



UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



IV PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“CÁLCULO Y SELECCIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
MODULARES PARA CONSUMO ENERGÉTICO BÁSICO EN EL
CASERÍO DE SAN PEDRO, DISTRITO DE OLMOS, PROVINCIA
Y REGIÓN DE LAMBAYEQUE”**

Autor:

Br. BALLADARES GAMONAL IVÁN

Asesor:

Dr. CARRANZA MONTENEGRO DANIEL

LAMBAYEQUE – PERÚ
2018



UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



IV PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA
EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“CÁLCULO Y SELECCIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
MODULARES PARA CONSUMO ENERGÉTICO BÁSICO EN EL
CASERÍO DE SAN PEDRO, DISTRITO DE OLMOS, PROVINCIA
Y REGIÓN DE LAMBAYEQUE”**

Autor:

Br. BALLADARES GAMONAL IVÁN

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE	: Mg. HORNA TORRES SEGUNDO ABELARDO	_____
SECRETARIO	: Dr. NOMBRA TEMOCHE JORGE LUIS	_____
MIEMBRO	: Ing. JULCA OROZCO TEOBALDO EDGAR	_____
ASESOR	: Dr. CARRANZA MONTENEGRO DANIEL	_____

LAMBAYEQUE – PERÚ
2018



UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



IV PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA
EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

TÍTULO

**“CÁLCULO Y SELECCIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
MODULARES PARA CONSUMO ENERGÉTICO BÁSICO EN EL
CASERÍO DE SAN PEDRO, DISTRITO DE OLMOS, PROVINCIA
Y REGIÓN DE LAMBAYEQUE”**

CONTENIDOS

- CAPITULO I** : PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.
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 Y RECOMENDACIONES.

Mg. HORNA TORRES SEGUNDO ABELARDO
PRESIDENTE

Dr. NOMBERRA TEMOCHE JORGE LUIS
SECRETARIO

Ing. JULCA OROZCO TEOBALDO EDGAR
MIEMBRO

Dr. CARRANZA MONTENEGRO DANIEL
ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ
2018

DEDICATORIA

A mis padres Alejandro y Gladys, por estar siempre en los momentos más importantes de mi vida, por entregarme su amor incondicional siempre, quienes con sus apoyos y consejos hicieron que me forme profesionalmente.

A mi esposa, que está siempre a mi lado, dándome todas sus fuerzas para salir triunfante en mis logros.

A mis hijos, Hashiro y Nahomi, que son el motivo de salir adelante y luchar cada día.

A mis hermanos, Alex, César y Tania, por estar siempre en los momentos que los necesité.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño que tanto anhelaba.

A mis padres, porque gracias a sus consejos y enseñanzas elegí un camino de bien, ya que gracias a ellos estoy logrando mis metas.

A mi familia, que de alguna u otra manera siempre me han apoyado a lo largo de mis estudios profesionales.

A mi asesor Dr. Daniel Carranza Montenegro por creer en mí y por su incondicional apoyo para el desarrollo de mi tesis profesional.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y eléctrica, que juntos con los docentes Ingenieros, durante mi vida universitaria inculcaron en mi conocimiento, experiencias y lo más importante motivación a la investigación y la innovación.

IVAN BALLADARES GAMONAL

RESUMEN

El Caserío de San Pedro está situado en la costa norte peruana, a una distancia de 20 kilómetros del distrito de Olmos, provincia y región de Lambayeque. San Pedro está conformado por 27 viviendas, 1 comedor popular y un centro educativo, que conforman 29 lotes en su totalidad.

Nuestra investigación consistió en la aplicación de las energías renovables. Una energía que abunda y que poco se utiliza como medios de generación en nuestro país. El diseño del módulo fotovoltaico se diseñó según las exigencias del CNE y la N.T.P. 399.403.

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 desarrollo del proyecto se realizó el estudio de la máxima demanda de las viviendas del caserío de San Pedro, así se obtuvo el promedio de demanda de energía eléctrica, para aplicarla al diseño. Se tuvo en cuenta la radiación solar existe en el distrito de Olmos, región de Lambayeque 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 240 Wp (abonados domésticos) 120 Wp (adonados uso general – comedor popular) y 360 Wp (adonados uso general – centro educativo) que se obtuvo según cálculos realizados, y cuyo funcionamiento será con total eficiencia.

Al realizar el presente trabajo se logró determinar que el sistema fotovoltaico propuesto si es económicamente rentable, satisfaciendo la demanda eléctrica considerada en el proyecto, el cual me permitirá reducir las deficientes formas de generación de energía. 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.

Palabras Claves: Sistema Fotovoltaico, Energía Eléctrica, Radiación Solar.

ABSTRACT

El Caserío de San Pedro is located on the northern Peruvian coast, at a distance of 20 kilometers from the district of Olmos, province and region of Lambayeque. San Pedro is made up of 27 houses, a popular dining room and an educational center, which make up 29 lots in its entirety.

Our research consisted of the application of renewable energies. An energy that is abundant and little used as a means of generation in our country. The design of the photovoltaic module was designed according to the requirements of CNE and N.T.P. 399,403.

On the other hand this type of technology has many advantages: simple installation, uses a clean and free energy source, its operation is automatic and silent, requires little maintenance and is friendly with the environment.

For the development of the project the study of the maximum demand of the houses of the hamlet of San Pedro was carried out, thus obtaining the average demand of electrical energy, to apply it to the design. It was taken into account the solar radiation exists in the district of Olmos, Lambayeque region using statistical data of NASTEC and in this way to be able to select the components to use. The orientation of the photovoltaic panel will have the proper inclination to capture as much radiation as possible and our system be as efficient as possible.

The power required for the system is 240 Wp (domestic subscribers) 120 Wp (general use receivers - popular eater) and 360 Wp (general use receivers - educational center) that was obtained according to calculations made, and whose operation will be with total efficiency.

In carrying out the present work it was possible to determine that the proposed photovoltaic system is economically profitable, satisfying the electrical demand considered in the project, which will allow me to reduce the deficient forms of energy generation. It is recommended to disseminate and support research on this type of technology and to develop projects for the benefit of communities that do not yet have electricity service in their homes.

Key Words: Photovoltaic System, Electric Power, Solar Radiation.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	5
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.6. OBJETIVOS	6
1.6.1. Objetivo General.....	6
1.6.2. Objetivos Específicos.....	6
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. ANTECEDENTES	8
2.1.1. Contexto Internacional	8
2.1.2. Contexto Nacional	10
2.1.3. Contexto Local.....	11
2.2. ENERGÍA SOLAR	12
2.2.1. Energía solar en el mundo	12
2.2.2. Energía solar en el Perú	13
2.2.3. Energía solar en Lambayeque	14
2.3. RADIACIÓN SOLAR	15
2.3.1. Tipos de radiación	16
2.3.2. Medición de radiación Solar	17
2.3.3. Horas de Sol Pico (HSP)	18
2.4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	18
2.4.1. Componentes de un sistema fotovoltaico.....	19
2.4.2. Condiciones de instalación de módulos solares.....	37
2.4.3. Tipos de Sistemas Fотоволтаicos (SFV)	39
2.4.4. Ventajas y desventajas	41
2.5. EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN.....	42
2.5.1. Inversión	42
2.5.2. Horizonte de evaluación	43

2.5.3. Tasa de interés	43
2.5.4. Flujos de Cajas	43
2.5.5. Indicadores	44
2.6. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA TERMINOLOGÍA EMPLEADA	46
CAPÍTULO III	50
MARCO METODOLÓGICO	50
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	50
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	50
3.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	51
3.4. VARIABLES- OPERACIONALIZACIÓN	51
3.5. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	53
3.5.1. Métodos de investigación.....	53
3.5.2. Técnicas de investigación	53
3.6. DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS	54
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	54
CAPITULO IV.....	56
PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	56
4.1. PROPUESTA DE ESTUDIO	56
4.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO.....	58
CAPITULO V.....	63
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	63
5.1. SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL DE LA POBLACIÓN DEL CASERÍO SAN PEDRO.....	63
5.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	64
5.2.1. Tipos de Abonados	64
5.2.2. Proyección de la población dentro de 20 años.....	65
5.2.3. Estimación de energía por abonado	66
5.2.4. Proyección del consumo unitario de energía por tipo de abonado ...	68
5.2.5. Proyección del consumo total de energía por tipo de abonado	71
5.2.6. Proyección de energía total requerida	74
5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO MODULAR ...	76
5.3.1. Radiación solar de la zona.....	76
5.3.2. Energía unitaria proyectada por abonado	77
5.3.3. Parámetros de dimensionamiento.....	78
5.3.4. Cálculo del generador fotovoltaico	79

5.3.5.	Cálculo de capacidad de baterías	83
5.3.6.	Cálculo de capacidad del controlador de carga.....	85
5.3.7.	Cálculo del inversor de corriente.....	86
5.3.8.	Selección de conductores eléctricos	87
5.4.	SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO ...	89
5.4.1.	Modulo fotovoltaico – ZNSHINE SOLAR.....	89
5.4.2.	Baterías OPzV– Ritar.....	90
5.4.3.	Controlador de Carga – Victron PWM.....	91
5.4.4.	Inversor de corriente – Victron	92
5.5.	ANÁLISIS ECONÓMICO - FINANCIERO	93
5.5.1.	Inversión y estructura del financiamiento	94
5.5.2.	Flujo de caja proyectado.....	96
5.5.3.	Rentabilidad del proyecto	98
5.5.4.	Valor Actual Neto (VAN)	98
5.5.5.	Tasa Interna de Retorno (TIR)	99
5.6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	100
CAPÍTULO VI.....		103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		103
6.1.	CONCLUSIONES.....	103
6.2.	RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		105
ANEXOS		108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Colores de conductores en Instalaciones FV.....	37
Tabla 2: Descripción de la variable dependiente e independiente.	52
Tabla 3: Técnicas e instrumentos en la investigación.....	54
Tabla 4: Gastos mensual de energía por familia.	64
Tabla 5: Total de abonados.....	64
Tabla 6: Pronostico de crecimiento de la población.....	65
Tabla 7: Consumo de energía por vivienda.	66
Tabla 8: Cuadro de MD por vivienda.	66
Tabla 9: Consumo de energía del centro educativo.	67
Tabla 10: Consumo de energía del comedor popular.	67
Tabla 11: Cuadro de MD cargas de uso general.	67
Tabla 12: Consumo de energía diaria por abonado.....	68
Tabla 13: Consumo total de energía anual.	68
Tabla 14: Tasa de crecimiento de consumo energético.....	68
Tabla 15: Pronostico de consumo unitario - abonado doméstico.....	69
Tabla 16: Pronostico de consumo unitario - abonado uso general.	70
Tabla 17: Pronostico de consumo total - abonado doméstico.....	72
Tabla 18: Pronostico de consumo total - abonado uso general.	73
Tabla 19: Pronostico de energía total requerida.	74
Tabla 20: Datos de radiación solar – Olmos.....	76
Tabla 21: Consumo de energía unitaria proyectada.	77
Tabla 22: Radiación solar y días de autonomía.....	78
Tabla 23: Parámetros de dimensionamiento.	78
Tabla 24: Características eléctricas de panel solar.	79
Tabla 25: Selección de calibre de conductores.	89
Tabla 26: Características eléctricas y físicas de panel solar.....	90
Tabla 27: Costo de suministro de equipos.....	94
Tabla 28: Costo de inversión del proyecto.....	95
Tabla 29: Depreciación anual de equipos.....	96
Tabla 30: Flujos de caja proyectados en un horizonte de 20 años.	97
Tabla 31: Valor Anual Neto del proyecto.	99
Tabla 32: Tasa Interna de Retorno del proyecto.....	99

Tabla 33: Consumo de energía proyectada.....	101
Tabla 34: SFV modular propuesto.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la zona del proyecto.....	4
Figura 2: Atlas solar del Perú – Región Lambayeque.....	15
Figura 3: Curva característica de la H.S.P.....	18
Figura 4: Sistema fotovoltaico.	19
Figura 5: Curva característica I-V de una célula.....	22
Figura 6: Efecto de la intensidad de la radiación.	23
Figura 7: Combinaciones de celdas y curvas resultantes.	24
Figura 8: Conexión de módulos Serie – Paralelo.....	26
Figura 9: Soporte metálico para paneles.	26
Figura 10: Controlador de carga Victron PWM y MPPT.....	28
Figura 11: Gama de Baterías de aplicación Solar.	29
Figura 12: Conexión de las Baterías.	33
Figura 13: Inversor de corriente.	33
Figura 14: Formas de onda de los Inversores.	35
Figura 15: Inclinação y orientación de un panel solar.	39
Figura 16: Sistema fotovoltaico aislado convencional□.....	40
Figura 17: Sistema de conexión a red.	41
Figura 18: Estructura soporte de panel.	61
Figura 19: Consumo unitario proyectado por AD.....	70
Figura 20: Consumo unitario proyectado por AUG.	71
Figura 21: Consumo total proyectado por AD.....	72
Figura 22: Energía total requerida.	75
Figura 23: Máxima demanda proyectada.	75
Figura 24: Promedio diario de radiación solar.	77
Figura 25: Datos técnicos de conductores eléctricos.....	88
Figura 26: Características técnicas de las baterías Ritar.....	91
Figura 27: Características técnicas del controlador Victron.	92
Figura 28: Características técnicas del inversor Victron.	93

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años y en la actualidad se está promoviendo la generación de energía eléctrica con combustibles fósiles (petróleo, carbón mineral y gas natural), pues el uso de estos combustibles ha causado el efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono, la contaminación de suelos, el cambio climático. Las energías renovables como la eólica, la solar, la hidráulica, son energías limpias que contribuyen a la conservación del medio ambiente.

Hoy en día hay diferentes tipos de sistemas de generación solar las cuales pueden ser aislados o conectados a red. Tomando en cuenta la conservación del medio ambiente de nuestro planeta, hemos decidido contribuir con un proyecto que ayude a disminuir la contaminación ambiental.

El presente trabajo se realizará en el caserío “San Pedro”, distrito de Olmos, provincia y región de Lambayeque; debido a que la población sigue aumentando a gran escala, originando el crecimiento de muchos caseríos; muchas familias que habitan dicha zona se encuentra en un lugar fuera del área de concesión de EECTRONORTE, y por la lejanía del lugar a las redes de energía eléctrica y por la gran dispersión entre viviendas, de las cuales se registraron un total de 29 lotes sin servicio de electricidad, se optó por la implementación de sistemas fotovoltaicos modulares para un consumo energético básico, remplazando así las deficientes formas de uso de energía.

Para el desarrollo del proyecto se realizará el estudio de las cargas por cada vivienda y así aplicarla al diseño. Se tuvo en cuenta la radiación solar existe en el distrito de Olmos, región de Lambayeque usando datos estadísticos de Nastec.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

El Caserío de San Pedro está situado a una distancia de 20 kilómetros del distrito de Olmos, provincia y región de Lambayeque. El Caserío está conformado por 27 viviendas y 2 locales comunales, que conforman 29 lotes en su totalidad.

Las familias que habitan este caserío llevan más de 25 años sin tener un servicio de energía eléctrica, esto se debe principalmente a que en la zona no hay la presencia de redes de distribución de energía eléctrica en baja tensión (BT); solo a unos 10 Km del caserío pasa una red primaria de media tensión en 22,9 KV.

Siendo el servicio eléctrico una necesidad primordial en muchas familias de nuestra región y país, se propone el presente proyecto con la finalidad de aprovechar la generación de electricidad haciendo uso de energías renovables, como lo es la energía solar ya que se pudo observar que en la zona hay una gran radiación solar.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es viable generar energía eléctrica confiable haciendo uso de la energía solar que permita electrificar el caserío de “San Pedro” del distrito de Olmos, provincia y región de Lambayeque?

1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación se realizó en el caserío “San Pedro” ubicado a 20 Km del distrito de Olmos, provincia y región de Lambayeque.

La actividad económica de las familias de este caserío tiene como ocupación principal la agricultura, y en un segundo plano la crianza de aves y ganado caprino.

La duración de la investigación fue en un tiempo de 4 meses, en la que participaron las familias involucradas en el proyecto y el autor del presente trabajo de investigación.

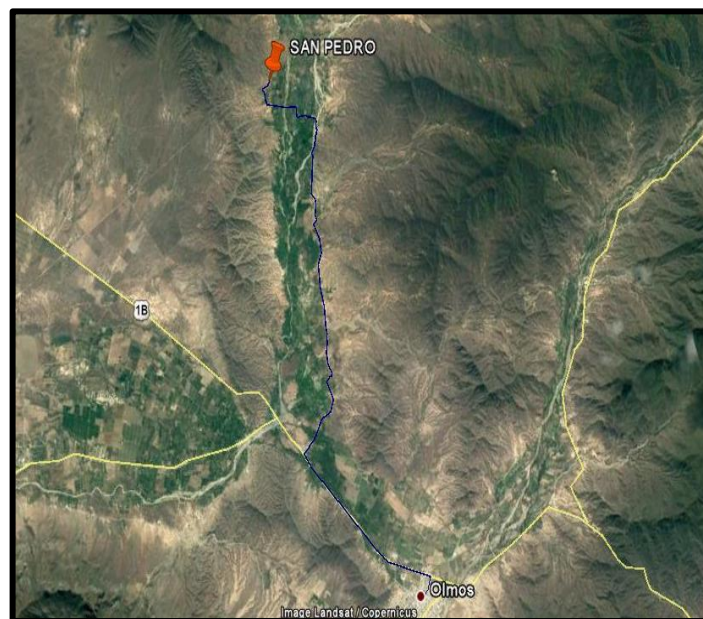


Figura 1: Ubicación de la zona del proyecto.¹

¹ Fuente: Google Earth

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La finalidad de realizar este trabajo de investigación es por la razón que la localidad de San Pedro del Distrito de Olmos carece de energía eléctrica.

El propósito de este proyecto es poder suministrar energía eléctrica a esta localidad para que mejoren su calidad de vida.

a) Justificación económica: Este proyecto se sustenta económicamente en la ayuda a los pobladores a ya no hacer gastos extras para iluminarse lo que ahorrarían en ya no comprando velas o combustibles para los mecheros.

a) Justificación social: Permitirá a la localidad que tenga actividades nocturnas y de esta manera poder aprovechar el servicio eléctrico para comunicarse y socializar en horas de descanso; y que la población tenga una mejor calidad de vida.

b) Justificación técnica: Con la llegada de la energía eléctrica al caserío de San Pedro del Distrito de Olmos, los pobladores utilizarían la tecnología existente hoy en día de tal manera que pueda ayudarles a desarrollarse como localidad y pueda replicarse en otras ciudades del Perú.

c) Justificación ambiental: Con este proyecto no alteraría el ecosistema y el medio ambiente por la razón de que es menos contaminante que los sistemas de generación convencionales.

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

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Las limitaciones de la investigación están referidas a:

- a) No se dispone de datos exactos de análisis de radiación solar diario si no datos promedios la cual son estadísticos brindados por el Software NASTEC.
- b) No se contó con equipos de medición como solarímetros para poder comparar con los datos estadísticos y de esta manera ser más exactos con los datos de radiación solar.
- c) La escasa disponibilidad de tiempo por parte de los pobladores de dicha localidad que nos permita presentar un diseño de acuerdo a la realidad.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo General

Cálculo y selección de un sistema fotovoltaico modular para el consumo energético básico en beneficio de la población desatendida en el caserío San Pedro, ubicado en el distrito de Olmos, provincia y región de Lambayeque.

1.6.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar la máxima demanda o estimación de carga en el caserío de San Pedro.
- b) Obtener la radiación solar mínima en la zona del proyecto.
- c) Determinar el costo de la inversión del proyecto.
- d) Determinar los indicadores de rentabilidad económica del proyecto.

CAPITULO II
MARCO TEORICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Contexto Internacional

(Mora, 2008)

En la investigación internacional tenemos la propuesta de generar electricidad para dar un servicio básico a una comunidad, el presente proyecto se realiza en el cálculo de un sistema de electrificación híbrido fotovoltaico (generador fotovoltaico) Golfo de Sam Blas para abastecer el consumo eléctrico de una comunidad de aproximadamente 130 casas ubicadas en la Isla Carti en el Golfo de Sam Blas en Panamá con una potencia de 10 kW. En primer paso del diseño de los componentes consiste en estimar la cantidad total de energía que el sistema de generación deberá poder suministrar a las cargas conectadas en la isla. Para este fin se empleará el cálculo de máxima demanda con las horas a utilizar dando como resultado una potencia de 47.5 KW·h/día también se realiza la conversión de energía solar en electricidad a partir de las celdas solares, componente básico de los paneles solares que se emplean para formar el generador eléctrico fotovoltaico. Seguidamente, se analiza el funcionamiento sistema fotovoltaico autónomo, sus principales componentes y recomendaciones que deben tomarse en cuenta a la hora de realizar el dimensionamiento y la escogencia de los equipos a utilizar. En la segunda parte del trabajo se estima el nivel de radiación solar promedio en la zona de interés, así como el consumo

eléctrico diario debido a las cargas conectadas actualmente en la isla; se compilan además datos sobre precios de una amplia variedad de equipos para aplicaciones fotovoltaicas, a partir de los cuales se realiza un cálculo del presunto inicial total necesario para la implementación del proyecto.

BOLIVIA

(Infraestructura, octubre 2010)

El gobierno boliviano, apoya a través de diferentes programas, la electrificación de viviendas aisladas mediante el uso de paneles fotovoltaicos con el objetivo de alcanzar el servicio universal en Bolivia para el año 2025. Entre estas iniciativas, el proyecto Infraestructura Descentralizada para la Transformación Rural (IDTR) se inicia en el año 2003 con la firma del contrato de préstamo entre el Gobierno de Bolivia y el Banco Mundial. Entre los objetivos del IDTR está el desarrollo de un mercado para sistemas fotovoltaicos domiciliarios y la meta inicial de implementar 17000 instalaciones en viviendas rurales.

En el año 2005 se licitan 14 contratos para la ejecución y gestión de las instalaciones. Diez de estos contratos los consigue la empresa española Isofotón y los otros cuatro el consorcio local Energética - Aned – Hansa Ltda. El plazo de concesión es de tres años para la ejecución de las instalaciones y cuatro años más para provisión del servicio de gestión y mantenimiento. Finalmente, con el IDTR se han instalado 8000 sistemas hasta la fecha y se han ampliado contratos para alcanzar hasta 10000 a finales de 2010.

2.1.2. Contexto Nacional

(MEN, 2011)

El Ministerio de Energía y Minas (MEM) ejecutará diez proyectos fotovoltaicos en las regiones de Piura, Lambayeque, Cajamarca, Cusco y Loreto, a través de un trabajo activo con las empresas distribuidoras de cada zona, informó el Director General de Electrificación Rural, Fernando Rossinelli Ugarelli. Indicó que el criterio aplicado para escoger las zonas donde se ejecutarán estos proyectos, es aquel donde la extensión de las redes eléctricas convencionales no es viable y están ubicadas en zonas fuera del área de concesión de las empresas.

“Lo destacable en la ejecución de estos diez proyectos, es la participación de las empresas distribuidoras que están priorizando la energía fotovoltaica, que es una forma de energía renovable que consiste en la transformación de la radiación solar en energía eléctrica”, sostuvo el titular de la DGER.

Rossinelli Ugarelli explicó, que las empresas distribuidoras operarán los sistemas fotovoltaicos, garantizando así la sostenibilidad del proyecto.

“Las diez obras comprenden la realización de 8 100 conexiones que beneficiarán a un igual número de familias de las zonas más alejadas del país”, acotó.

También detalló, que en el norte del país están trabajando con las empresas Electronoroeste (Enosa) y Electronorte (Ensa), con las cuales se están licitando tres proyectos que representan 3 000 conexiones.

“Estos tres proyectos están ubicados en Piura, en la provincia de Morropón, en los distritos de La Matanza y Chulucanas donde hay 1 350

sistemas; y en Lambayeque en la provincia de Ferreñafe donde hay 1 650", sostuvo. Estos son los primeros proyectos que el MEM cofinancia pero que serán las distribuidoras quienes las operen, es decir, serán incorporados dentro de los activos de la empresa y asumirán la responsabilidad de brindar un servicio de calidad. "El MEM a través de los Fondos Concursables subsidia con el 90% (US\$ 8 millones) y la empresa el 10% de costo total", detalló.

2.1.3. Contexto Local

(Lambayeque, 2013)

Con una inversión de tres millones 819 mil 578 nuevos soles, el Gobierno Regional de Lambayeque ejecutará el proyecto "Electrificación rural con energía solar fotovoltaica de los caseríos y anexos de Cañaris".

El presidente regional de Lambayeque Humberto Acuña Peralta dijo que la obra está a cargo de la contratista Consorcio de Energía Renovables del Norte y registra ya un avance del 38% y la empresa tiene un plazo de ejecución de 180 días calendarios para la instalación de 604 sistemas fotovoltaicos domiciliarios con una potencia de 51.34 kWp y una oferta nominal de energía eléctrica de 8.557 kWh/mes.

El mandatario explicó que cada sistema, que convertirá la luz solar en electricidad, contará con sus respectivos paneles, módulos de celdas solares, reguladores de voltajes, baterías de almacenamiento, cables, redes eléctricas y otros instrumentos que garantizarán el servicio a cientos de familias del área altoandina de Lambayeque.

Cabe mencionar que dichas localidades de Cañarís no cuentan con un servicio eléctrico, habiendo satisfecho sus necesidades de iluminación con velas, linternas a pilas y lámparas a combustible, así como para recibir información y tener esparcimiento por radio y televisión usa baterías y pilas.

2.2. ENERGÍA SOLAR

La energía solar, se define como la energía obtenida mediante la captación de luz y calor emitidos por el sol, los cuales son producidos por reacciones nucleares en el interior del mismo y transmitidos en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio.²

Esta energía es universal y gratuita, es una de las llamadas energías renovables, catalogada como no contaminante, también llamada energía limpia o energía verde, su captación es directa y fácil.

2.2.1. Energía solar en el mundo

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

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

² Edgar Vivar, Tipos de energía, octubre del 2012, <http://www.monografias.com/trabajos84/tipos-energias.shtml>

A finales de 2010, la potencia acumulada en el mundo era de aproximadamente 40.000 MWp según datos de la European Photovoltaic Industry Association (EPIA), de los cuales cerca de 29.000 MWp, un 72%, se localiza en la Unión Europea. Para los próximos años se espera que el continuo crecimiento de la última década a nivel mundial se mantenga.³

2.2.2. Energía solar en el Perú

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio Peruano. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 Kw.h/m² día en la costa y selva y de 5-6 Kw.h/m² día, aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia. El problema es transformar esta energía solar en energía útil y con un costo aceptable.

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

³ Suelo solar, Situación actual de la energía solar fotovoltaica en el mundo según el Plan de Energías Renovables PER 2011-2020. <http://www.suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=6209>

Por otro lado, con los paneles fotovoltaicos, o simplemente llamados “paneles solares”, se puede transformar la energía solar directamente en electricidad. La fabricación de los paneles fotovoltaicos requiere alta tecnología y pocas fábricas en el mundo (en países desarrollados) lo hacen, pero su uso es sumamente simple y apropiado para la electrificación rural, teniendo como principal dificultad su (todavía) alto costo.⁴

2.2.3. Energía solar en Lambayeque

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

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

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

⁴ Universidad Nacional de Ingeniería, Los retos energéticos del Perú, El estado actual del uso de la energía solar en el Perú.
<http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Energia%20solar%20en%20Peru%20perueconomico.pdf>

aproximadamente 5.5 a 6.5 Kw.h/m², y 5.0 a 6.0 Kw.h/m² en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4.5 a 5.0 Kw.h/m².

De acuerdo a la información obtenida de la NASA (promedio mensual de insolación incidente sobre una superficie horizontal del periodo Julio 1983 -Junio 2005) indica que los valores medios anuales varía de 4.08 a 5.18 Kw/m²/día.

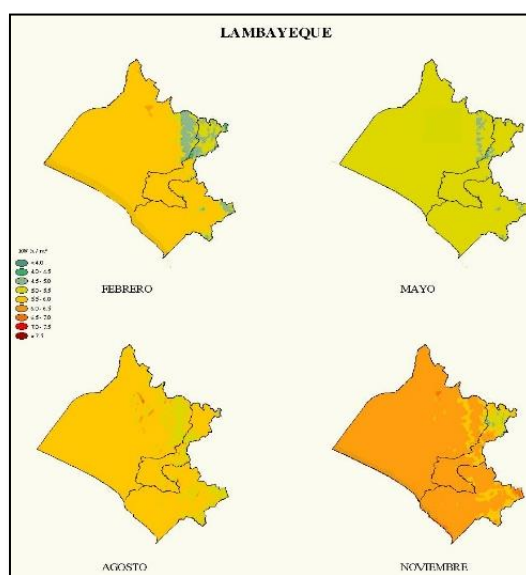


Figura 2: Atlas solar del Perú – Región Lambayeque.⁵

2.3. RADIACIÓN SOLAR

Se refiere al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol; el sol se comporta prácticamente como un Cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La

⁵ Fuente: <http://deltavolt.pe/phocadownload/Piura.jpg>

magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 (vatio por metro cuadrado).

2.3.1. Tipos de radiación

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

Radiación directa: Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

Radiación difusa: Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

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

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

2.3.2. Medición de radiación Solar

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

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

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

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

2.3.3. Horas de Sol Pico (HSP)

Las horas de sol pico es el número de horas por día cuando la insolación arroja los 1000 Watt en un área de (01) un m^2 en un día. Se puede notar que cuando la Irradiancia se expresa en $Kw.h/m^2$ es numéricamente similar a las H.S.P. Este concepto es importante, ya que junto con un factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos. La distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas pico de sol se muestran en la figura 03.

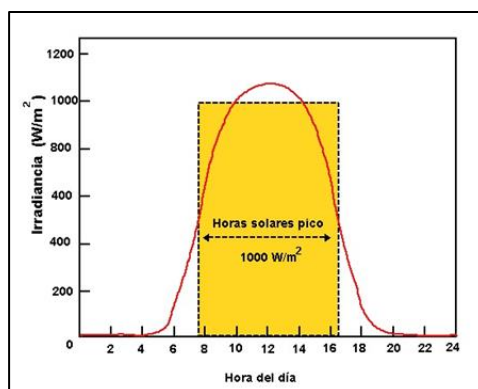


Figura 3: Curva característica de la H.S.P.⁶

2.4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

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

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

⁶ Fuente: "Selección de sistemas fotovoltaicos". Autor: Miguel Ángel Hadzich Marín.

pueden suplir la demanda eléctrica impuesta por la carga, usando como combustible la energía solar.

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



Figura 4: Sistema fotovoltaico.⁷

2.4.1. Componentes de un sistema fotovoltaico

Los componentes de un sistema fotovoltaico aislado son:

2.4.1.1. Generador fotovoltaico o campo de paneles

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

⁷ Fuente: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf

a) Tipos de celdas

Una célula solar también llamada celda fotovoltaica es un dispositivo capaz de convertir la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica. La palabra fotovoltaica se compone de dos términos: Foto= Luz, Voltaica= Electricidad.

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

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

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

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

b) Curvas características de las celdas fotovoltaicas

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

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

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

Dónde:

I_{CC} : es la corriente de cortocircuito.

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

V: es la tensión de operación del panel.

e: es la carga del electrón.

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

K: es la constante de Boltzman.

T: temperatura en K.

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

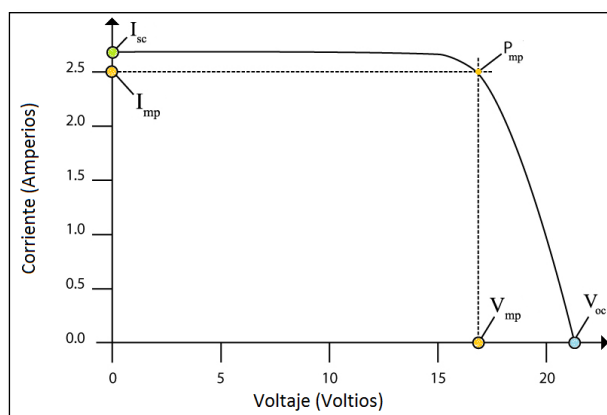


Figura 5: Curva característica I-V de una célula.⁸

Donde, los valores trascendentes de esta curva son:

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

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

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

Corriente a máxima potencia (I_{mp}): Es la corriente que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas

⁸ Fuente: http://www.catalogosolar.mx/centro-de-informacion/informacion-solar-basica/19_curso-breve/21-4-curva-de-corriente-vs-tension-curva-i-v

de radiación y temperatura. Se utiliza como corriente nominal del mismo.

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

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

Efecto de la intensidad de radiación solar:

El resultado de un cambio en la intensidad de radiación es una variación en la corriente de salida para cualquier valor de tensión. La corriente varía con la radiación en forma directamente proporcional. La tensión se mantiene prácticamente constante como lo muestra la figura 06.

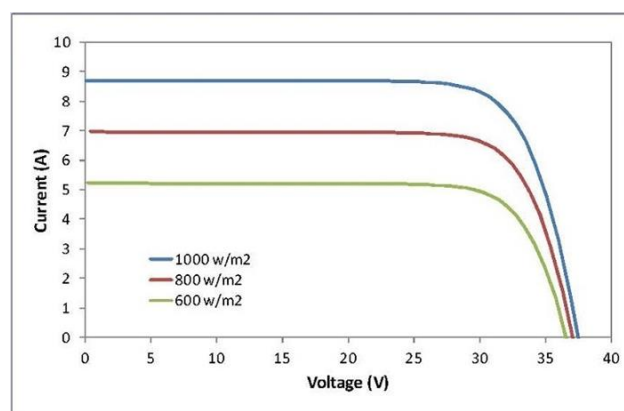


Figura 6: Efecto de la intensidad de la radiación.⁹

⁹ Fuente: <http://www.catalogosolar.mx/centro-de-informacion/informacion-solar-basica/19-curso-breve/21-4-curva-de-corriente-vs-tension-curva-i-v>

Efecto de la temperatura:

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

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

La tensión en el punto de máxima potencia de salida para una celda es de aproximadamente 0,5 volts a pleno sol. La corriente que entrega una celda es proporcional a la superficie de la misma y a la intensidad de la luz. Es por ello que para lograr módulos con corrientes de salida menores se utilizan en su fabricación tercios, cuartos, medios, etc. de celdas.

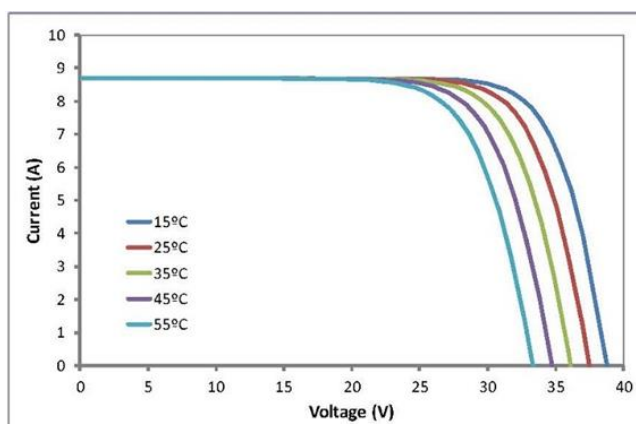


Figura 7: Combinaciones de celdas y curvas resultantes.¹⁰

¹⁰ Fuente: <http://www.catalogosolar.mx/centro-de-informacion/informacion-solar-basica/19-curso-breve/21-4-curva-de-corriente-vs-tension-curva-i-v>

c) Conexión de los Módulos Fotovoltaicos

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

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

En campos FV con un número considerable de módulos, las cajas de conexiones se utilizan para el conexionado en serie; el cableado en paralelo de las filas de módulos en serie (usualmente formando paneles), se realiza en una caja de conexiones principal (distinta a la de cualquier modulo).

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

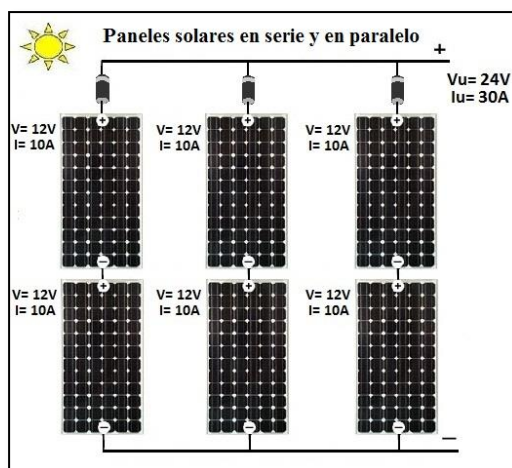


Figura 8: Conexión de módulos Serie – Paralelo.¹¹

d) Estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos

El óptimo aprovechamiento de la Energía Solar, requiere que los elementos captadores (módulos fotovoltaicos), dispongan de la inclinación y la orientación adecuada, como se observa en la Figura 09. Aun lado a lo anterior, las superficies ocupadas por el número de módulos necesarios dificulta su integración a edificaciones existentes, considerando los efectos perjudiciales que el sombreado de los módulos ejerce sobre la generación, haciendo necesaria la inclusión de una estructura de soporte.

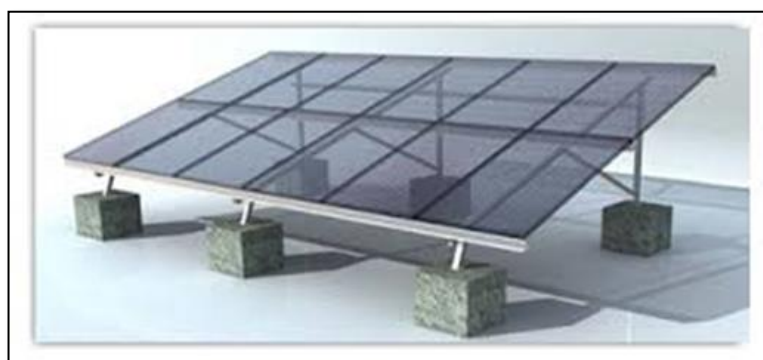


Figura 9: Soporte metálico para paneles.¹²

¹¹ Fuente: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

¹² Fuente: Propia del investigador

2.4.1.2. Controlador de carga

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

a) Tipos de controladores

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

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

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

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

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

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

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

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



Figura 10: Controlador de carga Victron PWM y MPPT.

b) Características del Controlador de carga

Para definir o caracterizar completamente un Regulador se deben especificar:

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

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

2.4.1.3. Baterías

La batería es el elemento que almacena la energía durante las horas en la que hay radiación solar para entregarla durante la noche o en días nublados. Además es un dispositivo capaz de transformar energía potencial química en energía eléctrica. El tamaño del banco de baterías depende de la distribución de días claros y nublados correspondientes al lugar de la instalación, siendo su capacidad aproximada igual a un valor entre 4 y 8 veces el consumo diario.



Figura 11: Gama de Baterías de aplicación Solar.

La incorporación de Baterías en un sistema FV permite:

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

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

a) Características de la Batería

Los parámetros que caracterizan a las baterías, son:

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

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

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

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

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

b) Tipos de baterías

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

Baterías Líquidas

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

Baterías tipo VRLA

La batería VRLA – Valve Regulated Lead Acid battery, en español ácido-plomo regulada por válvula es otro tipo de batería de plomo recargable. No se encuentran completamente selladas pero contienen una tecnología que recombinan el oxígeno e hidrógeno que sale de las placas durante la carga y así eliminan la pérdida de agua si no son sobrecargadas, además son de las únicas que pueden transportarse en avión. Estas a su vez se dividen en:

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

algunas de las desventajas de este tipo de batería está que son muy delicadas para cargar y su alto precio.

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

c) Conexión de las baterías

La conexión entre Baterías, como se indica en la figura 15, obedece a los requerimientos de tensión y capacidad de acumulación particulares de cada instalación (serie, paralelo o mixto).

Se puede considerar que existen dos grupos de Baterías; ambos disponen de bornes aptos para una conexión estándar: el primero tiene un sistema de conexión propio, especialmente diseñado para la Batería, este grupo se caracteriza por la flexibilidad de la conexión; caso contrario del segundo (libre mantenimiento) que presentan una conexión rígida, en el que tanto la situación de los acumuladores, como la de sus elementos de interconexión, están predefinidos y son únicos (o insustituibles). Una ventaja este grupo es la fiabilidad y facilidad de montaje, ya que es el fabricante quien aporta la solución práctica de la conexión (diseño y elementos: cables, pletinas, fundas protectoras y cables flexibles).

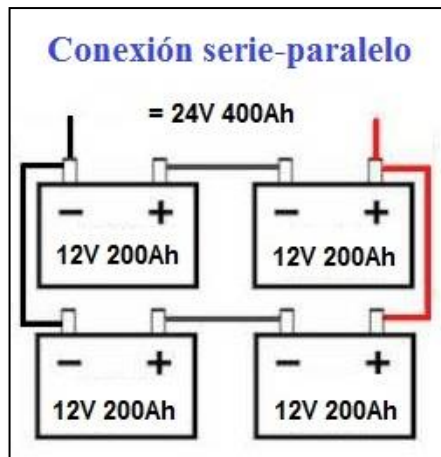


Figura 12: Conexión de las Baterías.

2.4.1.4. Convertidor o Inversor

Es el encargado de convertir la electricidad continua que produce el conjunto paneles-baterías en tensión de alimentación acta para la carga. Los de inversores son de continua-alterna (DC/AC). Los convertidores CC/CA, denominados inversores u onduladores, permiten producir una tensión alterna de frecuencia variable a partir de una fuente de tensión continua.



Figura 13: Inversor de corriente.¹³

¹³ Fuente: <http://www.lidersolar.es/>

a) Características del convertidor

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

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

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

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

Eficiencia o Rendimiento: Relación porcentual entre la potencia de salida y la de entrada al Inversor. Su valor depende de las condiciones de operación, es decir, de la potencia total de los aparatos alimentados, en relación a su consumo nominal.

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

b) Clases de inversores según su forma de onda

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

De onda cuadrada: Características de algunos Inversores económicos, pero normalmente son también los menos eficientes.

Producen armónicos que generan interferencias (ruidos). No son aptos para motores de inducción. Si se desea corriente alterna únicamente para alimentar un televisor, un ordenador o un aparato eléctrico pequeño de baja potencia, así como elementos de iluminación.

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

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

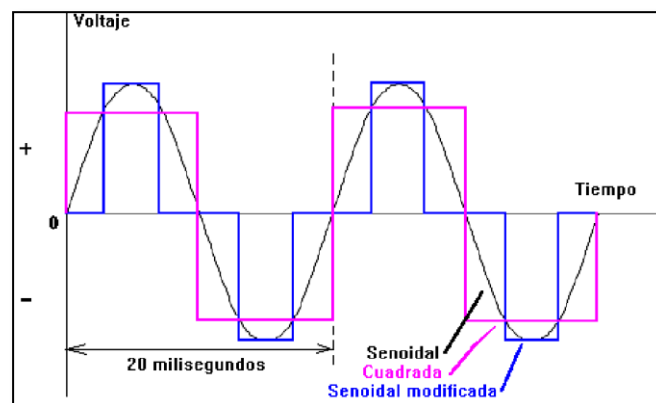


Figura 14: Formas de onda de los Inversores.¹⁴

c) Conexión del inversor

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

¹⁴ Fuente: <http://www.solener.com/pregunta.html>

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

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

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

2.4.1.5. Componentes auxiliares

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

Cableado de los campos fotovoltaicos

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

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

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

Tabla 1: Colores de conductores en Instalaciones FV.

Polaridad	Color
Positivo	Rojo o marrón
Negativo	Negro, azul o blanco

Fuente: Delta Volt

2.4.2. Condiciones de instalación de módulos solares

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

a) Orientación

La orientación de los paneles solares será tal que éstos se dispongan siempre "mirando" hacia el ecuador terrestre. Esto supone orientación sur para aquellas instalaciones situadas en el hemisferio norte terrestre, y orientadas hacia el norte para las instalaciones situadas en el hemisferio sur. No obstante, son admisibles unas desviaciones de hasta

$\pm 20^\circ$ respecto del ecuador del observador sin que se produzcan grandes pérdidas de rendimiento.

b) Inclinación

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

Angulo acimut (α): Ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del generador y la dirección sur. Vale 0° si coincide con la orientación Sur, es positivo hacia el oeste y negativo hacia el este. Si coincide con el Este su valor es -90° y si coincide con el oeste su valor es 90° .

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

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

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

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

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|\Phi|$$

Donde:

β_{opt} = Ángulo de inclinación óptima (grados)

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

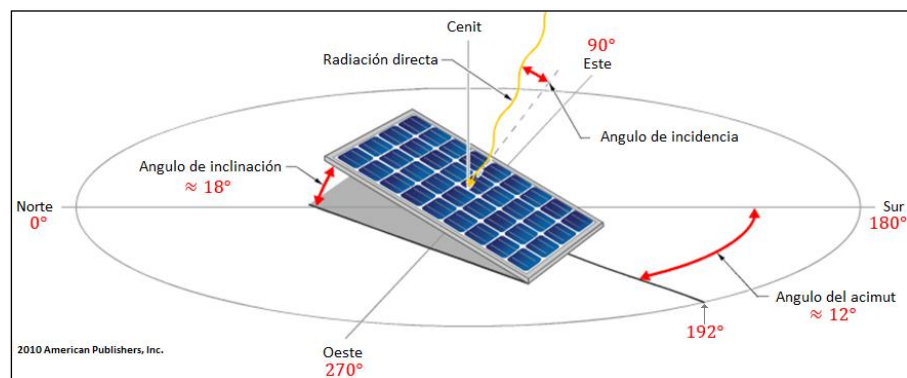


Figura 15: Inclinación y orientación de un panel solar.¹⁵

2.4.3. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos (SFV)

Existen dos tipos de sistemas de energía solar fotovoltaica, los sistemas aislados y los sistemas interconectados a la red eléctrica

2.4.3.1. Sistemas Aislados

Los sistemas aislados captan la energía solar mediante paneles solares fotovoltaicos y almacenan la energía eléctrica generada por los mismos en baterías.

Utilizando sistemas de este tipo es posible disponer de electricidad en lugares alejados de la red de distribución eléctrica, se abastece

¹⁵ Fuente: <http://edii.uclm.es/~arodenas/Solar/componentes.htm>

de electricidad a instalaciones ganaderas, casas de campo, refugios de montaña, sistemas de iluminación o balizamiento, etc.

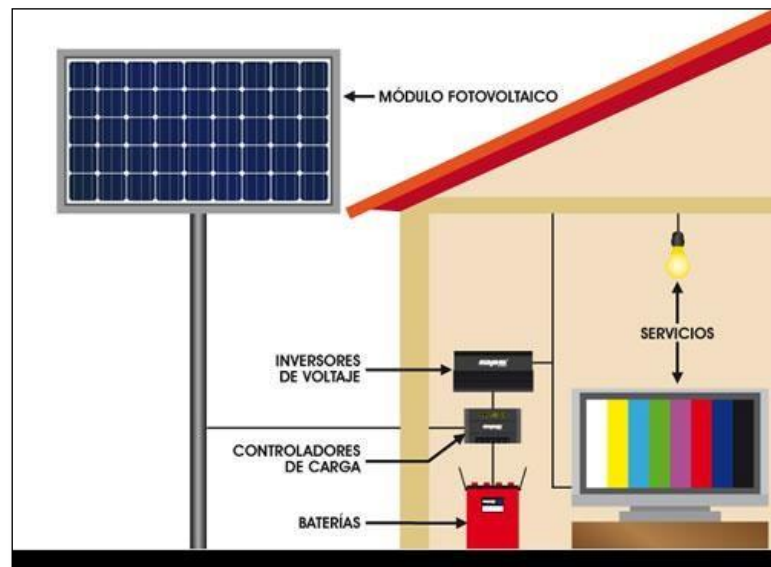


Figura 16: Sistema fotovoltaico aislado convencional .¹⁶

2.4.3.2. Sistemas Conectados a Red

En ellos la energía eléctrica generada se inyecta directamente a la red de distribución eléctrica. En la actualidad las compañías distribuidoras de energía eléctrica están obligadas por ley a comprar la energía inyectada a su red por las centrales fotovoltaicas.

Este tipo de centrales fotovoltaicas pueden ir desde pequeñas instalaciones de 1 a 5 kW en nuestra terraza o tejado, a instalaciones de hasta 100 kW sobre cubiertas de naves industriales o en suelo, e incluso plantas de varios megavatios.

¹⁶ Fuente: Funcosa, 2013.

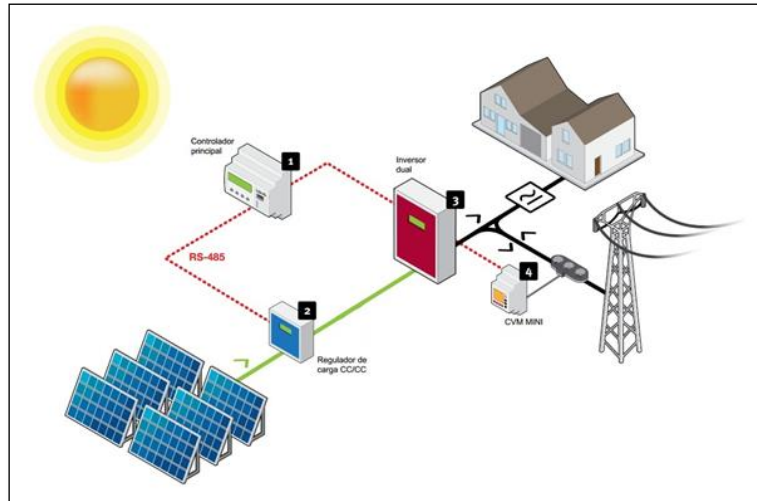


Figura 17: Sistema de conexión a red.¹⁷

2.4.4. Ventajas y desventajas

Ventajas

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

- a) No consume combustible, pues obtiene su energía del Sol, lo cual significa que, económicamente, en el largo plazo estos sistemas son más viables y estables.
- b) Impacto ambiental prácticamente nulo, favorable por ser limpio y no producir contaminación
- c) Los sistemas fotovoltaicos no producen ningún sonido molesto, por lo que no ocasionan ningún tipo de contaminación sonora.
- d) Los sistemas tienen una vida útil larga (más de 20 años) y cuyo recurso solar es inagotable.
- e) El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es sencillo y tiene costos muy bajos.

¹⁷ Fuente: Cleanenergysolar, 2012

Desventajas

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

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

2.5. EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

La evaluación de proyectos de inversión tiene como finalidad, analizar la conveniencia o inconveniencia en el uso de recursos destinados a la ejecución de un proyecto, dirigido a la solución de un problema o a la satisfacción de necesidades. Los criterios que se utilicen deben garantizar, la eficiencia financiera, económica, social y ambiental.¹⁸

2.5.1. Inversión

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

¹⁸ Tito Duarte, Ramón Jiménez y Myriam Ruiz, "Scientia et Technica: Análisis Económico de Proyectos de Inversión." Universidad Tecnológica de Pereira, Agosto de 2007.

2.5.2. Horizonte de evaluación

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

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

2.5.3. Tasa de interés

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

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

2.5.4. Flujos de Cajas

Denominado también flujos de tesorería, flujos de efectivo o simplemente caja. Los flujos de caja de un proyecto constituyen un

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

2.5.5. Indicadores

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

2.5.5.1. Valor Actual Neto (VAN)

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

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

Ecuación 1: Valor Actual Neto

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

Donde:

A: Inversión Inicial

Q_s : Flujos netos en el periodo “s”

n: Número de años que dura la inversión

i = rentabilidad mínima que le exigimos a la inversión

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

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

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

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

2.5.5.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

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

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

Ecuación 2: Tasa Interna de Retorno

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

Donde:

A: Inversión Inicial

Q_s : Flujos netos en el periodo “s”

n: Número de años que dura la inversión

r= TIR

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

2.6. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA TERMINOLOGÍA EMPLEADA

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

a) Celda solar o celda fotovoltaica: Elemento que transforma la luz solar (fotones) en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.

b) Irradiancia: Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros medida como una potencia instantánea por unidad de superficie, W/m^2 o unidades equivalentes.

c) Irradiación: Es la cantidad de Irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m^2 o, en caso de un día, en $Wh/m^2.día$ o unidades equivalentes.

d) Capacidad instalada: Potencia nominal o de placa de una unidad generadora.

- e) Corriente alterna:** En la corriente alterna (CA o AC, en inglés) los electrones, a partir de su posición fija en el cable (centro), oscilan de un lado al otro de su centro, dentro de un mismo entorno o amplitud, a una frecuencia determinada (número de oscilaciones por segundo).
- f) Corriente continua:** La corriente continua (CC o DC, en inglés) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual va desde el polo negativo de la fuente al polo positivo.
- g) Corriente de corto circuito:** Corriente que se mide en condiciones de corto circuito en los terminales de un módulo.
- h) Corriente de máxima potencia:** Corriente correspondiente al punto de máxima potencia.
- i) Horas de sol pico:** Número equivalente de horas a 1 Kw.h/m² de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.
- j) Potencia eléctrica:** Capacidad de los aparatos eléctricos para producir trabajo (la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo). La unidad de medida es el Watt (W), el kilowatt (Kw) o el megawatt (Mw).
- k) Punto de máxima potencia:** Punto de la curva I-V en donde el producto $I * V$ (potencia) tiene su valor máximo.
- l) Voltaje de circuito abierto:** Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.

m) Voltaje de máxima potencia: Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.

n) Días de autonomía(N): Son los días en que el sistema puede continuar sus funciones (consumo de energía), sin que exista generación de la fuente primaria. Esto se logra mediante la acumulación de la cantidad de energía necesaria en las baterías.

o) Watt pico: Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m², 25°C y 1.5 de masa de aire).

p) Carga: Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia.

q) Consumo eléctrico: Número de Watts hora (Wh) o Kilowatts hora (Kw.h) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

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

b) Investigación Explicativa: Porque permitió analizar e interpretar su comportamiento para la solución del problema; descubriendo las causas directas del problema central que es la generación de electricidad.

c) Investigación Aplicada: Porque se hizo uso de los conocimientos y bases teóricas de la ingeniería para dar solución al problema de la energía eléctrica de la zona involucrada en el presente estudio.

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

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

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

La población en dicho caserío es de 27 familias, en las cuales hay un promedio de 4 a 5 habitantes por hogar.

3.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Permitirán los niveles de radiación solar implementar sistemas fotovoltaicos modulares que abastezcan la demanda de energía eléctrica básica a cada una de las 27 viviendas, centro educativo y comedor popular mejorando así la calidad de vida en el caserío de San Pedro.

3.4. VARIABLES- OPERACIONALIZACIÓN

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

En nuestro caso la variable independiente es la radiación solar, el cual es el la principal fuente de energía, y las variables dependientes es el sistema fotovoltaico propuesto a implementar para solucionar el problema de generación de energía eléctrica y la mejora de la calidad de vida de las familias involucradas en el proyecto.

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

Tabla 2: Descripción de la variable dependiente e independiente.

VARIABLE	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	INSTRUMENTOS	INDICADORES
Independiente	Niveles de Radiación Solar	Es indispensable para el funcionamiento de nuestro modulo fotovoltaico.	✓ Software de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos (Nastec)	✓ Horas Pico Sol (HPS)
Dependiente	- Sistema Fotovoltaico	Proporciona energía eléctrica.	✓ Manual de guía para el dimensionamiento de sistemas autónomos.	✓ Consumo de energía ✓ Máxima Demanda ✓ Costo de inversión ✓ Indicadores económicos
	- Mejora de calidad de vida	Integra el bienestar físico, mental y social de cada persona y de cada grupo social.	✓ Encuestas ✓ Fichas	✓ Menores gastos en generación de energía. ✓ Mejor comunicación telefónica.
Localización	Caserío San Pedro	Distrito de Olmos, provincia y región de Lambayeque.	Google Earth.	

Fuente: Elaboración Propia

3.5. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.5.1. Métodos de investigación

- a) **Analítico:** Porque se ha realizado el estudio de sistemas fotovoltaicos para determinar las características eléctricas de todos sus componentes para el suministro de energía eléctrica.
- b) **Deductivo:** Utilizamos este método porque se han considerado características generales del uso de energías renovables, para llegar a conocer hechos particulares como es la radiación solar en la generación de energía eléctrica.
- c) **Comparativo:** Porque ha permitido conocer los hechos de la realidad, estableciendo diferencias entre las deficientes formas de generación de energía y el sistema fotovoltaico propuesto.

3.5.2. Técnicas de investigación

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

c) Entrevista: El investigador indago con cada jefe de familia para determinar la necesidad del suministro de energía eléctrica en el caserío involucrado en el proyecto

3.6. DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS

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

Tabla 3: Técnicas e instrumentos en la investigación.

Técnicas	Instrumentos
Observación	Cuaderno de apuntes
Fichaje	Formatos: -F001: Hoja de encuesta. -F002: Empadronamiento de pobladores (jefe de hogar)

Fuente: Elaboración Propia

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

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

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

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

CAPITULO IV

PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

CAPITULO IV

PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

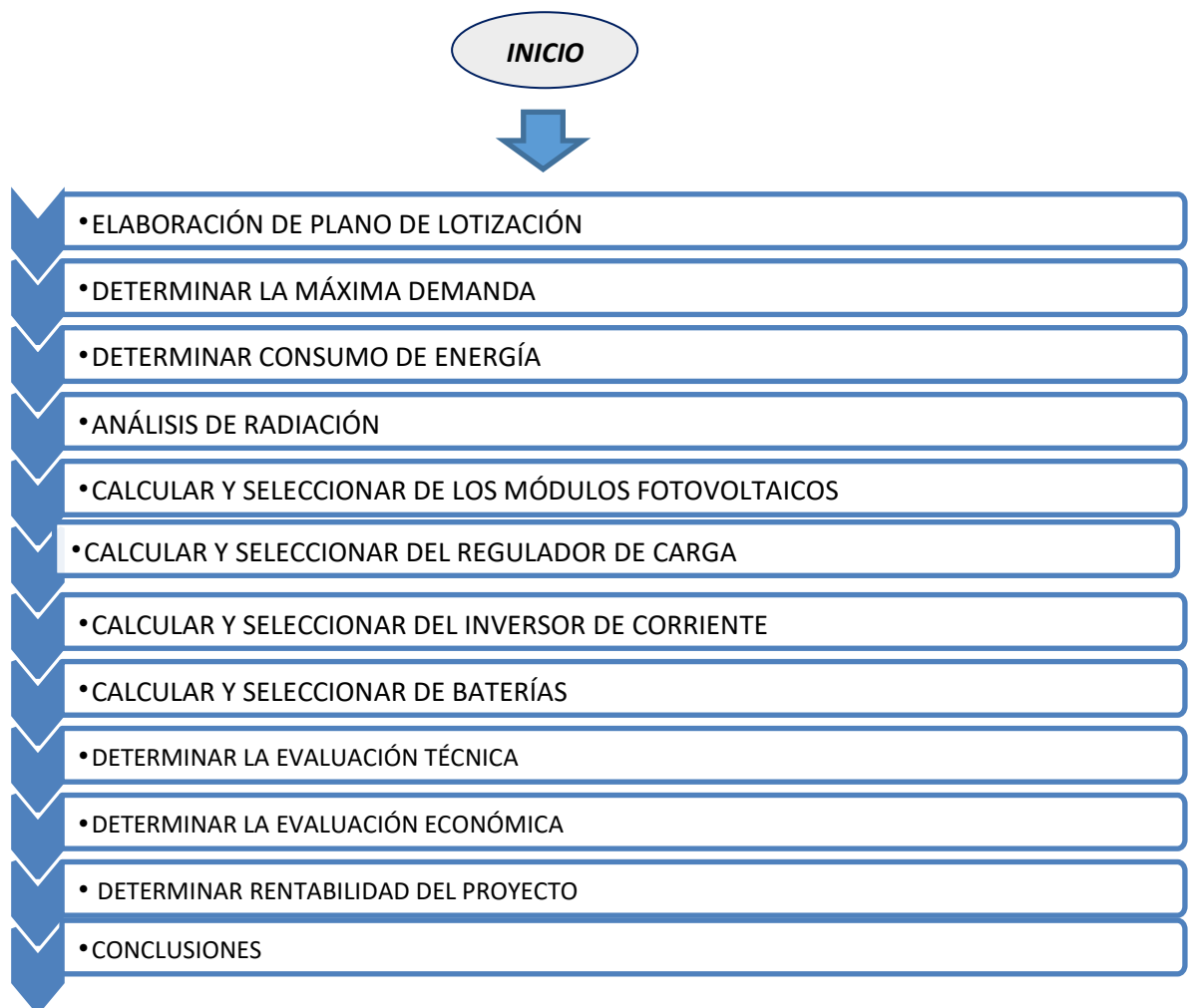
4.1. PROPUESTA DE ESTUDIO

Para dar solución a la carencia de energía eléctrica que se vive en el caserío de San Pedro del distrito de Olmos; se propone la instalación de sistemas fotovoltaicos modulares de paneles solares, con la finalidad de suministrar la potencia necesaria para satisfacer las necesidades de los pobladores actuales de la zona.

El uso de combustibles fósiles en la generación de energía tiene un rol muy importante con el medio ambiente, ya que causa un impacto ambiental no favorable.

Por lo descrito anteriormente se realizará un estudio para determinar la viabilidad técnica y económica para el uso de energía fotovoltaica en el caserío “San Pedro”.

Nuestra propuesta de investigación obedece al siguiente Esquema.



4.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

Los sistemas fotovoltaicos modulares propuestos a implementar en el caserío “San Pedro” para la generación de energía eléctrica, se dimensionaron considerando la radiación solar mínima de la zona, la máxima demanda y el consumo de energía proyectado en un horizonte de 20 años.

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

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

a) Generador fotovoltaico

Es el elemento encargado de transformar la energía de la radiación solar en energía eléctrica, es el elemento de mayor confiabilidad y durabilidad. En general, los fabricantes dan un tiempo de garantía de 10 años contra defectos de fábrica y a 20 años garantizan una pérdida de potencia menor al 10%.

La experiencia ha demostrado que esto se cumple fielmente, por lo cual resulta que el módulo FV es un elemento altamente confiable.

b) Regulador o controlador de carga

Es el elemento encargado de regular el estado de carga de la batería, protegiendo la sobrecarga y las descargas excesivas.

En el mercado se pueden encontrar diversas calidades y precios de los reguladores de carga de baterías. Los reguladores electrónicos más sofisticados, con banda de gasificación (o flotación) tienden a cuidar mucho mejor a la batería, con mayor tiempo de duración del equipo. Se encuentran igualmente, reguladores simples tipo ON/OFF que corta el suministro eléctrico solar hacia la batería (para evitar sobrecargas) y la energía eléctrica de la

batería a las cargas (para evitar descargas límites) en dos valores prefijados por el fabricante.

El tiempo de vida de este componente oscila entre 5 a 8 años.

c) Batería

Es el elemento acumulador de la energía generada por el panel fotovoltaico. La batería resulta el elemento con mayor variabilidad de duración y performance del SFVD. Primero, por las diferentes tipologías de baterías, todas de placas de plomo, pero con diferente clase de electrolito: líquido y gelificado. Se pueden encontrar baterías abiertas automotrices (SLI), solar modificadas (diferente espesor de placa) y las selladas (automotrices, tracción, etc.).

Se dispone en el mercado de baterías selladas de libre mantenimiento con electrolito tipo Gel, que pueden tener tiempos de vida de 5 a 8 años, para 40% y 20% de profundidad de descarga. Es decir, a mayor uso de la energía almacenada en la batería (expresada en Ah o en Wh respecto al valor nominal), se tendrán menos ciclos disponibles (de carga y de descarga) y por lo tanto menos tiempo de vida.

Por lo tanto, un valor preciso de la duración de la batería no es posible asegurarlo, por lo cual se acostumbra a tomar un valor conservador, según el tipo de batería.

d) Luminarias para corriente continua

Elemento encargado de transformar la energía eléctrica en energía luminosa. Es una práctica común en los proyectos solares, incluir las lámparas de iluminación en el SFV.

Dada la pequeña, limitada y costosa energía generada por el SFV se debe asegurar un uso eficiente con lámparas electrónicas de alta eficiencia. Si se dejase libertad al usuario a elegir la lámpara se corre el riesgo que por economía adquiriera un foco incandescente o un fluorescente de baja eficiencia.

Se dispone en el mercado de variadas opciones de lámparas, con una potencia de consumo entre 07 a 20 W.

En general, se puede encontrar marcas con calidad asegurada y tiempos de duración mayores a 5 años.

e) Estructura de paneles solares

Para el proyecto se ha de considerar una estructura metálica como soporte para cada panel solar, estas serán instaladas en cada lote considerados en el proyecto.

La estructura soporte de los paneles fotovoltaicos está fabricada íntegramente con perfiles de fierro galvanizado y tornillería de acero inoxidable, por lo que no requieren mantenimiento anticorrosivo.

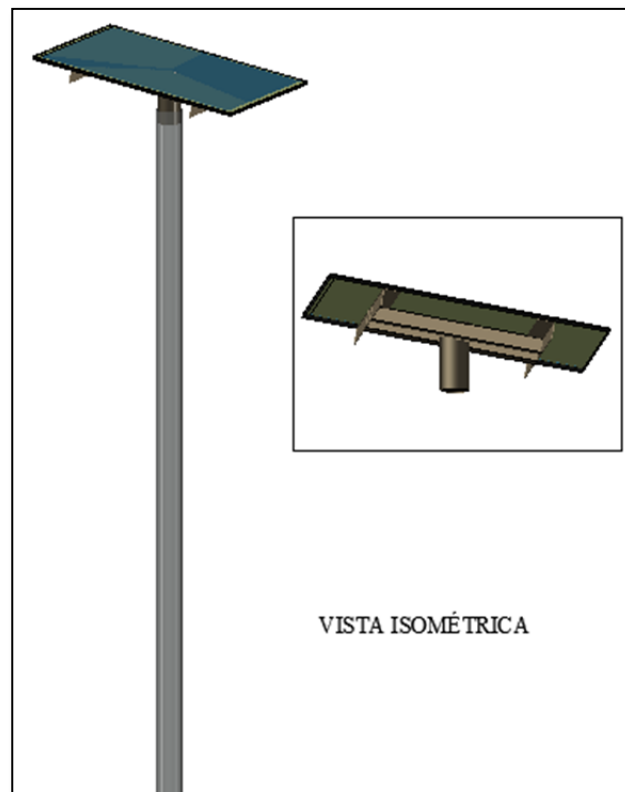


Figura 18: Estructura soporte de panel.¹⁹

f) Otros componentes

El resto de componentes de los SFV son elementos mecánicos y eléctricos.

Mecánicos: Soporte de panel (metal o madera) que tendrá una duración igual al del módulo FV (20 años). Tablero de conexión que sirve de soporte para el regulador y los elementos de protección del sistema. Base de la batería (metálica o de madera).

Eléctricos: cableado (acorde al circuito eléctrico) módulo FV – regulador, regulador – batería, regulador – cargas eléctricas (iluminación, tomacorrientes para equipos DC tales como TV y radio receptor). Protecciones tales como llave térmica, fusibles, otros como interruptores y tomacorrientes.

¹⁹ Fuente: Propia de la investigación del autor

CAPITULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

CAPITULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL DE LA POBLACIÓN DEL CASERÍO SAN PEDRO

- a) Las familias involucradas en el siguiente proyecto no cuentan con servicio eléctrico, utilizan para su iluminación velas, lámparas a pilas y mecheros a kerosene.
- b) Para iluminar el hogar durante la noche se utilizan diversos instrumentos. Generalmente una familia utiliza la combinación de los siguientes medios: lámpara a kerosene (usada en el 77.7% de hogares), linternas u otros que funcionan a pilas (en el 77% de los hogares), baterías (55.6%), velas 18.2% y mechero en el 9.8%.
- c) En promedio las familias utilizan estos instrumentos de iluminación entre 2 y 2.9 horas diarias (por las noches).
- d) En cuanto a las baterías (usadas para la iluminación y el funcionamiento de los artefactos: TV y el 22% de los radios), las más usadas son las baterías de 9 y 11 placas (43.1 y 39.2%, respectivamente). El tiempo entre cada recarga de batería oscila entre 15 y 30 días. Los lugares de recarga preferidos por los pobladores son Olmos (21.5%), el gasto promedio de la recarga es de S/ 2 soles por vez a los que hay que adicionarles otros S/ 2 soles de gastos de pasajes. El tiempo que tarda en cargar la batería oscila entre 1 y dos días. El costo promedio de las batería usadas oscila entre S/ 150 y S/ 180 (percentiles 25 y 75), y suele durarles entre 2 y 3 años.

- e) El gasto promedio familiar mensual en todas las formas de iluminación y entretenimiento y/o comunicación oscila entre 14 y 24 nuevos soles, siendo la mediana 20.0 nuevos soles.
- f) A este gasto hay que adicionarle el de las recarga de celulares, que como mínimo al mes hace un total de S/ 8.00 soles adicionales.

Tabla 4: Gastos mensual de energía por familia.

Conceptos	Gasto Mensual (S/.)
Mediana del gasto en iluminación y entretenimiento y /o comunicación	S/. 20.00
Gasto en recarga de batería (recarga más pasaje)	S/. 8.00
Recarga de celulares	S/. 4.00
Fuente: Elaboración Propia	S/. 32.00

5.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El consumo promedio inicial mensual por usuario doméstico ha sido determinado considerando los resultados de la Investigación Rural. Para su estimación se ha considerado lo siguiente:

5.2.1. Tipos de Abonados

Abonados Domésticos (AD): Lo conforman las 27 viviendas del caserío.

Abonado Uso General (AUG): Lo conforman el comedor popular y el centro educativo primario.

Tabla 5: Total de abonados.

Localidad	A.D.	A.U.G	Personas/Hogar	Total de habitantes
San Pedro	27	2	5	145

Fuente: Elaboración Propia

Según la visita realizada a dicha localidad, se logró determinar, que el número promedio de personas por viviendas son de 5.

5.2.2. Proyección de la población dentro de 20 años

La población se proyectó incrementando la tasa de crecimiento poblacional a la población inicial.

Ecuación 3: Proyección de la población.

$$Px = Po (1 + i)^n$$

Dónde:

- Px : Población para el año X.
Po : Población para el año de referencia: 145
i : Tasa de crecimiento intercensos: 1.20%
n : Número de años.

Se determinó el incremento de la población en una proyección de 20 años utilizando la ecuación 3.

Tabla 6: Pronostico de crecimiento de la población.

AÑO	POBLACIÓN
2016	145
2017	147
2018	149
2019	150
2020	152
2021	154
2022	156
2023	158
2024	160
2025	161
2026	163
2027	165
2028	167
2029	169
2030	171
2031	173
2032	175
2033	178
2034	180
2035	182
2036	184

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3. Estimación de energía por abonado

En las siguientes tablas se detalla las cargas principales que se han de considerar para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico propuesto.

Abonado Domestico (AD)

Tabla 7: Consumo de energía por vivienda.

<i>Descripción</i>	<i>Unid.</i>	<i>Potencia (W)</i>	<i>Potencia Total (W)</i>	<i>Uso diario (h)</i>	<i>Energía (Wh/día)</i>	<i>Energía (kWh/mes)</i>
Foco Led	4	7	28	4	112	3.36
Radio	1	18	18	2	36	1.08
Televisor	1	70	70	4	280	8.40
Ventilador	1	40	40	4	160	4.80
Cargador de celular	1	5	5	1	5	0.15
Total			161	15	593	17.79

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8: Cuadro de MD por vivienda.

Cargas Abonados Domésticos		
Energía	593	Wh/día
	17.79	kWh/mes
Max. Demanda	0.161	Kw

Fuente: Elaboración Propia

Abonado Uso General (AUG)

Tabla 9: Consumo de energía del centro educativo.

Centro Educativo						
Descripción	Unid.	Potencia (W)	Pot Total (W)	Uso diario (h)	Energía (Wh/día)	Energía (kWh/mes)
Foco Led	5	12	60	4	240	7.2
Computadora	1	120	120	4	480	14.4
Televisor	1	70	75	2	150	4.5
Total		202	255	10	870	26.1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10: Consumo de energía del comedor popular.

Comedor Popular						
Descripción	Unid.	Potencia (W)	Pot Total (W)	Uso diario (h)	Energía (Wh/día)	Energía (kWh/mes)
Foco ahorrador	4	12	48	4	192	5.76
Televisor	1	70	70	2	140	4.2
Radio	1	15	15	2	30	0.9
Total		97	133	8	362	10.86

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11: Cuadro de MD cargas de uso general.

Cargas Uso General		
Energía	1 232	Wh/día
	36.96	kWh/mes
Max. Demanda	0.388	Kw

Fuente: Elaboración Propia

Para el proyecto propuesto en el caserío “San Pedro” se han considerado las cargas principales que cada familia usa en promedio, así mismo se trató de disminuir el consumo de energía remplazando el sistema de iluminación por tecnología led.

Tabla 12: Consumo de energía diaria por abonado.

Localidad	Consumo de Energía por Abonado (Wh/día)	
	Domestico	Uso General
San Pedro	593	1 232

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13: Consumo total de energía anual.

Abonado	Consumo unitario (kWh/año)	Cantidad	Total (kWh/año)
Domestico	213.48	27	5763.96
Uso General	443.52	2	887.04

Fuente: Elaboración Propia

5.2.4. Proyección del consumo unitario de energía por tipo de abonado

a) Consumo unitario por abonado doméstico

Tasa de crecimiento de los consumos de energía por abonado domestico	1.50%
--	-------

Esta tasa se obtiene a partir de la información histórica de la empresa concesionaria. Para tal caso tomaremos como valor referencial para un tipo de localidad II el de 1.5 %.

Tabla 14: Tasa de crecimiento de consumo energético.

Descripción	Tipo I	Tipo II
Tasa de crecimiento de consumo de energía	1.5 a 2 %	1 a 1.5 %

Fuente: Muestra de PIP

$$CUAD_{proyectado} = CUAD_{inicial} \times (1 + i\%)$$

Donde:

CUAD*proyectado*: Consumo unitario por abonado domestico proyectado

CUAD*inicial*: Consumo unitario por abonado domestico inicial

Tabla 15: Pronostico de consumo unitario - abonado doméstico.

AÑO	CUADinicial (kWh/año) / abonado	CUAD proyectado (kWh/año) / abonado
2016	213.48	213.48
2017	213.48	216.68
2018	216.68	219.93
2019	219.93	223.23
2020	223.23	226.58
2021	226.58	229.98
2022	229.98	233.43
2023	233.43	236.93
2024	236.93	240.48
2025	240.48	244.09
2026	244.09	247.75
2027	247.75	251.47
2028	251.47	255.24
2029	255.24	259.07
2030	259.07	262.96
2031	262.96	266.90
2032	266.90	270.90
2033	270.90	274.97
2034	274.97	279.09
2035	279.09	283.28
2036	283.28	287.53

Fuente: Elaboración Propia

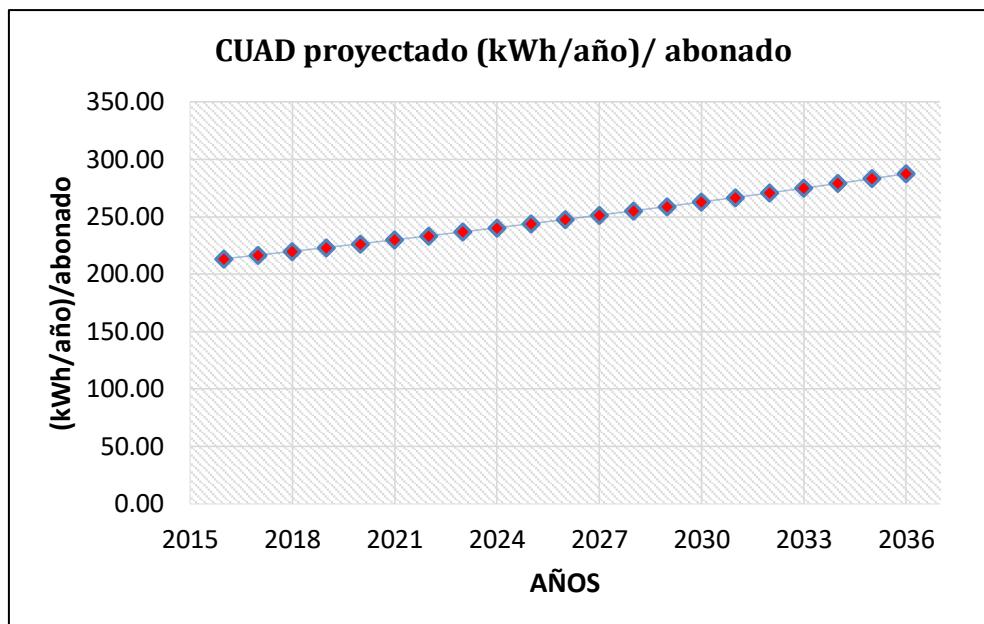


Figura 19: Consumo unitario proyectado por AD.

b) Consumo unitario por abonado de uso general

Para los demás sectores o sector de uso general se asume un consumo por abonado promedio durante el horizonte de evaluación del PIP.

Tabla 16: Pronostico de consumo unitario - abonado uso general.

AÑO	CUAUGinicial (KWh/año) / Abonado
2016	443.52
2017	443.52
2018	443.52
2019	443.52
2020	443.52
2021	443.52
2022	443.52
2023	443.52
2024	443.52
2025	443.52
2026	443.52
2027	443.52
2028	443.52
2029	443.52
2030	443.52
2031	443.52
2032	443.52

2033	443.52
2034	443.52
2035	443.52
2036	443.52

Fuente: Elaboración Propia

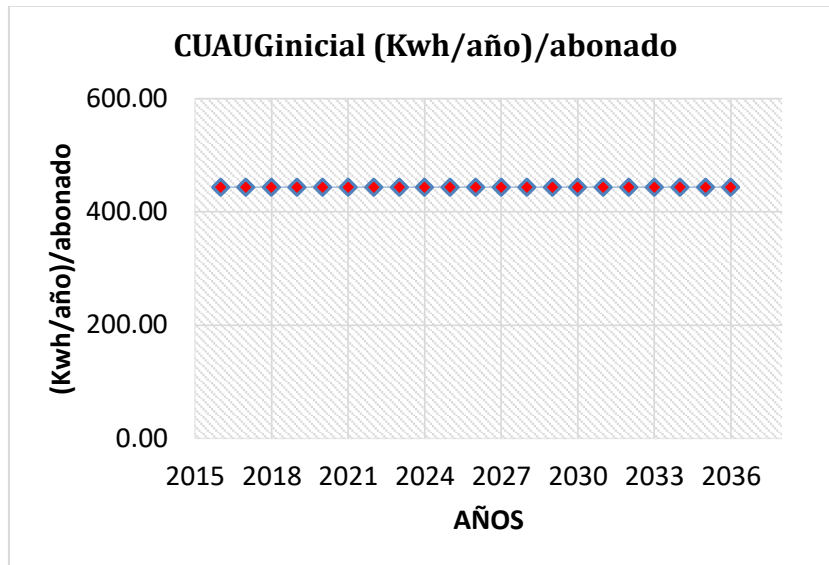


Figura 20: Consumo unitario proyectado por AUG.²⁰

5.2.5. Proyección del consumo total de energía por tipo de abonado

a) Consumo total en abonados de uso domestico

$$\text{Consumo Total}_{\text{domestico}} = \text{CUAD. proy} \times \text{NAD}$$

Donde:

NAD: número de abonados domésticos

CUAD proy: consumo unitario de abonado domestico proyectado

²⁰ Fuente: Propia de la investigación del autor

Tabla 17: Pronostico de consumo total - abonado doméstico.

AÑO	CUADproyectado (kWh/año)/abonado	NAD	CONSUMO TOTAL doméstico(kWh/año)
2016	213	27	5764
2017	217	27	5850
2018	220	27	5938
2019	223	27	6027
2020	227	27	6118
2021	230	27	6209
2022	233	27	6303
2023	237	27	6397
2024	240	27	6493
2025	244	27	6590
2026	248	27	6689
2027	251	27	6790
2028	255	27	6891
2029	259	27	6995
2030	263	27	7100
2031	267	27	7206
2032	271	27	7314
2033	275	27	7424
2034	279	27	7535
2035	283	27	7648
2036	288	27	7763

Fuente: Elaboración Propia

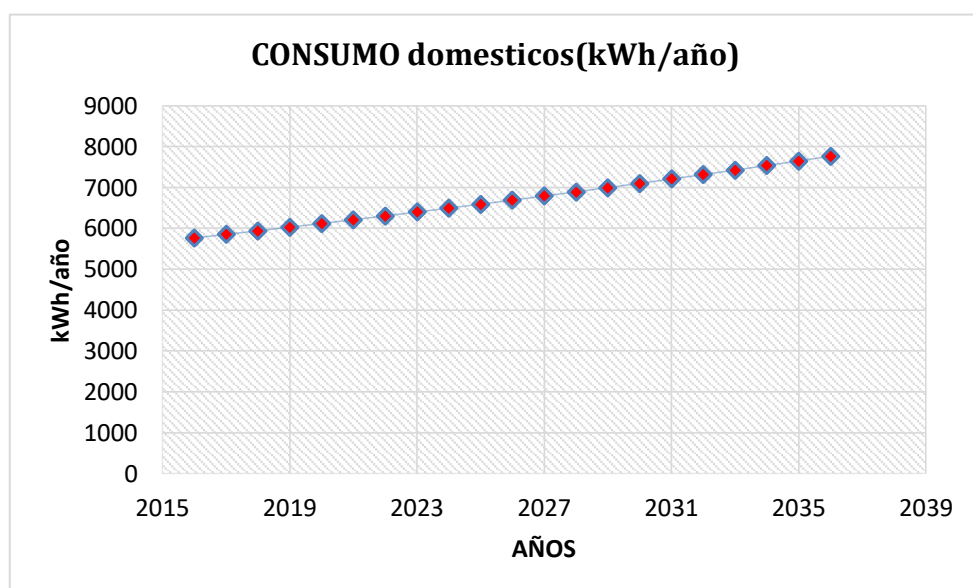


Figura 21: Consumo total proyectado por AD.

b) Consumo total en abonados de uso general

$$\text{Consumo Total}_{\text{uso general}} = \text{CUAUG. proy} \times \text{NAUG}$$

Donde:

NAUG: número de abonados de uso general

CUAUG proy: consumo unitario de abonado de uso general proyectado

Tabla 18: Pronostico de consumo total - abonado uso general.

AÑO	CUAUGproyectado (kWh/año)/abonado	NAUG	CONSUMO TOTAL uso general (kWh/año)
2016	444	2	887
2017	444	2	887
2018	444	2	887
2019	444	2	887
2020	444	2	887
2021	444	2	887
2022	444	2	887
2023	444	2	887
2024	444	2	887
2025	444	2	887
2026	444	2	887
2027	444	2	887
2028	444	2	887
2029	444	2	887
2030	444	2	887
2031	444	2	887
2032	444	2	887
2033	444	2	887
2034	444	2	887
2035	444	2	887
2036	444	2	887

Fuente: Elaboración Propia

5.2.6. Proyección de energía total requerida

Porcentaje de pérdidas de energía: 12%

Factor de carga²¹: 20%

Energía Total Requerida (kwh-año) = Consumo Total / (1-% Perdidas)

*Máxima Demanda (KW) = Energía Total Requerida / (fc * 8760)*

Tabla 19: Pronostico de energía total requerida.

AÑO	CONSUMO TOTAL doméstico (kWh/año)	CONSUMO TOTAL uso general (kWh/año)	CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA (kWh/año)	ENERGÍA TOTAL REQUERIDA (kWh/año)	MÁXIMA DEMANDA (Kw)
2016	5764	887	6651	7557.95	4.31
2017	5850	887	6737	7656.20	4.37
2018	5938	887	6825	7755.93	4.43
2019	6027	887	6914	7857.15	4.48
2020	6118	887	7005	7959.88	4.54
2021	6209	887	7096	8064.16	4.60
2022	6303	887	7190	8170.00	4.66
2023	6397	887	7284	8277.43	4.72
2024	6493	887	7380	8386.48	4.79
2025	6590	887	7477	8497.15	4.85
2026	6689	887	7576	8609.49	4.91
2027	6790	887	7677	8723.51	4.98
2028	6891	887	7779	8839.24	5.05
2029	6995	887	7882	8956.71	5.11
2030	7100	887	7987	9075.94	5.18
2031	7206	887	8093	9196.96	5.25
2032	7314	887	8201	9319.80	5.32
2033	7424	887	8311	9444.47	5.39
2034	7535	887	8422	9571.02	5.46
2035	7648	887	8536	9699.47	5.54
2036	7763	887	8650	9829.84	5.61

Fuente: Elaboración Propia

²¹ El factor de carga en sistemas eléctricos rurales (entre 20% y 35%)

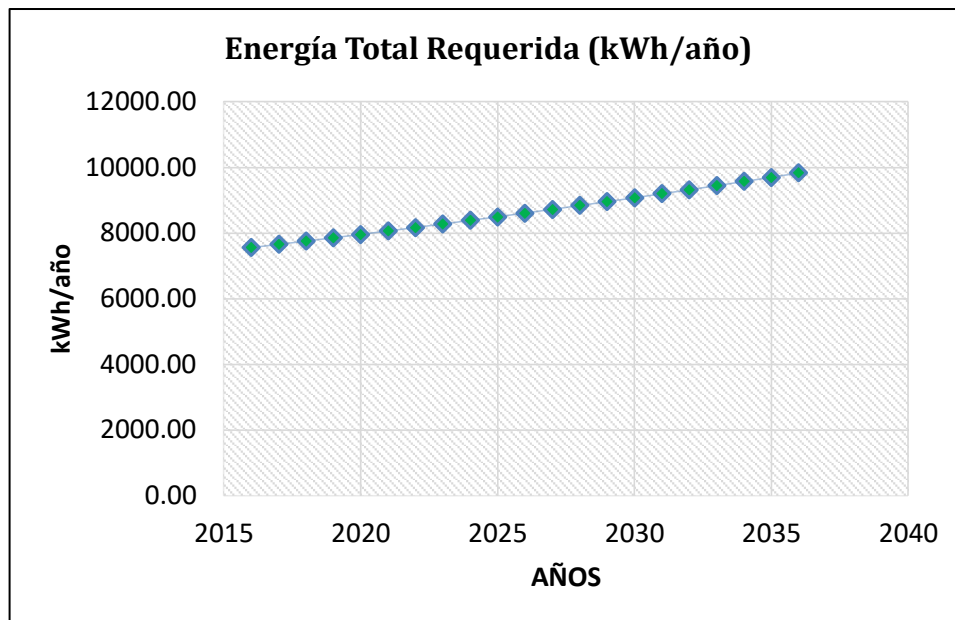


Figura 22: Energía total requerida.²²

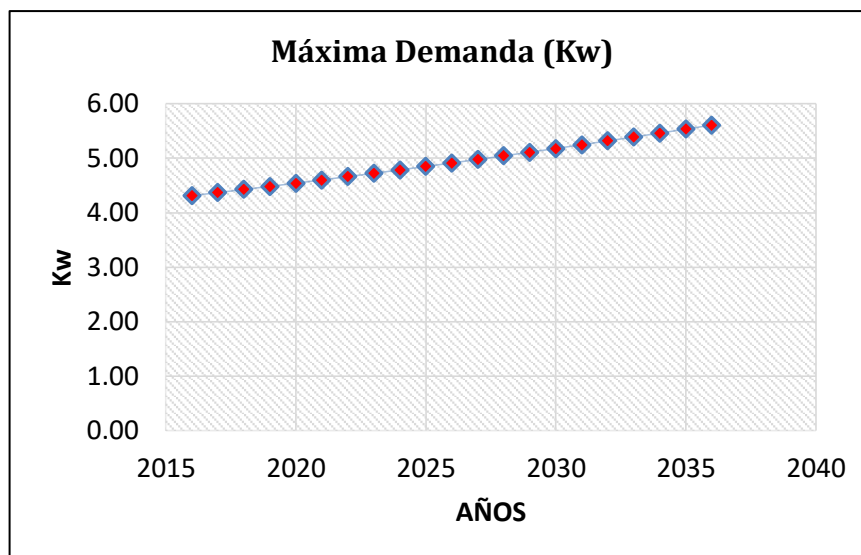


Figura 23: Máxima demanda proyectada.²³

²² Fuente: Propia de la investigación del autor

²³ Fuente: Propia de la investigación del autor

5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO MODULAR

5.3.1. Radiación solar de la zona

Utilizando información básica sobre la zona de ubicación del caserío “San Pedro” del distrito de Olmos, y con ayuda de google Earth obtenemos las coordenadas de latitud y longitud, las cuales se ingresaron al Software de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos “Nastec”, quien nos proporcionó la data de radiación solar por meses de todo un año de aquel lugar.

Con esta información obtendremos las horas equivalentes de Sol (Tiempo de incidencia de la radiación de 1000 W/m^2 .dia sobre el módulo fotovoltaico), la cual corresponderá al valor promedio mensual con menor radiación.

Tabla 20: Datos de radiación solar – Olmos.

MES	N° Días	HPS
Enero	31	5.27
Febrero	28	4.96
Marzo	31	5.37
Abril	30	5.17
Mayo	31	5.11
Junio	30	5.07
Julio	31	5.18
Agosto	31	5.63
Septiembre	30	6.12
Octubre	31	6.01
Noviembre	30	6.10
Diciembre	31	5.69

Fuente: Nastec

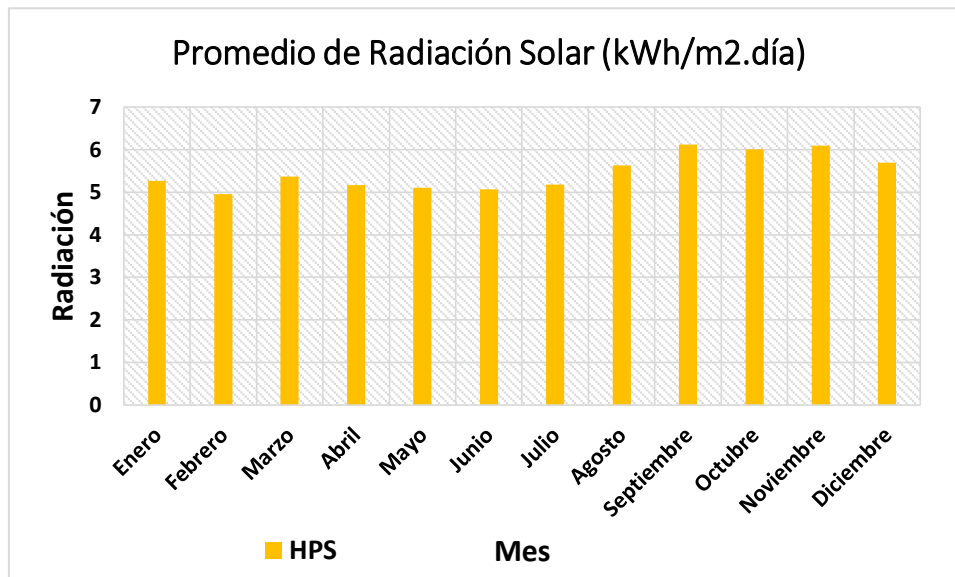


Figura 24: Promedio diario de radiación solar.²⁴

5.3.2. Energía unitaria proyectada por abonado

A fin de determinar el consumo de energía diaria, realizamos una descripción de los elementos de consumo previstos, de acuerdo a las siguientes tablas; cabe resaltar que se han de considerar los consumos de energía proyectada en un horizonte de 20 años tanto en los abonados domésticos y uso general.

Tabla 21: Consumo de energía unitaria proyectada.

Consumo de Energía Proyectado por Abonado	Domestico	Uso General	
		Comedor Popular	Centro Educativo
Anual (kWh/año)	287.53	130.32	313.2
Mensual (kWh/mes)	23.96	10.86	26.10
Diaria (Wh/día)	593	362	870

Fuente: Elaboración Propia

²⁴ Fuente: Propia de la investigación del autor

5.3.3. Parámetros de dimensionamiento

El dimensionamiento de los SFV modulares para el uso doméstico y general debe responder tanto al lugar como el grado de aplicación y a la finalidad de la tecnología. Conociendo la región, la localidad, y el lugar donde va a estar ubicada y de acuerdo a las necesidades se seleccionarán los SFV adecuados, de acuerdo a la viabilidad económica.

Tabla 22: Radiación solar y días de autonomía.

San Pedro - Olmos	
Radiación solar o HPS ($\text{Kw/m}^2 \cdot \text{día}$)	4,96
Días de autonomía el sistema(N)	2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23: Parámetros de dimensionamiento.

Parámetros del Sistema Fotovoltaico		
Batería	Rendimiento(n_{bat})	95%
	Profundidad de descarga máxima estacional ($P_{D \text{ max,e}}$)	70%
	Profundidad de descarga máxima diaria ($P_{D \text{ max,d}}$)	35%
Inversor	Rendimiento(n_{inv})	94%
Conductores	Rendimiento(n_{con})	97%
Sistema	Voltaje (V_{DC})	12
	Factor global de funcionamiento (PR)	80%
	Factor de corrección de Temperatura (F_{CT})	97%

Fuente: Elaboración propia

5.3.4. Cálculo del generador fotovoltaico

a) Generador Fotovoltaico para uso domestico

Ecuación 4: Consumo medio diario

$$L_{md} = \left(\frac{L_{DC}}{n_{bat}} + \frac{L_{AC}}{n_{bat} * n_{inv}} \right) * \frac{1}{n_{cond}}$$

Donde:

L_{DC} : Carga diaria en corriente continua

L_{AC} : Carga diaria en corriente alterna

n_{bat} : Eficiencia de la batería

n_{inv} : Eficiencia del inversor

n_{cond} : Perdidas en los cables

Para el dimensionamiento del sistema se han de considerar las cargas de corriente alterna.

$$L_{md} = \left(0 + \frac{593}{0,95 * 0,94} \right) * \frac{1}{0,97} = 684,59 \text{ Wh/dia}$$

En este caso se está considerando un panel estándar de 120 Wp porque es un modelo comercial muy usado.

Tabla 24: Características eléctricas de panel solar.

Características Eléctricas	
Potencia Máxima (P_{max})	120 Wp
Voltaje a P_{max} (V_{mpp})	17,3 V
Corriente a P_{max} (I_{mpp})	6,94 A
Voltaje a Circuito Abierto (V_{oc})	22,2 V
Corriente a Cortocircuito (I_{sc})	7,52 A

Fuente: Znshine Solar

Para calcular el número de paneles necesarios para el sistema se emplea la siguiente expresión.

Ecuación 5: Número de paneles solares

$$N_T = \left(\frac{L_{md}}{P_{max} * HPS * PR} \right)$$

Donde:

P_{max} : Potencia máxima del generador fotovoltaico

HPS: Horas pico sol para el mes más desfavorable

PR: Factor global de funcionamiento

$$N_T = \left(\frac{684,59}{120 * 4,96 * 0,8} \right) = 1,44$$

$$\text{Número Total de Paneles} = 2$$

Ecuación 6: Número de paneles en serie

$$N_{serie} \geq \left(\frac{V_{sist. bat}}{V_{mpp}} \right)$$

$$N_{serie} \geq \left(\frac{12}{17,3} \right) = 0,69 = 1$$

Ecuación 7: Número de paneles en paralelo

$$N_{paralelo} = \left(\frac{N_T}{N_{serie}} \right)$$

$$N_{paralelo} = \left(\frac{2}{1} \right) = 2$$

b) Generador Fotovoltaico para uso general – comedor popular

Para determinar el consumo medio diario usamos la ecuación 04.

$$L_{md} = \left(\frac{L_{DC}}{n_{bat}} + \frac{L_{AC}}{n_{bat} * n_{inv}} \right) * \frac{1}{n_{cond}}$$

$$L_{md} = \left(0 + \frac{362}{0,95 * 0,94} \right) * \frac{1}{0,97} = 417,91 \text{ Wh/dia}$$

En este caso se está considerando un panel estándar de 120 Wp porque es un modelo comercial.

Para calcular el número de paneles necesarios para el sistema se emplea la ecuación 05.

$$N_T = \left(\frac{L_{md}}{P_{max} * HPS * PR} \right)$$

$$N_T = \left(\frac{417,91}{120 * 4,96 * 0,8} \right) = 0,88$$

$$\text{Número Total de Paneles} = 1$$

c) Generador Fotovoltaico para uso general – centro educativo

Para determinar el consumo medio diario usamos la ecuación 04.

$$L_{md} = \left(\frac{L_{DC}}{n_{bat}} + \frac{L_{AC}}{n_{bat} * n_{inv}} \right) * \frac{1}{n_{cond}}$$

$$L_{md} = \left(0 + \frac{870}{0,95 * 0,94} \right) * \frac{1}{0,97} = 1004,38 \text{ Wh/dia}$$

En este caso se está considerando un panel estándar de 120 Wp porque es un modelo comercial.

Para calcular el número de paneles necesarios para el sistema se emplea la ecuación 05.

$$N_T = \left(\frac{L_{md}}{P_{max} * HPS * PR} \right)$$

$$N_T = \left(\frac{1004,38}{120 * 4,96 * 0,8} \right) = 2,11$$

$$\text{Número Total de Paneles} = 3$$

Para calcular el número de paneles en serie se emplea la ecuación 06.

$$N_{serie} \geq \left(\frac{V_{sist. bat}}{V_{mpp}} \right)$$

$$N_{serie} \geq \left(\frac{12}{17,3} \right) = 0,69 = 1$$

Para calcular el número de paneles en paralelo se emplea la ecuación 07.

$$N_{paralelo} = \left(\frac{N_T}{N_{serie}} \right)$$

$$N_{paralelo} = \left(\frac{3}{1} \right) = 3$$

5.3.5. Cálculo de capacidad de baterías

Pasamos ahora al cálculo de las baterías recordando que los dos parámetros importantes para el dimensionado de la batería son la máxima profundidad de descarga estacional y el número de días de autonomía.

a) Capacidad de baterías para uso domestico

Ecuación 8: Descarga máxima estacional

$$C_{ne} (Ah) = \frac{1}{V_{Sist,bat}} * \left(\frac{L_{md} * N}{P_{D\ max,e} * F_{CT}} \right)$$

$$C_{ne} (Ah) = \frac{1}{12} * \left(\frac{684,59 * 2}{0,7 * 0,97} \right) = 167,36$$

Considerando que las baterías a utilizar serán de una capacidad de 120Ah cada una, entonces el número de baterías es:

Ecuación 9: Número de baterías

$$N_{Bat} = \frac{167,36}{120} * \frac{V_{Sist,bat}}{V_{bat}}$$

$$N_{Bat} = 1,39 * \frac{12}{12}$$

$$N_{Bat} = 2$$

Se considera para el proyecto 02 batería estándar de 120 Ah

b) Capacidad de baterías para uso general – comedor popular

Para calcular la capacidad en baterías se emplea la ecuación 08.

$$C_{ne} (Ah) = \frac{1}{V_{Sist,bat}} * \left(\frac{L_{md} * N}{P_{D\ max,e} * F_{CT}} \right)$$

$$C_{ne} (Ah) = \frac{1}{12} * \left(\frac{417,92 * 2}{0,7 * 0,97} \right) = 102,58$$

Considerando que las baterías a utilizar serán de una capacidad de 120Ah cada una, entonces el número de baterías es:

$$N_{Bat} = \frac{102,50}{120} * \frac{V_{Sist,bat}}{V_{bat}}$$

$$N_{Bat} = 0,68 * \frac{12}{12}$$

$$N_{Bat} = 1$$

Se considera para el proyecto 01 batería estándar de 120 Ah

c) Capacidad de baterías para uso general – centro educativo

Para calcular la capacidad en baterías se emplea la ecuación 08.

$$C_{ne} (Ah) = \frac{1}{V_{Sist,bat}} * \left(\frac{L_{md} * N}{P_{D\ max,e} * F_{CT}} \right)$$

$$C_{ne} (Ah) = \frac{1}{12} * \left(\frac{1004,38 * 2}{0,7 * 0,97} \right) = 246,53$$

Considerando que las baterías a utilizar serán de una capacidad de 120Ah cada una, entonces el número de baterías es:

$$N_{Bat} = \frac{246,53}{150} * \frac{V_{Sist,bat}}{V_{bat}}$$

$$N_{Bat} = 2,05 * \frac{12}{12}$$

$$N_{Bat} = 2$$

Se considera para el proyecto 02 batería estándar de 120 Ah

5.3.6. Cálculo de capacidad del controlador de carga

Los reguladores deben ser elegidos con un factor de seguridad para evitar daños ocasionales, para nuestro dimensionamiento se ha considerado un factor de 1.25 tanto para determinar la corriente de entrada en el controlador.

a) Controlador de carga uso domestico

Ecuación 10: Capacidad de corriente en controlador de carga

$$I_c = 1,25 * I_{SC} * N_P$$

$$I_c = 1,25 * (7,52) * 2 = 18,8 A$$

Se considera para nuestro proyecto un controlador de 20 A

b) Controlador de carga uso general – comedor popular

Para calcular la capacidad del controlador de carga se emplea la ecuación 10.

$$I_c = 1,25 * I_{SC} * N_P$$

$$I_c = 1,25 * (7,52) * 1 = 9,4 A$$

Se considera para nuestro proyecto un controlador de 10 A

c) Controlador de carga uso general – centro educativo

Para calcular la capacidad del controlador de carga se emplea la ecuación 10.

$$I_c = 1,25 * I_{SC} * N_P$$

$$I_c = 1,25 * (7,52) * 3 = 28,2 A$$

Se considera para nuestro proyecto un controlador de 30 A

5.3.7. Cálculo del inversor de corriente

a) Inversor de corriente carga uso domestico

Ecuación 11: Capacidad de inversor de corriente

$$P_{inv} = 1,25x(P_{AC})$$

$$P_{inv} = 1,25x(161)$$

$$Potencia\ del\ inversor = 201,25\ Watt$$

Se considera para nuestro proyecto un inversor de 350 watts

b) Inversor de corriente carga uso general – comedor popular

Para calcular la capacidad del inversor se emplea la ecuación 11.

$$P_{inv} = 1,25x(P_{AC})$$

$$P_{inv} = 1,25x(133)$$

$$Potencia\ del\ inversor = 141,25\ Watt$$

Se considera para nuestro sistema un inversor de 180 watts

c) Inversor de corriente carga uso general – centro educativo

Para calcular la capacidad del inversor se emplea la ecuación 11.

$$P_{inv} = 1,25x(P_{AC})$$

$$P_{inv} = 1,25x(255)$$

$$Potencia\ del\ inversor = 318,75\ Watt$$

Se considera para nuestro sistema un inversor de 350 watts

5.3.8. Selección de conductores eléctricos

Para obtener los conductores más apropiados para el del sistema fotovoltaico, nos basamos en el método de cálculo de la intensidad máxima admisible.

Para realizar este cálculo se está considerando el sistema fotovoltaico modular de mayor magnitud, que en nuestro caso es el del centro educativo.

Para obtener la sección del conductor en función de la intensidad máxima admisible, partimos de los datos de la siguiente tabla:

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

(*) NO MAS DE TRES CONDUCTORES POR DUCTO / TEMPERATURA AMBIENTE 30°C.

Figura 25: Datos técnicos de conductores eléctricos.²⁵

a) Tramo número 1: Generador – Controlador

De acuerdo con el estándar IEC 60364-7-712, a su temperatura de trabajo, el cable de cada rama debe soportar 1,25 veces la intensidad de cortocircuito en CEM del módulo:

Ecuación 12: Corriente de conductor en panel - controlador

$$I_{max,T1} = 1,25 * I_{SC} * N_P$$

$$I_{max,T1} = 1,25 * 7,52 * 3$$

$$I_{max,T1} = 28,2 \text{ A}$$

Para la corriente obtenida de 28,2 A la sección normalizada de 4 mm² es válida ya que admitirá una intensidad máxima de 34 A.

²⁵Fuente: http://www.nexans.pe/eservice/Perues_PE/navigate_241624/Cables_de_servicio.html

b) Tramo número 2: Regulador - Baterías

Para calcular la intensidad máxima admisible por los conductores en este tramo, la intensidad se establece en función de la intensidad máxima que soporta el regulador. De la ecuación número 14, obtenemos que esta intensidad es de 28,2 A.

$$I_{max,T2} = 1,25 * 28,2$$

$$I_{max,T2} = 35,25 \text{ A}$$

De acuerdo a la tabla anterior se selecciona la sección normalizada de 6 mm², la cual admite una intensidad máxima de 44 A.

Tabla 25: Selección de calibre de conductores.

Tramo	Longitud (m)	I _{max} (A)	Calibre del Conductor (mm ²)
Generador FV - Regulador	15	28,2	4
Regulador - batería	2	35,25	6
Batería - Inversor	1.5	-	-

Fuente: Elaboración propia.

5.4. SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

5.4.1. Modulo fotovoltaico – ZNSHINE SOLAR

Para la selección de los paneles, se ha evaluado la oferta de paneles existentes en el mercado, seleccionando un valor Wp que permita un intercambio de paneles entre los diferentes módulos definidos, así como un condicionamiento a todas las marcas ofertadas en el mercado, teniendo en cuenta que no existe una estandarización de Wp para la fabricación de los mismos, motivo por el cual se ha recurrido a un panel compatible en potencia. Teniendo las restricciones mencionadas y ventajas de confiabilidad se optó por el panel monocristalino de 120 Wp

en la marca Znshine Solar, el cual satisface los requerimientos del usuario. A continuación se describen sus características.

Tabla 26: Características eléctricas y físicas de panel solar.

Características Eléctricas	
Potencia Máxima (P_{max})	120 Wp
Voltaje a Pmax (V_{mpp})	17,3 V
Corriente a Pmax (I_{mpp})	6,94 A
Voltaje a Circuito Abierto (V_{oc})	22,2 V
Corriente a Cortocircuito (I_{sc})	7,52 A
Temperatura de Operación	-40 ~ 85 °C
Características Físicas	
Dimensiones	1480x676x35 mm
Peso	12 Kg
Tipo de Celda	monocristalino

Fuente: Znshine Solar

5.4.2. Baterías OPzV– Ritar

En la selección de los acumuladores de energía, se ha evaluado la oferta de baterías existentes en el mercado, seleccionado un valor de capacidad estándar que permita un condicionamiento a todas las marcas ofertadas en el mercado. Teniendo las restricciones mencionadas y ventajas de confiabilidad se optó por las Baterías OPzV de 120 Ah/12 V_{DC} en la marca Ritar Solar, puesto que tiene mayor oferta como demanda en el mercado.

A continuación se describen sus características:

OPzV12-120(12V)	
Ritar OPzV series is Valve Regulated Lead Acid battery that adopts immobilized GEL and Tubular Plate technology to offer high reliability and performance. The Battery is designed and manufactured according to DIN standards and with die-casting positive grid and patented formula of active material OPzV series exceeds DIN standard values with more than 18 years floating design life at 25 °C ,and It is the best solution for cyclic use under extreme operating conditions.	
Specification	
Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Nominal Capacity	120Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Weight	Approx. 45.9 Kg (Tolerance ± 1.5%)
Internal Resistance	Approx. 7.5 mΩ
Terminal	F5(M8)/F12(M8)
Max. Discharge Current	1200A (5 sec)
Design Life	18 years (floating charge)
Maximum Charging Current	24.0 A
Reference Capacity	C24 120.8AH C48 127.7AH C72 134.1AH C100 136.8AH C120 139.5AH C240 147.7AH
Float Charging Voltage	13.5 V~13.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -3mV/°C/Cell
Cycle Use Voltage	14.2 V~14.4 V @ 25°C Temperature Compensation: -4mV/°C/Cell
Operating Temperature Range	Discharge: -40°C~60°C Charge: -20°C~50°C Storage: -40°C~60°C

Figura 26: Características técnicas de las baterías Ritar.²⁶

5.4.3. Controlador de Carga – Victron PWM

En la selección del regulador de carga, se ha evaluado las ofertas existentes en el mercado, seleccionado un valor de capacidad estándar a todas las marcas ofertadas en el mercado. Teniendo en consideración el dimensionamiento de este equipo se optó por controladores de 10A para el uso general - comedor, 20A para uso doméstico y 30A para uso general – centro educativo, la tensiones de estos controladores será de

²⁶ Fuente: <http://www.ritarpower.com/>

12-24 V en la marca Victron, puesto que tiene mayor oferta como demanda en el mercado, y satisface los requerimientos del usuario.

A continuación se describen sus características.

Blue Solar PWM-Light	12/24-5	12/24-10	12/24-20	12/24-30
Tensión de la batería	12/24V con detección automática de la tensión de entrada			
Corriente de carga nominal	5 A	10 A	20 A	30 A
Desconexión automática de la carga	Sí			
Tensión solar máxima	28 V / 55 V (1)			
Autoconsumo	< 10 mA			
Salida de carga	Control manual + desconexión por baja tensión			
Protección	Inversión de la polaridad de la batería (fusible)	Cortocircuito de salida	Sobrettemperatura	
Protección contra sobrecarga	Desconexión tras 60 s en caso de alcanzar el 130% de carga			
	Desconexión tras 5 s en caso de alcanzar el 160% de carga			
	Desconexión inmediata en caso de cortocircuito			
Puesta a tierra	Positivo común			
Rango de temp. de trabajo	-20 a +50°C (carga completa)			
Humedad (sin condensación)	Máx. 95 %			

Figura 27: Características técnicas del controlador Victron.²⁷

5.4.4. Inversor de corriente – Victron

En la selección del convertidor, se ha evaluado las ofertas existentes en el mercado, seleccionado un convertidor de onda pura con un valor de capacidad estándar a todas las marcas ofertadas en el mercado. Teniendo en consideración el dimensionamiento de este equipo se optó por un convertidor de 375W para uso doméstico y uso general centro educativo y 180W para uso general comedor popular, estos equipos deberán trabajar a una tensión de 12V y serán de la marca Energitt,

²⁷ Fuente: <https://www.victronenergy.com.es/solar-charge-controllers/bluesolar-pwm>

puesto que tiene mayor oferta como demanda en el mercado, y satisface los requerimientos del usuario.

A continuación se describen sus características.

Inversor Phoenix	12 Volt 24 Volt 48 Volt	12/180 24/180	12/350 24/350 48/350	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia CA cont. de salida a 25 °C (VA) (3)		180	350	800	1200
Potencia cont. a 25 °C / 40 °C (W)		175 / 150	300 / 250	700 / 650	1000 / 900
Pico de potencia (W)		350	700	1600	2400
Tensión / frecuencia CA de salida (4)	110VAC o 230VAC +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada (V DC)		10,5 - 15,5 / 21,0 - 31,0 / 42,0 - 62,0		9,2 - 17,3 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 68,0	
Alarma de batería baja (V DC)		11,0 / 22 / 44		10,9 / 21,8 / 43,6	
Apagado por batería baja (V DC)		10,5 / 21 / 42		9,2 / 18,4 / 36,8	
Autorrecuperación de batería baja (V DC)		12,5 / 25 / 50		12,5 / 25 / 50	
Eficacia máx. 12 / 24 / 48 V (%)		87 / 88	89 / 89 / 90	91 / 93 / 94	92 / 94 / 94
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)		2,6 / 3,8	3,1 / 5,0 / 6,0	6 / 6 / 6	8 / 9 / 8
Consumo en vacío en modo de ahorro		n. a.	n. a.	2	2
Protección (2)		a - e			
Temperatura de funcionamiento		-40 to +50°C (refrigerado por ventilador)			
Humedad (sin condensación)		max 95%			

Figura 28: Características técnicas del inversor Victron.²⁸

5.5. ANÁLISIS ECONÓMICO - FINANCIERO

En la presente sección del capítulo se procederá a realizar el análisis económico – financiero del proyecto. De esta manera el análisis financiero que se expondrá a continuación permitirá conocer la viabilidad económica del proyecto propuesto para el caserío “San Pedro”. En este sentido se hará uso de algunos indicadores que permitirán evaluar la implementación del Sistema Fotovoltaico propuesto en el presente proyecto.

²⁸ Fuente: <https://www.victronenergy.com.es/>

Los indicadores que se utilizarán son el Valor Actual Neto (VAN), el cual nos mostrará en el presente el valor de los flujos de dinero del fondo utilizando una Tasa de Descuento; la Tasa Interna de Retorno (TIR) será otro indicador a utilizar, la cual representa la rentabilidad porcentual del proyecto.

Sin embargo, para hacer uso de estos indicadores, en primer lugar se procederá a determinar los diferentes ingresos y egresos monetarios del proyecto.

5.5.1. Inversión y estructura del financiamiento

Para comenzar, se procederá a describir tanto la inversión necesaria del proyecto como la estructura del mismo.

Inversión

Se ha estimado que en el proyecto se invertirá S/. 164 636.93 para poder implementar los sistemas fotovoltaicos modulares para las 27 viviendas, 01 comedor popular y 01 centro educativo en el caserío “San Pedro” del distrito de Olmos.

A continuación se muestran las siguientes tablas donde se describe el suministro de materiales y el costo total del proyecto.

Tabla 27: Costo de suministro de equipos.

Item	Equipamiento principal	Und.	Cant. Total	Cost. Unit. S./	Precio Total S./
I.	SUMINISTRO DE MATERIALES				S/. 87,521.40
A.	SUMINISTRO DE MATERIALES PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO				
1.0	Módulo de Paneles Fotovoltáicos	Unid.			S/. 22,040.00
1.1	Panel Solar MonoCristalino 36 Celdas 120Wp	Unid.	58.00	S/. 380.00	S/. 22,040.00
2.0	Sistema de Control	Unid.			S/. 6,354.00
2.1	Controlador BlueSolar PWM-Pro Charge Controller 12/24V-10 ^a	Unid.	1.00	S/. 128.00	S/. 128.00
2.2	Controlador BlueSolar PWM-Pro Charge Controller 12/24V-20 ^a	Unid.	27.00	S/. 218.00	S/. 5,886.00
2.3	Controlador BlueSolar PWM-Pro Charge Controller 12/24V-30 ^a	Unid.	1.00	S/. 340.00	S/. 340.00

3.0	Sistema de Almacenamiento	Unid.			S/. 39,900.00
3.1	150AH/12CVD - CICLO PROFUNDO - RITAR AGM	Unid.	57.00	S/. 700.00	S/. 39,900.00
4.0	Sistema de Transformación	Unid.			S/. 12,946.00
4.1	Inversor Onda Pura 12V 180W 230V/60Hz Phoenix 12/180 Victron	Unid.	1.00	S/. 346.00	S/. 346.00
4.2	Inversor Onda Pura 12V 350W 230V/60Hz Phoenix 12/350 Victron	Unid.	28.00	S/. 450.00	S/. 12,600.00
5.0	Estructura de soporte - Panel Solar	Unid.			S/. 15,950.00
5.3	- Estructura de Panel Solar - AUD	Unid.	27.00	S/. 550.00	S/. 14,850.00
5.4	- Estructura de Panel Solar -AUG Comedor popular	Unid.	1.00	S/. 450.00	S/. 450.00
5.5	- Estructura de Panel Solar - AUG Centro educativo	Unid.	1.00	S/. 650.00	S/. 650.00
6.0	Accesorios del SFV	GLB			S/. 6,281.40
6.1	- Cableado THW 90 - 4mm2	m.	580.00	S/. 1.50	S/. 870.00
6.2	- Cableado THW 90 - 6mm2	m.	87.00	S/. 2.50	S/. 217.50
6.3	-Cableado THW 90 -10 mm2	m.	29.00	S/. 3.50	S/. 101.50
6.4	- Pernos de 2.5" - 1/4" Φ + Arandelas + Tuerca	Unid.	232.00	S/. 0.15	S/. 34.80
6.5	- Pernos de 3.5" - 1/4" Φ + Arandelas + Tuerca	Unid.	348.00	S/. 0.20	S/. 69.60
6.6	- Interruptor Termomagnetico 20 A	Unid.	29.00	S/. 22.00	S/. 638.00
6.7	- Tablero de Conexión	Unid.	29.00	S/. 50.00	S/. 1,450.00
6.8	- Otros accesorios	Glb	29.00	S/. 100.00	S/. 2,900.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Costo de inversión del proyecto.

ITEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL SOLES (S /.)
A	SUMINISTRO DE MATERIALES	S/. 87,521.40
B	TRANSPORTE DE MATERIALES	S/. 10,502.57
C	MONTAJE ELECTROMECAÁNICO	S/. 28,814.96
D	COSTO DIRECTO (C.D)	S/. 126,838.93
E	GASTOS GENERALES	S/. 12,683.89
F	SUB-TOTAL sin IGV	S/. 139,522.82
G	IGV	S/. 25,114.11
COSTO TOTAL DEL PROYECTO S/.		S/. 164,636.93

Fuente: Elaboración propia

Se pretende buscar alguna entidad del gobierno que pueda invertir en el presente proyecto en beneficio de la población del caserío San Pedro de Olmos.

5.5.2. Flujo de caja proyectado

El flujo de caja permitirá observar los ingresos y/o egresos netos que tendrá el proyecto durante los años de operación, es decir en un horizonte de 20 años.

Estructura del flujo de caja

Los componentes del flujo de caja son la inversión inicial, los diferentes ingresos y egresos que se darán durante el tiempo de operación del proyecto.

a) Ingresos y egresos proyectados: Los ingresos que el proyecto recibirá se obtendrán de los fondos generados al dejar de utilizar las fuentes comunes para el suministro de energía (iluminación y entretenimiento); mientras que los egresos a considerar es la depreciación de los equipos Fotovoltaicos según su vida útil.

Tabla 29: Depreciación anual de equipos.

<i>EQUIPOS</i>	<i>VIDA UTIL (años)</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>C. UNIT.</i>	<i>C. TOTAL</i>	<i>DEPRECIACIÓN / AÑO</i>
Panel Solar	20	58	S/. 380.00	S/. 22,040.00	S/. 1,102.00
Controlador 10A	10	1	S/. 128.00	S/. 128.00	S/. 12.80
Controlador 20A	10	27	S/. 218.00	S/. 5,886.00	S/. 588.60
Controlador 30A	10	1	S/. 340.00	S/. 340.00	S/. 34.00
Inversor 180W	8	1	S/. 346.00	S/. 346.00	S/. 43.25
Inversor 350W	8	28	S/. 450.00	S/. 12,600.00	S/. 1,575.00
Baterías	20	57	S/. 700.00	S/. 39,900.00	S/. 1,995.00

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta un resumen de los flujos de cajas considerando una tasa de descuento mínima de 11%.

Tabla 30: Flujos de caja proyectados en un horizonte de 20 años.

		Año 00	Año 01	Año 02	Año 03	Año 04	Año 05	Año 06	Año 07	Año 08
	Inversión en el Período T	S/. 164,636.93								
INGRESOS	Fondos Generados		S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00
EGRESOS	Depreciación de Equipos		S/.5,350.65	S/.5,350.65	S/.5,350.65	S/.5,350.65	S/.5,350.65	S/.5,350.65	S/.5,350.65	S/.16,678.40
	_Panel Solar		S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00
	_Controlador		S/.635.40	S/.635.40	S/.635.40	S/.635.40	S/.635.40	S/.635.40	S/.635.40	S/.635.40
	_Inversor		S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.12,946.00
	_Baterías		S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00
	Flujo de Efectivo Neto		S/.5,785.35	S/.5,785.35	S/.5,785.35	S/.5,785.35	S/.5,785.35	S/.5,785.35	S/.5,785.35	S/-.5,542.40

Año 09	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00	S/.11,136.00
S/.5,350.65	S/.11,069.25	S/.5,350.65	S/.5,350.65	S/.5,350.65	S/.5,350.65	S/.5,350.65	S/.11,136.00	S/.5,350.65	S/.5,350.65	S/.5,350.65	S/.5,350.65
S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.16,678.40	S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00	S/.1,102.00
S/.635.40	S/.6,354.00	S/.635.40	S/.635.40	S/.635.40	S/.635.40	S/.635.40	S/.1,102.00	S/.635.40	S/.635.40	S/.635.40	S/.635.40
S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.635.40	S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.1,618.25	S/.1,618.25
S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/.12,946.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00	S/. 1,995.00
S/.5,785.35	S/. 66.75	S/.5,785.35	S/.5,785.35	S/.5,785.35	S/.5,785.35	S/.5,785.35	S/. 1,995.00	S/.5,785.35	S/.5,785.35	S/.5,785.35	S/.5,785.35

Fuente: Elaboración propia

5.5.3. Rentabilidad del proyecto

Luego de haber establecido los ingresos y egresos del proyecto, podemos hacer uso de los indicadores que ayudarán a analizar de manera objetiva lo atractivo de la inversión desde el punto de vista monetario. Para ello necesitamos determinar la tasa de descuento y el horizonte de evaluación del proyecto.

Tasa de descuento

Esta tasa representa una medida de la rentabilidad mínima que se exigirá al proyecto de acuerdo a su riesgo. Además, al obtenerla podremos utilizarla para conocer el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto.

Los flujos de caja se descontarán a una tasa mínima de descuento económica igual al 11%.

Horizonte del Proyecto

El proyecto se ha sido evaluado en un horizonte de 20 años, en la cual se determinará si el proyecto es rentable.

5.5.4. Valor Actual Neto (VAN)

El valor Actual Neto es la cantidad monetaria que resulta de regresar los flujos netos del futuro hacia el presente con una tasa de descuento. El proyecto se acepta siempre y cuando el VAN sea mayor a cero, caso contrario se rechaza.

La tasa de descuento (costo de capital) con la que se ha evaluado la inversión del proyecto es del 11%.

Con estas consideraciones obtenemos nuestros VAN donde podemos concluir que el proyecto es económicamente rentable durante los 20 años de operación del proyecto.

Tabla 31: Valor Anual Neto del proyecto.

Tasa de Descuento	VAN	Decisión
11%	S/. 327,628.63	El proyecto es rentable, la inversión debe realizarse.

Fuente: Elaboración Propia

5.5.5. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR), es aquella tasa de interés que hace igual a cero el valor de flujos de beneficios netos.

El criterio para aceptar o rechazar el proyecto se fundamenta en que si la TIR es menor que la tasa de descuento se debe rechazar el proyecto, en caso contrario se le acepta.

Tabla 32: Tasa Interna de Retorno del proyecto.

Tasa de Descuento	TIR	Decisión
11%	36%	El proyecto se debe aceptar

Fuente: Elaboración Propia

Al calcular la TIR para nuestro proyecto vemos que es mayor a la tasa de descuento mínima respectivamente, con lo cual confirmamos la rentabilidad del proyecto.

5.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el caserío “San Pedro” del distrito de olmos a través de la información proporcionada por las familias involucradas en el presente proyecto sobre su consumo energético se determinó una carga instalada por Abonado Domestico (AD) de 161 W, en lo que respecta a los Abonados Uso General (AUG) se determinó para el comedor popular una carga de 133 W y 255 W para el centro educativo; obteniéndose así una máxima demanda actual del caserío de 4,31 Kw.

El caserío San Pedro, zona donde se ha realizado el presente estudio cuenta con una muy buena radiación que va desde 4,96 a 6,12 HPS como promedio mensual; el sistema fotovoltaico modular propuesto a implementar tanto para abonados domésticos y de uso general se ha dimensionado con una radiación solar mínima de 4,96 HPS la cual se obtiene en el mes menos favorable (Febrero), obteniéndose así un SFV modular (con una factor global de funcionamiento del 80%) por cada Abonado.

Este sistema fotovoltaico (SFV) modular, permitirá cubrir un consumo de energía proyectado en un horizonte de 20 años según el tipo de abonado; lo que hace viable técnicamente el proyecto, la tabla siguiente describe este consumo de energía proyectada diaria, mensual y anual.

Tabla 33: Consumo de energía proyectada.

Consumo de Energía Proyectado por Abonado	Domestico	Uso General	
		Comedor Popular	Centro Educativo
Anual (kWh/año)	287.53	130.32	313.2
Mensual (kWh/mes)	23.96	10.86	26.10
Diaria (Wh/día)	593	362	870

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado en el análisis económico realizado para determinar la rentabilidad del proyecto se tiene un VAN de S/. 327,628.63 soles a una tasa del 11% (tasa de descuento mínima) en un horizonte de 20 años con una TIR de 36%, lo que hace viable económicamente el proyecto.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

De acuerdo al estudio que se ha seguido en el presente trabajo de investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- a) Se realizaron los cálculos correspondientes logrando dimensionar un sistema fotovoltaico modular para la generación eléctrica y satisfacer el consumo energético básico de los abonados domésticos y de uso general involucrado en el presente proyecto.

Tabla 34: SFV modular propuesto.

Sistema Fotovoltáico Modular	Tipo de Abonado		
	AD	AUG - Comedor	AUG – Centro Educativo
Panel Solar de 120 Wp	02	01	03
Baterías de 120 Ah	02	01	02
Inversor de corriente	01 (350W)	01 (180W)	01 (350W)
Controlador de Carga	01 (20A)	01 (10A)	01 (30A)

Fuente: Elaboración Propia

- b) En el caserío San Pedro se obtuvo que la máxima demanda total actual es de 4,31 Kw, y una proyectada en un horizonte de 20 años de 5,61 Kw.
- c) Con el software de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos (SFV) Nastec se obtuvo una radiación máxima de 6,12 HPS (septiembre) y una mínima de 4,96 HPS (febrero).

- d) Efectuando los metrados de suministro, transporte y montaje se obtuvo que el proyecto propuesto tiene una inversión de S/. 164,636.93 soles.
- e) Efectuando el análisis económico se obtuvo un VAN de S/.327,628.63 y la TIR de 36% a una tasa de descuento mínima del 11%, esto hace que el proyecto sea rentable frente.

6.2. RECOMENDACIONES

De acuerdo al estudio que se ha seguido en el presente trabajo de investigación se ha llegado a las siguientes recomendaciones:

- a) Es recomendable que el proyecto de investigación realizado no quede solo en evaluación técnico económico, sino por el contrario tratar de insértalo dentro de mecanismo de desarrollo, con la finalidad de mejorar las condiciones de vida de toda la población involucrada.
- b) Se recomienda que los SFV modulares sean utilizados para la demanda eléctrica prevista según sea el caso, ya que solo se ha previsto un incremento de un 34% en el dimensionamiento.
- c) Es recomendable que este tema de investigación se desarrolle a nivel académico por la gran importancia nuestra carrera y que es una solución a un problema energético.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

- a) Proyecto de Norma Técnica Peruana PNTD 399.403 – 2003 Sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp. “configuración y método para la determinación de la eficiencia energética del sistema” primera edición.
- b) Texto único refundido de las especificaciones técnicas de diseño y montaje de instalaciones solares fotovoltaicas para la producción de electricidad, SODEAN S. A.
- c) Manual de operación y mantenimiento de paneles solares, Programa de desarrollo de infraestructura sociales salud y educación básica en el medio rural países andinos.
- d) “Atlas de Energía Solar del Perú”, Senamhi, MEM
- e) Reglamento técnico “Especificaciones Técnicas y Ensayos de los componentes de Sistemas Fovoltaicos Domésticos hasta 500 Wp”, Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Electricidad, Febrero – 2005.
- f) Reglamento General de Electricidad con Energías Renovables DS N°. 050-2008-EM de 2 de Mayo 2008.
- g) R.D. N° 003-2007-EM/DGE. Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural. (22/02/2007).
- h) Decreto Legislativo N° 1002. Decreto legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.

LINKORAFÍA

- a) Delta Volt. Energía Solar Fotovoltaica. <http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar>.
- b) Europe Sun Fields. Manual de cálculo de sistemas fotovoltaicos aislados/autónomos. <http://www.sfe-solar.com/suministros-fotovoltaica-aislada-autonoma/manual-calculo/>.
- c) NASTEC. http://solar.nastec.eu/Systems/Edit/1173?search&order=0_asc&length=10&page=0.
- d) Sitio Web oficial de monsolar. <http://www.monsolar.com/blog/como-funcionan-los-reguladores-de-carga-solares-pwm-y-mppt/>.
- e) Sun Earth Tools.com. [http://www.sunearthtools.com/es/tools/CO₂-emissions-calculator.php#txtCO₂_5](http://www.sunearthtools.com/es/tools/CO2-emissions-calculator.php#txtCO2_5).
- f) Sitio Web oficial de Scribd. <https://es.scribd.com/doc/134113350/La-combustion-de-hidrocarburos-y-su-impacto-ambiental-docx#scribd>.
- g) Minem. (2011). NORMAS. www.MINEM.com.
- h) Proyectos, I. d. (2011). Mppsolar. www.mpptsolar.com.
- i) Renovables, E. (2013). Energías Renovables. <http://www.energias-renovables.com/articulo/inauguran-la-primera-planta-fotovoltaica-con-seguimiento-20121014>.
- j) Ingeniería. (2011). Fieras de la Ingeniería. <http://www.fierasdeingenieria.com/el-proyecto-de-energia-solar-fotovoltaica-mas-grande-de-alemania-neuhardenberg/>

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO A: Plano de Ubicación de Lotes.

ANEXO B: Plano de diagrama unifilar del sistema fotovoltaico (SFV).

ANEXO C: Plano de estructura soporte de paneles solares.

ANEXO D: Ficha de empadronamiento de pobladores.

ANEXO E: Ficha de encuesta.

ANEXO F: Radiación solar, Software de dimensionamiento Nastec. **(Ver pag.76).**

ANEXO G: Especificaciones o características técnicas de panel solar. **(Ver pag.90).**

ANEXO H: Especificaciones o características técnicas de baterías. **(Ver pag.91).**

ANEXO I: Especificaciones o características técnicas de controlador de carga.

(Ver pag.92)

ANEXO J: Especificaciones o características técnicas de inversor de corriente. **(Ver pag. 93).**

ANEXO K: Registro fotográfico del proyecto.