (por ejemplo, del 80 %).

Baterías para sistemas fotovoltaicos⁴⁰

Se usan en la mayoría dos diferentes tipos de baterías de plomo:

1. Baterías Liquidas son las más antiguas y su simple producción permiten precios favorables. Existen en **versión abierta** con tapas que dejan sustituir el agua o en **versión 'libre de mantenimiento'** que son cerradas, pero con válvulas para que posibles gases puedan escapar durante cargas excesivas (en la realidad no son libre de mantenimiento, son de bajo mantenimiento). Sus ventajas aparte de los precios es que son menos problemáticos si se sobrecargan. Las desventajas son que durante la carga escapa hidrógeno

⁴⁰ <https://deltavolt.pe/energia-renovable/baterias>

(explosivo), existe el peligro de perder el muy agresivo ácido, un control del nivel del agua es necesario (en las de 'libre mantenimiento' no se pueden sustituir el agua), y su corta vida típica de aproximadamente 400 ciclos de carga y descarga. Una ventilación es muy importante para estos tipos de batería y temperaturas bajo cero pueden destruirlas rápidamente.

2. Baterías tipo VRLA (abreviación del inglés: Valve Regulated Lead Acid battery). Estas baterías modernas tampoco son completamente selladas, pero contienen una tecnología que recombinan el oxígeno y hidrógeno que sale de las placas durante la carga y así eliminan la pérdida de agua si no son sobrecargadas. Estas baterías funcionan en cualquiera posición. Hay dos tipos principales: los de consistencia de Gel y los AGM, donde el ácido es fijado en fibra de vidrio (AGM - absorbed glass mat). Ambas se pueden usar en temperaturas bajas.

Baterías de Gel. En estas baterías 'selladas', el ácido tiene la forma de gel. Su gran ventaja es que ya no hay un líquido que se puede perder, son cerradas y funcionan en cualquier posición. La corrosión es reducida y son más resistentes a bajas temperaturas. Su vida es mucho mayor que la vida de las baterías líquidas y comparado con otras, son las menos afectadas en casos de descargas profundas. Las desventajas son una resistencia interna poco más alta que reduce el flujo máximo de la corriente, son algo más delicadas para cargar y llevan un precio mayor. Estas baterías, por su larga vida, se usan frecuentemente en la industria y la telecomunicación.

Baterías tipo AGM. En estas baterías, desarrolladas inicialmente para la aviación, el ácido está fijado en fibras de vidrio (a veces se llaman baterías

'secas' por su reducida cantidad de ácido). Cada vez más se usan en sistemas solares y eólicos. Sus ventajas son una alta resistencia en climas fríos, su auto descarga sobre el tiempo es mínimo y tiene la eficiencia más alta de todas las baterías de plomo (hasta 95%). Tienen una baja resistencia interna que permite corrientes altas. Desventaja, aparte del precio, es su vulnerabilidad más alta a descargas profundas. La vida puede variar considerablemente según calidad.

Queremos destacar que no existe *la* mejor batería. Hay que encontrar la batería óptima para cada solución.

Hay una tendencia de cada vez más usar las de tipo AGM por su buena relación de vida por precio y su manejo fácil con un peligro reducido. Las baterías tipo VRLA son las únicas del tipo plomo que se permite transportar en aviones.

Existen baterías líquidas tradicionales aptos para aplicaciones solares y eólicas de una excelente calidad con una vida extrema que se usan frecuentemente en operaciones de altas exigencias (un ejemplo son las **baterías tubulares OPzS** de Hoppecke que pueden alcanzar una vida de diseño hasta 25 años! Vea imagen a la izquierda).

En mercados con una oferta reducida, baterías de ciclo profundo que se usan en la minería o para carretillas elevadoras (montacargas) pueden ser una opción viable, donde el mejor precio puede justificar una vida algo menor.

Para alguien que siempre pueda asegurar la atención necesaria, una batería líquida tradicional puede ser una opción sobre todo considerando el precio.

Como sea, no podemos recomendar ahorrar en baterías. Baterías son el 'Talón de Aquiles' de cualquier sistema independiente de la red.



Figura N° 20: Baterías para sistemas fotovoltaicos⁴¹

Con la finalidad de obtener el voltaje y corriente eléctrica deseado para una instalación fotovoltaica se realiza el conexionado de baterías tal como se muestra en la siguiente figura

41

https://www.google.com/search?q=baterias+en+sisntemas+fotovoltaicos&safe=active&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjM8ILP6_jhAhXEc98KHepICggQ_AUIDigB&biw=1093&bih=461#imgsrc=ZHOi81q338IC_M:

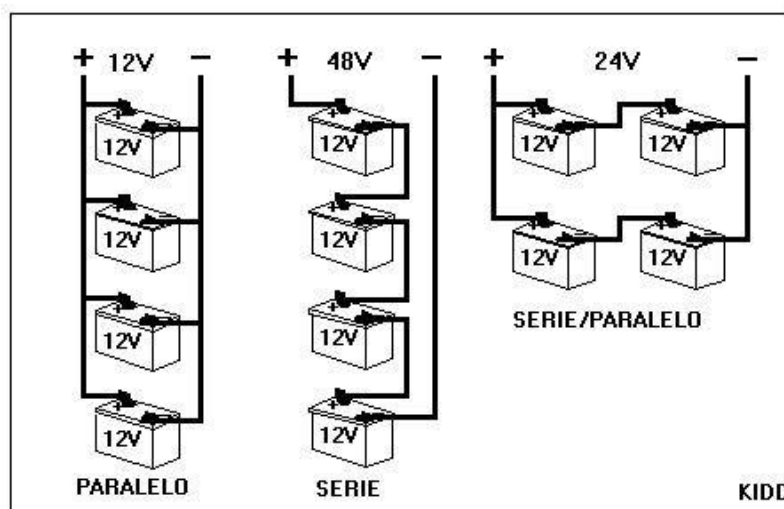


Figura N° 21: Conexiones de baterías⁴²

2.2.4.3. El Controlador⁴³

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

Tipos de controladores

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

Controlador (o regulador) PWM: Un regulador PWM (Modulación por anchura de pulsos) sólo dispone en su interior de un Diodo, por tanto el campo fotovoltaico funciona a la misma tensión que las baterías. La energía a un lado y al otro del regulador es la misma, con los valores de tensión y corriente iguales también.

⁴² <https://www.pinterest.com/pin/580542208189185239/>

⁴³ (Llauca Chozo, 2016)

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

El regulador PWM es capaz de llenar por completo la batería gracias a que introduce la carga de forma gradual, a pulsos de tensión, en la fase de flotación, fase de llenado último de la batería. Así, la corriente se va introduciendo poco a poco hasta que la batería se llena de manera óptima y estable. (Llauca Chozo, 2016).

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

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

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

Por tanto, en un regulador MPPT la energía que entra y sale del regulador es la misma, al igual que en los reguladores PWM, pero la tensión y la corriente son diferentes a un lado y a otro. Con ello se consigue aumentar la tensión del panel solar y aumentar la producción solar en hasta un 30% respecto a los reguladores PWM, aunque también son más caros los MPPT.

Características del Controlador de carga

Para definir o caracterizar completamente un Regulador se deben especificar:

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

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



Figura N° 22: Controladores para sistemas fotovoltaicos⁴⁴

2.2.4.4. El Inversor⁴⁵

El convertidor de corriente DC/AC, también llamado inversor u ondulator, es un dispositivo electrónico de potencia encargado de convertir la corriente continua (DC) proveniente de los generadores

⁴⁴ <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/que-controlador-de-carga-necesito-para-mi-instalacion-solar>

⁴⁵ <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

fotovoltaicos en corriente alterna (AC) para su consumo en la vivienda. Además, sincroniza la frecuencia de la corriente inyectada con la de la red, adaptándola a las condiciones requeridas según el tipo de carga, garantizando así la calidad de la energía vertida en la instalación eléctrica de la vivienda.

Los inversores vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada desde las baterías, la potencia máxima que puede proporcionar y su eficiencia o rendimiento de potencia. Este último se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega para su uso (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del sistema de baterías o de los generadores fotovoltaicos (potencia de entrada).

En general, los inversores en las instalaciones fotovoltaicas deben cumplir las siguientes exigencias:

Deberán ofrecer una eficiencia lo más alta posible que minimice las pérdidas. El rendimiento de potencia de los inversores (cociente entre la potencia activa de salida y la potencia activa de entrada), oscila entre el 90% y el 97%. El valor del rendimiento depende mucho de la potencia de entrada, que deberá ser lo más cercana, o incluso tratar que sea igual a la nominal de funcionamiento del inversor, dado que si varía mucho entonces el rendimiento del inversor disminuye sensiblemente.

Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas, como más adelante se verá.

Disponer de elementos que incorporen el rearme y desconexión automática del inversor.

Poder admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150% de su potencia máxima o nominal, con objeto de hacer frente a los picos de arranque que originan muchos electrodomésticos, como frigoríficos, lavadoras, etc., que van a demandar mayor potencia que la nominal en el momento de su puesta en marcha o arranque de sus motores.

Ofrecer una baja distorsión armónica y bajo autoconsumo.

Disponer de aislamiento galvánico.

Disponer de sistema de medida y monitorización.

Incorporar controles manuales que permitan el encendido y apagado general del inversor, y su conexión y desconexión a la interfaz AC de la instalación.

Volviendo a las protecciones que deben incorporar en sus funciones los inversores de corriente, éstas deberán ser las siguientes:

Protección contra sobrecargas y cortocircuitos, que permitirá detectar posibles fallos producidos en los terminales de entrada o salida del inversor.

Protección contra calentamiento excesivo, que permitirá desconectar el inversor si la temperatura del inversor sobrepasa un determinado valor umbral, y mantenerse desconectado hasta que el equipo no alcance una temperatura inferior preestablecida.

Protección de funcionamiento modo isla, que desconectará el inversor en caso que los valores de tensión y frecuencia de red queden fuera de unos valores umbrales que permitan un funcionamiento correcto.

Protección de aislamiento, que detecta posibles fallos de aislamiento en el inversor.

Protección contra inversión de polaridad, que permite proteger el inversor contra posibles cambios en la polaridad desde los paneles fotovoltaicos.

Por último, la envolvente o carcasa que protege el dispositivo inversor ofrecerá un grado de aislamiento de tipo básico clase 1 y un grado de protección mínima IP20 para aquellos inversores instalados en el interior de edificios y sean lugares inaccesibles, de IP30 para inversores situados en el interior de edificios y lugares accesibles, y con grado de protección mínima de IP 65 para inversores instalados a la intemperie.



Figura N° 23: Inversores para sistemas fotovoltaicos⁴⁶

⁴⁶ <https://www.elalmacensolar.es/9-inversores-aisladas>

2.2.4.5. Cables de conexión⁴⁷

Es el componente indispensable para el transporte de energía eléctrica entre los diferentes bloques del sistema fotovoltaico.

Como es inevitable que ocurra la pérdida de energía en forma de calor, debido a que la resistencia eléctrica del conductor nunca es nula, la elección de un cable conductor representa un compromiso entre un valor bajo de resistencia y el coste del mismo.

Dentro de la gama de materiales existentes, el cobre presenta una buena solución, al ser un material ligero, lo que favorece su empleo en instalaciones eléctrica.

La resistencia de un material conductor viene dada por la expresión

$$R = \frac{\rho L}{S} \dots (5)$$

Donde:

- R: representa el valor de la resistencia lineal en Ω y depende del material conductor y de la temperatura de trabajo que alcanza el conductor,
- L: la longitud del conductor en m,
- A: es el área de la sección del conductor en mm^2 ,
- ρ : resistencia del material,

La expresión anterior indica que para una longitud determinada, un aumento del diámetro significa una menor caída de voltaje en el cable (menor pérdida de energía). (Raboso López, 2013)

⁴⁷ (Raboso López, 2013)

Esto implica que en el diseño del cableado se deberán tener en cuenta las caídas de tensión producidas en los conductores debido a la resistencia de los mismos. Para ello las secciones de los cables utilizados en nuestra instalación, deben calcularse en función de la máxima caída de tensión recomendada. (Raboso López, 2013)

2.2.4.6. Aplicaciones de los sistemas solares fotovoltaicos⁴⁸

Un uso que lleva mucho tiempo siendo factible comercialmente es el uso de la energía solar para alimentar pequeños aparatos electrónicos, como calculadoras. En la figura siguiente se puede ver un ejemplo, a la izquierda una calculadora completamente autónoma, sólo necesita de energía solar para su funcionamiento y, a la derecha otra calculadora que tiene una batería de backup, para cuando la intensidad lumínica no sea suficiente para alimentar la calculadora. (Trujillo Serrano, 2010)



Figura N° 24: Calculadora solar⁴⁹

⁴⁸ (Trujillo Serrano, 2010)

⁴⁹ (Trujillo Serrano, 2010)

La aplicación en vehículos, puede ser de 2 tipos, por un lado, para alimentar los aparatos electrónicos que se encuentren en su interior ó para alimentar el motor que mueve el vehículo. Como ejemplo de lo primero, está el experimento que realizó el departamento de electrónica de la universidad de Jaén, colocando un sistema fotovoltaico autónomo para alimentar una UVI móvil. La conclusión fue que sólo tenía que recargarse en diciembre, cuando la radiación es menor. Aumentó, de este modo su autonomía, faltando sólo 1,5 Ah en el mes de diciembre. Además, este sistema sólo supuso un 2,5% del coste total del vehículo. (Trujillo Serrano, 2010)



Figura N° 25: UVI móvil con sistema fotovoltaico autónomo⁵⁰

El otro tipo de vehículos que incorporan un sistema fotovoltaico autónomo lo hacen para alimentar el motor que mueve el propio vehículo. Desde hace muchos años se han venido haciendo carreras, con distancias de miles de kilómetros, para demostrar que estos vehículos tienen cierta autonomía. Por

⁵⁰ (Trujillo Serrano, 2010)

ejemplo, en “The Global Green Challenge” los participantes recorren 3000 km. En esta competición se muestran otro tipo de vehículos ecológicos, por lo que se pueden comparar resultados de distintas tecnologías. Otra carrera, sólo para coches solares es “The american solar challenge” (Trujillo Serrano, 2010)



Figura N° 26: Coche de carrera solar⁵¹

Lejos de las carreras también hay vehículos que se mueven con energía solar, cómo el coche de golf que se muestra en la siguiente figura.



Figura N° 27: Coche de golf solar⁵²

⁵¹ (Trujillo Serrano, 2010)

⁵² (Trujillo Serrano, 2010)

También existen barcos solares, que no contaminan el mar y permiten pasear sin los molestos ruidos de un motor de combustión. Estos barcos son ya una realidad para su uso recreativo y, se está probando para transporte de viajeros y mercancías en distancias más largas, sobre todo en barcos híbridos. Para uso recreativo, se consigue, para el modelo “Solemar 60” una velocidad máxima de 6 nudos y, una autonomía de 150 horas con un generador fotovoltaico de 4,8 kW (ver siguiente figura). Sin embargo, el “Auriga Leader”, con un generador fotovoltaico de 40 kW, sólo genera el 0,3% de la energía necesaria para el motor y el 7% de la electricidad que necesita para iluminación y otros fines, ya que su peso es de más de 60000 toneladas. (Trujillo Serrano, 2010)



Figura N° 28: Barco de paseo solar⁵³

La utilización de sistemas fotovoltaicos autónomos en el espacio, es muy anterior a todas estas aplicaciones que se han expuesto anteriormente, ya en 1958 el satélite “Vanguard I” fue lanzado al espacio, con 2 transmisores de radio, uno alimentado por una batería, que funcionó durante sólo 20 días

⁵³ (Trujillo Serrano, 2010)

y, el otro alimentado por el sistema fotovoltaico (48 células de silicio), que estuvo operativo hasta 1964, cuando se cree que la circuitería del transmisor falló. Desde entonces, la gran mayoría de los satélites y vehículos espaciales incorporan un sistema fotovoltaico autónomo.

Estos sistemas tienen la ventaja respecto a los que se instalan en la tierra de que la radiación no depende de los ciclos día y noche. (Trujillo Serrano, 2010)



Figura N° 29: Satélite con paneles solares

Pero no sólo los satélites utilizan la energía solar para obtener la energía necesaria para su consumo, vehículos exploradores también la utilizan (ver figura siguiente). Este, concretamente, es de la misión Opportunity de la NASA en Marte. (Trujillo Serrano, 2010)



Figura N° 30: Vehículo explorador en la superficie de Marte⁵⁴

2.2.5. Software PVSYST

Es una herramienta que permite el estudio, la simulación y análisis de datos completa de los sistemas fotovoltaicos. Este software permite dimensionar el tamaño de las instalaciones teniendo en cuenta la irradiación solar que recibiría en función de su ubicación gracias a su base de datos meteorológica.

⁵⁴ (Trujillo Serrano, 2010)

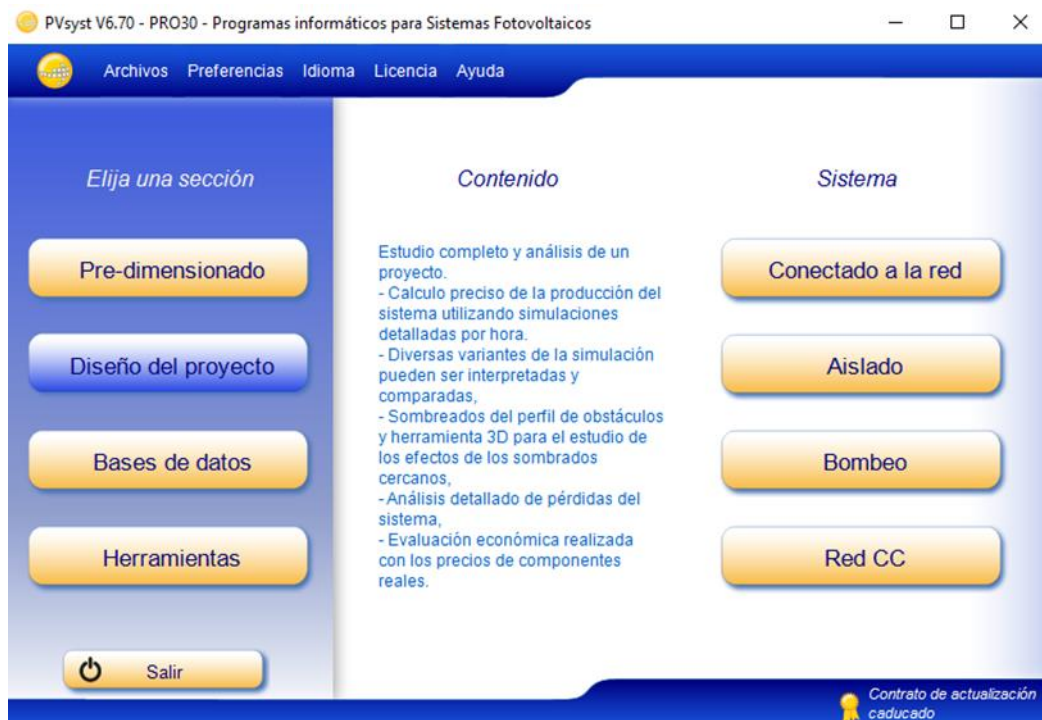


Figura N° 31: ventana de inicio al software⁵⁵

además de los dos tipos principales conectado a red y aislado. Incluye gran cantidad de opciones y permite modificar e incluir todos los datos necesarios para un estudio en detalle. Es una herramienta de pago, pero que se puede obtener gratis durante un periodo de un mes para poder probarla y después si no se adquiere una licencia funcionará en modo demostración, con algunas limitaciones.

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.

Baterías: Acumulan la energía que reciben de los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.

⁵⁵ Software PVSYST

Caja de Conexiones: Elemento donde las series de módulos fotovoltaicos son conectados eléctricamente, y donde puede colocarse el dispositivo de protección, si es necesario.

Célula Fotovoltaica: Unidad básica del sistema fotovoltaico donde se produce la transformación de la luz solar en energía eléctrica.

Central Fotovoltaica: Conjunto de instalaciones destinadas al suministro de energía eléctrica a la red mediante el empleo de sistemas fotovoltaicos a gran escala.

Contador: Un contador principal mide la energía producida (kWh) y enviada a la red, que pueda ser facturada a la compañía a los precios autorizados. Un contador secundario mide los pequeños consumos de los equipos fotovoltaicos (kWh) para descontarlos de la energía producida.

Controlador de Carga: Componente del sistema fotovoltaico que controla el estado de carga de la batería.

Convertidor Continuo - Continua: elemento de la instalación encargado de adecuar la tensión que suministra el generador fotovoltaico a la tensión que requieran los equipos para su funcionamiento.

Dimensionado: Proceso por el cual se estima el tamaño de una instalación de energía solar fotovoltaica para atender unas necesidades determinadas con unas condiciones meteorológicas dadas.

Efecto Fotovoltaico: Conversión directa de la energía luminosa en energía eléctrica.

Eficiencia: En lo que respecta a células solares es el porcentaje de energía solar que es transformada en energía eléctrica por la célula. En función de la tecnología y la producción técnica, éste varía entre un 5% y un 30%.

Fotón: Cada una de las partículas que componen la luz.

Fotovoltaico (FV): Relativo a la generación de fuerza electromotriz por la acción de la luz.

Generador: Conjunto de todos los elementos que componen una instalación fotovoltaica, necesarios para suministrar energía a las distintas aplicaciones. Transforma la energía del Sol en energía eléctrica y carga las baterías.

Inclinación: Ángulo que forma el panel fotovoltaico con una superficie perfectamente horizontal o a nivel.

Inversor: Transforma la corriente continua que suministran las baterías o los paneles en corriente alterna para su uso en diferentes electrodomésticos o aplicaciones, tanto en sistemas aislados como en sistemas conectados a red.

Kilovatio (kW): Unidad de potencia equivalente a 1000 vatios.

Módulo o Panel Fotovoltaico: Es el conjunto formado por las distintas células fotovoltaicas interconectadas, encapsuladas y protegidas por un vidrio en su cara anterior y por un marco por los laterales. El módulo está provisto de terminales para su conexión a la instalación.

Orientación: Ángulo de orientación respecto al Sur Solar de la superficie de un panel. El Sur geográfico (o real) no debe confundirse con el

magnético, que es el que señala la brújula, aunque en el caso de España la diferencia no suponga grandes desviaciones.

Punto de máxima potencia de un Panel: Potencia que suministra un panel fotovoltaico cuando el producto de la tensión por la intensidad es máximo.

Radiación Solar: Cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y tiempo determinados.

Rendimiento: Es la relación que existe entre la energía que realmente transforma en energía útil y la que requiere un determinado equipo para su funcionamiento.

Silicio: Elemento químico del que básicamente se componen las células de un panel solar. Es de naturaleza prácticamente metálica, gris oscuro y de excelentes propiedades semiconductoras.

Sistema Aislado o Remoto: Sistema fotovoltaico autónomo, no conectado a red. Estos sistemas requieren baterías u otras formas de acumulación. Suelen utilizarse en lugares remotos o de difícil acceso.

Sistema Conectado a Red: Sistema fotovoltaico en el que actúa como una central generadora de electricidad, suministrando energía a la red.

Vatio (W): Unidad de potencia eléctrica, que equivale a un julio por segundo.

Vatio Pico: Unidad de potencia que hace referencia al producto de la tensión por la intensidad (potencia pico) del panel fotovoltaico en unas condiciones estándares de medida

Voltaje: Anglicismo del término Tensión.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

a) La investigación es Aplicada: Pues utilizaremos los conocimientos relacionados con sistemas fotovoltaicos (energías no convencionales) para así solucionar el problema de la vida real, que sería la falta de suministro de energía eléctrica en el centro poblado San Marcos.

b) Investigación Descriptiva: Porque se describe la situación actual del centro poblado, sus características, problemas, situación económica.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental⁵⁶: Dicho en otras palabras, este tipo de investigaciones no manipula deliberadamente las variables que busca interpretar, sino que se contenta con observar los fenómenos de su interés en su ambiente natural, para luego describirlos y analizarlos sin necesidad de emularlos en un entorno controlado. Quienes llevan a cabo investigaciones no experimentales cumplen más que nada un papel de observadores. En este caso estudiaremos a la población del centro poblado San Marcos sin manipular sus variables.

⁵⁶ <https://concepto.de/investigacion-no-experimental/>

3.2. Población y muestra

Población

La población está dada por las 30 unidades de vivienda del centro poblado San Marcos en el distrito de Lambayeque perteneciente a la provincia de Lambayeque.

Muestra

La población está dada por las 30 unidades de vivienda del centro poblado San Marcos en el distrito de Lambayeque perteneciente a la provincia de Lambayeque..

3.3. Hipótesis

Tenemos la irradiación solar suficiente para que con un sistema de microgeneración fotovoltaica se logre satisfacer la demanda de energía del centro poblado San Marcos en el distrito de Lambayeque.

3.4. Variables - Operacionalización

X: Variable independiente

Irradiación solar

Y: Variable dependiente

Energía eléctrica

Tabla N° 3: Operacionalización de variables

<i>Variables</i>	<i>Definición Conceptual</i>	<i>Definición Operacional</i>	<i>Indicadores</i>
Energía solar	La energía solar es una fuente de energía renovable que se obtiene del sol y con la que se pueden generar calor y electricidad. Existen varias maneras de recoger y aprovechar los rayos del sol para generar energía que dan lugar a los distintos tipos de energía solar : la fotovoltaica (que transforma los rayos en electricidad mediante el uso de paneles solares), la fototérmica (que aprovecha el calor a través de los colectores solares) y termoeléctrica (transforma el calor en energía eléctrica de forma indirecta) ⁵⁷ .	Obtener la data de irradiación solar	Irradiación (kWh/m ² /día)
energía eléctrica	El sistema de suministro eléctrico comprende el conjunto de medios y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica. Este conjunto está dotado de mecanismos de control, seguridad y protección ⁵⁸ .	Energía eléctrica promedio diario. Máxima demanda.	Energía promedio diaria (kWh) Máxima demanda (kW)

Fuente: elaboración a partir de conceptos

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

Las técnicas que se aplicaron fueron:

a) Observación directa

Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis. La observación es un elemento fundamental de todo proceso investigativo; en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos. Gran parte del acervo de conocimientos que constituye la ciencia ha sido lograda mediante la observación⁵⁹.

⁵⁷ <https://twenergy.com/energia/energia-solar>

⁵⁸ https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_suministro_el%C3%A9ctrico

⁵⁹ <http://www.rrppnet.com.ar/tecnicasdeinvestigacion.htm>

Entonces con esta técnica se obtuvo información de la situación problemática del centro poblado San Marcos en el distrito de Lambayeque.

b) La Entrevista

Es una técnica para obtener datos que consisten en un diálogo entre dos personas: El entrevistador "investigador" y el entrevistado; se realiza con el fin de obtener información de parte de este, que es, por lo general, una persona entendida en la materia de la investigación⁶⁰. Con la entrevista se puede recopilar información del número de habitantes por vivienda, el número de equipos que podría utilizar en caso de haber energía eléctrica.



Figura N° 32: Entrevistando a un habitante del centro poblado San Marcos⁶¹

⁶⁰ <http://www.rrppnet.com.ar/tecnicasdeinvestigacion.htm>

⁶¹ Fuente: fotografía tomada por el autor

c) Análisis de contenido

Se recopiló información sobre sistemas fotovoltaico aislados y simulación en el software PVSYST: tesis, revistas libros, etc.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

En la siguiente tabla se resume los instrumentos en base a la técnica que se va a utilizar.

Tabla N° 4: Tecnicas e instrumentos⁶²

Técnicas	Instrumentos
Observación directa	Cuaderno de apuntes, cámara fotográfica.
Análisis de contenido	Libros, tesis, revistas, páginas web de internet
Entrevista	Cuaderno de apuntes.

3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

Luego de recopilar datos del centro poblado San Marcos en el distrito de Lambayeque (datos primarios) y datos de irradiación solar se calculó la máxima demanda y la energía promedio proyectada luego se dimensiona el sistema fotovoltaico con el método del peor mes y por último se dimensiona y se simula un sistema fotovoltaico con el software PVSYST, se procede a comparar ambos resultados para seleccionar la alternativa con mejores resultados .

Los datos recopilados se han organizado en tablas y gráficas de barras y son procesados utilizando el MS Excel 2019.

⁶² Fuente. Elaboracion propia

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de la investigación

Debido a la realidad problemática existente en el centro poblado San Marcos y con el propósito de mejorar la calidad de vida de los habitantes del centro poblado se propone un sistema de microgeneración de energía eléctrica fotovoltaico (la irradiación solar es mayor⁶³ a 4 kWh/m², por lo que lo hace aplicable este tipo de energía no convencional).

Debido a que las viviendas están relativamente próximas se ha considerado una red de distribución secundaria en la cual los nuevos pobladores simplemente pueden solicitar su conexión a la red eléctrica.

Se realizará un comparativo entre el método del peor mes y el dimensionamiento y simulación con el software PVSYST, con lo cual se realizará un comparativo.

El sistema de microgeneración fotovoltaica que se propone estará conformado por los siguientes equipos:

a) Generador Fotovoltaico: Se propone trabajar con paneles fotovoltaicos de la marca YINGLI SOLAR por ser de una marca reconocida y el número de estos paneles se calculará teniendo en cuenta que deben proporcionar la energía necesaria para el consumo.

63

https://power.larc.nasa.gov/downloads/POWER_SinglePoint_Climatology_06d72S_79d98W_44007259.txt

b) El controlador de carga: Se propone usar controladores de la marca STUDER VARIO TRACK los cuales son controladores MPPT, el número de controladores se calculará teniendo en cuenta la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico.

c) La batería: Se considera trabajar con baterías de la capacidad de las baterías se obtendrá teniendo en cuenta la energía de la carga, el número de días de autonomía y la profundidad de descarga de las baterías.

d) El convertidor o inversor: Con la finalidad de pasar los 48 V en CD a 220 V en alterna que es la que necesitan las unidades de viviendas.

e) Sistema de distribución en 220 V:

Se considera la red de distribución secundaria debido a que la distancia relativa entre viviendas es mínima, esta red hará posible el transporte de energía eléctrica desde el sistema de microgeneración fotovoltaica a cada una de las viviendas del centro Poblado San Marcos.



Figura N° 33: Flujograma para el desarrollo de la propuesta⁶⁴

⁶⁴ Fuente: elaboracion propia

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Cálculo de la energía promedio diaria proyectada y máxima demanda

5.1.1. Energía promedio proyectada

Para calcular la energía proyectada iniciaremos obteniendo los datos de la tasa de crecimiento poblacional y así proyectar el número de viviendas el tiempo de proyección será de 20 años (vida útil de los paneles fotovoltaicos).

Tabla N° 5: Tasas de crecimiento en el departamento de Lambayeque⁶⁵

Departamento	1940-1961	1961-1972	1972-1981	1981-1993	1993-2007	2007-2017
Total	2,2	2,9	2,5	2,2	1,5	0,7
Amazonas	2,9	4,6	3,0	2,4	0,8	0,1
Áncash	1,5	2,0	1,4	1,2	0,8	0,2
Apurímac	0,5	0,6	0,5	1,4	0,4	0,0
Arequipa	1,9	2,9	3,2	2,2	1,6	1,8
Ayacucho	0,6	1,0	1,1	-0,2	1,5	0,1
Cajamarca	2,0	1,9	1,2	1,7	0,7	-0,3
Prov. Const. del Callao	4,6	3,8	3,6	3,1	2,2	1,2
Cusco	1,1	1,4	1,7	1,8	0,9	0,3
Huancavelica	1,0	0,8	0,5	0,9	1,2	-2,7
Huánuco	1,6	2,1	1,6	2,7	1,1	-0,6
Ica	2,9	3,1	2,2	2,2	1,6	1,8
Junín	2,1	2,7	2,2	1,6	1,2	0,2
La Libertad	2,0	2,8	2,5	2,2	1,7	1,0
Lambayeque	2,8	3,8	3,0	2,6	1,3	0,7
Lima	4,4	5,0	3,5	2,5	2,0	1,2
Loreto	2,8	2,9	2,8	3,0	1,8	-0,1
Madre de Dios	5,4	3,3	4,9	6,1	3,5	2,6
Moquegua	2,0	3,4	3,5	2,0	1,6	0,8

⁶⁵ https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1530/libro.pdf

De la Tabla N° 5 la tasa de crecimiento es de 2,37 % debido a la vida útil de los paneles fotovoltaicos, usaremos la ecuación (6)

$$P_{20} = P_0(1 + i)^n \dots (6)$$

Donde:

Po: Población actual (112 habitantes)

P₂₀ : Población proyectada al año 20

i: Taza de crecimiento poblacional (2,37%)

Reemplazando los datos obtenemos:

$$P_{20} = 112(1 + 0,0230)^{20} \approx 177 \text{ personas}$$

Considerando que el número de habitantes se mantiene el tiempo y por lo tanto el número de viviendas es la que aumenta entonces haciendo una regla de tres obtenemos que el número viviendas proyectados es de 48 viviendas

Tabla N° 6: Consumo de energía eléctrica diaria para vivienda

Equipo	Potencia (W)	N° horas de uso (h)	Energía (Wh/día)	potencia (W)
Lámparas	9	4	144	36
Radio	12	5	60	12
Televisor	60	3	180	60
Carga de celular	5	2	10	5
consumo			394	113

fuentes: elaboración propia

Entonces elaboramos la Tabla siguiente en el que se consideran las 48 viviendas.

Tabla N° 7: Consumo de energía eléctrica para el centro poblado San Marcos

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	N° horas de uso (h)	Energía (Wh/día)	potencia (W)
Lámparas	192	9	4	6912	1728
Radio	48	12	5	2880	576
Televisor	48	60	3	8640	2880
Carga de celular	48	5	2	480	240
consumo				18 912	5424

fuelle: elaboración propia

Se considera una lampara de vapor de sodio de 50 W con 10 W de perdidas en total 60 W, el cual se encontrara ubicado el sistema fotovoltaico con 4h de uso diario.

Tabla N° 8: Consumo diario de energía eléctrica⁶⁶

Sector	Energía demandada al día (Wh/día)
Consumo para viviendas	18 912
Alumbrado publico	240
TOTAL, DIARIO	19 152

De la Tabla N° 08 se observa que el consumo total es de 19, 152 kWh/día

La máxima demanda se considerará igual a la potencia instalada= 5,424

kW

⁶⁶ Fuente: elaboracion propia

5.2. Irradiación Solar en el centro poblado San Marcos

Atlas de energía solar del Perú: Se obtuvo un intervalo en el cual varía la radiación solar, para el departamento de Lambayeque⁶⁷, observamos que la radiación solar más desfavorable varía entre 4,0 kWh/m²/día y 5,0 kWh/m²/día por lo que se considerará el valor promedio de 4,50 kWh/m²/día.

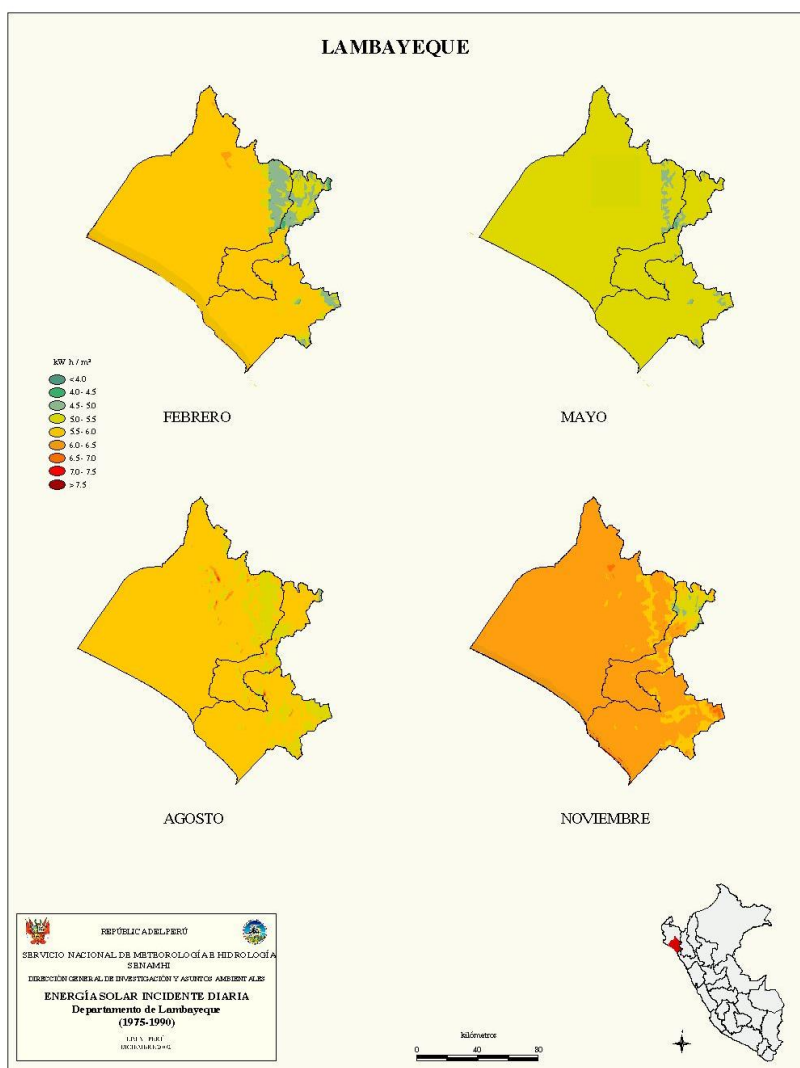


Figura N° 34: irradiación solar en Lambayeque⁶⁸

⁶⁷ SENAMHI. (2003). *Atlas de energía solar del Perú*.

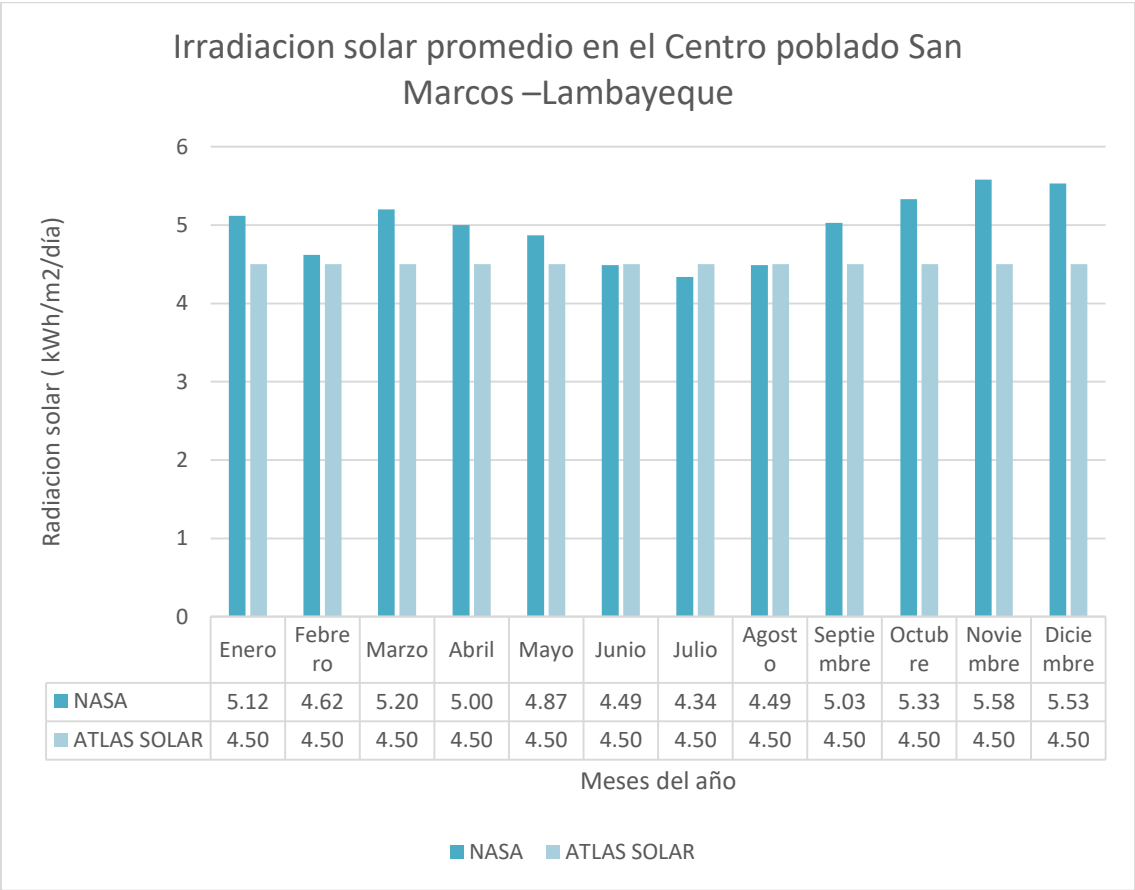
⁶⁸ <https://deltavolt.pe/phocadownload/Lambayeque.jpg>

Consultando la página web de la NASA la cual brinda información de la radicación solar promedio mensual evaluado en un periodo de 22 años, ingresando los datos de latitud y longitud



Figura N° 35: Ingreso de datos a la página⁶⁹ de la NASA

Figura N° 36: Datos de irradiación solar⁷⁰ en el centro poblado San Marcos



⁶⁹ <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

⁷⁰ Elaborado a partir de los datos de las fuentes

De la tabla anterior el mes crítico es julio con una irradiación de 4,34 kWh/m²/día.

5.1. Cálculo del sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico debe ser capaz de suministrar 19,152 kW.h al día. Para el cálculo del generador fotovoltaico hay que considerar las pérdidas ocasionadas en el inversor, controlador, batería de acumuladores, pérdidas de potencia por efecto joule en los conductores, no trabajar en el punto de máxima potencia de los módulos fotovoltaicos, etc. Se considera un rendimiento global (F) de: 0,6 (Castejon, 1998). Entonces la potencia pico del generador fotovoltaico debe ser de:

Potencia del generador fotovoltaico(kWp)

$$= \frac{\text{Energía fotovoltaica}}{0,6 \times HSP} \dots (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Potencia del generador fotovoltaico(Wp)} &= \frac{19\,152\,W.h}{0,6 \times 4,34} \\ &= 7\,354,84\,Wp \end{aligned}$$

Capacidad del banco de baterías

La capacidad del banco de baterías se calcula con la siguiente ecuación

$$C_{bat} = (N_{autonomia} \times E_{entregado\ a\ la\ carga}) / (P_D \times V_T) \dots (8)$$

Donde:

C_{bat} = Capacidad mínima del banco de baterías, expresada en Ah.

$N_{autonomia}$ = Número de días de autonomía =2.

P_D = Profundidad de descarga de la batería =0,8.

$$V_T = 48 \text{ V.}$$

$$C_T = \frac{(2 \times 19\,152)}{0,8 \times 48} = 997,50 \text{ A.h}$$

Proponemos el uso de baterías ROLLS de 290 A.h, 12 V (ANEXO 01)



Figura N° 37: Batería ROLLS⁷¹ de 290 Ah

El número de baterías que deben conectarse en serie:

$$N_{\text{baterías-serie}} = \frac{48}{12} = 4 \text{ baterías}$$

El número de baterías que deben conectarse en paralelo

$$N_{\text{ramas batería-paralelo.}} = C_{\text{Baterías}} / C_{\text{bat.}} \dots (9)$$

$C_{\text{bat.}}$ = Capacidad individual de una batería (Ah).

$$N_{P \text{ bat.}} = 997,50 / 290$$

$$N_{P \text{ bat.}} = 3,44 \approx 4$$

Luego el número total de baterías es de 16

⁷¹ <http://www.rollsbattery.com/battery/s12-290agm/?pdf=7986>

Se usara 16 baterias ROLLS de 290 A.h

Número de paneles fotovoltaicos

Se propone el uso de paneles de la marca Yingli Solar de 220 Wp, 24 V
(ver ANEXO 02) entonces

$$\text{Numero de paneles} = \frac{\text{Potencia del generador fotovoltaico}}{\text{Potencia del panel propuesto}} \dots (10)$$

$$\text{Numero de paneles} = \frac{7\,354,84 \text{ Wp}}{220 \text{ Wp}} = 33,43 \approx 34$$

Se usaran 34 paneles fotovoltaicos Yingli Solar de 220 Wp

Figura N° 38: Paneles fotovoltaicas YINGLI SOLAR⁷² de 220 Wp

Capacidad del regulador

La máxima corriente eléctrica que circulara por el controlador esta dado por la siguiente ecuación.

$$\text{Capacidad del regualdor (A)} = 1,25 \times I_{sc} \times N_{\text{ramas-paralelo}} \dots (11)$$

$$\text{Capacidad del regualdor (A)} = 1,25 \times 8,15 \times 17 = 173,19 \text{ A}$$

Se usara 03 controladores STUDER VARY TRACK de 65 A

⁷² https://autosolar.pe/pdf/waaree_200w_24v.pdf



Figura N° 39: Controlador STUDER VARIO TRACK⁷³

Dimensionamiento del inversor

Para el dimensionamiento del inversor usaremos la siguiente ecuación

$$Potencia\ del\ inversor = \frac{Maxima\ demanda\ de\ la\ carga}{eficiencia\ del\ inversor} \dots (12)$$

$$Potencia\ del\ inversor = \frac{5\ 484\ W}{0,88} = 6\ 231,81\ W$$

Se usara 1 inversor Must Solar de 8 kW

Angulo óptimo de inclinación:

El ángulo de inclinación óptimo de los paneles fotovoltaicos fijos se calcula con la siguiente ecuación

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-Latitud|) \dots (13)$$

⁷³ <https://www.merkasol.com/Regulador-Solar-Studer-MPPT-VT-80>

sabiendo que la latitud es de: -6.716923 luego el ángulo óptimo es de 8.33°, consideraremos 10°.

5.2. Dimensionamiento del sistema con PVSYST

Para iniciar debemos seleccionar el tipo de instalación que queremos simular y definir el nombre del proyecto, entonces en la pantalla de inicio seleccionamos Diseño del proyecto y se muestran en la pantalla las opciones siguientes:

- a) Conectado a red.
- b) Aislado.
- c) Bombeo.

La opción elegida es Aislado. La imagen de a continuación muestra como aparece en el propio programa



Figura N° 40: Página principal⁷⁴ de PVSYST

⁷⁴ Software PVSYST

Dentro de este menú del PVSYST se elegirá la opción Aislado para llenar los datos del proyecto



Figura N° 41: selección del tipo de sistema fotovoltaico⁷⁵

Se ingresa un nombre al proyecto tal como se observa en la Figura N° 42

⁷⁵ Software PVSYST

Proyecto: ISAAC.PRJ

Proyecto Lugar Variante

Designación del proyecto

N. archivo: **ISAAC.PRJ** Nombre proyecto: **MICROGENERACION FOTOVOLTAICA**

Site File: **SAN MARCOS_Nasa_1983.SIT** Base del satélite NASA-SEE, 1983-2005 Peru

Archivo Clima: **SAN MARCOS_Nasa_SYN.MET** Base del satélite NASA-SEE, 1983-2005 Síntesis 0 km

The orientation is not defined.

Meteo database

Parámetro del Proyecto

Variante del sistema (calculation version)

N° Variante: **VC0** : Nueva variante de simulación

Input parameters

Mandatory

Orientación

Necesidades usuario

Sistema

Pérdidas detalladas

Opcional

Perfil obstáculos

Sombras cercanas

Economic eval.

Simulación

Run Simulation

Advanced Simul.

Informe

Resultados detallados

Results overview

System kind	Stand-alone system
Producción del Sistema	0.00 kWh/a
Specific production	0.00 kWh/kWp/a
Factor de rendimiento	0.00
Producciones normalizadas	0.00 kWh/kWp/día
Pérdidas generador	0.00 kWh/kWp/día
Pérdidas sistema	0.00 kWh/kWp/día

System overview

Salir

Figura N° 42: Datos del proyecto⁷⁶

Ingresamos la ubicación en términos de latitud y longitud

⁷⁶ Software PVSYS

Geographic site parameters for SAN MARCOS_Nasa_1983.SIT

Geographical Coordinates | Climatología Mensual | Mapa interactivo

Lugar del proyecto

Ubicación

Nombre del lugar: SAN MARCOS

País: Peru Región: América del Sur

Coordenadas Geográficas

Trayectorias del sol

	Decimal	Deg.	min.	
Latitud	-6.72	[*]	-6	43 (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)
Longitud	-79.89	[*]	-79	53 (+ = Este, - = Oeste Greenwich)
Altitud	18			Metros sobre el nivel del mar
Huso horario	-5.0			Corresponde a una diferencia media

Hora Legal - Hora Solar = 0h 20m

Importación Clima

☐ Meteororm 7.1

☒ NASA-SSE

Importar

Cuadro E/S (Excel)

Importar

Exportar línea

Exportar tabla

Nuevo lugar Imprimir Cerrar

Figura N° 43: Ingreso de los datos de ubicación geográfica⁷⁷ del centro poblado San Marcos

El siguiente paso es elegir la inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos y para ello vamos a considerar el resultado realizado con el método del mes crítico y vamos ajustando el ángulo de tal manera que las perdidas sean lo más próximo a 0,0 % (ver Figura N° 44) Resulta que el ángulo de inclinación debe ser de 15°

⁷⁷ Software PVSYST

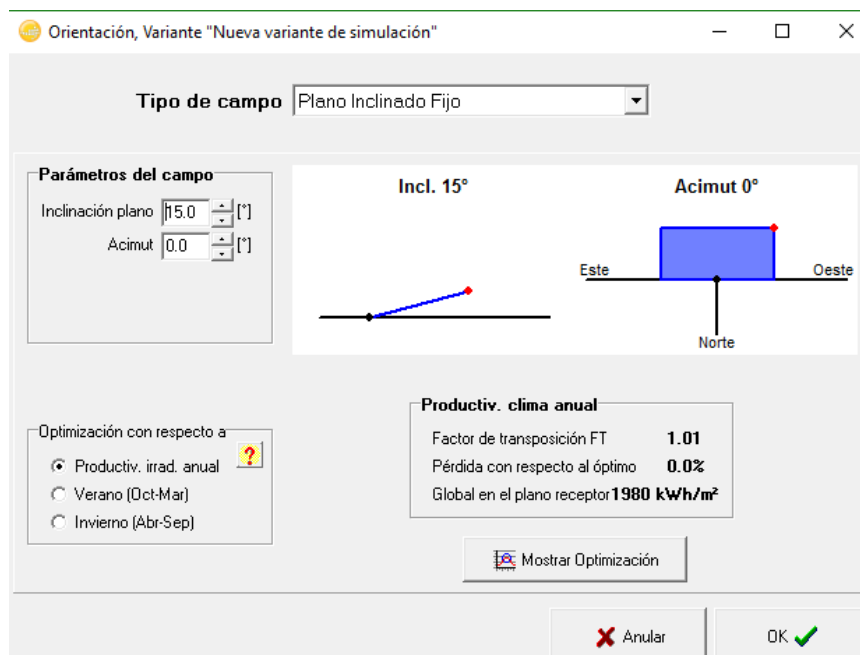


Figura N° 44: Angulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos⁷⁸

A continuación, se introducen los consumos del sistema dependiendo de las cargas que se contengan en el centro poblado San Marcos tal como se muestra en la Figura N° 45

⁷⁸ Software PVSYST

Daily use of Energy, Variant "Nueva variante de simulación"

Definition of Daily Household consumptions, year

Consumptions | Hourly distribution

Daily consumptions

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy
192	Lamps (LED or fluo)	9 W/lamp	4.0 h/day	OK	6912 Wh
48	TV / PC / Mobile	60 W/app.	3.0 h/day	OK	8640 Wh
48	Electrodomésticos	5 W/app.	2.0 h/day	OK	480 Wh
0	Frigorífico/Congelador	0.00 kW/h/day	0.0 h/day		0 Wh
0	Dish- & Cloth-washers	0.0 W aver.	0.0 h/day		0 Wh
1	Otras utilizations	60 W/app.	4.0 h/day	OK	240 Wh
48	Otras utilizations	12 W/app.	5.0 h/day	OK	2880 Wh
Stand-by consumers		0 W tot	24 h/day		0 Wh
Total daily energy					19152 Wh/day
Total monthly energy					574.6 kWh/month

Appliances info

Consumption definition by

☒ Year ☐ Seasons ☐ Months

Week-end or Weekly use

☐ Use only during

☒ 7 days in a week

Model

Load Save

Other profile Cancel OK

Figura N° 45: Ingreso de los artefactos electrodomésticos y sus potencias⁷⁹

En "sistema" seleccionamos LOL (perdida de carga admisible) del 1 % y 2 días de autonomía los días de autonomía, por último, la tensión del sistema en CD que es de 48 V, tal como se muestra en la siguiente figura

Specified User's needs | Pre-sizing suggestions | System summary

Av. daily needs : Enter accepted LOL 1.0 % ?

19.2 kWh/day Enter requested autonomy 2.0 day(s) ?

Battery (user) voltage 48 V ?

Suggested capacity 939 Ah

Suggested PV power 5.81 kWp (nom.)

Detailed pre-sizing

Figura N° 46: Configuración de los días de autonomía, pérdida de carga y tensión del sistema⁸⁰


Luego ingresamos los datos de los equipos seleccionados

⁷⁹ Software PVSYST

⁸⁰ Software PVSYST

Specify the Battery set

Sort Batteries by: ☒ voltage ☐ capacity ☐ manufacturer

Rolls: 12 V 234 Ah Pb Sealed AGM S12-290 AGM  Open

Pb-ácido

4 ☒ Batterys in serie Number of batteries **16**

4 ☒ Batterys in parallel Number of elements **96**

Battery pack voltage **48 V**

Global capacity **936 Ah**

Stored energy (80% DOD) **35.9 kWh**

Total weight **1251 kg**

Nb. cycles at 50% DOD **1300**


Total stored energy during the battery life **31528 kWh**

Figura N° 47: Especificaciones de la batería elegida⁸¹

Seleccionaremos el panel fotovoltaico YINGLI Solar de 220 Wp

Select the PV module

Todos los módulos Sort modules by: ☒ power ☐ technology

Yingli Solar 220 Wp 24V Si-poly YL220P-29b Until 2013 Manufacturer 200  Open

Sizing voltages: Vmpp (60°C) **24.3 V**

Voc (-10°C) **41.1 V**


Figura N° 48: Especificaciones del módulo fotovoltaico⁸²

Select the control mode and the controller

☒ Universal controller Studer MPPT power converter

Max. Charging - Discharging current

Operating mode: ☒ Direct coupling ☒ MPPT converter ☐ DC-DC converter

MPPT 5.00 kW 48 V 80 A 80 A VarioTrack VT80 - 48V  Open

Number of controllers 1 ☒ MPP Operating voltage **54-145 V** Controller's power **5.00 kW**

Input maximum voltage **150 V** Associated battery **48 V**

PV Array design

Number of modules and strings

Mod. in serie 3 ☒ Between 3 and 3 should be :

Nb. strings 9 ☐ Between 8 and 11

Overload loss **0.0 %**

Pnom ratio **1.19**

Nb modules **27** Area **44 m²**

Operating conditions :

Vmpp (60°C) 73 V

Vmpp (20°C) 89 V

Voc (-10°C) 123 V

Plane irradiance **1000 W/m²**

Imp (STC) 68.6 A

Isc (STC) 74.4 A

Isc (at STC) 73.4 A

Max. operating power **5.3 kW**

en 1000 W/m² y 50°C

Array's nom. power (STC) **5.9 kWp**



 Cancel  OK

Figura N° 49: Especificaciones del controlador⁸³

Luego de ingresar lo datos presionamos Run Simulation tal como se muestra en la siguiente Figura N°50

⁸¹ Software PVSYS

⁸² Software PVSYS

⁸³ Software PVSYS

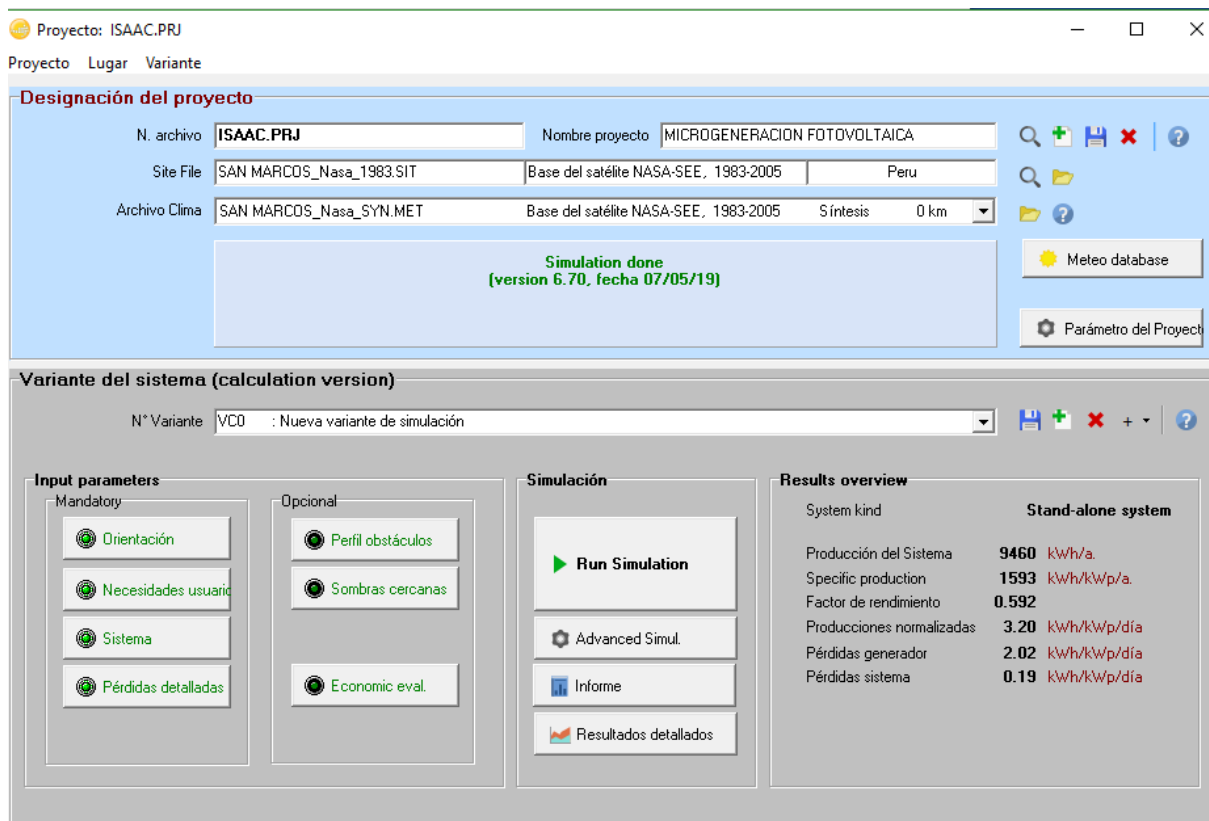


Figura N° 50: Software con todos los datos ingresados⁸⁴

5.2.1. Resultados de la simulación

En la Figura N° 51 que se muestra a continuación. En ella se muestra la energía que no es entregada a las cargas, franja azul de las barras, las pérdidas en el generador, franja morada de las barras, las pérdidas en la batería, franja verde, y la energía entregada a las cargas, franja roja.

⁸⁴ Software PVSYS

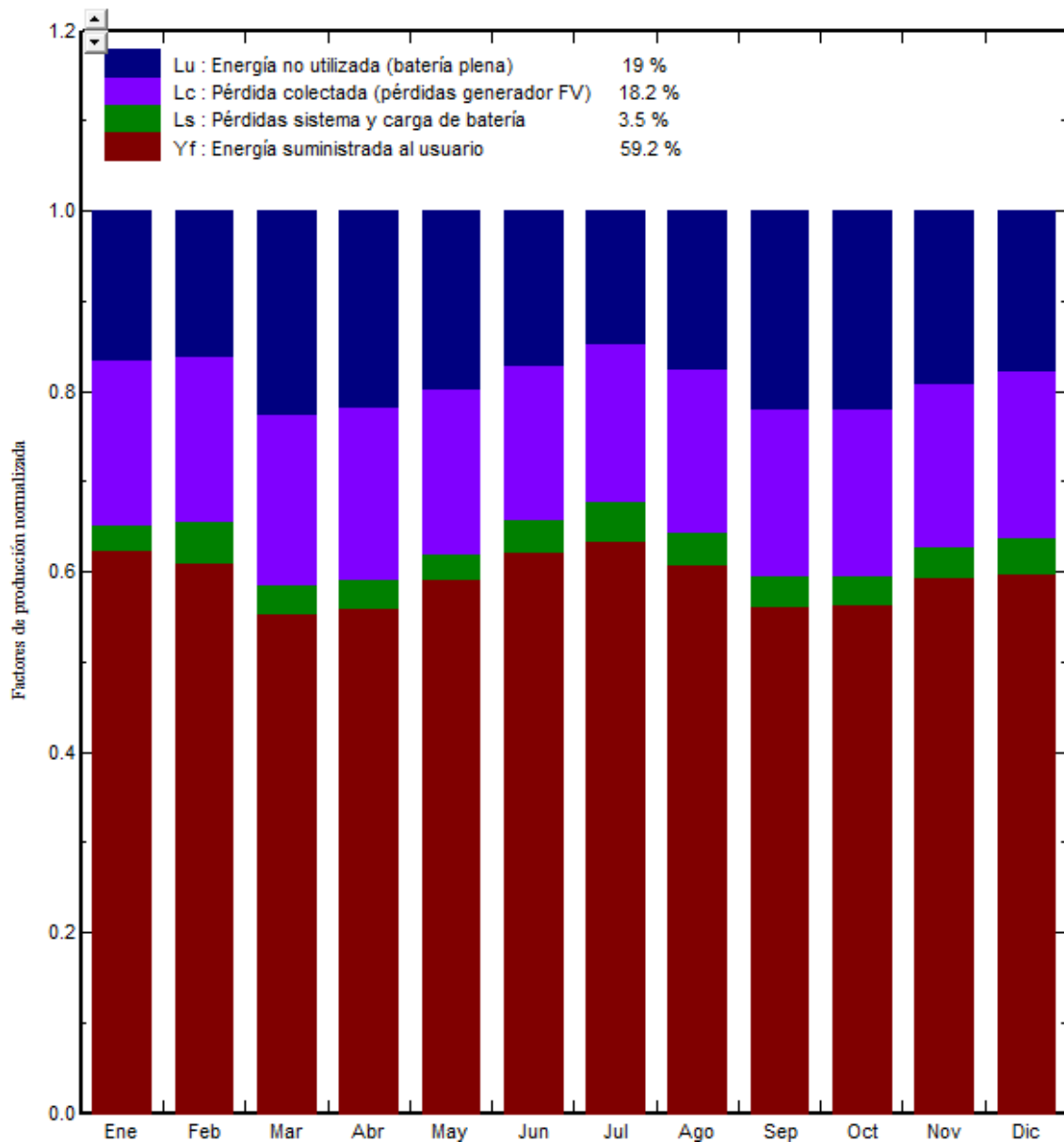


Figura N° 51: Factores de pérdidas del sistema

Seguidamente en la Figura N° 52 se muestra el Performance ratio. Se presenta a continuación el PR de la instalación, barras rojas de la imagen y la relación entre energía solar disponible y consumo (SF). De este resultado podemos corroborar las recomendaciones hechas en el libro de instalaciones solares fotovoltaicas (Agustin Castejon). El cual recomienda utilizar un factor de rendimiento global de 0,6 para los cálculos.

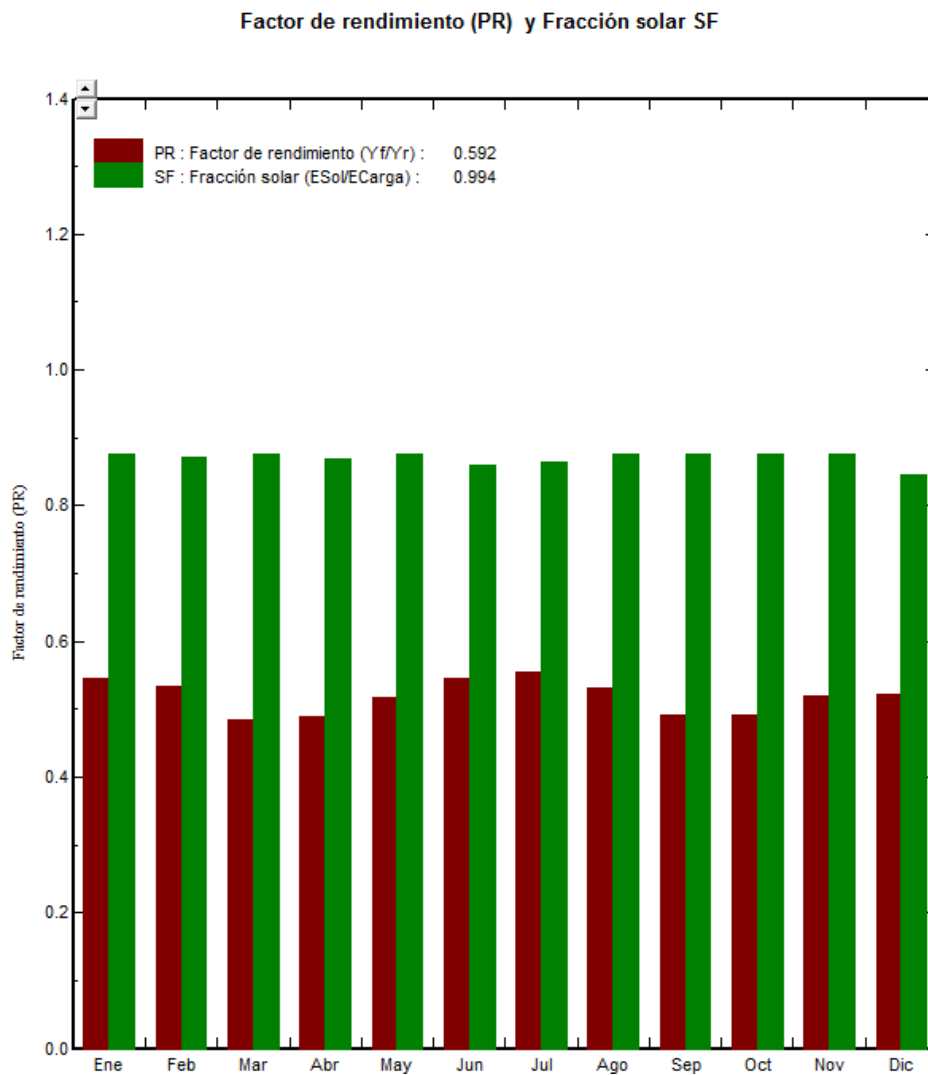


Figura N° 52: Utilización de la energía

Otra gráfica importante donde se muestran sus resultados de forma muy esquemática los distintos porcentajes de pérdidas del sistema. Analizándolo, se puede optimizar el sistema para que éstas sean mínimas. Estas pérdidas vienen desglosadas en distintos apartados dentro del mismo esquema, que vienen clasificadas por pérdidas de radiación, por la inclinación y orientación de los paneles principalmente; pérdidas en el generador, temperatura, impedancia de los cables...; y, por último, las pérdidas en el sistema de acumulación.

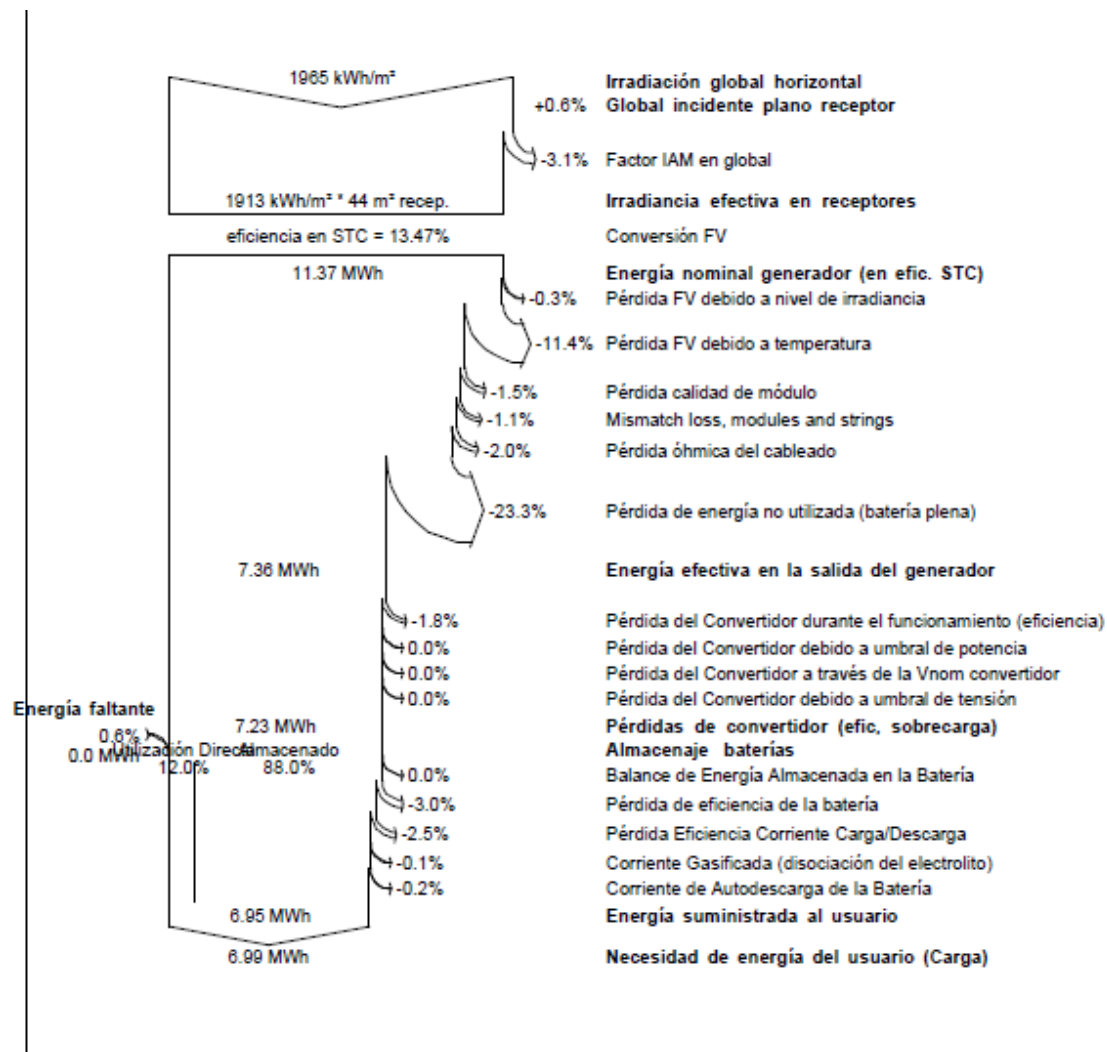


Figura N° 53: Diagrama de pérdidas en el sistema

5.2.2. Comparación entre el método del peor mes y PVSYST

Con los datos obtenidos por el software se hará una comparación del error relativo porcentual entre el obtenido por el método del peor mes tomando como base los resultados de PVSYST

Tabla N° 9: Comparación entre los resultados del método del peor mes y PVSYST

	Método del mes peor	PVSYST	Error relativo porcentual
Paneles fotovoltaicos	34	27	26 %
Baterías	16	16	0 %

Fuente: elaboración a partir de los resultados de PVSYST

De la Tabla N° 9, hay un mayor número de paneles por el método del peor mes que utilizando el software PVSYST esto debido a que el cálculo se hace con la menor irradiación mientras que con el software se considera las variaciones a lo largo del año. Con respecto del banco de baterías el número de ellas obtenido por ambos métodos no cambia.

5.2.3. Cálculo de los conductores eléctricos de interconexión

Para el cálculo de los conductores eléctricos se ha escogido el de la marca INDECO del tipo NH-80 el cual tiene aislamiento de compuesto termoplástico no halogenado HFFR, es retardante a la llama, baja emisión de humos tóxicos y libre de halógenos⁸⁵.

Se empleará la siguiente ecuación:

$$S_{CABLE} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V} \dots (14)$$

Donde:

S_{CABLE} = Sección mínima recomendada [mm^2].

⁸⁵ <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1000418.pdf>

L = Longitud tramo [m].

I = Corriente para cada tramo de la instalación [A].

ΔV = Caída máxima permitida para cada tramo [V].

Tabla N° 10: Conductores electricos⁸⁶



TABLA DE DATOS TECNICOS NH - 80

CALIBRE CONDUCTOR	N° HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
1.5	7	0.52	1.50	0.7	2.9	20	18	14
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	31	30	24
4	7	0.84	2.44	0.8	4.0	46	35	31
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	65	50	39
10	7	1.33	3.99	1.0	6.0	110	74	51
16	7	1.69	4.67	1.0	6.7	167	99	68
25	7	2.13	5.88	1.2	8.3	262	132	88
35	7	2.51	6.92	1.2	9.3	356	165	110
50	19	1.77	8.15	1.4	11.0	480	204	138
70	19	2.13	9.78	1.4	12.6	678	253	165
95	19	2.51	11.55	1.6	14.8	942	303	198
120	37	2.02	13.00	1.6	16.2	1174	352	231
150	37	2.24	14.41	1.8	18.0	1443	413	264
185	37	2.51	16.16	2.0	20.2	1809	473	303
240	37	2.87	18.51	2.2	22.9	2368	528	352
300	37	3.22	20.73	2.4	25.5	2963	633	391

(*) TEMPERATURA AMBIENTE 30°C.

NO MAS DE TRES CONDUCTORES POR DUCTO.

⁸⁶ <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1000418.pdf>

Conductor entre el generador fotovoltaico y el regulador de carga; caída de tensión $\Delta V \leq 3 \%$

En el catálogo del panel YINGLI SOLAR de 220 Wp

$$I_{\text{Cortocircuito del panel}} = 8,15 \text{ A}$$

$$I_{\text{Generador-regulador}} = 1,25 \times I_{\text{Cortocircuito del panel}} \times N_{\text{ramas en paral. x regulador}} \dots (15)$$

$$I_{\text{Generador-regulador}} = 1,25 \times 8,15 \times 3 = 30,56 \text{ A}$$

Aplicando la ecuación (14)

$$S_{\text{CABLE}} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V}$$

$$S_{\text{CABLE}} = \frac{2 \times 6 \times 30,56}{56 \times 1,44}$$

$$S_{\text{CABLE}} = 4,55 \text{ mm}^2$$

De la tabla N° 11, Seleccionamos el conductor de $6 \text{ mm}^2 - NH 80$

Conductor entre la batería y el regulador de carga

caída de tensión $\Delta V \leq 1 \%$

En el catálogo del panel YINGLI SOLAR de 220 Wp

$$I_{\text{Bateria-regulador}} = 30,56 \text{ A}$$

$$S_{\text{CABLE}} = \frac{2 \times 2 \times I}{56 \times \Delta V}$$

$$S_{\text{CABLE}} = \frac{2 \times 2 \times 30,56}{56 \times 0,48}$$

$$S_{\text{CABLE}} = 4,55 \text{ mm}^2$$

De la tabla N° 11, Seleccionamos el conductor de $6 \text{ mm}^2 - NH 80$

Conductor entre el controlador y el inversor; caída de tensión $\Delta V \leq 1 \%$

$$I_{MAX\ inv} = 1,25 \times P_{Carga} / (V_{tension\ de\ trabajo} \times \eta_{inversor}) \dots (18)$$

$$I_{MAX\ inv} = 1,25 \times 5\ 424 / (48 \times 0,94) = 151,93\ A$$

$$S_{CABLE} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V}$$

$$S_{CABLE} = \frac{2 \times 1,5 \times 151,93}{56 \times 0,48}$$

$$S_{CABLE} = 16,96\ mm^2$$

De la tabla N° 11, Seleccionamos el conductor de $35\ mm^2 - NH\ 60$

5.3. Dimensionamiento del sistema de distribución en 220 V

Para el dimensionamiento del sistema de distribución utilizaremos la norma D.G.E. “Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural”.

5.3.1. Cálculos eléctricos

Calculo por capacidad de corriente

El sistema de distribución eléctrica se propone monofásico y el conductor 1x16/25 y 2x16/25, el cual tiene una capacidad de corriente de 64 A.

Ahora debemos verificar que el conductor eléctrico propuesto cumple con los requerimientos eléctricos, (Tabla N° 10), de la potencia del inversor obtenemos la corriente eléctrica de diseño:

Aquí consideraremos la potencia del inversor

$$I_{MAX\ carga} = \frac{P_{inversor}}{220 \times 0,85} = \frac{8\ 000}{220 \times 0,85} = 36,37\ A$$

Como: $36,37 < 64$ (Tabla N° 10)

Tabla N° 11: Características de los cables autoportantes⁸⁷

FORMACIÓN	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR DE FASE (O/Km)		RESISTENCIA DEL CONDUCTOR DE ALUMBRADO PUBLICO (O/Km)		RESISTENCIA DEL CONDUCTOR NEUTRO (O/Km)		REACTANCIA INDUCTIVA (O/Km)		FACTOR DE CAIDA DE TENSION			CAPACIDAD DE CORRIENTE A 40°C (A)	
	A 20°C	A 40°C	A 20°C	A 40°C	A 20°C	A 40°C	XL(30)	XL(10)	K(380-220 V)	K(440-220 V)	K(220 VAP)	Cond. Fase	Cond. A.P.
3x25+16/25	1,200	1,285	1,910	2,045	1,38	1,478	0,100	0,116	2,223	-	3,272	83	64
3x16+16/25	1,910	2,045	1,910	2,045	1,38	1,478	0,110	0,110	3,538	-	3,272	64	64
3x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	0,103	-	3,538	-	-	64	-
2x25+16/25	1,200	1,285	1,910	2,045	1,38	1,478	0,093	0,109	-	3,776	3,272	83	64
2x16+16/25	1,910	2,045	1,910	2,045	1,38	1,478	0,096	0,096	3,538	3,765	3,272	64	64
2x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	-	0,096	-	3,765	3,272	64	-
1x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	-	0,094	-	-	3,272	64	-

Cálculo de caída de tensión

La fórmula para calcular redes aéreas es la siguiente:

$$\Delta V = KxLxIx10^{-3} \dots (14)$$

Donde:

I = Corriente eléctrica que recorre el circuito, en A

L = Longitud del tramo, en m

K = Factor de caída de tensión

Los valores de K, se pueden observar en la siguiente Tabla N° 10

De las Tablas N°11 y 12 la caída de tensión es menor de 7%

⁸⁷ (rd031-2003-EM, 2003)

Tabla N° 12: Caída de tensión⁸⁸ C-I

Punto	Servicio Particular				Long. [m]	Tipo y Sección de Cond. [mm²]	F.C.T. [V/A-km]	ΔV S.P. [V]	$\Sigma \Delta V$ Total [V]	% de ΔV
	N° Lotes	CORRIENTE [A]	POT. [W]	ΣI [A]						
1		0,0	0,0	9,2	30,0	1X16/25	3,272	0,91	0,91	0,41%
2	5	2,6	565,0	9,2	41,0	1X16/25	3,272	1,24	2,15	0,98%
4	3	1,5	339,0	6,7	41,0	1X16/25	3,272	0,90	3,04	1,38%
5	3	1,5	339,0	5,1	41,0	1X16/25	3,272	0,69	3,73	1,70%
6	2	1,0	226,0	3,6	41,0	1X16/25	3,272	0,48	4,21	1,92%
7	5	2,6	565,0	2,6	42,0	1X16/25	3,272	0,35	4,57	2,08%
3	3	1,5	339,0	1,5	40,0	1X16/25	3,272	0,20	2,35	1,07%

2,08% < 7% ok

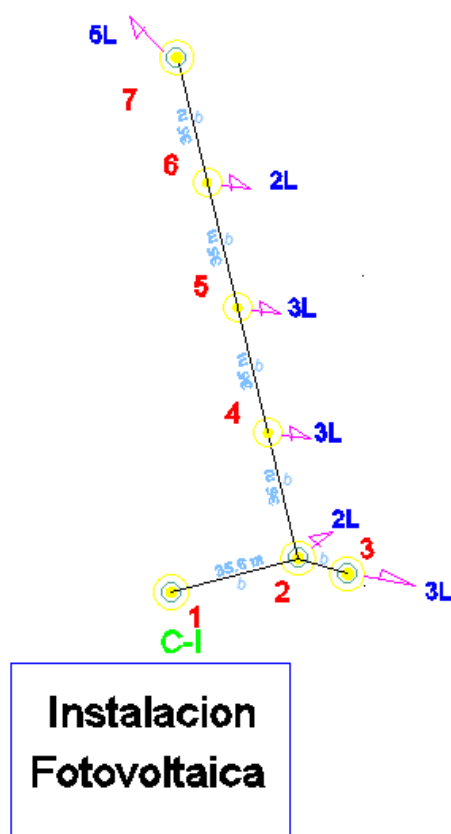


Figura N° 54: Diagrama unifilar C-I⁸⁹

⁸⁸ Fuente: elaboracion propia

⁸⁹ Fuente: elaboración propia

Tabla N° 13: Caída de tensión⁹⁰ C-II

Punto	Servicio Particular				Long. [m]	Tipo y Sección de Cond. [mm²]	F.C.T. [V/A-km]	ΔV S.P. [V]	$\Sigma \Delta V$ Total [V]	% de ΔV
	N° Lotes	CORRIENTE [A]	POT. [W]	ΣI [A]						
8		0,0	0,0	6,2	30,0	1x16/25	3,272	0,61	0,61	0,28%
9		0,0	0,0	6,2	50,0	1x16/25	3,272	1,01	1,61	0,73%
10	1	0,5	113,0	6,2	50,0	1x16/25	3,272	1,01	2,62	1,19%
11	4	2,1	452,0	5,7	35,0	1x16/25	3,272	0,65	3,27	1,49%
12	3	1,5	339,0	3,6	35,0	1x16/25	3,272	0,41	3,68	1,67%
13	1	0,5	113,0	2,1	35,0	1x16/25	3,272	0,24	3,92	1,78%
14	3	1,5	339,0	1,5	35,0	1x16/25	3,272	0,18	4,09	1,86%

1,86% < 7% ok

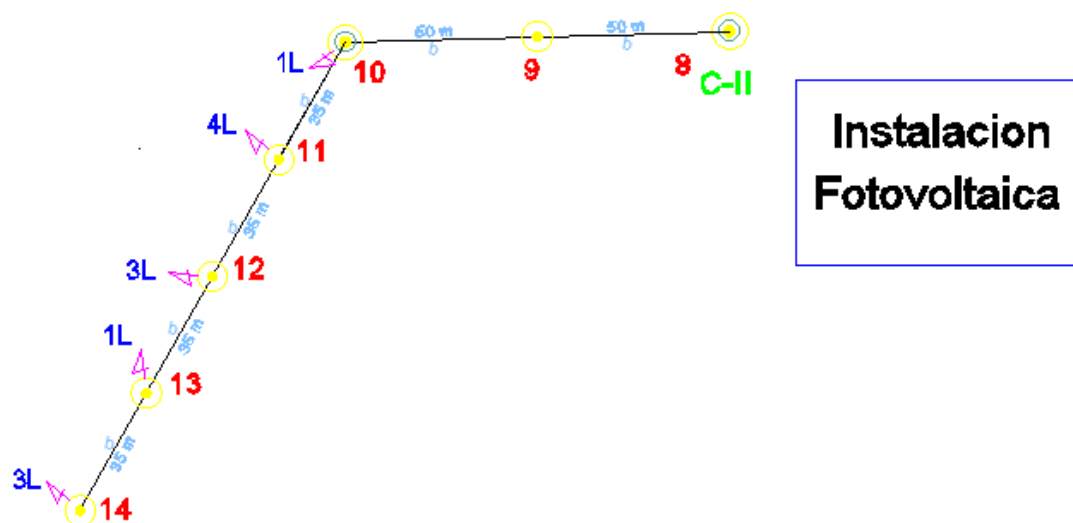


Figura N° 55: Diagrama unifilar⁹¹ C-II

⁹⁰ Fuente: elaboración propia

⁹¹ Fuente: elaboración propia

5.4. Presupuesto

5.4.1. Presupuesto del sistema fotovoltaico

Tabla N° 14: Valor referencial para el suministro de materiales para el sistema fotovoltaico⁹²

Descripción	Costo/unitario (S/.)	Costo (S/.)
27 paneles solares YINGLI SOLAR de 220 Wp	984,55	26 582,85
01 regulador STUDER VARIO TRACK	2 806,45	2 806,45
16 baterías ROLLS de 290 Ah	1 656,45	26 503,20
01 inversor MUST SOLAR de 8 kW	6 728,58	6 728,58
Estructura para 27 paneles solares	5 228,31	5 228,31
Accesorios	1 000	1 000
Total, del Suministro		68 849,39

tabla N° 15: costo directo del sistema fotovoltaico

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL, S/
1	Suministro de materiales	68 849,39
2	Transporte de materiales	1 376,99
3	Montaje electromecánico	6 196,45
4	Costo directo	76 422,82

Fuente: Elaborado por el propio Autor

⁹² Fuente: elaborado por e propio autor

Tabla N° 16: Presupuesto total de la propuesta⁹³

REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO DE TESIS: "MICROGENERACION FOTOVOLTAICA CON EL SOFTWARE PVSYST EN EL CENTRO POBLADO SAN MARCOS - LAMBAYEQUE"		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL
A	PRESUPUESTO DE LA RED DE DISTRIBUCION	32 117,56
B	PRESUPUESTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	76 422,82
	TOTAL S/.	108 540,38
C	GASTOS GENERALES UTILIDADES	10 854,04
D		10 854,04
E	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	130 248,46
F	I.G.V. (S/.)	23 444,72
G	VALOR REFERENCIAL (S/.)	153 693,18
H	CAPACITACION (S/.)	2 000,00
	PRESUPUESTO TOTAL (S/.)	155 693,18

⁹³ Elaboración propia

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

- a) El número de viviendas proyectadas en base a la tasa de crecimiento poblacional del INEI (2,37%) es de 48. La energía promedio proyectada es de 19,152 kW.h con una máxima demanda de 5,424 kW.
- b) De los datos de irradiación solar según el atlas solar del Perú el menos valor es de 4,50 kW.h/m²/día y según la NASA con un valor mínimo de 4,34 kW.h/m²/día, valor que se utilizó para calcular el sistema fotovoltaico con el criterio del mes crítico.
- c) Los equipos seleccionados por el método del mes son los siguientes:
30 paneles fotovoltaicos YINGLI SOLAR de 220 Wp, 03 controladores STUDER VARIO TRACK de 65 A, 20 baterías de la marca ROLLS ,01 inversor MUST SOLAR de 8 000 W.
- d) Los resultados obtenidos al aplicar el software PVSYST tenemos lo siguiente: el generador fotovoltaico formado por 27 paneles fotovoltaicos, 9 ramas en paralelo de 3 paneles en serie; 01 controlador STUDER VARIO TRACK de 5 kW de 80 A; el banco de baterías estará conformado por 16 de la Marca ROLLS de 290 A.h de capacidad. La pérdida de carga anual es de 1,11%.
- e) Se dimensiono la red secundaria en la cual el conductor eléctrico que satisface los requerimientos mínimos de capacidad de corriente y caída de tensión es el de 2x16/25 y 1x16/25, en el ANEXO 06 se muestra el plano en AUTOCAD.
- f) El presupuesto para suministrar energía eléctrica al centro poblado es de: S/ 155 693,18

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Acevedo Garces, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. Bogota.
- 2) Adanaque Sanchez, J. L. (2016). *Estudio de factibilidad para suministrar energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico en el centro poblado de Shungun región Amazonas, 2016*. Cajamarca.
- 3) Agustin Castejon, G. S. (s.f.). *instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 4) Alva Silva, J. Z. (2016). *Estudio de factibilidad de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en el caserío de Vigaspampa, Celendín, Cajamarca, 2016*. Cajamarca.
- 5) Avalos Vallejos, H. R. (2016). *Diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer la demanda de energía eléctrica del servicio habitacional gran hotel, San Ignacio 2016*. Jaen.
- 6) Baron Ortiz, Y. L. (2015). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE AUTOCONSUMO*. Bogota.
- 7) Castejon, A. (1998). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 8) Celemin Cuellar, M. A. (2016). *Estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico como alternativa rural sostenible de la vereda san roque en el municipio de Ortega-Tolima*. Colombia.
- 9) Cuenca Benites, W. A. (2018). *“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO ALTERNATIVO DE ENERGIA ELECTRICA*. LOJA.
- 10) Diaz Corcobado, T. (2008). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico.
- 11) Gimenes, J. M. (2010). *Energia solar eolico fotovoltaico*.
- 12) Ixtebe Portabelle, C. (2010). *Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red*. Barcelona.
- 13) Joachin Barrios, C. D. (2008). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para el suministro de energia electrica ala comunidad Buena Vista, San Marcos*. Guatemala.
- 14) 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 Cruceño, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura*. Lambayeque.

- 15) Moreno. (2009). *Estudio de los parametros de calidad de la energia electrica del edificio sede PDVSA REFINACIÓN ORIENTE*. Puerto La Cruz.
- 16) Muñoz Anticon, D. F. (2005). *Aplicacion de la energia solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais*. Lima.
- 17) Perez Garrido, D. O. (2009). *Análisis de un sistema de iluminación utilizando ampolletas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos*. Chile.
- 18) Raboso López, A. M. (2013). *DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ALIMENTAR A UNA POTABILIZADORA DESALINIZADORA AUTONOMA*. Andauca.
- 19) Rivas Celi, E. R. (2015). *“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL DE LA CIUDAD DE LOJA.”*. Ecuador.
- 20) Rivas celis, E. R. (2015). *“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL DE LA CIUDAD DE LOJA.”*. Loja.
- 21) Sanchez Quiroga, D. (2012). *Sistema de energia solar fotovoltaica aislada para vivienda unifamiliar aislada*. Leganes.
- 22) SENAMHI. (2003). *Atlas de energia solar del Peru*.
- 23) Trujillo Serrano, P. J. (2010). *SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA CASA DE CAMPO DE COLMENAR (MALAGA, ESPAÑA)*. Andalucia.
- 24) Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energia electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP*. Lima.
- 25) Velasquez Céspedes, R. A. (2012). *Proyecto de instalación solar fotovoltaica en el departamento de ingeniería eléctrica de la universidad de Santiago de Chile*. Santiago de Chile.

ANEXOS

ANEXO N°01. FICHA TÉCNICA DE LA BATERÍA ROLLS DE 290 Ah

ANEXO N°02. FICHA TÉCNICA DEL PANEL FOTOVOLTAICO YINGLI SOLAR DE 220 Wp

ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DEL CONTROLADOR STUDER

ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR MUST SOLAR DE 8 kW

ANEXO N° 05. SISTEMA FOTOVOLTAICO

ANEXO N° 06. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

ANEXO N° 07. METRADO Y PRESUPUESTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

ANEXO N° 08. CAÍDA DE TENSIÓN RS