



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA
LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y
REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN EL CASERÍO
NUEVO EDEN – YAMBRASBAMBA - AMAZONAS”**

Presentado Por:

Bach. BLADIMIR ALEXANDER GUEVARA CALDERÓN

Asesor:

Dr. CARRANZA MONTENEGRO DANIEL

LAMBAYEQUE – PERÚ

Diciembre del 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS DE INGENIERÍA

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA
LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y
REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN EL CASERÍO
NUEVO EDEN - YAMBRASBAMBA - AMAZONAS”**

Presentado Por:

Bach. BLADIMIR ALEXANDER GUEVARA CALDERÓN

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: M.Sc. FREDY DAVILA HURTADO

SECRETARIO: M.Sc. AMADO AGUINAGA PAZ

MIEMBRO: ING. TEOBALDO JULCA OROZCO

ASESOR: Dr. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

Lambayeque – Perú

Diciembre del 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS DE INGENIERÍA

TITULO

**“APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN EL
CASERÍO NUEVO EDEN -YAMBRASBAMBA- AMAZONAS”**

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

AUTOR: Bach. BLADIMIR ALEXANDER GUEVARA CALDERÓN

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

Lambayeque – Perú

Diciembre del 2018

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi familia quién supo guiarme por el buen camino, darme firmeza para seguir adelante y no desmayar ante los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar.

Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por su esfuerzo y apoyo incondicional, sin los cuales esto jamás hubiese sido posible. Todo lo que soy y he logrado es gracias a su sacrificio y amor y por eso estaré eternamente agradecido y orgulloso de ser su hijo.

A mis hermanas, gracias por todos esos momentos y recuerdos imborrables, por todas esas peleas y discusiones que duran un rato y se transforman en risas y alegría.

A mi asesor Dr. Carranza Montenegro Daniel, por su tiempo y dedicación que permitieron llevar adelante un proyecto tan interesante y entretenido.

A mis amigos, por su compañía en todos esos momentos de estrés, de estudio, de trabajos y tareas interminables

RESUMEN

El objetivo de la tesis es el aprovechamiento de la energía solar para suministrar energía eléctrica al caserío Nuevo Edén y reducir las emisiones de CO₂, en el caserío Nuevo Edén existen 30 viviendas, 01 local comunal y 01 iglesia, con 125 habitantes los cuales hasta la actualidad no cuentan con suministro de energía eléctrica, por tal motivo dicha población no cuenta con los servicios básicos como son la iluminación, refrigeración, información, comunicación, los cuales son totalmente necesarios. Por lo cual se propone un sistema fotovoltaico, luego de realizar los estudios se obtuvo que: el consumo de energía diaria promedio proyectado para el caserío Nuevo Edén es de 13 318 Wh y la potencia requerida por el sistema de captación fotovoltaica es de 5,09 kW. Los datos de radiación solar promedio mensual obtenidos de la página de la NASA (3,64 kWh/m²/día), del atlas del SENAMHI (4,50 kWh/m²/día), en donde se consideró el menor de los valores es decir: 3,64 kWh/m²/día. La instalación fotovoltaica estará compuesta por 16 paneles fotovoltaicos de 320 Wp de potencia cada uno, 16 baterías de acumuladores, 2 reguladores de carga y 2 inversores. Dando una potencia instalada del sistema de captación de energía de 5,12 kWp. Se estimó la cantidad de CO₂ que se dejaría de emitir al medio ambiente al ejecutarse este trabajo de investigación el cual es de: 65 518,39 kg de CO₂.

El presupuestó del sistema del sistema fotovoltaico con la red de distribución tiene un costo total de: S/. 143 845,15

Palabras clave: Energía renovable, irradiancia, célula solar, inversor, generador fotovoltaico.

ABSTRACT

The objective of the thesis is the use of solar energy to supply electricity to the village of Nuevo Eden and reduce CO₂ emissions, in the village of Nuevo Eden there are 30 houses, 01 communal space and 01 church, with 125 inhabitants, which currently they do not have electricity supply, for this reason the population does not have basic services such as lighting, cooling, information, communication, which are absolutely necessary. Therefore, a photovoltaic system is proposed, after conducting the studies it was obtained that: the average daily energy consumption projected for the Nuevo Eden farmhouse is 13 318 Wh and the power required by the photovoltaic capture system is 5,09 kW. The average monthly solar radiation data obtained from the NASA website (3,64 kWh / m² / day), the SENAMHI atlas (4,50 kWh / m² / day) and the where the lowest of the values of the two sources was considered, that is to say: 3,64 kWh / m² / day. The photovoltaic installation will be composed of 16 photovoltaic panels of 320 Wp each, 16 accumulator batteries, 2 charge regulators and 2 inverters. Giving an installed power of the energy capture system of 5,12 kWp. The amount of CO₂ that would be left to emit into the environment was estimated when this research work was carried out, which is: 65 518,39 kg of CO₂.

He budgeted the system of the photovoltaic system with the distribution network reaching a total of: S /. 143 845,15

Keywords: Renewable energy, irradiance, solar cell, inverter, photovoltaic generator.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
INTRODUCCIÓN	XII
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Realidad Problemática	1
1.2. Formulación del Problema	2
1.3. Delimitación de la Investigación	2
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS	5
1.5. Limitaciones de la TESIS	6
1.6. Objetivos	7
1.6.1. Objetivo General	7
1.6.2. Objetivo Específicos	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes de Estudios	8
2.2. Desarrollo de la Temática Correspondiente al Tema Desarrollado.....	14
2.2.1. Energías Renovables.....	14
2.2.2. Energía Solar	15
2.2.3. Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica.....	26
2.2.4. Componentes de un Sistema Fotovoltaico	30
2.2.5. Protocolo de Kioto.....	53
2.2.6. Reducción de Emisiones de CO ₂	55
2.2.7. Estimación de la Reducción de Emisiones de CO ₂	55
2.3. Definición Conceptual de la Terminología Empleada.....	56
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	60
3.1. Tipo y Diseño de Investigación	60
3.2. Población y Muestra.....	60

3.3. Hipótesis	61
3.4. Operacionalización de las Variables	61
3.5. Métodos y Técnicas de Investigación	63
3.6. Descripción de los Instrumentos Utilizados.....	63
3.7. Análisis Estadístico e Interpretación de los Datos.....	64
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	65
4.1. Propuesta de la Investigación	65
4.1.1. Elaboración de Plano de Lotización.....	65
4.1.2. Equipamiento del Sistema de Generación Fotovoltaica.....	65
4.1.3. Sistema de Distribución en 220 V	67
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	68
5.1. Calculo de la Energía Promedio Diaria	68
5.2. Calculo de la Energía Eléctrica	68
5.2.1. Consumo de Energía Necesaria Diaria (Wh/día)	68
5.3. Evaluación de la Radiación Solar.....	72
5.4. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaica	74
5.4.1. Parámetros de Dimensionamiento.....	76
5.4.2. Elección del Tipo y Número de Módulos Fotovoltaicos.....	77
5.5. Dimensionamiento del sistema de distribución eléctrica en 220 V.....	96
5.5.1. Cálculos Eléctricos.....	96
5.5.2. Cálculos Mecánicos de Conductores Autoportantes.....	101
5.5.3. Hipótesis de Estado	101
5.5.4. Cálculo de Cambio de Estado	102
5.6. Metrado y Presupuesto	105
5.6.1. Metrado y presupuesto del sistema de fotovoltaica	105
5.6.2. Presupuesto Total del Sistema de Generación, Distribución de Energía Eléctrica en el Caserío Nuevo Edén.....	107
5.7. Emisiones de CO ₂	108
CAPITULO VI: Conclusiones.....	110
6.1. Conclusiones.....	110
BIBLIOGRAFÍA	111
ANEXOS	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Tipos de baterías.....	51
Tabla N° 2: Operacionalización de variables.....	62
Tabla N° 3: Instrumentos para cada técnica de investigación	64
Tabla N° 4: Equipamiento del sistema fotovoltaico para el caserío nuevo Edén.	66
Tabla N° 5: Consumo de energía eléctrica diaria para vivienda particular	68
Tabla N° 6: Consumo de energía en el local comunal	69
Tabla N° 7: Consumo de energía eléctrica de la iglesia.....	69
Tabla N° 8: Consumo de energía por alumbrado público.....	69
Tabla N° 9: Proyección de población y vivienda para 20 años.....	71
Tabla N° 10: Energía promedio diaria proyectada para el caserío Nuevo Edén	71
Tabla N° 11: Máxima demanda	72
Tabla N° 12: Radiación solar en el caserío Nuevo Edén según la Nasa.....	74
Tabla N° 13: Radiación solar y días de autonomía para el caserío Nuevo Edén	76
Tabla N° 14: Datos eléctricos del panel Yingli Solar de 320 Wp modelo YL320P-35b	78
Tabla N° 15: Características generales de los módulos fotovoltaicos	78
Tabla N° 16: Parámetros eléctricos totales del sistema de captación	80
Tabla N° 17: Características del controlador MPPT 150/60	83
Tabla N° 18: Especificaciones Técnicas del Inversor	85
Tabla N° 19: Caída de tensión por cada tramo de la instalación fotovoltaica...	91
Tabla N° 20: Características eléctricas de los conductores NYY	92
Tabla N° 21: Parámetros y factores de caída de tensión para cables autoportantes	97
Tabla N° 22: Caída de tensión para el servicio particular C-I	99
Tabla N° 23: Caída de tensión C-II.....	100
Tabla N° 24: Distancias mínimas del conductor al terreno.....	101
Tabla N° 25: Hipótesis de estado	102
Tabla N° 26: Característica de los conductores autoportantes.	102
Tabla N° 27: Flecha para el Vano Básico.....	103
Tabla N° 28: Características de los postes de concreto armada.....	104
Tabla N° 29: Valor referencial para el suministro de materiales para el sistema fotovoltaico	105
Tabla N° 30: Presupuesto del sistema fotovoltaico	106
Tabla N° 31: Presupuesto general para el proyecto propuesto	107
Tabla N° 32: Emisiones de CO ₂ con energía convencional	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación de Yambrasbamba en Bongora	3
Figura N° 2: Esquema de la Distribución de la Radiación Solar	18
Figura N° 3: Mapa Solar del Perú.....	22
Figura N° 4: Radiación Solar en el Departamento de Amazonas.....	23
Figura N° 5: Componentes de la Radiación Solar Terrestre Total.....	24
Figura N° 6: Balance Energético Sobre un Cuerpo	25
Figura N° 7: Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red Eléctrica.....	28
Figura N° 8: Instalación Fotovoltaica Aislada de la Red Eléctrica	29
Figura N° 9: Concepto de Horas Sol Pico	30
Figura N° 10: Componentes de un Sistema Fotovoltaico	30
Figura N° 11: Esquema de una Instalación Fotovoltaica para Autoconsumo ...	32
Figura N° 12: Funcionamiento de una Célula de Silicio	34
Figura N° 13: Diferencias Entre los Paneles Según la Tecnología del Fabricante	35
Figura N° 14: Curva de Potencia.....	37
Figura N° 15: Conexión en Serie de Módulos Fotovoltaicos	38
Figura N° 16: Conexión de Módulos Fotovoltaicos en Paralelo	39
Figura N° 17: Conexión Serie/Paralelo de Módulos Fotovoltaicos	40
Figura N° 18: Regulador de Carga	41
Figura N° 19: Regulador de Carga	43
Figura N° 20: Inversor	46
Figura N° 21: Conductores Eléctricos	53
Figura N° 22: Emisiones GEIs.....	54
Figura N° 23: Red de Distribución Secundaria Propuesto.....	67
Figura N° 24: Tasa de Crecimiento en el Departamento de Amazonas	70
Figura N° 25: Radiación Solar en el Departamento de Amazonas.....	73
Figura N° 26: Panel marca YINGLI SOLAR Modelo YL320P-35b.....	77
Figura N° 27: Controlador MPPT 150/60 VICTRON.....	82
Figura N° 28: Inversor VICTRON ENERGY	85
Figura N° 29: Batería de 357 Ah Marca ROLLS 12 CS 11 P	88
Figura N° 30: Distancia Mínima Entre Filas de Módulos Instalados en el Mismo Plano	95
Figura N° 31: Diagrama de Carga C-I	99
Figura N° 32: Diagrama de carga C-II	100

INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulado: “**APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN EL CASERÍO NUEVO EDEN - YAMBRASBAMBA-AMAZONAS**” permitirá electrificar al caserío Nuevo Edén utilizando energía fotovoltaica. El contenido es el siguiente:

En el Capítulo I, se presenta la realidad problemática existente en el caserío Nuevo Edén en cuanto a la carencia del servicio de energía eléctrica. Luego se enuncia el Problema, para luego justificar el trabajo de investigación realizado y presentar los Objetivos de la Investigación.

En el Capítulo II, se presenta el Marco Teórico, donde se muestran los antecedentes y la teoría relacionada con el tema de investigación.

En el Capítulo III, se presenta el Marco Metodológico, en el cual se describe el diseño de la Investigación es decir la forma como se van a obtener los datos y procesarlos, describiendo las Variables y su Operacionalización, así como la Población, además de las Técnicas e Instrumentos de recolección de datos utilizados en la investigación, así como los Métodos de Análisis de Datos.

En el Capítulo IV, se presenta los componentes mínimos del sistema fotovoltaico propuesto, así como de la red de distribución en B.T.

En el Capítulo V, se presenta los resultados obtenidos en base a los objetivos planteados.

En el Capítulo VI, se presenta las Conclusiones.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

En el caserío Nuevo Edén existen 30 viviendas, 01 local comunal y 01 iglesia, con 125 habitantes los cuales hasta la actualidad no cuentan con suministro de energía eléctrica, por tal motivo dicha población no cuenta con los servicios básicos como son la iluminación, refrigeración, información, comunicación, los cuales son totalmente necesarios. Esto genera una desventaja a su población con respecto a otros ciudadanos, y a su vez no genera oportunidades de desarrollo en la población, haciendo que dichos ciudadanos no puedan superar la pobreza en la que viven.

Las características del centro poblado son su lejanía ya que se encuentran aproximadamente a 21 km de las redes eléctricas más cercanas y la baja demanda lo cual ha generado que las empresas concesionarias de electricidad no se interesen en este centro poblado para suministrar energía eléctrica.

En esta tesis se considera el uso de un sistema fotovoltaico que cumplan con los requerimientos energéticos del Caserío Nuevo Edén, aprovechando las características específicas de la zona, el recurso solar, permita generar electricidad con fuentes renovables.

1.2. Formulación del Problema

¿Existe el recurso solar suficiente para el funcionamiento de un sistema fotovoltaico y lograr suministrar de energía eléctrica al caserío Nuevo Edén reduciendo las emisiones de CO₂?

1.3. Delimitación de la Investigación

La investigación se desarrollará en el Caserío Nuevo Edén el cual se encuentra bajo la jurisdicción del distrito de Yambrasbamba departamento de Amazonas.⁵⁴

El caserío Nuevo Edén se encuentra ubicado en¹:

Longitud: - 5,54956333300

Longitud: - 77,8154516670

El distrito de Yambrasbamba² es uno de los doce distritos de la Provincia de Bongará, ubicado en el Departamento de Amazonas, el cual tiene los siguientes límites.

Limita por el norte con la provincia de Condorcanqui.

Por el este con el departamento de Loreto y el departamento de San Martín.

Por el sur con el distrito de Corosha y el distrito de Florida

Por el oeste con la provincia de Utcubamba.

¹ <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

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



Figura N° 1: Ubicación de Yambrasbamba en Bongora³

Abarca una extensión de 1 715,96 km² y tiene una población estimada mayor a 6 000 habitantes.

La capital del distrito es el pueblo de Yambrasbamba, situada a una altura de 1 903 metros sobre el nivel del mar. La ciudad tiene un ambiente atractivo con hermosos paisajes; en ella se encuentra variedades de orquídeas, y árboles de gran abundancia. Está atravesada por el río Imaza.

³ Google Earth

La población del distrito es principalmente campesina y de origen mestizo, está compuesto por dos pueblos, seis caseríos, cinco anexos y trece unidades agropecuarias. La población se dedica a la ganadería vacuna, a la producción de lácteos y al cultivo de yacón, maíz, zanahoria, papa y café, yuca, repollo, arveja.

Vías de acceso y sistema de comunicación⁴: No existe servicio público de transporte. El poblado de Yambrasbamba cuenta con teléfono público comunitario. Los domingos se programa una feria en el mercado comunal de la localidad de Yambrasbamba. La gran parte de pobladores cuenta con radio y TV.

Recursos Turísticos: Entre los principales recursos turísticos tenemos: La Laguna de Cuambo, la cual se localiza a 20 minutos del pueblo. Las Cataratas de San Juan que se localiza a 8 minutos y la catarata de Rumiaco.

Climatología:

El distrito Yambrasbamba está ubicado en la región selva alta o ceja de selva en su mayor amplitud y posee áreas de sierra en las zonas altas; posee una variedad de microclimas y diversidad ecológica, así como altitudes que definen los pisos ecológicos donde se puede apreciar lugares de cálidos a fríos y de secos a húmedos.

⁴ <http://esmiperu.blogspot.pe/2006/11/yambrasbamba-amazonas.html>

Características Socio Económicas⁵.

En el distrito Yambrasbamba la principal actividad económica es la agropecuaria, constituyendo el cultivo de café uno de los principales productos agrícolas destinados al mercado, en las zonas altas se desarrolla la ganadería de tipo extensiva con pastos naturales.

Las actividades agrícolas se desarrollan de manera tradicional, con costumbres de tala y quema de bosques para la instalación de cultivos de pan llevar, café y pastos.

La principal fuente de energía calorífica en el ámbito de acción del proyecto es la leña, la misma que obtienen de los bosques talados y de las fincas de café, se ha determinado que el consumo familiar de leña por día es de 12 kg.

1.4. Justificación e Importancia de la TESIS

Esta tesis es importante pues con la implementación de un sistema fotovoltaico permitirá suministrar de energía eléctrica al caserío Nuevo Edén.

La integración de un sistema de generación fotovoltaica tiene la siguiente justificación:

Justificación ambiental

Con el desarrollo y aplicación de este trabajo de tesis se disminuirá daños al medio ambiente ya que este tipo de energía no proviene del petróleo y esto

⁵ <https://es.scribd.com/document/144780790/Expediente-Tecnico-Yambrasbamba>

contribuirá a la reducción de CO₂ que se genera debido a otros tipos de energía como son la térmica o la quema de combustibles fósiles.

Justificación técnica

Con esta tesis se contribuye al acercamiento tecnológico a la comunidad y fomenta el uso de energías renovables, contribuyendo así al estudio de esta línea de investigación.

Justificación económica

Ayudaría a que los pobladores ya no hacer gastos extras para iluminarse (velas, pilas, baterías o combustibles), incluso también en las recargas de sus equipos celulares.

Justificación social

El estudio tiene una justificación social debido a la desigualdad de las zonas rurales con las urbanas. Con el suministro eléctrico se contribuirá al mejoramiento de la calidad de vida.

Justificación científica

Esta tesis tiene como finalidad fomentar el uso de estas energías no convencionales como es este caso la energía solar fotovoltaica.

1.5. Limitaciones de la TESIS

Con respecto a los datos de radiación solar el estudio se ha limitado a los datos obtenidos de la NASA, al atlas solar del SENAMHI del 2003.

El centro poblado cuenta con habitantes con poco conocimiento de este tema de Energías Renovables y por consecuencia desconocen esta alternativa para poder cubrir sus necesidades y tener un desarrollo sostenible.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

El objetivo de la tesis es.

Aprovechar la energía solar para suministrar energía eléctrica al caserío Nuevo Edén y reducir las emisiones de CO₂.

1.6.2. Objetivo Específicos

- a) Determinar la energía promedio diaria requerida por el caserío Nuevo Edén.
- b) Determinar la radiación solar promedio del lugar.
- c) Determinar el equipamiento para el sistema de generación fotovoltaica.
- d) Diseñar la red de distribución eléctrica en baja tensión de 220 V.
- e) Realizar el presupuesto del sistema de generación fotovoltaica.
- f) Estimar la disminución de las emisiones de CO₂.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Contexto Internacional

Así mismo **Juana Kareli Tercero Ubau** en su trabajo de tesis de "Diseño de una minicentral solar fotovoltaica autónoma con una capacidad de 2,7 kWp para electrificar la comunidad de La Fortuna - MiraFlor Moropotente, Estelí". Este proyecto está dividido en dos fases: La primera fase es el diseño y/o dimensionado del sistema solar fotovoltaico, llevada a cabo en Alemania, en FH Bielefeld, Universidad de Ciencias Aplicadas y la segunda fase es el diseño de la Red de Distribución de la energía producida. como objetivo principal con dichas fases culminada es ejecutar este pequeño proyecto, que está dirigido a beneficiar a la comunidad de La Fortuna, proporcionando energía eléctrica con fuentes de energía renovable y así evitar daños al lugar que pertenece a un área protegida, con esto se espera mejorar la calidad de vida de las personas, proporcionándoles el servicio de energía eléctrica, con la energía que nos proporciona el sol, transformándola en energía eléctrica a través de módulos fotovoltaicos, la cual está diseñada para generar 2,7 kWp a 11 viviendas y una iglesia a las que se les distribuirá la energía en la comunidad La Fortuna, que con el tiempo cuya capacidad puede aumentar en base a la cantidad demandada de energía⁶.

⁶ Tercero Ubau, Juana Karelia. «Diseño de una minicentral solar fotovoltaica autónoma con una capacidad de 2,7 kWp para electrificar la comunidad de La Fortuna-MiraFlor Moropotente, Estelí.» Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Esteli-Nicaragua, 2015.

ACEVEDO (2016) en su tesis titulado “Diseño de una instalación solar fotovoltaica de 3 kW”. Se describe brevemente el desarrollo teórico de la tecnología fotovoltaica, desde el descubrimiento del fenómeno fotoeléctrico en el año de 1839, hasta la actualidad. Se explica la composición y el funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico, y de cada una de sus partes o elementos. Se detalla la construcción, operación y comportamiento de los módulos solares fotovoltaicos de silicio, se incluyen curvas de las variables que los caracterizan. De igual forma, se definen las baterías de plomo ácido, los reguladores - controladores de carga y los inversores CC/CA para aplicaciones solares de tipo aislado. Se definen las características técnicas de la instalación solar fotovoltaica objeto de este trabajo, su lugar de instalación y su aplicación específica. Se determinan las variables a tener en cuenta en el diseño: Cargas a alimentar, demanda máxima, consumo de energía eléctrica diario y mensual y radiación solar. Posteriormente, se presentan los cálculos necesarios para dimensionar el sistema solar fotovoltaico; se calcula la radiación solar sobre los paneles a instalar, se calculan y dimensionan todos los equipos de la instalación: paneles, regulador, banco de baterías, inversor y calibres de cables y de tuberías. Finalmente, se elaboran los esquemas que completan el diseño de la instalación solar fotovoltaica⁷.

⁷ Acevedo Garcés, F. (2016). Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios. Bogotá.

Contexto nacional

BARDALES (2016) en su tesis titulado: "Estudio De Factibilidad Para Suministrar Energía Eléctrica Mediante Un Sistema Fotovoltaico En El Centro Poblado De Shungun Región Amazonas, 2016". La tesis realizada abarca todos los aspectos de importancia para realizar el estudio de factibilidad para suministrar energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico al centro poblado de Shungun, distrito de Magdalena provincia de Chachapoyas región Amazonas, el cual cuenta con una población de 41 viviendas, para realizar correctamente el estudio se tomaron datos de los habitantes con el fin de conocer la demanda de energía así mismo esta demanda de energía cumple con lo establecido por el ministerio de energía y minas, se obtuvieron datos de radiación solar, luego se realizó los cálculos del dimensionamiento del sistema fotovoltaico, para la distribución de la energía se diseñó una red secundaria trifásica de baja tensión teniendo en cuenta las normas nacionales de electrificación rural y finalmente se realizó la evaluación económica usando herramientas financieras como el VAN, TIR y la relación costo - beneficio de esta manera determinamos si es factible el suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico en el centro poblado. (Bardales Espino, 2016)

MUÑOS (2015) en su trabajo de tesis de "Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país". En esta tesis se plantea el uso de la energía solar, como alternativa de solución inmediata a los problemas de electrificación rural en zonas aisladas y de frontera, con población dispersa y baja demanda de energía y que no cuentan con la posibilidad de acceder a los sistemas de electrificación convencionales. La

aplicación de esta alternativa se basa en criterios principales tales como el de priorización, análisis de sostenibilidad y un escenario probable con el cual se desea cumplir las metas propuestas en el Plan Nacional de Electrificación Rural⁸.

VALDIVIEZO (2014) en su trabajo de tesis de "Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles de la PCPU". En esta tesis se plantea el uso de la energía solar, como alternativa de solución

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

Se definen los conceptos más relevantes, los principales fundamentos teóricos y las características de los equipos que conforman una instalación fotovoltaica aislada, utilizando bibliografía de autores con presencia en la industria fotovoltaica. Los datos de radiación solar fueron obtenidos de la Estación climatológica Hipólito Unanue en la PUCP y se estima la demanda del consumo energético, el cual tiene un valor de 158,4 Ah/día. Luego, se dimensiona la cantidad de baterías, paneles fotovoltaicos, inversores y controladores a emplear. Se obtiene el siguiente arreglo, al iterar varias veces:

12 baterías 250 Ah / 12 V (3 ramales de 2 paralelo y 2 en serie).

24 paneles de 150 Wp. (3 ramales de 4 paralelo y 2 en serie)

⁸ Muñoz Anticona, Delfor Flavio. «Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país.» Lima, 2005.

3 controladores de 50 A y 24 V.

1 inversor 24 V/230 V – 1200 W.

Asimismo, se estima la distancia y características de los cables de acuerdo a la ubicación y cargas, y se dimensionan elementos de protección⁹.

DIONICIO & NAUPARI (2016) en su tesis titulado “Instalación de un sistema fotovoltaico a domiciliario en beneficio de la calidad de vida de la localidad de Huarascalle, Ancash” De acuerdo al análisis de las encuestas realizadas a los pobladores de la localidad de Huarascalle, la percepción de mejora en la calidad de vida de los pobladores debido a la electricidad fue de un 86 %, esto conlleva a que los beneficios sean diversos, como son la iluminación de las viviendas, la educación de los pobladores, la posibilidad de comunicación con los familiares, la utilización artefactos eléctricos, la salud y el aumento de la producción de la localidad. En resumen, la población crecerá económicamente y este crecimiento ya permitir su desarrollo, además de contribuir con el aumento de viviendas con electricidad en el ámbito rural¹⁰ (Dionicio Paico & Naupari Quiroz, 2016).

Contexto local

MORAN (2013) en su tesis de Ingeniería titulado “Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá - Distrito de Mórrope”; hace un estudio de electrificación con energía solar para el centro poblado Cruz de Pañalá, el cual carece de energía eléctrica de manera geográfica por tener

⁹ Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*. Lima.

¹⁰ (Dionicio Paico & Naupari Quiroz, 2016)

limitaciones al acceso de redes eléctricas por su distancia, altos costos de transporte y recursos energéticos limitados, lo que hace tener un costo elevado en la generación de energía; el cual lo llevo a la evaluación de otros recursos de energía renovable y su rentabilidad.

En este estudio el autor concluye que en el centro poblado Cruz de Pañalá distrito de Mórrope, si es rentable implementar un Sistema Fotovoltaico para uso doméstico y productivo frente a otras alternativas de generación eléctrica como la convencional, por ser una zona aislada. Y de acuerdo a la evaluación económica, la inversión a realizar en beneficio de las 40 familias suministrando energía con sistemas fotovoltaicos es de S/. 393,154.87 y con la electrificación convencional es de S/. 1 584,052.88 la cual es muy superior¹¹.

¹¹ Moran Santamaria, J. M. (2013). *Análisis y evaluación para la viabilidad técnico y económico en el uso de la energía fotovoltaica para el centro poblado Cruz de Pañala*. Lambayeque.

2.2. Desarrollo de la Temática Correspondiente al Tema Desarrollado

2.2.1. Energías Renovables

Para la Física, la energía es la capacidad potencial que tienen los cuerpos para producir trabajo o calor, y se manifiesta mediante un cambio. Es energía el esfuerzo que hace una persona cuando pedalea sobre una bicicleta. También lo es el movimiento continuo del agua de un río, o el calor que desprende el carbón cuando se quema. Desde siempre, el hombre ha utilizado las fuentes de energía a su alcance para hacer un trabajo o para obtener calor. Primero su propia fuerza física o la de los animales domésticos. Luego la energía del viento y del agua. Más tarde llegaría la explotación de los combustibles fósiles: carbón, gas natural y petróleo y de la energía nuclear. En el futuro es probable que puedan aparecer nuevas fuentes, pero, sea como fuere, la disponibilidad de energía ha sido siempre esencial para la humanidad. Tan esencial como pueda serlo, por ejemplo, el agua potable.

De entre las distintas fuentes de energía, las renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana, aunque habría que decir que, para fuentes como la biomasa, esto es así siempre que se respeten los ciclos naturales. El sol está en el origen de todas las energías renovables porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que predispone la formación de nubes y, por tanto, las lluvias. También del sol procede la energía hidráulica. Las plantas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer. Toda esa

materia vegetal es la biomasa. Por último, el sol se aprovecha directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica.

Las fuentes de energía renovables que incluimos en esta colección son la eólica, la solar térmica y fotovoltaica, la biomasa y los biocarburantes, la hidráulica con especial atención a la minihidráulica, la geotérmica y las energías procedentes del mar. Dedicamos también un cuaderno al hidrógeno y a la pila de combustible. El hidrógeno no es una fuente de energía, como tampoco lo es la electricidad, pero es sin duda el combustible limpio del futuro y algún día se producirá fundamentalmente a partir de fuentes renovables. El último cuaderno de la colección trata de ofrecer a los niños una visión de todas las fuentes de energía limpias¹².

2.2.2. Energía Solar

La energía solar es la fuente principal de vida en la Tierra: dirige los ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que mantienen la vida en el planeta, los ciclos del oxígeno, del agua, del carbono y del clima. El Sol nos suministra alimentos mediante la fotosíntesis y como es la energía del sol la que induce el movimiento del viento y del agua y el crecimiento de las plantas, la energía solar es el origen de la mayoría de fuentes de energía renovables, tanto de la energía eólica, la hidroeléctrica, la biomasa, la de las olas y corrientes marinas, como de la energía solar propiamente dicha. La energía solar absorbida por la Tierra en un año es equivalente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y diez mil veces superior al consumo actual. La energía del sol se puede

¹² <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos.pdf>

aprovechar pasivamente sin la utilización de ningún dispositivo o aparato específico, mediante la adecuada ubicación, diseño y orientación de los edificios, empleando correctamente las propiedades fisicoquímicas de los materiales y los elementos arquitectónicos de los mismos: aislamientos, tipo de revestimientos, protecciones, etc. Mediante la aplicación de criterios de arquitectura bioclimática se puede reducir significativamente, e incluso eliminar, la necesidad de climatizar (calentar y enfriar) los edificios, así como la necesidad de iluminarlos durante el día. Estas prácticas arquitectónicas contrastan con la tendencia a instalar cada vez más aparatos de climatización (aire acondicionado) que consumen una gran cantidad de energía. La energía del sol directa se puede aprovechar activamente (energía solar activa), captando energía térmica (calor) o generando electricidad.

El aprovechamiento térmico de la energía solar para calentar agua (incluso para calefacción) es posible gracias a los denominados colectores solares de agua. Estos colectores permiten calentar agua para el suministro de un hogar o edificio, utilizados en combinación con una fuente convencional, como el gas, permite ahorrar significativas cantidades de combustible. Esta aplicación es una de las aplicaciones solares más competitivas en la actualidad desde el punto de vista económico. Por este mismo sistema es posible obtener una parte (según las zonas geográficas) de la energía necesaria para calefacción, distribuyéndola por losa radiante. También existen colectores solares de aire (para calefacción), cocina solar, plantas desalinizadoras solares, y otras aplicaciones térmicas. Por otro lado se puede generar electricidad a partir de la energía solar térmica, mediante las

llamadas centrales de torre o mediante colectores cilindro-parabólicos; en estas instalaciones se calienta un fluido, que transporta el calor y genera electricidad mediante una turbina y un alternador¹³.

En un día soleado, **el Sol irradia alrededor de 1 kW/m²** sobre la superficie de la Tierra. Los paneles fotovoltaicos actuales tienen una eficiencia promedio del 14%, de modo que se obtendrían aproximadamente 140 W/m². (Ver Figura 2).

Sin embargo, no todos los días son soleados, por lo que el aprovechamiento efectivo es menor. A latitudes medias y septentrionales, tomando en cuenta el ciclo diurno y las condiciones atmosféricas, en promedio, llegan a la superficie terrestre 100 W/m² en invierno y 250 W/m² en verano. (Valdiviezo Salas, 2014).

¹³ <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2008/6/energ-a-solar-revoluci-ene.pdf>

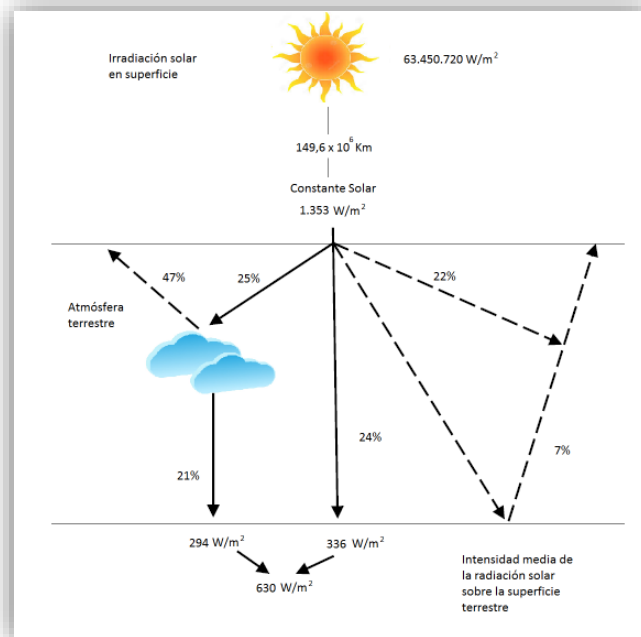


Figura N° 2: Esquema de la Distribución de la Radiación Solar¹⁴

2.2.2.1. Energía Solar en el Mundo¹⁵

La capacidad de energía solar fotovoltaica creció un 50% el año pasado convirtiéndose en la fuente de energía que más rápido creció, superando incluso al carbón. China, según el informe anual de la Agencia Internacional de Energía, fue el gran motor de esta expansión aportando la mitad de la expansión.

Las cifras reveladas por la agencia indican que las nuevas redes energéticas que crecen en el mundo son mayoritariamente renovables. Se estima que dos tercios de la nueva capacidad neta, 165 gigavatios (GW), corresponden a energía limpia. Los pronósticos apuntan a que la tendencia continuará en

¹⁴ Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*. Lima.

¹⁵ <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/en-2017-la-energia-solar-crecio-mas-rapido-que-otros-combustibles-articulo-732323>

2018 y para 2022, la capacidad de electricidad renovable debería aumentar en un 43 %.

"Vemos que las energías renovables crecerán en aproximadamente 1,000 GW para 2022, lo que equivale a aproximadamente la mitad de la capacidad mundial actual de la energía del carbón, que tardó 80 años en construirse", dijo el Dr. Fatih Birol, director ejecutivo de IEA, a través de un comunicado. "Lo que estamos presenciando es el nacimiento de una nueva era en la energía solar fotovoltaica. Esperamos que el crecimiento de la capacidad de energía solar fotovoltaica sea mayor que cualquier otra tecnología renovable hasta el año 2022".

Junto a China, los otros dos países que más jalonan este cambio son India y Estados Unidos. Se espera que la electricidad proveniente de fuentes renovables crezca en más de un tercio para 2022 a más de 8,000 tera vatios por hora, lo que es equivalente al consumo total de energía de China, India y Alemania combinados. Para entonces, las energías renovables representarán el 30% de la generación de energía, frente al 24% en 2016.

El mundo está experimentando una revolución energética que pocos se atrevían a anticipar. El año pasado se registraron precios de subasta récord, que cayeron a 3 centavos por kWh (o kilovatios hora).

A pesar de la incertidumbre política que ha generado Donald Trump, el informe destacó que los Estados Unidos siguen siendo el segundo mercado de mayor crecimiento para las energías renovables. "Los principales impulsores de la energía eólica y solar terrestre, como los incentivos fiscales federales de varios años combinados con los estándares de cartera

renovable, así como las políticas a nivel estatal para la energía solar fotovoltaica distribuida, siguen siendo sólidos”, anotaron.

En el caso de la India, el tercer superpoder en energía renovable, se espera que para 2022, se duplique su capacidad. Este crecimiento es suficiente para superar la expansión de las energías renovables en la Unión Europea por primera vez.

2.2.2.2. Energía Solar en el Perú

En el Perú, las condiciones orográficas, climáticas y oceanográficas, entre otras, determinan la existencia de tres grandes regiones naturales: Costa, Sierra y Selva. La Costa es la región limitada por el Océano Pacífico y las laderas andinas por debajo de los 2 000 msnm. La Sierra es la región de la Cordillera de los Andes, caracterizada por la presencia de cumbres y montañas con alturas de 6 768 msnm. La Selva es la región formada por dos zonas, el bosque tropical amazónico o selva baja y las pendientes y valles al este de los Andes bajo los 2 000 msnm conocido como selva alta (SENAMHI, 2003).

A nivel anual, la zona de mayor potencial de energía solar del territorio peruano se encuentra principalmente en la costa sur (16° a 18° S), donde se dispone de 6,0 a 6,5 kWh/m². Otras zonas en las que se registra alta disponibilidad de energía solar diaria, entre 5,5 a 6,0 kWh/m² son la costa norte (3 a 8° S) y gran parte de la sierra sobre los 2 500 msnm, siendo en orden de importancia en cuanto a su extensión superficial: La sierra sur, la sierra central y la sierra norte.

La zona de bajos valores de energía solar en el territorio es la selva, donde se registran valores de 4,5 a 5,0 kWh/m² con una zona de mínimos valores en el extremo norte cerca del ecuador (0° a 2° S).

Asimismo, es importante acotar que la mayor variación anual (desviación estándar) de los valores de energía solar recibida en la superficie está en la costa sur, seguido en orden de magnitud por la costa central, selva norte, costa norte y sierra sur. Las zonas de menor variación anual son la selva central y sur, la sierra central y parte de la sierra norte¹⁶.

¹⁶ (SENAMHI, 2003)



Figura N° 3: Mapa Solar del Perú¹⁷

¹⁷ SENAMHI. «Atlas de energía solar del Perú.» 2003.

2.2.2.3. Energía Solar en Amazonas

Aurélio Souza, que participó de otro programa de energía solar pionero en Amazonas, afirma que su potencial de expansión en estas comunidades es ilimitado¹⁸.

"Todo el mundo busca innovar, las poblaciones se están adaptando a los cambios y es lo que estamos tratando de hacer aquí", dice Irismar Duarte, vicepresidente de Amari.

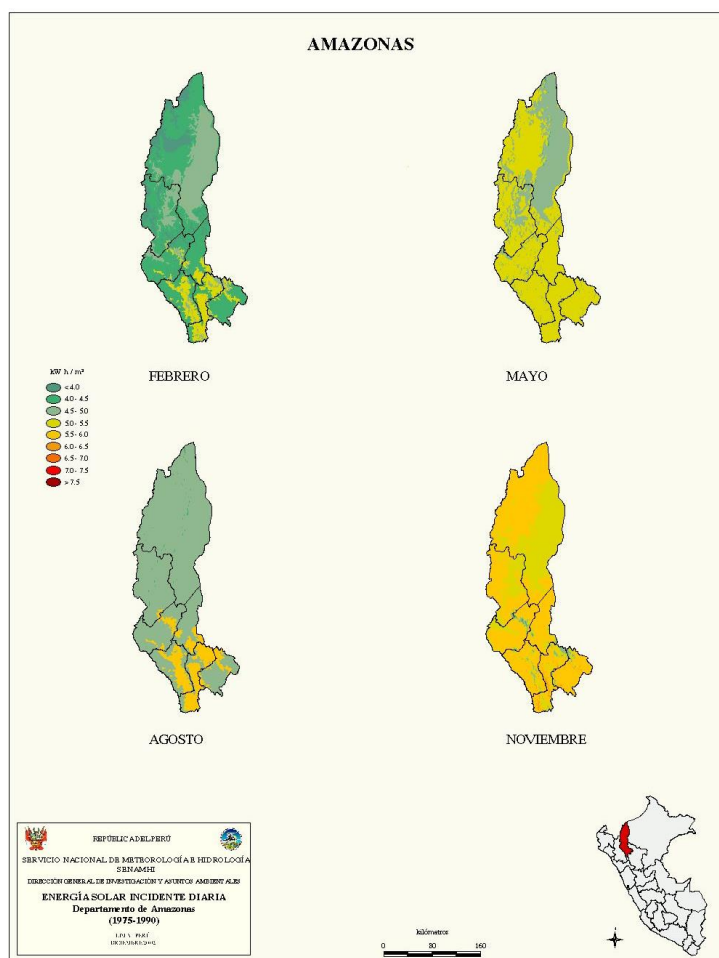


Figura N° 4: Radiación Solar en el Departamento de Amazonas¹⁹

¹⁸ <https://elcomercio.pe/tecnologia/ciencias/amazonia-energia-paneles-solares-cambiaran-vida-amazonia-brasil-noticia-465626>

¹⁹ <http://deltavolt.pe/phocadownload/Amazonas.jpg>

2.2.2.4. Componentes de la Radiación Solar

Para especificar la Radiación Solar Terrestre, es necesario definir los siguientes conceptos:

Radiación Solar Directa: Es la radiación que incide directamente del sol.

Radiación Solar Difusa: Es la radiación dispersada por los agentes atmosféricos (nubes, polvo, etc.)

Radiación Solar Reflejada (albedo): Es la radiación reflejada por el suelo o por los objetos cercanos

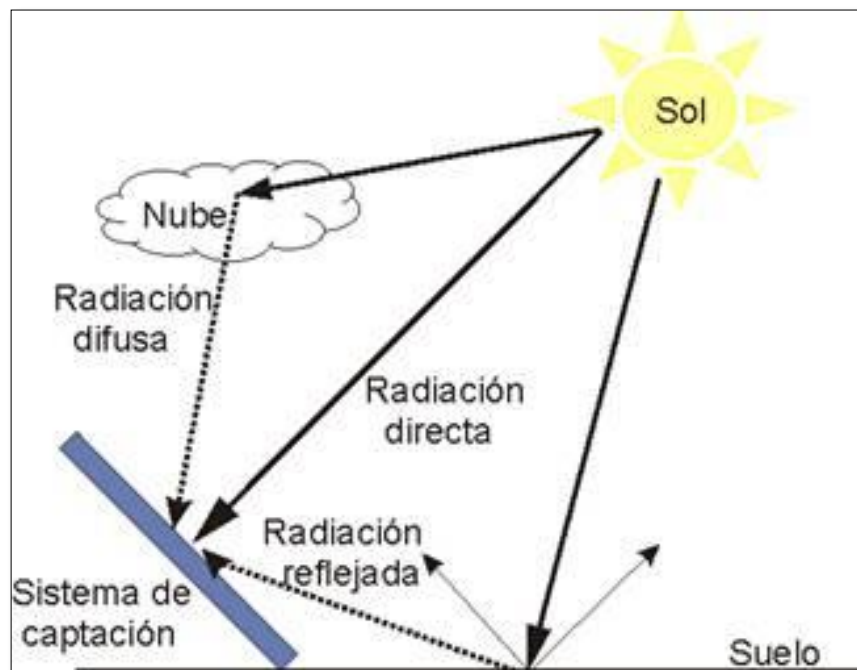


Figura N° 5: Componentes de la Radiación Solar Terrestre Total²⁰

La radiación solar total sobre la superficie terrestre, es la suma de estas tres componentes y es la que se mide con un medidor de radiación solar llamado piranómetro. A continuación, definiremos los componentes de la radiación solar:

²⁰ <https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>

Coefficiente de Absorción: Es el porcentaje de la energía incidente que absorbe el cuerpo.

Coefficiente de Reflexión: Es el porcentaje de la energía incidente que refleja el cuerpo.

Coefficiente de Transmisión: Es el porcentaje de la energía incidente que es transmitida a través del cuerpo.

Luego, por el Principio de Conservación de la Energía:

$$G = G \cdot \alpha + G \cdot \rho + G \cdot \tau$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

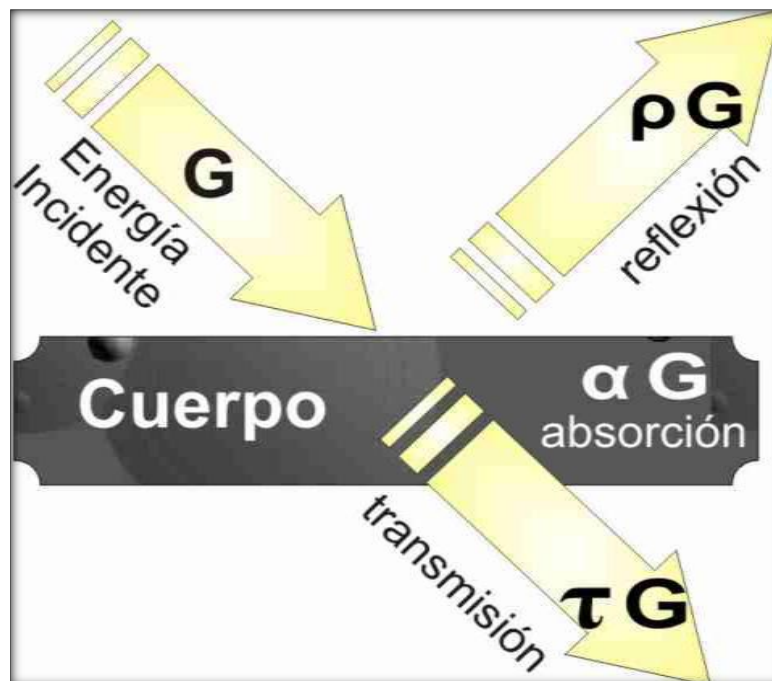


Figura N° 6: Balance Energético Sobre un Cuerpo²¹

Para un cuerpo negro: $\alpha=1$; $\rho=\tau=0$

Para un cuerpo opaco: $\tau=0$; $\alpha+\rho=1$

²¹ <http://www.monografias.com/trabajos72/demanda-electrica-vivienda-energia-solar/demanda-electrica-vivienda-energia-solar2.shtml>

En general, α , ρ y τ ; dependen de la temperatura del cuerpo, pero para fines prácticos, se pueden considerar como constantes características de cada material.

2.2.3. Aplicaciones de la Energía solar Fotovoltaica

Una instalación solar fotovoltaica tiene como objetivo producir energía eléctrica a partir de la energía solar.

La energía solar fotovoltaica tiene multitud de aplicaciones, desde la aeroespacial hasta juguetes pasando por las calculadoras y la producción de energía a gran escala para el consumo en general o a pequeña escala para consumo en pequeñas viviendas. Principalmente se diferencian dos tipos de instalaciones: las de conexión a red, donde la energía que se produce se utiliza íntegramente para la venta a la red eléctrica de distribución, y las aisladas de la red, que se utilizan para autoconsumo, ya sea una vivienda asilada, una estación repetidora de tele - comunicación, bombeo de agua para riego, etc.²²

2.2.3.1. Instalaciones Conectadas a la Red Eléctrica

La corriente eléctrica generada por una instalación fotovoltaica puede ser vertida a la red eléctrica como si fuera una central de producción de energía eléctrica. El consumo de electricidad es independiente de la energía generada por los paneles fotovoltaicos, el usuario sigue comprando la energía eléctrica que consume a la compañía distribuidora al precio establecido y además es propietario de una instalación generadora.

²² <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-la-energia-solar-fenercom.pdf>

Este tipo de aplicaciones está creciendo gracias al precio primado de venta a la red del kWh.

Las potencias más usuales son de 2,5 y 5 kW o múltiplos de 5 hasta 100 kW. Existen instalaciones mayores, pero tienen una prima inferior por lo que sólo las realizan empresas o centros de investigación, ya que se amortizan en periodos más largos (solar, 2016).

Algunas de las aplicaciones de estos sistemas son las siguientes: Instalaciones en tejados, terrazas, etc. de viviendas que dispongan de conexión a la red de distribución eléctrica: Se aprovecha la superficie del tejado para colocar sistemas modulares de fácil instalación.

Plantas de producción: Son aplicaciones de carácter industrial que pueden instalarse en zonas rurales no aprovechadas para otros usos (“huertas solares”, “cooperativas energéticas”) o sobrepuestas en grandes cubiertas de zonas urbanas (aparcamientos, zonas comerciales, etc.).

Integración en edificios: Consiste en la sustitución de elementos arquitectónicos convencionales por nuevos elementos arquitectónicos que incluyen el elemento fotovoltaico, y que por tanto son generadores de energía (recubrimientos de fachadas, muros cortina, parasoles, pérgolas, etc.).

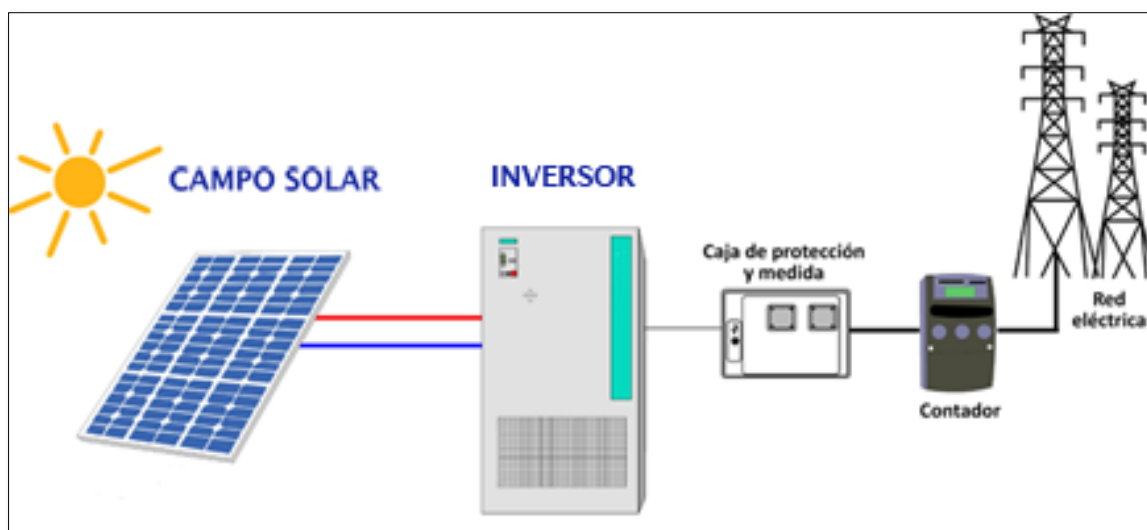


Figura N° 7: Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red Eléctrica²³

2.2.3.2. Instalaciones Aisladas de la Red Eléctrica

Estas instalaciones se emplean sobre todo en aquellos emplazamientos en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema foto - voltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo. La electricidad generada se destina a autoconsumo.

Las principales aplicaciones de los sistemas aislados son:

Electrificación de viviendas y edificios, principalmente para iluminación y electrodomésticos de baja potencia (Ver Figura 8).

Alumbrado público.

Aplicaciones agropecuarias y ganaderas.

Bombeo y tratamiento de agua.

Antenas de telefonía aisladas de la red.

Señalización y comunicaciones.

²³ <http://www.energiasolar.lat/rentabilidad-fotovoltaica/>

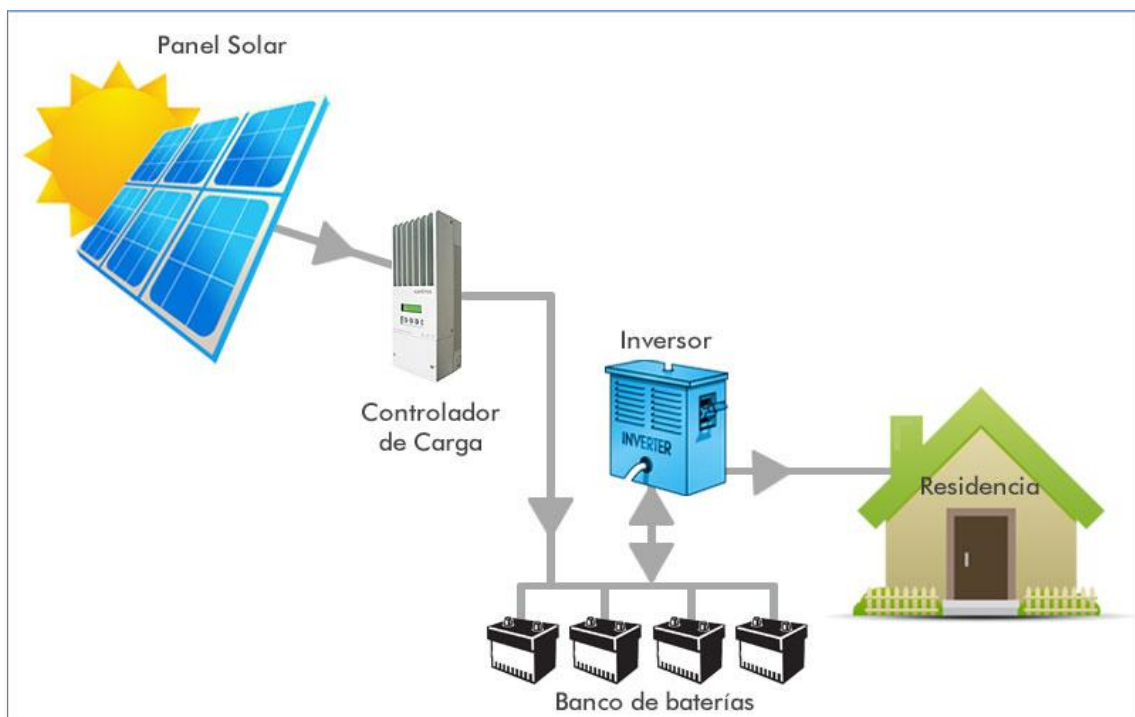


Figura N° 8: Instalación Fotovoltaica Aislada de la Red Eléctrica²⁴

2.2.3.3. Horas de Sol Pico (H.S.P.)

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

Se puede notar que cuando la irradiancia se expresa numéricamente es 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 siguiente figura 9. (Valdiviezo Salas, 2014).

²⁴ <http://www.iasolar.com/productos>

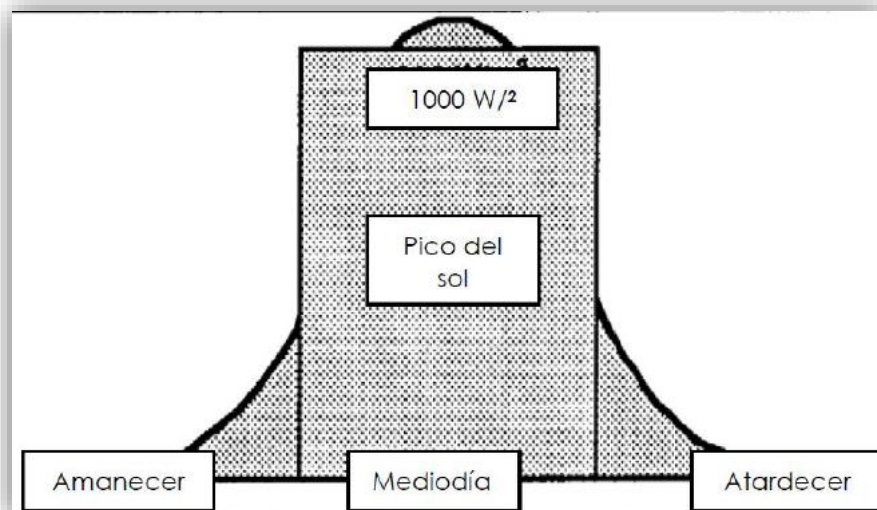


Figura N° 9: Concepto de Horas Sol Pico²⁵

2.2.4. Componentes de un Sistema Fotovoltaico

Una instalación fotovoltaica para vivienda está destinada a satisfacer las necesidades de consumo propio de electricidad, y consta de un esquema de instalación cuyos componentes principales se muestran en la figura adjunta.

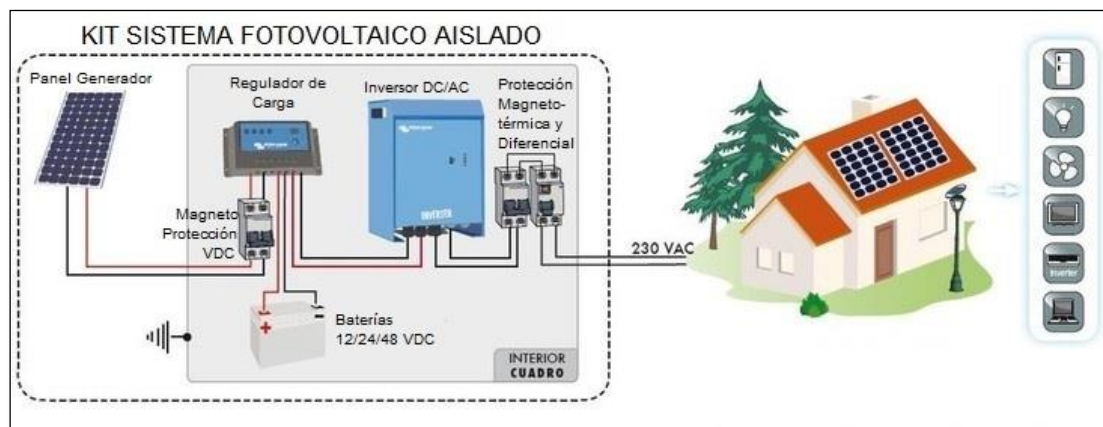


Figura N° 10: Componentes de un Sistema Fotovoltaico²⁶

²⁵ Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*. Lima.

²⁶ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

Paneles o módulos solares son los encargados de captar la radiación solar y transformarla en electricidad, generando una corriente continua (CC), también llamada directa (DC). El número de paneles quedará determinado por la potencia que se necesita suministrar, y su disposición y forma de conexionado (en serie o en paralelo), será en función de la tensión nominal de suministro y la intensidad de corriente que se desee generar.

Regulador o controlador de carga, encargado de controlar la carga de las baterías desde los módulos o paneles generadores, así como de su descarga hacia el circuito de alimentación interior de la vivienda, evitando además que se produzcan cargas o descargas excesivas del conjunto de baterías.

Acumuladores o baterías, permite el almacenamiento de la energía que se produce durante el día con la radiación solar para ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de mal tiempo o con poca radiación solar. Además, el uso de baterías permite poder inyectar una intensidad de corriente superior a la que los propios paneles solares puedan entregar, si la instalación interior de la vivienda lo requiere.

Inversor o convertidor DC/AC, dispositivo que permite la conversión de la corriente continua (DC) generada en los paneles fotovoltaicos en corriente alterna (AC) para que pueda ser empleada por los receptores y electrodomésticos utilizados en la vivienda.

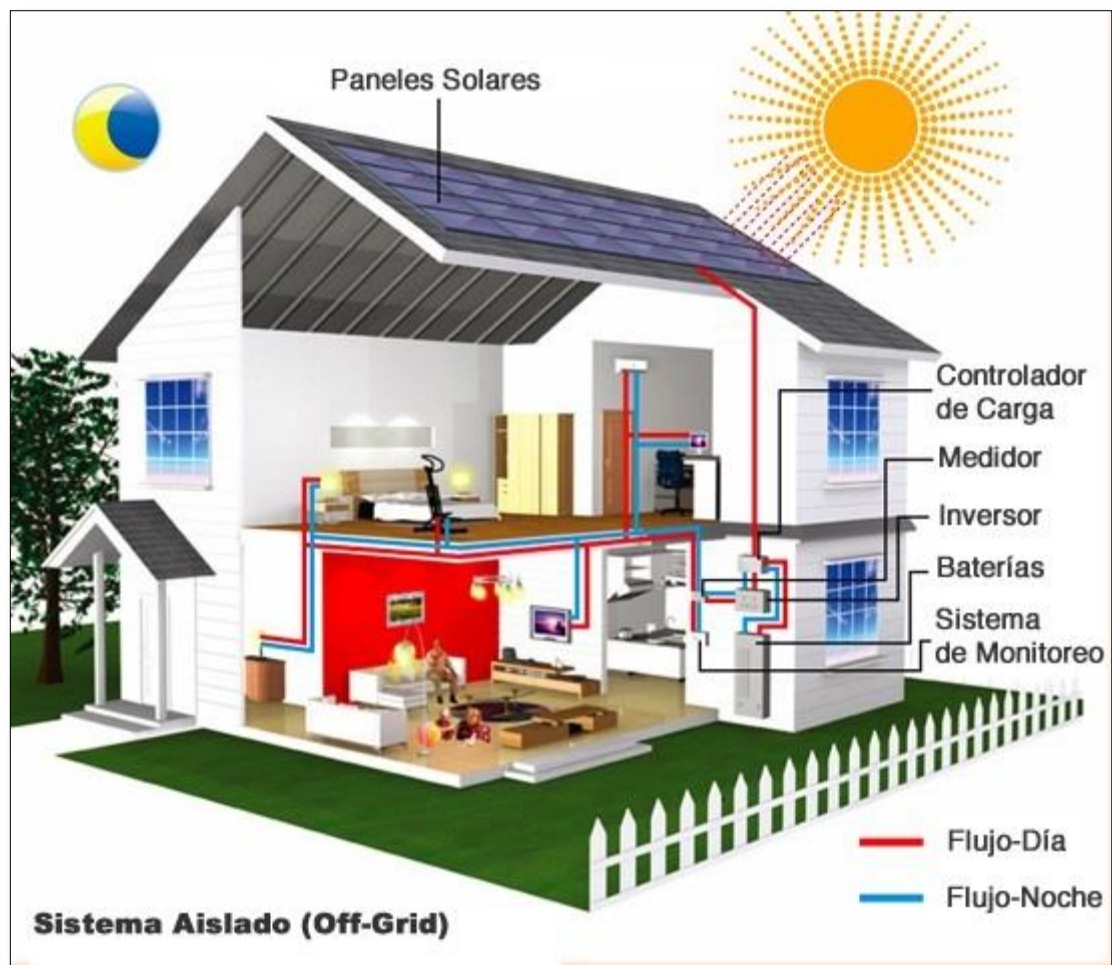


Figura N° 11: Esquema de una Instalación Fotovoltaica para Autoconsumo²⁷

2.2.4.1. Panel Solar Modulo Fotovoltaico

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

Las células fotovoltaicas son sensibles a la luz, están hechas de un material semiconductor, silicio en la mayoría de los casos, el cual se excita ante la presencia de radiación (aumento de temperatura) y los electrones

²⁷ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

pueden fluir del tipo P (positivo) al tipo N (negativo), esto ocasiona un voltaje interno, el cual ante la presencia de una resistencia se produce una corriente (Ver figura 12).

Un panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores. En la figura N° 10, se destacan las principales características de todo panel solar y puede verse un esquema típico de su construcción.

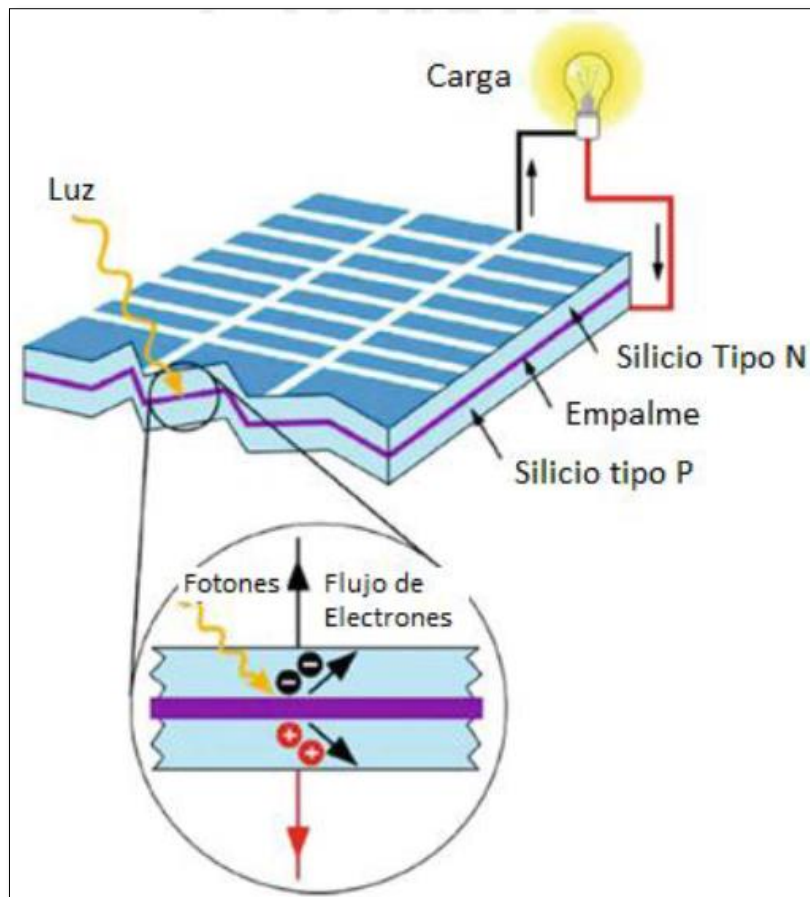


Figura N° 12: Funcionamiento de una Célula de Silicio²⁸

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente:

- i. Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino).
- ii. Silicio amorfo.

²⁸ Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*. Lima



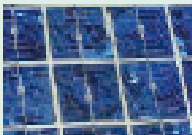
Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocrystalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Figura N° 13: Diferencias Entre los Paneles Según la Tecnología del Fabricante ²⁹

²⁹ <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

Curvas características

A la hora de trabajar con los paneles solares nos interesa saber qué datos nos proporciona el fabricante, con el fin de utilizarlos correctamente. En los catálogos aparecen todos aquellos parámetros que nos son de utilidad a la hora de realizar el diseño de la instalación.

Entre toda la información que proporciona el fabricante, vamos a ir viendo cuál puede ser de mayor relevancia, desde el punto de vista práctico, a la hora de elegir un panel solar.

No obstante, hay que tener cuidado, ya que los valores proporcionados por el fabricante son obtenidos siempre en unas determinadas condiciones de irradiación solar y temperatura ambiente. En la práctica siempre existirá una pequeña desviación sobre los valores teóricos cuando el panel esté colocado en la instalación.

Obtención de los valores de tensión e intensidad en el panel cuando se está entregando la máxima potencia.

Como un aplicativo tenemos: dada la siguiente gráfica de un panel solar, facilitada por el fabricante, obtén los valores de I_m y V_m , tal como se muestra en la figura 14

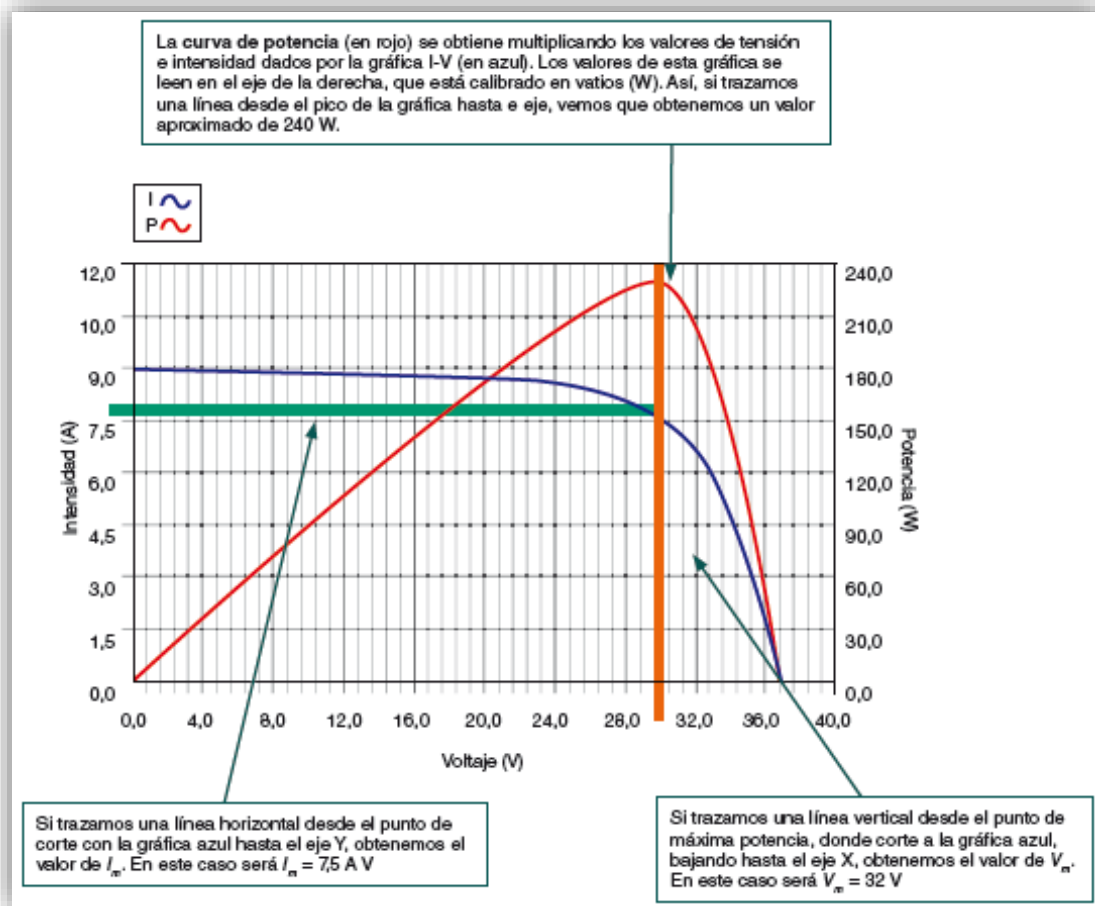


Figura N° 14: Curva de Potencia³⁰

2.2.4.2. Conexiones de Módulos Fotovoltaicos

La intensidad y la tensión de un módulo fotovoltaico no siempre satisfacen los recursos de tensión e intensidad de un sistema. Es necesario agrupar varios módulos para conseguir valores adecuados, teniendo en cuenta que conectando módulos en serie aumenta la tensión del sistema y conectando módulos en paralelo se aumenta la intensidad de corriente del sistema más características de tensión y de corriente no siempre satisfacen. (Castejon, 1998).

³⁰ <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

Siempre que se agrupen módulos deben cumplir con la característica de que sean iguales. Esta igual implica que tengan las mismas características y que sean del mismo fabricante.

Se pueden realizar tres tipos de conexiones en función de las necesidades:

A. Conexión de módulos Serie

Al conectar los paneles en serie, lo que estamos haciendo es conectar un polo positivo de un módulo con el polo negativo del siguiente módulo. Con ello se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada (Ver Figura 15).

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

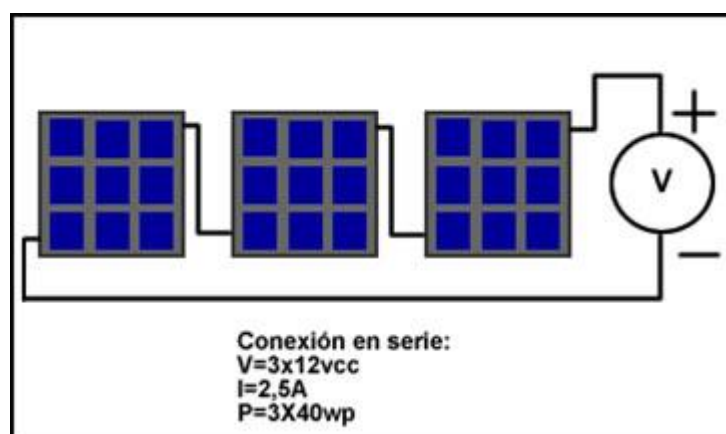


Figura N° 15: Conexión en Serie de Módulos Fotovoltaicos³¹

³¹ <http://eliseosebastian.com/unir-celdas-solares-en-serie-y-paralelo/serie/>

B. Conexión de módulos en paralelo

Cuando conectamos los paneles en paralelo, lo que estamos haciendo es conectar todos los polos positivos y por separado todos los polos negativos. Con ello conseguimos aumentar la corriente generada (sumar la intensidad eléctrica de los paneles) y mantener fijo el voltaje, tal como se muestra en la figura 16.

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

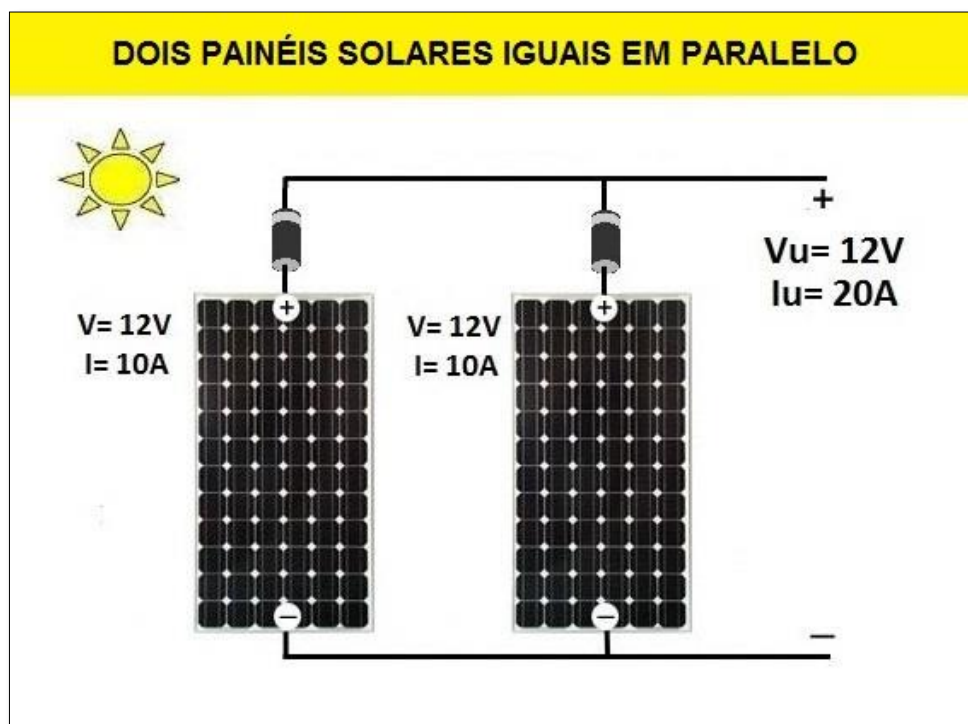


Figura N° 16: Conexión de Módulos Fotovoltaicos en Paralelo³²

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

C. Conexión de módulos en serie/paralelo

La tensión del generador es la tensión del módulo multiplicado por el número de módulos en serie y la intensidad de corriente es la intensidad de corriente del módulo multiplicado por el número de módulos en paralelo (Ver Figura 17).

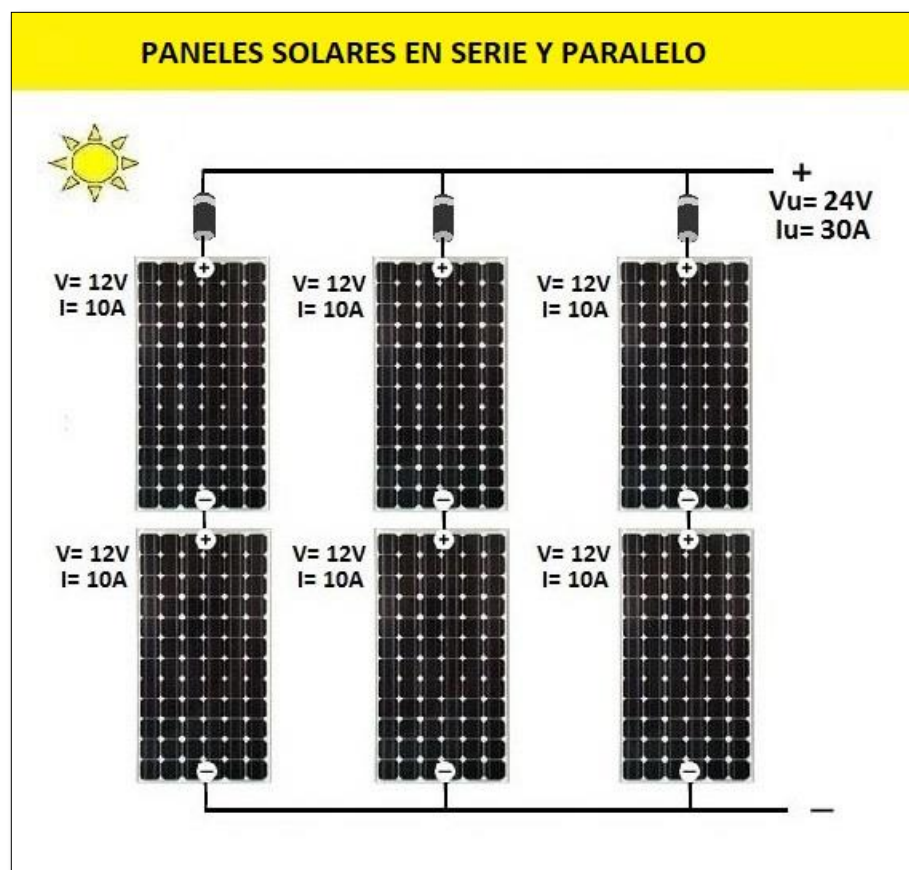


Figura N° 17: Conexión Serie/Paralelo de Módulos Fotovoltaicos

2.2.4.3. Regulador o Unidad de Control de Carga

Un regulador de carga, cuyo emplazamiento se indica con la letra B en la figura adjunta, es un equipo encargado de controlar y regular el paso de corriente eléctrica desde los módulos fotovoltaicos hacia las baterías.



Figura N° 18: Regulador de Carga³³

Por lo tanto, estos dispositivos funcionan como un cargador de baterías, evitando además que se produzcan sobrecargas y a la vez limitan la tensión de las baterías a unos valores adecuados para su funcionamiento.

De este modo, un regulador de carga se encarga de controlar la forma de realizar la carga de las baterías cuando los paneles solares están recibiendo radiación solar evitando que se produzcan cargas excesivas.

Y a la inversa, esto es, durante el proceso de descarga de las baterías destinado al consumo de electricidad en la vivienda, el regulador evita igualmente que se produzcan descargas excesivas que puedan dañar la vida de las baterías.

³³ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

De un modo sencillo, un regulador se puede entender como un interruptor colocado en serie entre paneles y baterías, que está cerrado y conectado para el proceso de carga de las baterías, y abierto cuando las baterías están totalmente cargadas.

Asimismo, en la actualidad la mayoría de los reguladores de carga disponen de una función que permite maximizar la energía capturada por el generador fotovoltaico mediante el uso de una tecnología específica de seguimiento y búsqueda del punto de máxima potencia de funcionamiento del generador (MPP, Maximum Power Point), también llamado MPP-tracking ó MPPT (del inglés, track: seguir, rastrear).

El regulador de carga se seleccionará para que sea capaz de resistir sin daños unos valores de tensión nominal e intensidad máxima de acuerdo a la configuración del sistema de generadores fotovoltaicos instalados. De esta manera, éste debe estar dimensionado para soportar la intensidad máxima de corriente generada en el sistema, tanto en la línea de entrada al regulador procedente de los generadores fotovoltaicos, como en la línea de salida hacia las cargas que alimenta.



Figura N° 19: Regulador de Carga³⁴

En este sentido, la corriente máxima prevista por la línea de entrada al regulador desde los generadores fotovoltaicos es la correspondiente a la corriente de cortocircuito (ISC) del generador fotovoltaico más un margen de seguridad (generalmente un 25%), para tener en cuenta los posibles picos de irradiancia o los cambios de temperatura.

Por otro lado, la corriente máxima prevista por la línea de salida viene dada por el consumo de las cargas del sistema (aparatos eléctricos, electrodomésticos, etc.) también incrementada en un 25% (I_{salida}). La elección del regulador será aquel que soporte la mayor de las dos anteriores corrientes eléctricas.

Como ya se ha visto, el regulador actuará interrumpiendo el suministro de electricidad desde las baterías de acumulación hacia la instalación interior de la vivienda cuando el voltaje de las baterías quede por debajo del umbral

³⁴ <http://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn192.html>

de funcionamiento, con objeto de evitar su descarga total que pueda provocar daños en las baterías.

Igualmente, durante los periodos de insolación donde los paneles solares están generando electricidad y el voltaje de las baterías llegue a un valor límite máximo, el regulador interrumpirá la conexión entre los módulos fotovoltaicos y las baterías, o bien actuará reduciendo gradualmente la corriente media entregada por los paneles.

Por lo tanto, a la hora de seleccionar el regulador más idóneo, se deberá tener en cuenta que la tensión de desconexión de la carga de consumo del regulador deberá elegirse para que la interrupción del suministro de electricidad a las cargas se produzca cuando la batería haya alcanzado la profundidad máxima de descarga permitida, según indique las especificaciones del fabricante de la batería.

Todo regulador de corriente instalado deberá estar convenientemente protegido frente a cortocircuitos que se produzcan en la línea de consumo de la vivienda, además de contra la posibilidad de poder producirse una desconexión accidental de la batería mientras los paneles están generando energía.

Las caídas internas de tensión del regulador entre sus terminales de generador y acumulador serán inferiores al 4% de la tensión nominal (0,5 V para 12 V de tensión nominal), para sistemas de menos de 1 kW, y del 2% de la tensión nominal para sistemas mayores de 1 kW, incluyendo los terminales. Asimismo, las caídas internas de tensión del regulador entre sus terminales de batería y consumo serán inferiores al 4% de la tensión nominal

(0,5 V para 12 V de tensión nominal), para sistemas de menos de 1 kW, y del 2 % de la tensión nominal para sistemas mayores de 1 kW, incluyendo igualmente los terminales.

En todo caso, las pérdidas de energía diarias causadas por el autoconsumo del regulador en condiciones normales de operación deberán ser inferiores al 3 % del consumo diario de energía.

Por último, indicar que todo regulador que se emplee en la instalación deberá estar etiquetado con al menos la siguiente información:

Tensión nominal (V).

Corriente máxima (A).

Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie.

Polaridad de terminales y conexiones.

2.2.4.4. Inversor

El convertidor de corriente DC/AC, también llamado inversor u ondulator, es un dispositivo electrónico de potencia encargado de convertir la corriente continua (DC) proveniente de los generadores fotovoltaicos en corriente alterna (AC) para su consumo en la vivienda. Además, sincroniza la frecuencia de la corriente inyectada con la de la red, adaptándola a las condiciones requeridas según el tipo de carga, garantizando así la calidad de la energía vertida en la instalación eléctrica de la vivienda.



Figura N° 20: Inversor³⁵

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

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

Deberán ofrecer una eficiencia lo más alta posible que minimice las pérdidas.

El rendimiento de potencia de los inversores (cociente entre la potencia activa de salida y la potencia activa de entrada), oscila entre el 90% y el 97%.

El valor del rendimiento depende mucho de la potencia de entrada, que

³⁵ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

deberá ser lo más cercana, o incluso tratar que sea igual a la nominal de funcionamiento del inversor, dado que si varía mucho entonces el rendimiento del inversor disminuye sensiblemente.

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

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

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

Ofrecer una baja distorsión armónica y bajo autoconsumo.

Disponer de aislamiento galvánico.

Disponer de sistema de medida y monitorización.

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

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

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

Protección contra calentamiento excesivo, que permitirá desconectar el inversor si la temperatura del inversor sobrepasa un determinado valor

umbral, y mantenerse desconectado hasta que el equipo no alcance una temperatura inferior preestablecida.

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

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

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

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

2.2.4.5. Acumuladores - Baterías

La llegada de la energía solar a los módulos fotovoltaicos no se produce de manera uniforme, sino que presenta variaciones por diferentes motivos. Algunas de estas variaciones son predecibles, como la duración de la noche o las estaciones del año, pero existen otras muchas causas que pueden producir alteraciones de manera aleatoria en la energía recibida, como puede ocurrir con un aumento de la nubosidad en un determinado instante.

Este hecho hace necesario utilizar algún sistema de almacenamiento de energía para aquellos momentos en que la radiación recibida sobre el

generador fotovoltaico no sea capaz de hacer que la instalación funcione en los valores diseñados. Para ello se utilizarán las baterías o acumuladores.

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una instalación fotovoltaica será el siguiente:

Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un regulador de carga, y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida.

a) Misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:

- i. Almacenar energía durante un determinado número de días.
- ii. Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- iii. Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

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

$$C = t * I \dots (1)$$

Además de la capacidad, debemos considerar otros parámetros en los acumuladores que vamos a utilizar en las instalaciones fotovoltaicas³⁶:

Eficiencia de carga: relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Interesa que sea un valor lo más

³⁶ Componentes de una instalación solar fotovoltaica.pdf

alto posible (próximo al 100 %, lo que indicaría que toda la energía utilizada para la recarga es factible de ser empleada en la salida de la instalación). Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.

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

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

El fabricante de las baterías suele proporcionar datos sobre el número de ciclos máximo (carga y descarga de la batería) durante la vida útil de la misma. Este valor está relacionado con la profundidad de descarga de la batería.

Tabla N° 1: Tipos de baterías

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Fuente: Componentes de una Instalación Fotovoltaica.pdf

Las baterías más utilizadas en las instalaciones solares son las de plomo - ácido, por las características que presentan. Dentro de este tipo de baterías nos podemos encontrar diferentes modelos. Vamos a compararlos y analizar cuál es el más adecuado.

Las Baterías deben ubicarse en un lugar cerrado, protegido de la intemperie, evitando la exposición directa al sol. Cuando se utiliza el tipo Electrolitos liquido (no sellados), el local o sala de Baterías debe disponer de una ventilación adecuada (natural o forzada); debido a los gases emanados que tengan lugar durante el proceso de carga, además de otras consideraciones referentes a la seguridad (ausencia de elementos que puedan producir llamas o chispas, etc.).

2.2.4.6. Cables

Los cables utilizados en un sistema fotovoltaico están cuidadosamente diseñados. Como el voltaje en un sistema fotovoltaico es voltaje CC bajo, 12 ó 24 V; las corrientes que fluirán a través de los cables son muchos más altas que las de los sistemas con voltaje CA de 110 V ó 220 V.

Para suministrar una potencia a 12 V, significa que la corriente será casi 20 veces más alta que en un sistema de 220 V. Esto quiere decir que los cables mucho más gruesos deben usarse para impedir el recalentamiento e incluso la quema de los cables.

El tamaño de los cables lo mostraremos en la siguiente figura 21, la corriente máxima que puede influir sin recalentar el cable y la cantidad de potencia que puede producirse a diferentes voltajes.



Figura N° 21: Conductores Eléctricos³⁷

2.2.5. Protocolo de Kioto

Es un documento que contiene el acuerdo institucional más importante en relación al cambio climático. Su objetivo es reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEIs) de los principales países industrializados y según la propuesta inicial de 1997, los países firmantes debían lograr que en el plazo que va de 2008 a 2012 esas emisiones descendieran un 5,2 % por debajo de las registradas en 1990.

Los principales componentes del Protocolo de Kioto son los que a continuación se exponen:

Gases contemplados

El Protocolo de Kioto se aplica a las emisiones de seis gases de efecto invernadero:

- a. Dióxido de carbono (CO₂);
- b. Metano (CH₄);
- c. Óxido nitroso (N₂O);
- d. Hidrofluorocarbonos (HFC);

³⁷ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

- e. Perfluorocarbonos (PFC);
- f. Hexafluoruro de azufre (SF₆).

Objetivos del Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto marca objetivos obligatorios relativos a las emisiones de GEIs para las principales economías mundiales que lo han aceptado. Estos objetivos individuales van desde una reducción del 8% hasta un crecimiento máximo del 10% respecto a las emisiones del año base, que ha sido fijado en 1990. En resumen, el Protocolo de Kioto tiene como objetivo reducir el total de sus emisiones de los GEIs a un nivel inferior de no menos de un 5% al nivel de 1990 en el periodo de compromiso 2008-2012” a nivel mundial.



Figura N° 22: Emisiones GEIs³⁸

³⁸ <https://contaminacionambiental.net/contaminacion-ambiental/>

2.2.6. Reducción de Emisiones de CO₂

Las compañías, debido a un incremento cada vez más pronunciado en los precios de la energía y materiales, están cada vez más consientes debido a presiones financieras y de reputación en reducir las emisiones de CO₂ y mitigar su impacto ambiental.

La reducción de emisiones de CO₂ supone:

Una reducción de los costos operativos de su negocio a largo plazo.

Una reducción de su exposición a costos potenciales por la implantación de nuevas políticas de gobierno y regionales. Así en países como el Reino Unido, el Plan de Eficiencia Energética ya ha sido puesto en marcha y las empresas participantes deberán pagar una tasa de aproximadamente 15 € por tonelada de CO₂ emitida.

2.2.7. Estimación de la Reducción de Emisiones de CO₂

Para calcular la reducción de emisiones se requiere saber la energía generada anual por el Sistema Híbrido que cubre la demanda de la comunidad rural “La gramita de Casma” y el factor de emisión.

Factor de Emisión, tiene un valor igual a:

$Fe = 0,54 \text{ Ton CO}_2 \text{ eq/MWh (FONAM Perú 2007)}$

Luego:

$\text{Emisiones CO}_2 = E_{\text{generada anual}} * Fe$

$\text{Emisiones CO}_2 = 49250 \text{ WH} * 365 * 0,547 / 10^6 \text{ WH}$

$\text{Emisiones} = 9,833 \text{ Ton CO}_2/\text{año} = 9\,833 \text{ Kg de CO}_2 \text{ por año}$

2.3. Definición Conceptual de la Terminología Empleada³⁹.

Actividad: Son las diferentes acciones que se desarrolla a lo largo de un proyecto esta tiene una durabilidad, un costo, y asignación de recursos.

Angulo de azimut X: Angulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del Lugar.

Angulo de inclinación B: Angulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal.

Batería: Fuente de tensión continúa formada por un conjunto de vasos electroquímicos interconectados.

Capacidad nominal C20 (Ah): Cantidad de carga que es posible extraer de una batería en 20 horas, medida a una temperatura de 20 °C.

Capacidad titil: Capacidad disponible o utilizable de la batería.

Célula solar fotovoltaica: Dispositivo que transforma la energía solar en energía eléctrica.

Condiciones Estandar de Medida (CEIW): Condiciones de irradiancia y temperatura en la célula solar, utilizadas como referencia para caracterizar células, módulos y generadores fotovoltaicos.

Estado de carga: Cociente entre la capacidad residual de una batería, en general parcialmente descargada, y su capacidad nominal.

³⁹ (Dionicio Paico & Naupari Quiroz, 2016)

Factor de sombreado (FS): Porcentaje de radiación incidente sobre el generador respecto al caso de ausencia total de sombras.

SFV: sistema fotovoltaico.

Generador fotovoltaico: Asociación en paralelo de ramas fotovoltaicas.

Inversor: Convertidor de corriente continua en corriente alterna.

Irradiación: Energía incidente en una superficie por unidad de superficie a lo largo de un cierto periodo de tiempo. Se mide en kWh/m².

Irradiancia: Densidad de potencia incidente en una superficie la energía incidente en una superficie por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se mide en kW/m².

Profundidad de descarga (PD): Cociente entre la carga extraída de una batería y su capacidad nominal.

Punta de máxima potencia: Punto de la curva I-V en **donde** el producto I-V tiene su Valor máximo.

Radiación solar: Energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas.

Rama solar: Subconjunto de módulos fotovoltaicos interconectados, en serie o en serie paralelo, con voltaje igual a la tensión nominal del generador.

Regulador de carga: Dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobredescargas.

Rendimiento del inversor: Relación entre la potencia DC salida y la potencia de entrada del inversor.

Rendimiento energético de la instalación: O performance ratio PR: Eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo para el periodo de diseño.

SFD: Sistema Fotovoltaico Domiciliario.

Generador fotovoltaico: Asociación en paralelo de ramas series fotovoltaicas.

Potencia nominal del generador: Suma de las potencias máximas de los módulos fotovoltaicos.

Conexión a la red: Sistema de generación conectado a la red pública de electricidad.

Carga: Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia. Esta depende de cada aparato y varía durante el día de acuerdo a la manera en que esta ópera.

Conductor eléctrico: Todo material capaz de conducir la corriente eléctrica. Para transportar la energía eléctrica se utilizan “hilos” fabricados generalmente de cobre o aluminio.

Corriente de corto circuito: Corriente que se mide en condiciones de corto circuito en los terminales de un módulo.

Corriente de máxima potencia: Corriente correspondiente al punto de máxima potencia.

Cortocircuito: Conexión accidental de dos conductores de distinta fase, o de éstos con el neutro.

Masa de aire: Medida de la distancia que atraviesa la luz en la atmósfera en su trayectoria hacia la superficie terrestre.

Punto de máxima potencia: Punto de la curva I-V en donde el producto $I * V$ (potencia) tiene su valor máximo.

Regulador de carga: También llamado unidad de control o controlador de carga. Componente que controla el flujo de corriente hacia la batería y de la batería hacia los equipos para proteger la batería de sobrecargas y sobredescargas.

Voltaje de circuito abierto: Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.

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

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).

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y Diseño de Investigación

En el aprovechamiento de la energía solar con el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para el caserío Nuevo Edén el cual se encuentra ubicado en el distrito de Yambrasbamba, provincia de Bongora, Departamento de Amazonas

La investigación aplicada⁴⁰ busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo. Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto.

La metodología empleada en el presente trabajo de investigación es:

Investigación Descriptiva: Porque se describe las características de los equipos seleccionados y las variables en estudio (radiación solar y energía solar) a través tal y como se presentan en la realidad.

3.2. Población y Muestra

En el desarrollo de la tesis, en el proceso de investigación se identificó la muestra el cual fue igual a la población.

Concluyendo que la muestra y la población es el caserío Nuevo Edén, se encuentra ubicado en el Distrito de Yambrasbamba, provincia de Bongora, Departamento de Amazonas.

⁴⁰ <http://www.uti.edu.ec/antiguo/index.php/investigacion-por-carreras/item/554-volumen3-cap6.html>

La población suma un total de 125 habitantes y 30 viviendas⁴¹.

3.3. Hipótesis

Si se aprovecha el recurso solar entonces con un sistema fotovoltaico se logrará suministrar energía eléctrica y reducir las emisiones de CO₂ en el Caserío Nuevo Edén ubicado en el distrito de Yambrasbamba.

3.4. Operacionalización de las Variables

⁴¹ <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

Tabla N° 2: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
INDEPENDIENTE Energía solar	La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. (https://es.wikipedia.org/wiki/Radiación_solar)	Radiación solar promedio diaria para un periodo de años	Radiación promedio diaria (kW/m ² /día)
DEPENDIENTE Generación de energía eléctrica y reducción de emisiones de CO₂	Abarca el conjunto de medios y elementos que son necesarios para generar transportar y distribuir la electricidad (Méndez y Cuervo, 2007, p. 28)	Generación de energía eléctrica	Cantidad de energía demandada por la comunidad (kW.h). Dimensionamiento de equipos del sistema fotovoltaico
		Distribución a los usuarios	Dimensionamiento de la red de distribución secundaria
		CO ₂ producido por el sistema convencional de energía eléctrica	Cantidad de CO ₂ que se deja de emitir al medio ambiente

Fuente: Elaboración Propia

3.5. Métodos y Técnicas de Investigación

En el presente trabajo de investigación utilizamos el método deductivo a partir de las teorías; leyes; y normas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas las aplicamos para calcular, seleccionar los equipos. Las técnicas principales empleadas fueron las siguientes:

a) Observación directa

A partir de las visitas técnicas a la localidad se obtienen los datos del número de habitantes, para lo cual se utilizó como instrumentos fichas de observación y lista de chequeo.

b) La Entrevista

Este formato se utilizó especialmente para recopilar información de los habitantes para conocer los equipos electrodomésticos con los que cuentan y además para conocer su realidad problemática.

c) Análisis de contenido

La técnica del análisis del contenido se utilizó para obtener información de diferentes bibliografías sobre auditoria energética: tesis, revistas, software páginas web, etc.

3.6. Descripción de los Instrumentos Utilizados

Los instrumentos utilizados en el presente trabajo de investigación; son distintos para cada una de las variables como las etapas del trabajo efectuado.

Tabla N° 3: Instrumentos para cada técnica de investigación

Técnicas	Instrumento de Registro
Observación	Papel, lápiz, cámara fotográfica y de video
Análisis de contenido	Tesis, revistas, páginas web, software
Entrevista	Grabador, papel, lápiz y cámara de video

Fuente: Elaboración Propia

3.7. Análisis Estadístico e Interpretación de los Datos

Medidas de tendencia central

a) Media (Promedio)

La utilizaremos para determinar el consumo de energía eléctrica promedio diario, así como la radiación solar promedio diaria.

Los datos obtenidos de las visitas técnicas los procesaremos en el Software Office 2016 (hojas de cálculo en Excel), los planos lo elaboraremos en el software AutoCAD 2016.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de la Investigación

Para esta tesis con el objetivo de suministrar energía eléctrica al caserío Nuevo Edén se propone el diseño de un sistema fotovoltaico, se determinó que el número de habitante es de 125, el número de viviendas es 30, además tenemos: 01 local comunal, 01 iglesia.

Para lo cual se propone lo siguiente:

4.1.1. Elaboración de Plano de Lotización

Se realizó un plano de lotización del caserío Nuevo Edén en el software AutoCAD 2016, con la finalidad de poder tener las ubicaciones de las viviendas, local comunal.

4.1.2. Equipamiento del Sistema de Generación Fotovoltaica

En lo que respecta al equipamiento se indica la configuración e instalación de cada equipo en el sistema fotovoltaico el número de paneles solares utilizados, reguladores, baterías, inversores, medidor de energía eléctrica y el interruptor termomagnético (Ver Tabla N° 4). El equipamiento se muestra en el plano, en el ANEXO N°06.

Tabla N° 4: Equipamiento del sistema fotovoltaico para el caserío nuevo
Edén.

Equipamiento	Cantidad
Módulos fotovoltaicos de la YINGLI SOLAR modelo YL320-32 monocristalino; 8 ramas de dos módulos fotovoltaicos conectados en paralelo.	16
Baterías de la marca ROLLS modelo 11 CS 11P; de 4 ramas de 2 baterías.	8
Reguladores de la marca VICTRON ENERGY 150/60	2
Inversores VICTRO ENERGY de 3 000 VA.	2
Accesorios eléctricos	1
Instalación + personal	1

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3. Sistema de Distribución en 220 V

En el plano del ANEXO N° 07, se detalla la propuesta del diseño de la mini central solar y la red de distribución secundaria el cual especifica la ubicación de cada vivienda el tipo de armado o poste a utilizar en cada punto el tipo de conductor, puesta a tierra, retenidas.

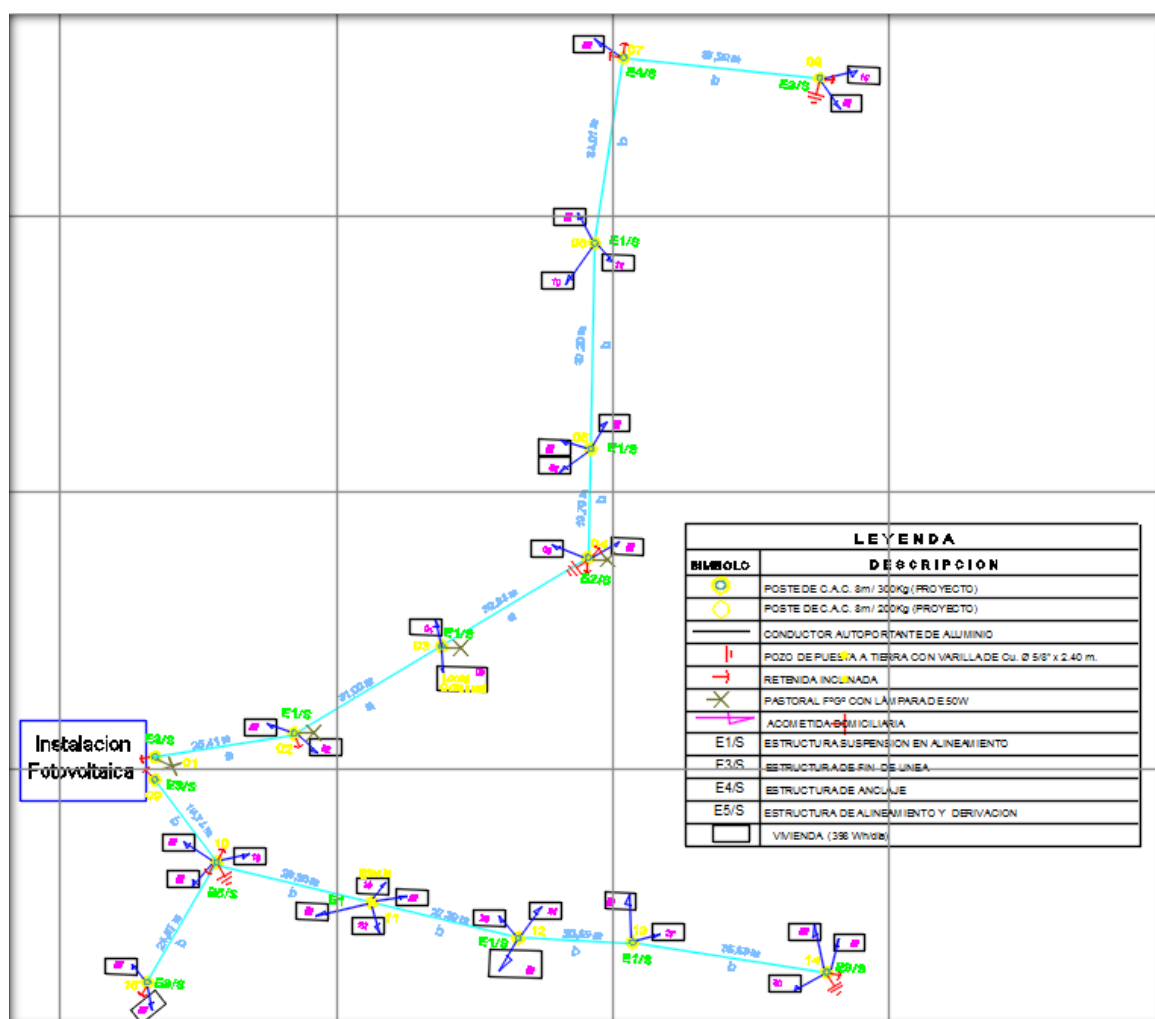


Figura N° 23: Red de Distribución Secundaria Propuesta

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Cálculo de la Energía Promedio Diaria

La población es de 30 viviendas, con 01 local comunal y 01 iglesia, con estos datos calcularemos la energía promedio diaria proyectada para el caserío Nuevo Edén.

5.2. Cálculo de la Energía Eléctrica

Considerando los datos recolectados en dicha localidad, tenemos información sobre los electrodomésticos que se utilizaran en las viviendas del caserío Nuevo Edén al implementarse el sistema fotovoltaico.

5.2.1. Consumo de Energía Necesaria Diaria (Wh/día)

Tabla N° 5: Consumo de energía eléctrica diaria para vivienda particular

VIVIENDA PARTICULAR						
ÍTEM	USO COMÚN	TENSIÓN (V)	CANTIDAD	USO DIARIO (h)	POTENCIA (W)	ENERGÍA DIARIA (Wh)
1	Lámpara (sala)	220 V	1	4	8	32
2	Lámpara (dormitorio)	220 V	1	3	8	24
3	Lámpara (cocina)	220 V	1	3	8	24
4	Radio	220 V	1	4	10	40
5	Carga de celular	220 V	4	1	20	20
6	Televisor	220 V	1	3	50	150
TOTAL					104	290

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 6: Consumo de energía en el local comunal

LOCAL COMUNAL						
ÍTEM	RECEPTOR	TENSIÓN (V)	CANTIDAD	USO DIARIO (h)	POTENCIA (W)	ENERGÍA DIARIA (Wh)
1	Lámparas	220 V	2	3	16	48
2	Radio	220 V	1	4	10	40
3	Carga de celular	220 V	1	2	5	10
TOTAL					31	98

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 7: Consumo de energía eléctrica de la iglesia

IGLESIA						
ÍTEM	RECEPTOR	TENSIÓN (V)	CANTIDAD	USO DIARIO (h)	POTENCIA (W)	ENERGÍA DIARIA (Wh)
1	Lámparas	220 V	4	3	44	132
2	Radio	220 V	1	4	12	48
3	Carga de celular	220 V	1	2	5	10
TOTAL					61	190

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 8: Consumo de energía por alumbrado público

LOCALIDAD	Nº VIVIENDAS	KALP	PUNTOS DE ILUMINACION	F.S.	USO DIARIO (h)	Pot. ALUMBRADO (kW)	ENERGÍA DIARIA (Wh)
Nuevo Eden	30	3,3	4	1	12	240	2 880

Fuente: Elaboración Propia

La energía promedio diario para el alumbrado público estará dado por:

$$0,24 \times 1000 \times 12 = 2\,880 \text{ Wh}$$

Para obtener la energía promedio diaria proyectada necesitamos proyectar el número de viviendas para 20 años.

Con la tasa de crecimiento del departamento de Amazonas (Ver Figura N° 24) que tiene un valor de 0,78 %, vamos a inferir que esta misma tasa es aplicable al caserío Nuevo Edén.

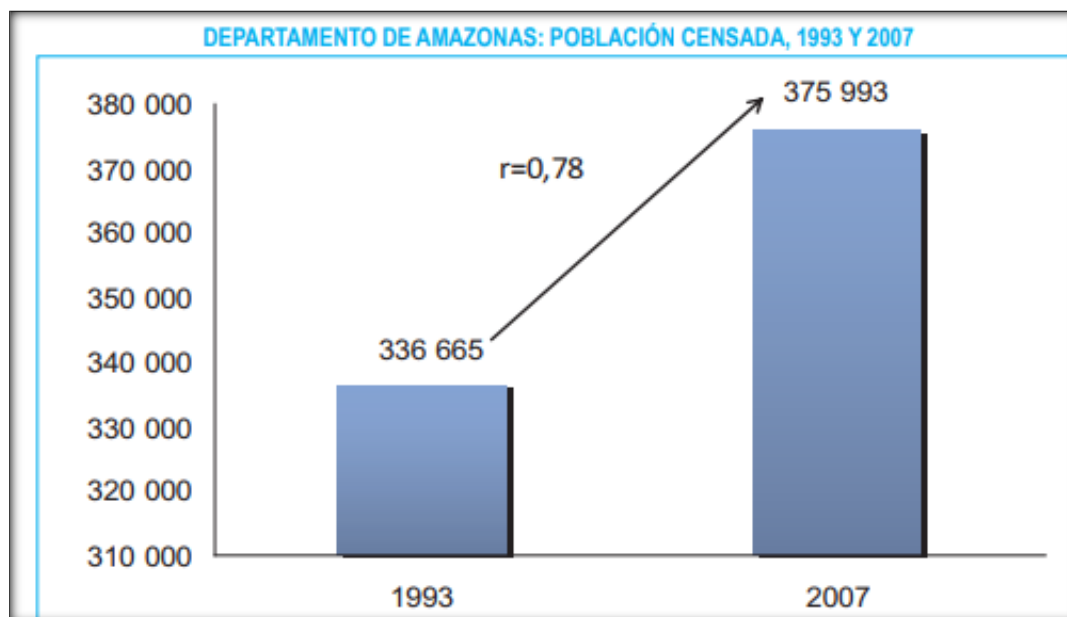


Figura N° 24: Taza de Crecimiento en el Departamento de Amazonas⁴²

La tasa de crecimiento según la figura 24 es de: 0,78 %

$$P_{25} = P_0(1+i)^n \dots (2)$$

Donde:

P_0 : Población actual (125 habitantes)

P_{20} : Población proyectada al año 20

i : Taza de crecimiento poblacional (0,78%)

⁴² <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0902/cap03.pdf>

Tabla N° 9: Proyección de población y vivienda para 20 años

Año	Año de proyección	Número de habitantes	Número de viviendas
0	2018	125	30
1	2019	126	30
2	2020	127	30
3	2021	128	31
4	2022	129	31
5	2023	130	31
6	2024	131	31
7	2025	132	32
8	2026	133	32
9	2027	134	32
10	2028	135	32
11	2029	136	33
12	2030	137	33
13	2031	138	33
14	2032	139	33
15	2033	140	34
16	2034	142	34
17	2035	143	34
18	2036	144	35
19	2037	145	35
20	2038	146	35

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 10: Energía promedio diaria proyectada para el caserío Nuevo Edén

ÍTEM	RECEPTOR	TENSIÓN (V)	CANTIDAD	CONSUMO UNITARIO (Wh)	ENERGÍA DIARIA (Wh)
1	Viviendas	220 V	35	290	10 150
2	Local Comunal	220 V	1	98	98
3	Iglesia	220 V	1	190	190
4	Iluminación	220 V	4	720	2 880
CONSUMO PROMEDIO DE ENERGÍA DIARIA PROYECTADO (Wh)					13 318

Fuente: Elaboración Propia

Entonces la energía promedio diaria proyectada para el caserío Nuevo Edén es de 13 318 Wh.

Calculo de la Máxima demanda

Para calcular la máxima demanda se tendrá en cuenta lo establecido en la norma “**BASES PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS Y REDES SECUNDARIAS CON CONDUCTORES AUTOPORTANTES PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL**” (RD-031-2003-EM, 2003), en el cual se estable los factores de simultaneidad para las cargas en base a ello elaboramos la siguiente Tabla.

Tabla N° 11: Máxima demanda

<i>Carga</i>	<i>Potencia Instalada (W)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Potencia Instalada (W)</i>	<i>Factor de simultaneidad⁴³</i>	<i>Máxima demanda (W)</i>
Viviendas	104	35	3640	0,5	1820
Local comunal	31	1	31	1	31
Iglesia	61	1	61	1	61
Alumbrado Público	60	4	240	1	240
TOTAL			3 972		2 152

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla N° 10 obtenemos que la potencia instalada es de 3 972 W y la máxima demanda es de 2 152 W

5.3. Evaluación de la Radiación Solar

En este caso se consideró dos fuentes cuyos datos se detallan a continuación:

Ministerio de Energía y Minas (MEM), el cual nos brindó el comportamiento mensual de la radiación solar en la región de Lima a través del Mapa solar del Departamento de Amazonas⁴⁴.

⁴³ (RD-031-2003-EM, 2003)

⁴⁴ SENAMHI. (2003). *Atlas de energía solar del Perú*.

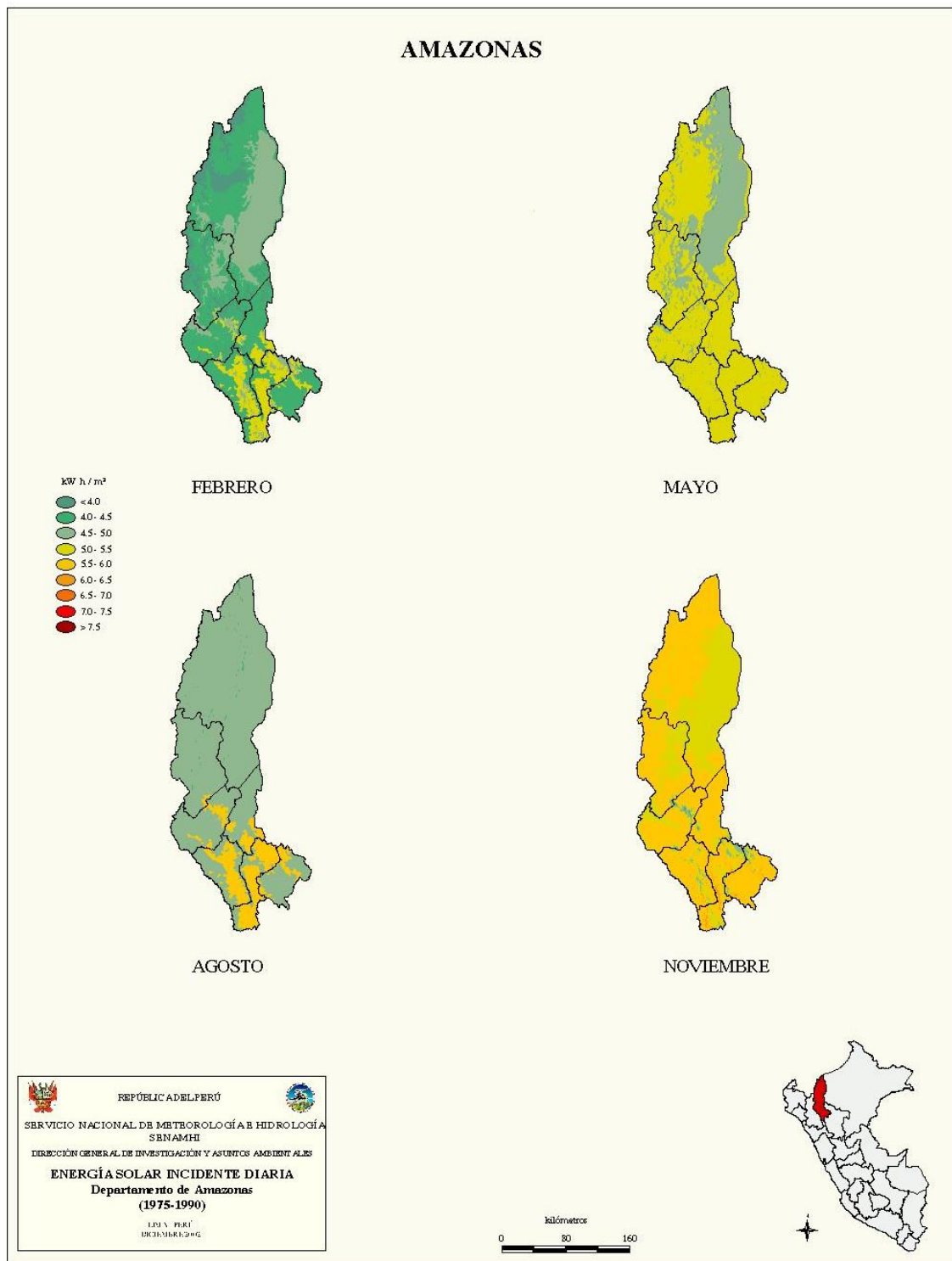


Figura N° 25: Radiación Solar en el Departamento de Amazonas⁴⁵

⁴⁵ SENAMHI. (2003). *Atlas de energía solar del Perú*

La irradiación solar más desfavorable varía entre 4 kWh/m²/día y 5 kWh/m²/día por lo que se considerará el valor promedio de 4,5 kWh/m²/día

La NASA en su página (<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>) brinda información de la radiación solar existente mensualmente en dicha localidad.

Tabla N° 12: Radiación solar en el caserío Nuevo Edén según la Nasa

<div> <div>Limite norte -5</div> <div> <div>Limite occidental -78</div> <div> <div>Latitud central -5.5</div> <div>longitud -77.5</div> </div> </div> <div>Limite oriental -77</div> </div> <div>Limite sur -6</div>													
<i>Parámetros para dimensionamiento y señalización de paneles solares y para aplicaciones solares térmicas:</i>													
Incidente de aislamiento promediado mensual en una superficie horizontal (kWh / m ² / día)													
Lat -5.55 Lon -77.815	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Promedio de 22 años	3.74	3.64	3.81	3.89	3.94	3.85	4.01	4.30	4.51	4.51	4.61	4.19	4.08

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

La irradiación solar más desfavorable es en el mes de febrero con un valor de 3,64 kWh/m²/día.

5.4. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaica

Para determinar la energía en el generador fotovoltaico y la potencia, hay que considerar las pérdidas ocasionadas en el inversor, regulador, batería de acumuladores, perdidas de potencia por efecto joule en los conductores, no trabajar en el punto de máxima potencia de los módulos fotovoltaicos, etc.

$$E_r = \frac{E_t}{R} \dots (3)$$

E_t : Consumo de energía eléctrica de la carga

E_r : Energía que debe suministrar el generador fotovoltaico

Donde R es el rendimiento global de la instalación fotovoltaica definido como:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) \times \left(1 - \frac{N \times K_a}{P_d}\right) \dots (4)$$

Donde:

K_b : Coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento del acumulador:

0,05 en sistemas que no se producen descargas intensas

0,1 en sistemas con descargas profundas

K_c : Coeficiente de pérdidas en el inversor:

0,005 para inversores de salida senoidal pura, en condiciones óptimas.

0,1 para condiciones de trabajo lejos de las óptimas

K_v : Coeficiente de pérdidas varias (transmisión, efecto Joule, etc.)

El intervalo de valores de este parámetro que se toma como referencia es

$0,05 < k_v < 0,15$

K_a : Coeficiente de autodescarga diaria de las baterías, los valores típicos son:

0,002 para baterías de baja autodescarga (Ni-Cd)

0,005 para baterías estacionarias de plomo ácido (las más usuales)

0,012 para baterías de alta autodescarga (SLI)

N: Días de autonomía de la instalación

P_d : Profundidad de descarga diaria de la batería:

No deberá exceder el 80% de la capacidad nominal del acumulador ahora considerando el valor de R, podemos obtener la energía que deben

suministrar los paneles solares, pero hay que considerar que los paneles solares se seleccionan considerando la potencia pico y por ello necesitamos de tiempo y para ello debemos tener las horas solar pico (HPS).

Obteniendo un valor de $R = 0,73$

$$E_{elec} = \frac{E_t}{R} = 13,318/0,73$$

$$E_{elec} = 18,24 \text{ kWh/día}$$

$$Pot = 5,01 \text{ kWp}$$

5.4.1. Parámetros de Dimensionamiento

Para el dimensionamiento del sistema eléctrico fotovoltaico se tendrá en cuenta los siguientes parámetros.

Tabla N° 13: Radiación solar y días de autonomía para el caserío Nuevo Edén

Caserio Nuevo Eden	
Radiacion solar (kWh/m ² /día)	3,64
Dias de autonomia	2

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2. Elección del Tipo y Número de Módulos Fotovoltaicos

5.4.2.1. Características del Módulo Fotovoltaico Seleccionado

El panel solar que se utilizará para nuestro sistema de generación fotovoltaica será de la marca YINGLI SOLAR por ser de una marca reconocida y potencia comerciable



Figura N° 26: Panel marca YINGLI SOLAR Modelo YL320P-35b⁴⁶

⁴⁶ http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/YGE_60_Cell_Series_EN.pdf

Tabla N° 14: Datos eléctricos del panel Yingli Solar de 320 Wp modelo YL320P-35b

YGE 72 CELL SERIES 2								
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS								
Parámetros eléctricos en condiciones de prueba estándar (STC)								
Tipo de módulo			YLxxxP-35b (xxx=P _{max})					
Potencia de salida	P _{max}	W	330	325	320	315	310	305
Tolerancias de potencia de salida	ΔP _{max}	W	0 / + 5					
Eficiencia del módulo	η _m	%	17.0	16.7	16.5	16.2	16	15.7
Tensión en P _{max}	V _{mp}	V	37.4	37.3	37.0	36.8	36.3	36.1
Intensidad en P _{max}	I _{mp}	A	8.84	8.72	8.64	8.56	8.53	8.45
Tensión en circuito abierto	V _{oc}	V	46.4	46.3	46.0	45.7	45.6	45.4
Intensidad en cortocircuito	I _{sc}	A	9.29	9.24	9.18	9.12	8.99	8.93
STC: 1000 W/m2 de irradiación, 25°C de temperatura de célula, espectro AM 1.5g conforme a la EN 60904-3. Reducción media de la eficiencia relativa de 3,3% a 200 W/m2 según la EN 60904-1.								

Fuente: Catalogo YINGLI SOLAR (ANEXO 01)

Tabla N° 15: Características generales de los módulos fotovoltaicos

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Dimensiones (Longitud /Ancho /Alto)	1960mm / 992mm / 40mm
Peso	22kg
ESPECIFICACIONES DE EMBALAJE	
Número de módulos por palé	26
Número de palés por contenedor de 40'	24
Dimensiones de la caja de embalaje (L/A/A)	1995mm / 1145mm / 1170mm
Peso de la caja	616kg

Fuente: Catalogo YINGLI SOLAR (ANEXO 01)

5.4.2.2. Cálculo del Número Mínimo de Módulos Necesarios

Decir la potencia nominal del generador fotovoltaico debe cumplir

$$\text{Potencia del generador fotovoltaico}(kWp) = \frac{E_{elec}}{HSP \times R} \dots (5)$$

Luego es posible calcular el número de paneles, si ya hemos seleccionado la potencia del panel a utilizar, de la siguiente manera:

$$\text{Numero de paneles}(N_{MF}) = \frac{E_{elec}}{HSP \times R \times \text{Potencia panel}(Wp)} \dots (6)$$

$$\text{Numero de paneles}(N_{MF}) = 15,66 \approx 16$$

Se considerarán 16 módulos fotovoltaicos.

5.4.2.3. Cálculo del Número de Módulos Conectados en Serie

$$N_{S mf} = V_T / V_{mf} \dots (7)$$

Donde:

$N_{S mf}$ = Número de módulos fotovoltaico que deben conectarse en serie.

V_T = Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico 48 V.

V_{mf} = Tensión nominal de un módulo fotovoltaico (V).

La tensión de trabajo será de 48 V

$$N_{S mf} = 48/24$$

$$N_{S mf} = 2$$

5.4.2.4. Cálculo del Número de Ramas Conectadas en Paralelo

$$N_{Pmf} = N_{mf} / N_{Smf} \dots (8)$$

Donde:

N_{Pmf} = Número de ramas conectadas en paralelo.

N_{mf} = Número de módulos fotovoltaicos.

N_{Smf} = Número de módulos fotovoltaicos conectados en serie.

$$N_{Pmf} = 16/2 ; N_{Pmf} = 8$$

Entonces se usaran 16 paneles fotovoltaicos YINGLI SOLAR de 320 Wp

5.4.2.5. Parámetros Eléctricos Totales del Campo Fotovoltaico

Tabla N° 16: Parámetros eléctricos totales del sistema de captación

Potencia pico total (kWp)	Potencia Pico por paneles x Total de paneles	5,12
Corriente total de máxima potencia(A)	Corriente de máxima potencia. Por panel x Total de paneles paralelo	69,72
Corriente total de cortocircuito(A)	Corriente de cortocircuito por panel x Total de paneles paralelo	73,44
Tensión nominal total de salida del sistema (V)	Tensión de trabajo	48
tensión de máxima potencia total del sistema (V)	Tensión de máxima potencia por Panel x Total de paneles serie	74
Tensión total en circuito abierto del sistema (V)	Tensión de circuito abierto Panel x Total de paneles serie	92

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2.6. Angulo Óptimo de Inclinación:

La inclinación óptima en función de la latitud del lugar:

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |\varphi|).... (9)$$

Donde:

β_{opt} : Angulo de inclinación optimo

$|\varphi|$: Latitud del lugar sin signo

Se ingresan los datos en la fórmula; sabiendo que la latitud es de: -5,5496°.

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-5,5496^\circ|)$$

$$\beta_{opt} = 7,5^\circ$$

Luego el ángulo óptimo es de 7,5° y es la inclinación que deben tener los paneles solares para recolectar la mayor cantidad de energía solar durante el día. Con la finalidad de evitar la acumulación del polvo y la humedad se ha considerado un ángulo de 15°

5.4.2.7. Dimensionamiento del Regulador Necesario

Cálculo de la corriente máxima que debe soportar el regulador

$$I_{REG} = 1,25 \times I_{CC\ mf} \times N_{P\ mf}.... (10)$$

Donde:

I_{REG} = Corriente máxima que debe soportar el regulador (A).

$I_{CC\ mf}$ = Corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico (A).

$N_{P\ mf}$ = Número de ramas conectadas en paralelo.

$$I_{REG} = 1,2 \times 9,18 \times 8$$

$$I_{REG} = 91,8 \text{ A}$$

Cálculo del voltaje máximo que debe soportar el regulador

$$V_{REG\ max} = 1,25 \times V_{OC\ mf} \times N_{S\ mf} \dots (11)$$

Donde:

$V_{REG\ max}$ = Voltaje máx. Que debe soportar el regulador (V).

$V_{OC\ mf}$ = Voltaje de circuito abierto (V).

$N_{S\ mf}$ = Número de módulos conectados en serie.

$$V_{REG\ max} = 1,2 \times 46 \times 2$$

$$V_{REG\ max} = 115,00\ V$$

Consideraremos trabajar con el regulador MPPT 150/60 VICTRON



Figura N° 27: Controlador MPPT 150/60 VICTRON⁴⁷

⁴⁷ <https://www.teknosolar.com/regulador-de-carga-bluesolar-mppt-150-70>

Características del controlador seleccionado

Tabla N° 17: Características del controlador MPPT 150/60

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Tensión de la batería	Selección automática 12 / 24 / 48 V (se necesita una herramienta de software para seleccionar 36 V)				
Corriente de carga nominal	45A	60A	70A	85A	100A
Potencia FV máxima, 12V 1a,b)	650W	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia FV máxima, 24V 1a,b)	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia FV máxima, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Corriente de cortocircuito máxima FV 2)	50A	50A	50A	70A	70A
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo				
Eficacia máxima	98%				
Autoconsumo	10mA				
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (ajustable)				
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (ajustable)				
Algoritmo de carga	variable multietapas				
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -68 mV / °C				
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobretensión				
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)				
Humedad	95%, sin condensación				

Fuente: Catalogo del Regulador MPPT 150/60 (ANEXO 02)

Cálculo del número de reguladores a conectar en paralelo

$$N_{P\ reg} = I_{REG}/I_{reg} \dots (12)$$

Donde:

$N_{P\ reg}$ = Número de reguladores que deben conectarse en paralelo.

I_{REG} = Corriente máxima que debe soportar el regulador (A).

I_{reg} = Corriente de cada regulador (A).

$$N_{P\ reg} = 91,80 / 60$$

$$N_{P\ reg} = 1,53 \approx 2$$

Por lo que se consideraran 2 controladores MPPT 150/60

Cálculo del número de ramas de módulos que deben conectarse a cada regulador

$$\text{Ramas por regulador} = N_{P_{mf}} / N_{P_{reg}} \dots (13)$$

$$\text{Ramas por regulador} = 8/2$$

$$\text{Ramas por regulador} = 4$$

Entonces se tendrán 4 ramas de módulos fotovoltaicos por regulador, con lo cual el número de módulos fotovoltaicos sería 8, por cada regulador.

Comprobación

Debido a que los 16 módulos fotovoltaicos se van a agrupar en 2 grupos, para ser conectados a los 2 reguladores debemos de comprobar que las 4 ramas en paralelo de dos módulos sus características están por debajo de la del regulador

Para el caso de la tensión de circuito abierto tenemos según la tabla 10, es de $2 \times 46,0 \text{ V} = 92, \text{ V} < 150 \text{ V}$ (según datos del regulador MPPT 150/60).

Para el caso de la tensión a potencia máxima del sistema fotovoltaico de 4 ramas de dos módulos en serie tenemos según la tabla 10, es de $2 \times 37,0 \text{ V} = 74,0 \text{ V} < 150 \text{ V}$ (según datos del regulador MPPT 150/60).

La potencia para el regulador es de 3 440 W, según la tabla 15; ahora la potencia de los 8 módulos fotovoltaicos es de $8 \times 320 = 2 560 \text{ W} < 3 440 \text{ W}$, OK.

Luego utilizaremos 2 reguladores MPPT 150/60, donde al regulador se conectarán 4 ramas de dos módulos fotovoltaicos (8 módulos fotovoltaicos en total).

5.4.2.8. Cálculo de la Potencia del Inversor Requerido

Los inversores que se utilizarán para nuestro sistema de generación fotovoltaica serán los inversores de la marca VICTRON ENERGY. (Ver Figura 27)



Figura N° 28: Inversor VICTRON ENERGY⁴⁸

El inversor cuenta con las siguientes características:

Tabla N° 18: Especificaciones Técnicas del Inversor

Inversor Phoenix	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	Sí				
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Salida	Salida: 230V ± 2% / 50/60Hz ± 0,1% (1)				
Potencia cont. de salida 25°C (VA) (2)	1200	1600	2000	3000	5000
Potencia cont. de salida 25°C (W)	1000	1300	1600	2400	4000
Potencia cont. de salida 40°C (W)	900	1200	1450	2200	3700
Potencia cont. de salida 65°C (W)	600	800	1000	1700	3000
Pico de potencia (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Eficacia máx. 12/ 24 / 48 V (%)	92 / 94 / 94	92 / 94 / 94	92 / 92	93 / 94 / 95	94 / 95
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)	8 / 10 / 12	8 / 10 / 12	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35
Consumo en vacío en modo AES (W)	5 / 8 / 10	5 / 8 / 10	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30
Consumo en vacío modo Search (W)	2 / 3 / 4	2 / 3 / 4	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15
GENERAL					

Fuente: Catalogo del Inversor VICTRON ENERGY (ANEXO 03)

⁴⁸ <https://autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-3003019.pdf>

Cálculo de la potencia de entrada del inversor

En este caso se considera trabajar en la situación crítica que es cuando la potencia de la carga alcanza la máxima demanda

$$Potencia\ de\ entrada\ al\ inversor = \frac{Potencia\ de\ la\ carga}{Rendimiento\ del\ inversor}.... (14)$$

$$\frac{Potencia\ de\ la\ carga}{Rendimiento\ del\ inversor} = \frac{3,972}{0,95} = 4,181\ kW$$

Cálculo del número de Inversores

$$N_{inversores} = \frac{Potencia\ de\ entrada\ del\ inversor}{Potencia\ del\ inversor\ seleccionado}.... (15)$$

$$N_{inversores} = \frac{4,181}{3,0} = 1,39 \approx 2$$

Se utilizarán 2 inversores, de 48/3000.

5.4.2.9. Dimensionamiento del Banco de Baterías

Asimismo, es necesario definir el número máximo de días de autonomía del banco de baterías, es decir el número de días consecutivos (totalmente cubiertos o nublados) durante las cuales los paneles fotovoltaicos no generan prácticamente energía. Para nuestro caso consideramos $N_D = 2$ días de autonomía.

Además, para mantener las baterías sanas y prolongar vida de batería, la mayoría de fabricantes sugieren limitar la profundidad de la descarga al cerca de 20 %. (Ese significa que las baterías estarán en capacidad de mínimo 80 %) Por lo menos, no permita que las baterías sean descargadas a menos de 50% de la carga máxima. Para nuestro caso consideramos

$$P_{D\ max} = 0,7.$$

Cálculo de la capacidad mínima del banco de baterías

$$C_T = (N_D \times E_{elec}) / (P_{D\ max} \times V_T) \dots (16)$$

Donde:

C_T = Capacidad mínima del banco de baterías, expresada en Ah.

N_D = Número de días de autonomía =2.

E_{elec} = Energía eléctrica total media diaria (Wh/día).

$P_{D\ max}$ = 0,7

V_T = 48 V

$$C_T = (2 \times 13\ 318) / (0,7 \times 48)$$

$$C_T = 792,74\ \text{Ah}$$

Características de las baterías seleccionadas

La batería que se utilizará para nuestro sistema de generación fotovoltaica será las baterías inundadas de plomo ROLLS de 357 Ah, las cuales cuentan con placas positivas envueltas que dan un doble aislamiento eliminando una posibilidad de desalineación, grietas, ranuras o cortocircuitos en el fondo o a los lados de los separadores.

La batería tiene una reserva líquida que extiende los intervalos en que se añada agua destilada, lo que significa menos mantenimiento. Además, cuenta con las siguientes características principales:



Figura N° 29: Batería de 357 Ah Marca ROLLS 12 CS 11 P⁴⁹

Comprobación de la capacidad mínima necesaria del banco de baterías

$$C_T < 25x(12I_{sc}) \dots (17)$$

Donde:

I_{Gsc} = Intensidad de cortocircuito del generador fotovoltaico.

$$C_T < 25x(106,56)$$

$$C_T < 2\,664 \text{ Ah} \quad \text{ok}$$

Cálculo del número de baterías que deben conectarse en serie

$$N_{S \text{ bat.}} = V_T / V_{bat.} \dots (18)$$

Donde:

$N_{S \text{ bat.}}$ = Número de baterías que deben conectarse en serie.

V_T = Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico (V).

$V_{bat.}$ = Tensión nominal de la batería (V).

⁴⁹ <http://www.rollsbattery.com/wp-content/uploads/batteries/12CS11P.pdf>

$$N_{S\ bat.} = 48/12$$

$$N_{S\ bat.} = 4\ baterías$$

Cálculo del número de baterías que deben conectarse en paralelo

$$N_{P\ bat.} = C_T / C_{bat....} (19)$$

Donde:

$N_{P\ bat.}$ = Número de ramas de baterías conectados en paralelo.

C_T = Capacidad total del banco de baterías (Ah).

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

$$N_{P\ bat.} = 792,34 / 503 = 1,58 \approx 2$$

$$N_{P\ bat.} = 1,58$$

Del resultado consideraremos 2 baterías

Cálculo del número total de baterías

$$N_{TOTAL/grupo} = N_{S\ bat.} \times N_{P\ bat....} (20)$$

$$N_{TOTAL/grupo} = 4 \times 2 = 8\ baterías$$

5.4.2.10. Cálculo de la Selección de los Conductores de la Instalación

Se calcula teniendo en cuenta lo siguiente:

La longitud de los conductores eléctricos debe ser lo más corta posible de esta forma, las caídas de tensión en los cables son menores, las secciones necesarias también, así como la longitud del cable y su costo.

La sección se elige en función de la longitud de los cables y de la corriente que circula por ellos con el fin de minimizar las caídas de tensión.

Cálculo de la Intensidad máxima que debe soportar el tramo campo fotovoltaico – regulador

$$I_{MAX\ mf} = 1,25 \times I_{CC\ mf} \times N_{ramas\ en\ paral.\ x\ regulador} \dots (21)$$

Donde:

$I_{MAX\ mf}$ = Corriente máxima en la línea Paneles-Regulador (A).

$I_{CC\ mf}$ = Corriente de cortocircuito del panel utilizado (A).

$N_{ramas\ en\ paral.\ x\ regulador}$ = Número de ramas de paneles que deben conectarse a cada regulador.

$$I_{MAX\ mf} = 1,25 \times 9,18 \times 4$$

$$I_{MAX\ mf} = 45,9\ A$$

Cálculo de la intensidad máxima que debe soportar el tramo regulador – inversor

$$I_{MAX\ inv} = 1,25 \times P_{carga} / (V_{MIN\ Tacu} \times \eta_{inv}) \dots (22)$$

Donde:

$I_{MAX\ inv}$ = Corriente máxima en la línea Baterías-inversor (A).

P_{carga} = Potencia del inversor en servicio continuo (A).

$V_{MIN\ Tacu}$ = El menor valor de tensión de las baterías con el que puede funcionar el inversor.

η_{inv} = Rendimiento del inversor a plena potencia en tanto por uno (%).

$$I_{MAX\ inv} = 1,25 \times (3\ 972/2)/(48 \times 0,90)$$

$$I_{MAX\ inv} = 57,46\ A$$

Luego de calcular la sección de los conductores que vamos a usar, calcularemos la corriente eléctrica y calculamos la caída de tensión para una sección determinada considerando que esta caída de tensión están dentro de las tolerancias que se muestran en la siguiente tabla 17:

Tabla N° 19: Caída de tensión por cada tramo de la instalación fotovoltaica

TRAMO	TENSION DEL SISTEMA (V)	Caída permisible de tension (%)	Caída de tension permitida (V)
PANELES-CONTROLADOR	48	1% a 3%	1,44
CONTROLADOR-BATERIA	48	1%	0,48
CONTROLADOR-INVERSOR	48	1%	0,48

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

Para el cálculo de la sección mínima del conductor eléctrico tenemos lo siguiente

$$S_{CABLE} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V} \dots (23)$$

Donde:

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

L = Longitud tramo [m].

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

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

Sección mínima del conductor para el tramo paneles – regulador

De (23) tenemos: $S_{CABLE} = 2 \times L \times I / (56 \times \Delta V)$

$$S_{CABLE} = 2 \times 7 \times 45,90 / (56 \times 1,44)$$

$$S_{CABLE} = 7,97 \text{ mm}^2$$

Sección mínima del conductor para el tramo regulador – inversor

De (23) tenemos: $S_{CABLE} = 2 \times L \times I_{MAX} / (56 \times \Delta V)$

$$S_{CABLE} = 2 \times 3 \times (57,46) / (56 \times 0,48)$$

$$S_{CABLE} = 12,30 \text{ mm}^2$$


Sección mínima del conductor para el tramo batería–regulador

De (23) tenemos: $S_{CABLE} = 2 \times L \times I_{MAX} / (56 \times \Delta V)$

$$S_{CABLE} = 2 \times 3 \times (45,90) / (56 \times 0,48)$$

$$S_{CABLE} = 10,25 \text{ mm}^2$$

Tabla N° 20: Características eléctricas de los conductores NYY

 empresa nexans								
TABLA DE DATOS TECNICOS NYY DUPLEX								
CALIBRE N° x mm²	N° HILOS	ESPESORES		DIÁMETRO EXTERIOR mm	PESO (Kg/Km)	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO mm	CUBIERTA mm			ENTERRADO A	AIRE A	DUCTO A
2x1x6	1	1	1.4	15.4	218	77	58	62
2x1x10	1	1	1.4	17	307	105	80	85
2x1x16	7	1	1.4	19.3	454	136	108	112
2x1x25	7	1.2	1.4	22.5	672	170	140	140
2x1x35	7	1.2	1.4	24.6	880	205	175	170

Fuente: Catálogo de INDECO (ANEXO 05)

Corriente y caída de tensión se selecciona el **conductor NYY dúplex de:**

2-1x16 mm²

5.4.2.11. Elementos de Protección

Los componentes del sistema fotovoltaico y de cualquier sistema eléctrico en general pueden generar o transmitir sobrecorrientes que pueden reducir la vida del componente o este podría fallar.

Protección del generador fotovoltaico: Del diagrama unifilar observamos que cada grupo de generadores fotovoltaicos consta de siete ramas (de 2

módulos fotovoltaicos) por lo que es necesario una protección contra corrientes inversas en cada rama, como la caja de conexiones del generador fotovoltaico tiene fácil acceso para mantenimiento, se opta por fusibles en bases portafusibles seccionables:

Calibre de los fusibles:

$$I_F = 1,5 \cdot I_{sc} \dots 2 \cdot I_{sc} \dots (23)$$

$$I_F = 1,5 \cdot (9,18) \dots 2 \cdot (9,18) \text{ A} = 13,77 \dots 18,36 \text{ A}$$

Elegimos cartuchos fusibles de 16 A (ANEXO 06)

Tensión asignada es de $U_F > 1,2 U_{Goc} = 1,2 \times 92,00 \text{ V} = 110,40 \text{ V}$

Protección del inversor

Se trata de circuitos de corriente alterna y las protecciones son contra sobrecarga y cortocircuito, mediante interruptores termomagnéticos y contra contacto directo mediante interruptor diferencial, la corriente y tensión de servicio de estos dispositivos se determinan en función de la potencia y tensiones nominales del inversor. Se recomiendan interruptores diferenciales de alta sensibilidad.

Se pondrá un interruptor automático bipolar y un interruptor diferencial bipolar de 30 mA de sensibilidad que tiene que cumplir las características de salida del inversor:

$$I_{MAX \text{ carga}} = 3972 / (2 \times 220)$$

$$I_{MAX \text{ carga}} = 9,03 \text{ A}$$

Seleccionamos un interruptor termomagnético de 10 A

Sistema de puesta a tierra

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

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

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

El tipo de sistema de puesta a tierra será el de varilla, esto es debido a la baja potencia y, por ende, bajo amperaje.

No se adicionará ningún aditivo a la tierra, ya que la resistividad es adecuada.

Distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos

Distancias mínimas entre filas de módulos.

La altura proyectada sobre la vertical de una fila se calcula a partir del ángulo de inclinación y la longitud del módulo.

$$h = L \cdot \text{sen}(\beta) \dots (24)$$

Dónde:

h. altura proyectada sobre la vertical de un módulo (m)

L: longitud del módulo (m)

β : inclinación del módulo (°)

$$h = 1,960 \times \text{sen}(15^\circ)$$

$$h = 0,41 \text{ m}$$

La distancia mínima entre la parte superior de una fila y la parte inferior de la siguiente, como se muestra en la figura anterior.

$$d = h / \operatorname{tg}(61^\circ - \phi) \dots (25)$$

Dónde:

d: distancia mínima (m)

h: altura del obstáculo proyectada sobre la vertical (m)

ϕ : latitud del lugar ($^\circ$) = -5,549

d = 0,178 m

La distancia mínima entre la parte inferior de las filas de módulos, que es un parámetro de instalación más práctico, se calcula con la expresión siguiente:

$$D_{min} = d + L \cos(\beta) \dots (26)$$

Dónde:

D: distancia mínima (m)

L: longitud del módulo (m)

β : inclinación de los módulos ($^\circ$)

Dmin = 2,03 m

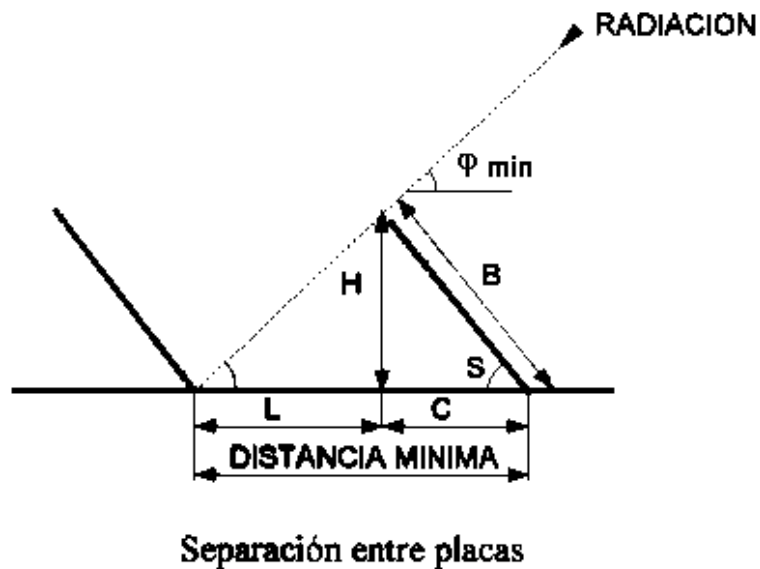


Figura N° 30: Distancia Mínima Entre Filas de Módulos Instalados en el Mismo Plano⁵⁰

⁵⁰ http://edii.uclm.es/~arodenas/Solar/calculo_aislados4.htm

5.5. Dimensionamiento del sistema de distribución eléctrica en 220 V

Este sistema de distribución transportara la energía eléctrica desde el generador fotovoltaico hasta los abonados. También se ubican en esta red, los dispositivos del alumbrado público.

En este ítem consideraremos la norma D.G.E. “Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural”.

5.5.1. Cálculos Eléctricos

5.5.1.1. Cálculo de Caída de Tensión

La fórmula para calcular redes aéreas es la siguiente:

$$\Delta v = K.L.I \times 10^{-3} \dots (27)$$

Donde:

I = Corriente eléctrica que recorre el circuito, en A

L = Longitud del tramo, en m

K = Factor de caída de tensión

Los factores de caída de tensión se muestran en tabla 19

Tabla N° 21: Parámetros y factores de caída de tensión para cables autoportantes

FORMACION	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR DE FASE (Ω/Km)		RESISTENCIA DEL CONDUCTOR DE ALUMBRADO PUBLICO (Ω/Km)		RESISTENCIA DEL CONDUCTOR NEUTRO (Ω/Km)		REACTANCIA INDUCTIVA (Ω/Km)		FACTOR DE CAIDA DE TENSION			CAPACIDAD DE CORRIENTE A 40 °C (A)	
	A 20 °C	A 40 °C	A 20 °C	A 40 °C	A 20 °C	A 40 °C	XL(30)	XL (10)	K (380-220 V)	K(440-220 V)	K(220 VAP)	Cond. Fase	Cond. A.P.
3x35+16/25	0,868	0,929	1,910	2,045	1,38	1,478	0,094	0,123	1,607	-	3,272	102	64
3x25+16/25	1,200	1,285	1,910	2,045	1,38	1,478	0,100	0,116	2,223	-	3,272	83	64
3x16+16/25	1,910	2,045	1,910	2,045	1,38	1,478	0,110	0,110	3,538	-	3,272	64	64
3x35/25	0,868	0,929	-	-	1,38	1,478	0,091	-	1,607	-	-	102	-
3x25/25	1,200	1,285	-	-	1,38	1,478	0,095	-	2,223	-	-	83	-
3x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	0,103	-	3,538	-	-	64	-
2x35+16/25	0,868	0,929	1,910	2,045	1,38	1,478	0,086	0,114		3,780	3,272	102	64
2x25+16/25	1,200	1,285	1,910	2,045	1,38	1,478	0,093	0,109		3,776	3,272	83	64
2x16+16/25	1,910	2,045	1,910	2,045	1,38	1,478	0,096	0,096	3,538	3,765	3,272	64	64
2x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	-	0,096	-	3,765	3,272	64	-
1x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	-	0,094	-		3,272	64	-

Fuente: Norma D.G.E. RD031-2003-EM

5.5.1.2. Máxima Caída de Tensión Permisible

La caída máxima de tensión entre la subestación de distribución y el extremo terminal más alejado de la red no deberá exceder el 7,0 % de la tensión nominal, según la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctrico (NTCSE) para zonas rurales, los valores calculados serán:

Sistema 220 V: Máxima caída tensión 15,4 V.

Para seleccionar el conductor eléctrico consideraremos la norma **BASES PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS Y REDES SECUNDARIAS CON CONDUCTORES AUTOPORTANTES PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL**”

(RD-031-2003-EM, 2003), en el cual se establece la relación de conductores eléctricos que podemos utilizar (Tabla N° 19) y en primera instancia consideramos trabajar con el conductor de menor sección el conductor 1x16/25, el cual tiene una capacidad de corriente de 64 A, según la Tabla N° 19. De la potencia del inversor obtenemos la corriente eléctrica de diseño:

Aquí consideraremos la potencia del inversor

$$I_{\text{MAX carga}} = \frac{3\,000}{220} = 13,63 \text{ A}$$

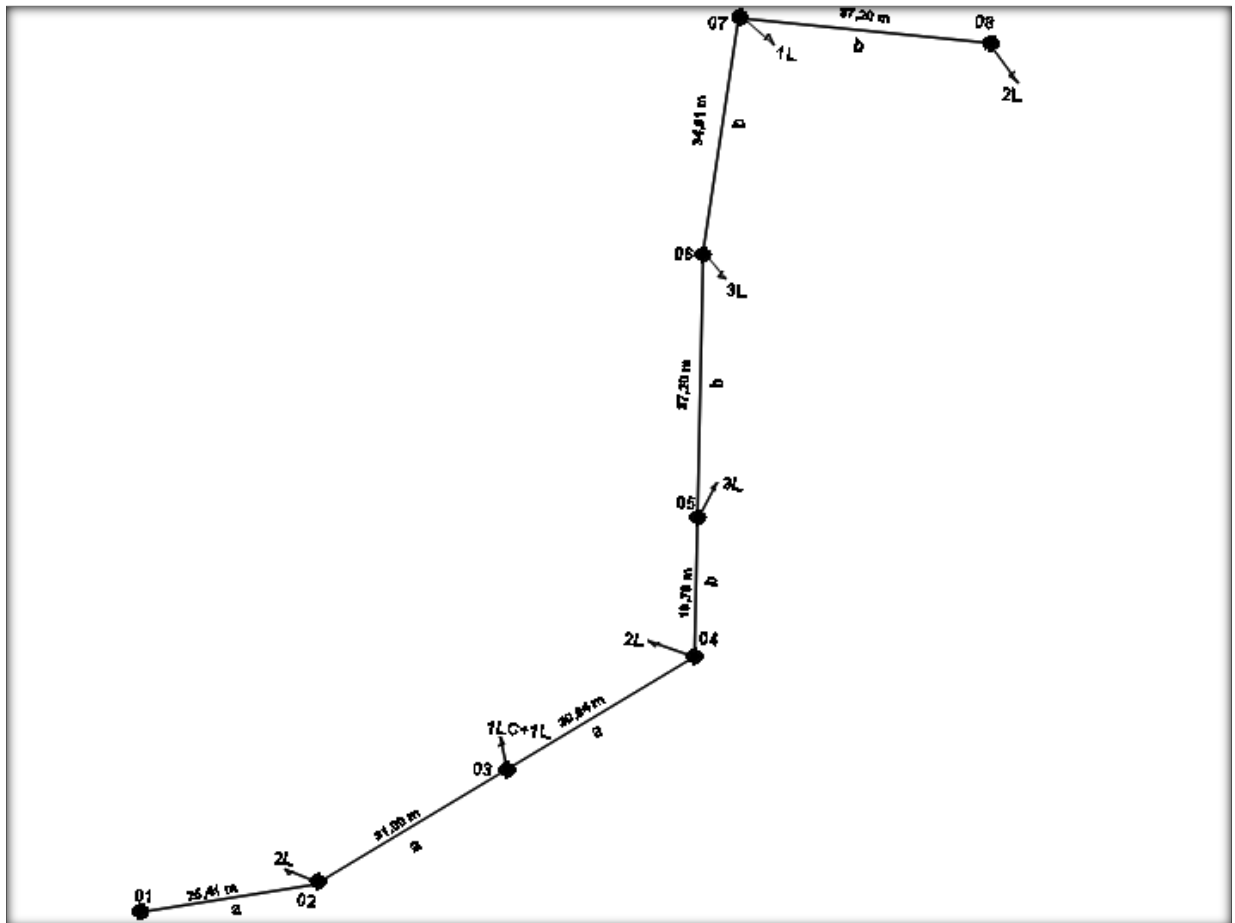


Figura N° 31: Diagrama de Carga C-I⁵¹

Tabla N° 22: Caída de tensión para el servicio particular C-I

Caída de Tensión para la Red de Distribución Secundaria C-I, Caserío Nuevo Edén											
Punto	Servicio Particular					Long. [m]	Tipo y Sección de Cond. [mm²]	F.C.T. [V/A-km]	ΔV S.P. [V]	$\Sigma \Delta V$ Total [V]	% de ΔV
	N° Lotes	CARGA ESPECIAL	CORRIENTE [A]	POT. [W]	ΣI [A]						
1	0	1	0.0	0.0	6.8	15.0	1x16+N25	3.272	0.3	0.3	0.15%
2	2		0.9	208.0	6.8	40.9	1x16+N25	3.272	0.9	1.2	0.56%
3	1		0.6	135.0	5.8	40.4	1x16+N25	3.272	0.8	2.0	0.91%
4	2		0.9	208.0	5.2	42.3	1x16+N25	3.272	0.7	2.7	1.24%
5	3		1.4	312.0	4.3	45.1	1x16+N25	3.272	0.6	3.4	1.52%
6	3		1.4	312.0	2.8	43.7	1x16+N25	3.272	0.4	3.8	1.71%
7	1		0.5	104.0	1.4	40.0	1x16+N25	3.272	0.2	3.9	1.79%
8	2		0.9	208.0	0.9	43.8	1x16+N25	3.272	0.1	4.1	1.85%

1.85% < 7% **ok**

Fuente: Elaboración Propia

⁵¹ Elaboración propia

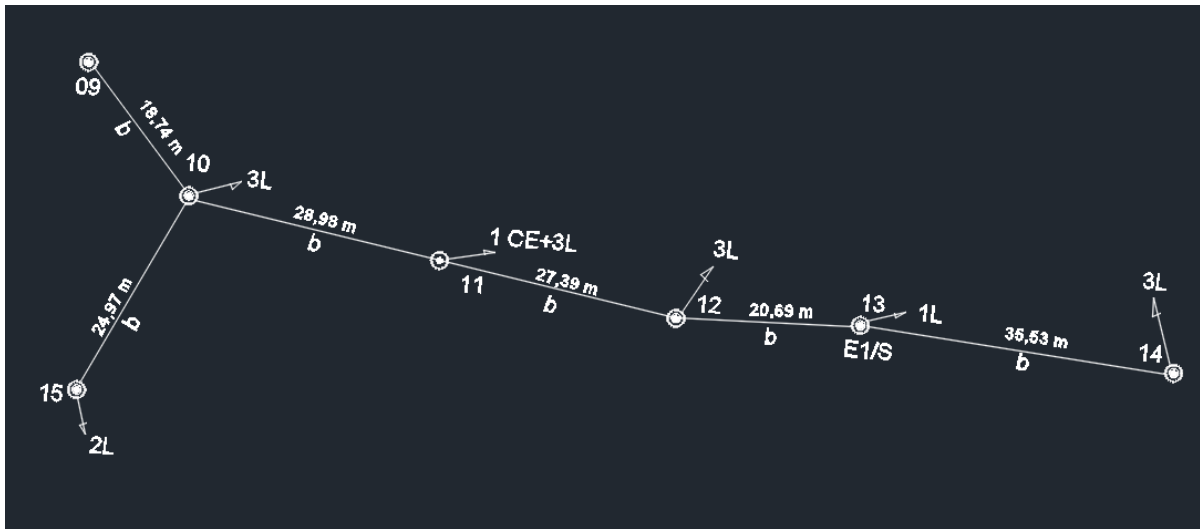


Figura N° 32: Diagrama de carga C-II⁵²

Tabla N° 23: Caída de tensión C-II

Caída de Tensión para la Red de Distribución Secundaria C-II, Caserío Nuevo Edén											
Punto	Servicio Particular					Long. [m]	Tipo y Sección de Cond. [mm ²]	F.C.T. [V/A-km]	ΔV S.P. [V]	$\Sigma \Delta V$ Total [V]	% de ΔV
	N° Lotes	CARGA ESPECIAL	CORRIENTE [A]	POT. [W]	ΣI [A]						
9	0		0.0	0.0	8.3	15.0	1x16+N25	3.272	0.4	0.4	0.19%
10	5		2.4	520.0	8.3	35.5	1x16+N25	3.272	1.0	1.4	0.62%
11	3	1.0	1.7	373.0	6.0	42.9	1x16+N25	3.272	0.8	2.2	1.00%
12	3		1.4	312.0	4.3	52.3	1x16+N25	3.272	0.7	2.9	1.33%
13	1		0.5	104.0	2.8	37.3	1x16+N25	3.272	0.3	3.3	1.49%
14	3		1.4	312.0	2.4	48.8	1x16+N25	3.272	0.4	3.7	1.66%
15	2		0.9	208.0	0.9	37.1	1x16+N25	3.272	0.1	1.5	0.68%

1.66% < 7% ok

Fuente: Elaboración Propia

Se observa de ambas tablas (Tabla N° 22 y Tabla N° 23) de caída de tensión que esta se encuentra por debajo del 7%.

⁵² Elaboración propia

5.5.1.3. Distancias Mínimas del Conductor a Superficie del Terreno

Tabla N° 24: Distancias mínimas del conductor al terreno

Disposición	Carreteras y Avenidas	Calles y Caminos	Áreas no transitables por Vehículos	Calles y Caminos en Zonas Rurales
Al cruce	6,5 m	5,5 m	4,0 m	5,5 m
A lo largo	5,5 m	5,0 m	4,0 m	4,5 m

Fuente: C.N.E

5.5.2. Cálculos Mecánicos de Conductores Autoportantes

Los cálculos mecánicos tienen la finalidad de determinar las tensiones y flechas en las diversas condiciones de operación. Las características mecánicas de los cables autoportantes se detallan en la tabla 24.

5.5.3. Hipótesis de Estado

La hipótesis de estado para los cálculos mecánicos del conductor se define sobre la base de los factores meteorológicos.

- a) Velocidad del Viento
- b) Temperatura

Tabla N° 25: Hipótesis de estado

HIPÓTESIS N° 1: Condición de Máximo esfuerzo	<p>Temperatura: 5°C.</p> <p>Velocidad de viento: 70 Km/h.</p>
HIPÓTESIS N° 2: Condición de Mayor duración (EDS)	<p>Temperatura: Media anual (entre 15 y 25°C, salvo excepciones) 15° C.</p> <p>Velocidad de viento: Nula.</p>
HIPÓTESIS N°3: Condición de Flecha máxima	<p>Temperatura: 50°C.</p> <p>Velocidad de viento: Nula.</p>

Fuente: Elaboración Propia

5.5.4. Cálculo de Cambio de Estado

Los cálculos de cambio de estado se han efectuado mediante la ecuación cúbica cuya expresión matemática es:

$$\sigma_F^2 \left[\sigma_F + E\alpha(t_f - t_i) + \frac{W_{ri}^2 * L^2 * E}{24 * A^2 * \sigma_i^2} - \sigma_i \right] = \frac{W_{rF}^2 * L^2 * E}{24 * A^2} \dots (28)$$

Tabla N° 26: Característica de los conductores autoportantes.

FORMACION	SECCION DEL CONDUCTOR PORTANTE (mm²)	DIAM. EXTERIOR TOTAL (mm)	MASA TOTAL (kg/m)	MODULO DE ELAST. DEL PORTANTE (kN/mm²)	COEFICIEN. DE DILAT. TERMICA (1/°C)
3x35+16/25	25	20,0	0,481	60,82	21x10-6
3x25+16/25	25	18,5	0,397	60,82	21x10-6
3x16+16/25	25	16,5	0,310	60,82	21x10-6
3x35/25	25	20,0	0,419	60,82	21x10-6
3x25/25	25	18,5	0,336	60,82	21x10-6
3x16/25	25	16,5	0,249	60,82	21x10-6
2x35+16/25	25	20,0	0,362	60,82	21x10-6
2x25+16/25	25	18,5	0,307	60,82	21x10-6
2x16+16/25	25	16,5	0,249	60,82	21x10-6
2x16/25	25	16,5	0,187	60,82	21x10-6
1x16/25	25	16,5	0,125	60,82	21x10-6

Fuente: Norma D.G.E. rd031-2003-EM

Vano Básico: El tensado de conductores; comprendidos entre dos estructuras de anclaje debe tener el mismo esfuerzo a lo largo de todo el tendido de la línea.

$$Vano\ Basico = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^3}{\sum_{i=1}^n L_i}} \dots (29)$$

Observamos en el plano (Anexo 08) que los vanos no exceden los 40 m.

Tabla N° 27: Flecha para el Vano Básico

Vano (m)	40
HIP. I σ (Kg/mm ²) f (m)	7,96 0,40
HIP. II σ (Kg/mm ²) f (m)	5,44 0,24
HIP. III σ (Kg/mm ²) f (m)	2,51 0,51

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, calcularemos la altura de los postes de C.A.C.

De la altura de postes.

La altura de postes queda definida de la siguiente manera:

Distancia del vértice del poste al inicio del perno gancho = 0,30 m.

Flecha máxima del conductor = 0,51 m.

La altura mínima del conductor al suelo. = 5,50 m.

La altura de empotramiento para postes de C.A.C. en terrenos normales = 0,10

H + 0,40 m.

$$H = 0,30 + 0,05 + 0,51 + 5,50 + (0,10 \cdot H + 0,40)$$

$$H = 7,51 \text{ m}$$

De acuerdo a esto un poste de 8 m. cumple perfectamente con los requisitos pedidos.

Tabla N° 28: Características de los postes de concreto armada

Longitud del poste (m)	8	8
Longitud de empotramiento del poste (m)	1,0	1,0
Diámetro mínima en la cabeza (mm)	120	120
Diámetro mínima en la base (mm)	240	240
Diámetro de empotramiento (mm)	225	225
Altura donde se aplica la fuerza del viento (m)	3,14	3,14
Carga de trabajo a 0,15 m de la cabeza (kg)	200	300
Carga de rotura (kg)	400	400
Masa por unidad (kg)	385	406

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a los soportes para el conductor aéreo, se utilizarán los soportes normalizados que se detallan en la norma D.G.E. rd023-2003-EM. (Especificaciones técnicas de soportes normalizados para líneas y redes secundarias en electrificación rural).

De la Tabla N° 24, observamos que para el vano básico de 40 m el valor del esfuerzo máximo es de 7,96 kg/mm², que está muy por debajo del esfuerzo del esfuerzo máximo recomendado (17,60 kg/mm²)

Por lo tanto, el conductor eléctrico 1x16/25 cumple con los requerimientos mecánicos y eléctricos.

5.6. Metrado y Presupuesto

5.6.1. Metrado y Presupuesto del Sistema de Fotovoltaica

Tabla N° 29: Valor referencial para el suministro de materiales para el sistema fotovoltaico

ítem	Equipamiento principal	Cant.	Costo unitario S/	Sub-Total S/
01	Módulo de paneles fotovoltaicos			
	Panel solar YINGLI SOLAR de 320 Wp	16	1 200,28	19 204,48
02	Sistema de control			
	Controlador MPPT 150/60 VICTRON	2	2 322,01	4 642,02
03	Sistema de almacenamiento			
	Batería Plomo ácido 12V 503 Ah ROLLS 12 CS 11P	8	3 240,00	25 920,00
04	Sistema de transformación			
	Inversores de 48V VICTRON ENERGY 3000 VA	2	5 585,94	11 165,88
05	Estructura del SFV			
	Estructuras Metálicas de soporte	Glb	1 500,00	1 500,00
06	Equipamiento Adicional			
	Accesorios del SFV	1	500,00	500,00
			Suministro	62 932,38

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 30: Presupuesto del sistema fotovoltaico

ITEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL (S/.)
A	SUMINISTROS DE MATERIALES	62 932,38
B	MONTAJE ELECTROMECAÁNICO	5 034,59
C	TRANSPORTE DE MATERIALES	2 517,30
F	TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (S/.)	70 484,27

Fuente: Elaboración Propia

5.6.2. Presupuesto Total del Sistema de Generación, Distribución de Energía Eléctrica en el Caserío Nuevo Edén

En el ANEXO 10 se muestra el Metrado y presupuesto para la red secundaria. A continuación, en la tabla N° 29 se muestra el presupuesto total

Tabla N° 31: Presupuesto general para el proyecto propuesto

"APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO2 EN EL CASERÍO NUEVO EDÉN -YAMBRASBAMBA-AMAZONAS"		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL
A	PRESUPUESTO DE LA RED DE DISTRIBUCION	37,113.25
B	PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE GENERACION	70,484.27
	TOTAL S/.	107,597.51
G	GASTOS GENERALES UTILIDADES	5,379.88
H		5,379.88
I	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	118,357.27
J	I.G.V. (S/.)	22,487.88
	CAPACITACION AL PERSONAL	3000
	COSTO TOTAL INLUIDO I.G.V. (S/.)	143,845.15

Fuente: Elaboración Propia

5.7. Emisiones de CO₂

Con la implementación del sistema eléctrico con paneles solares y teniendo en cuenta que la energía convencional proviene un porcentaje de la utilización de combustible fósiles cuya combustión produce gases de efecto invernadero.

Teniendo en cuenta lo siguiente:

1 kWh de electricidad es equivalente⁵³ a 0,547 kg de CO₂

Entonces elaboramos la tabla N° 30 que se muestra a continuación para obtener el total de CO₂ que dejaría de emitirse al medio ambiente que es de: 65 518,39 kg de CO₂

Cantidad de CO₂ que dejaría de emitirse al medio ambiente al implementarse la propuesta.

⁵³ Chercca Ramirez, Juan Avilio. «Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO₂ en el poblado rural la Gramita de Casma”.» Lima, 2014.

Tabla N° 32: Emisiones de CO₂ con energía convencional

Año	Año de proyección	Número de habitantes	Número de viviendas	kWh/año	KgCO ₂ /año
0	2017	125	30		
1	2018	126	30	5711,52	3124,20
2	2019	127	30	5711,52	3124,20
3	2020	128	31	5820,29	3183,70
4	2021	129	31	5820,29	3183,70
5	2022	130	31	5820,29	3183,70
6	2023	131	31	5820,29	3183,70
7	2024	132	32	5929,06	3243,20
8	2025	133	32	5929,06	3243,20
9	2026	134	32	5929,06	3243,20
10	2027	135	32	5929,06	3243,20
11	2028	136	33	6037,83	3302,69
12	2029	137	33	6037,83	3302,69
13	2030	138	33	6037,83	3302,69
14	2031	139	33	6037,83	3302,69
15	2032	140	34	6146,6	3362,19
16	2033	142	34	6146,6	3362,19
17	2034	143	34	6146,6	3362,19
18	2035	144	35	6255,37	3421,69
19	2036	145	35	6255,37	3421,69
20	2037	146	35	6255,37	3421,69
				TOTAL	65518,39

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

- a) El consumo de energía diaria promedio proyectado para el caserío Nuevo Edén es de 13 318 Wh y la potencia requerida por el sistema de captación fotovoltaica es de 5,09 kW.
- b) Se determinó que la radiación solar en el caserío Nuevo Edén es de 3,64 kWh/m²/día en base a los datos de radiación solar promedio mensual obtenidos de la página de la NASA (3,64 kWh/m²/día), del atlas del SENAMHI (4,50 kWh/m²/día), en donde se consideró el menor de los valores.
- c) La instalación fotovoltaica estará compuesta por 16 paneles fotovoltaicos de 320 Wp de potencia cada uno, 16 baterías de acumuladores, 2 reguladores de carga y 2 inversor. Dando una potencia instalada del sistema de captación de energía de 5,12 kWp. En el ANEXO 07, se muestra el equipamiento de la instalación fotovoltaica en un plano.
- d) Se diseñó el sistema de distribución en baja tensión en 220 V, en el ANEXO 08, se muestra el plano.
- e) Se estimó la cantidad de CO₂ que se dejaría de emitir al medio ambiente al ejecutarse este trabajo de investigación el cual es de: 65 518,39 kg de CO₂.
- f) Se presupuestó el sistema del sistema fotovoltaico con la red de distribución llegando a un total de: S/. 143 845,15.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Acevedo Garces, F. (2016). Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios. Bogota.
- 2) Agustin Castejon, G. S. (s.f.). instalaciones solares fotovoltaicas. España.
- 3) Arias, J. J. (2009). Estudio de la utilización de energía eólica para la generación de electricidad en un asentamiento humano de San Juan de Marcona. Lima.
- 4) Bardales Espino, J. L. (2016). Estudio De Factibilidad Para Suministrar Energía Eléctrica Mediante Un Sistema Fotovoltaiico En El Centro Poblado De Shungun Región Amazonas, 2016. Lima.
- 5) Castejon, A. (1998). Instalaciones solares fotovoltaicas. España.
- 6) Diaz Corcobado, T. (2008). Instalaciones solares fotovoltaicas. Mexico.
- 7) Dionicio Paico, C. A., & Naupari Quiroz, V. F. (2016). Instalación de un sistema fotovoltaico a domiciliario en beneficio de la calidad de vida de La Localidad De Huarascalle, Ancash. Calla0.
- 8) Electricidad, R. d. (2001). Reglamento de Seguridad e higiene ocupacional del subsector electricidad. Perú.
- 9) Energia Innovadora. (2017). Cotizacion del sistema fotovoltaico de bombeo de agua.
- 10)Indeco. (s.f.). Catalogo de cables NYY -DUPLEX.
- 11)Ixtebe Portabelle, C. (2010). Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red. Barcelona.
- 12)Joachin Barrios, C. D. (2008). Diseño de un sistema solar fotovoltaico aisado para el suministro de energia electrica ala comunidad Buena Vista, San Marcos. Guatemala.

- 13) Llauce Chozo , A. J. (2016). Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceño, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura”. Lambayeque.
- 14) MINEM, D. (2001). Código Nacional de Electricidad Suministro.
- 15) Muñoz Anticona, D. F. (2005). Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país. Lima.
- 16) Paredes Rubio, A. R. (2001). Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica. México.
- 17) SENAMHI. (2003). Atlas de energía solar del Perú.
- 18) Solar, G. d. (2016). Guía de la energía solar. 2006.
- 19) Valdiviezo Salas, P. D. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP. Lima.

ANEXOS

ANEXO N°01. FICHA TÉCNICA DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SELECCIONADOS

ANEXO N°02. FICHA TÉCNICA DE LOS REGULADORES SELECCIONADOS

ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DE LOS INVERSORES SELECCIONADOS

ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DE LAS BATERÍAS SELECCIONADAS

ANEXO N°05. CATALOGO DE CABLES NYY DUPLEX

ANEXO N°06. CATALOGO DE FUSIBLES

ANEXO N°07. EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

ANEXO N° 08. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

ANEXO N° 09. METRADO

ANEXO N° 10. PRESUPUESTO DE LA RED SECUNDARIA